



TUGAS AKHIR (SE43310)

FIRE RISK ASSESSMENT, EVALUASI, DAN PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI KEBAKARAN AKTIF PADA WORKSHOP FABRIKASI

MARIA BELVA ALIFYA AZ-ZAHRA
NRP. 0522040076

DOSEN PEMBIMBING:
MOCH. LUQMAN ASHARI, S.T., M.T.
DIKA RAHAYU WIDIANA, S.ST., M.T., Ph.D.

PROGRAM STUDI TEKNIK KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA
JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
SURABAYA
2026

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



PPNS POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

TUGAS AKHIR (SE43310)

***FIRE RISK ASSESSMENT, EVALUASI, DAN
PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI KEBAKARAN AKTIF
PADA WORKSHOP FABRIKASI***

**MARIA BELVA ALIFYA AZ-ZAHRA
NRP. 0522040076**

**DOSEN PEMBIMBING:
MOCH. LUQMAN ASHARI, S.T., M.T.
DIKA RAHAYU WIDIANA, S.ST., M.T., Ph.D.**

**PROGRAM STUDI TEKNIK KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA
JURUSAN TEKNIK PERMESINAN KAPAL**

POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA

SURABAYA

2026

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

FIRE RISK ASSESSMENT, EVALUASI, DAN PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI KEBAKARAN AKTIF PADA WORKSHOP FABRIKASI

Disusun Oleh:

Maria Belva Alifya Az-zahra
0522040076

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan
Program Studi D4-Teknik Keselamatan Dan Kesehatan Kerja
Jurusan Teknik Permesinan Kapal
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA

Disetujui oleh Tim penguji Tugas Akhir Tanggal Ujian : 6 Juli 2026

Periode Wisuda : Oktober 2026

Menyetujui,

Dosen Penguji

1. Mades Darul Khairansyah, S.ST, M.T.
2. Dr. Rona Riantini, S.T., M.Sc.
3. Mochamad Luqman Ashari, S.T., M.T.
4. Muhammad Iqbal Firdaus, S.Tr.T., M.T.

NIDN/NUPTK

- (0012129002)
(0021067905)
(0025078003)
(5660775676130222)

Tanda Tangan

(.....)
(.....)
(.....)
(.....)

Dosen Pembimbing

1. Mochamad Luqman Ashari, S.T., M.T.
2. Dika Rahayu Widiana, S.ST., M.T., Ph.D.

NIDN

- (0025078003)
(0018058503)

Tanda Tangan

(.....)
(.....)

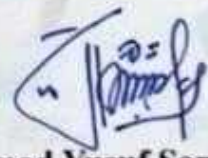
Menyetujui

Ketua Jurusan,


Dr. Ir. Priyo Agus Setiawan, S.T., M.T.
NIP. 197708192005011001

Mengetahui

Koordinator Program Studi,


Mochamad Yusuf Santoso, S.T., M.T.
NIP. 199011272015041002

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

 PPNS PROSES PENGUKURAN NIPAT-SARAF	<u>PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT</u>	No. : F.WD L.021 Date : 3 Nopember 2015 Rev. : 01 Page : 1 dari 1
--	--	---

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Maria Belva Alifya Az-zahra
 NRP. : 0522040076
 Jurusan/Prodi : Teknik Permesinan Kapal / Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

Tugas Akhir yang akan saya kerjakan dengan judul :

Fire Risk Assessment, Evaluasi, dan Perancangan Sistem Proteksi Kebakaran Aktif Pada *Workshop* Fabrikasi

Adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain.

Apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam karya ilmiah tersebut, maka saya bersedia menerima **sanksi** sesuai ketentuan peraturan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh tanggung jawab.

Surabaya, 16 Juli 2026

Yang membuat pernyataan,



(Maria Belva Alifya Az-zahra)

NRP. 0522040076

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "*Fire Risk Assessment, Evaluasi, dan Perancangan Sistem Proteksi Kebakaran Aktif pada Workshop Fabrikasi*". Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi D4 Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari berbagai tantangan dan hambatan yang memberikan pengalaman serta pembelajaran yang berharga bagi penulis. Berkat doa, bimbingan, dukungan, dan bantuan dari berbagai pihak, seluruh rangkaian penyusunan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan, serta dukungan, khususnya kepada:

1. Allah SWT yang senantiasa melimpahkan karunia, rahmat dan hidayah-Nya serta junjungan Nabi Muhammad SAW yang telah memberikan syafaatnya dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua tercinta, Alm. Bapak Yaminudin dan Ibu Ellya Rahayu, serta kakak Reno, Rayhan, dan adik Ilo, yang senantiasa memberikan kasih sayang, doa, dukungan, motivasi, serta menjadi sumber kekuatan bagi penulis dalam setiap proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Bapak Rachmad Tri Soelistijono, S.T., M.T., selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Bapak Dr. Ir. Priyo Agus Setiawan, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
5. Bapak Moch. Yusuf Santoso, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi D4 Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

6. Ibu Mey Rohma Dhani, S.ST., M.T., selaku Koordinator Tugas Akhir yang telah memberikan arahan selama pelaksanaan Tugas Akhir.
7. Bapak Moch. Luqman Ashari, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan, arahan, masukan, motivasi, serta ilmu yang sangat bermanfaat kepada penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
8. Ibu Dika Rahayu Widiana, S.ST., M.T., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing II yang dengan penuh kesabaran telah memberikan bimbingan, arahan, kritik, saran, serta motivasi kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
9. Bapak dan Ibu Dosen Penguji yang telah memberikan kritik, saran, serta masukan yang membangun sehingga Tugas Akhir ini menjadi lebih baik.
10. Seluruh dosen Program Studi D4 Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya yang telah memberikan ilmu pengetahuan, pengalaman, motivasi, serta nilai-nilai kehidupan yang sangat bermanfaat selama penulis menempuh pendidikan.
11. Ibu Indah, Bapak Hariansyah, dan Bapak Nur Hasyim, beserta seluruh pihak perusahaan yang telah memberikan izin, bantuan, arahan, serta kesempatan kepada penulis untuk melaksanakan penelitian, sehingga proses pengambilan data dan penyusunan Tugas Akhir ini dapat berjalan dengan baik.
12. Keluarga besar K3 2022 yang telah menjadi teman seperjuangan selama menempuh pendidikan. Terima kasih atas kebersamaan, kerja sama, dukungan, serta berbagai pengalaman dan kenangan yang telah dilalui bersama.
13. Sahabat-sahabat penulis sejak masa sekolah, yaitu Ratu, Allysia, Salwa, dan Aurel, yang senantiasa memberikan doa, dukungan, semangat, serta menjadi tempat berbagi cerita dalam setiap fase kehidupan penulis.
14. Sahabat-sahabat penulis selama masa perkuliahan, khususnya Zahra, Dira, Afi, Faidha, Kiki, Lili, dan Mbak Day, yang telah menjadi bagian penting dalam perjalanan akademik penulis. Terima kasih atas doa, dukungan, kebersamaan, bantuan, serta semangat yang diberikan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.

15. Pemilik NRP 80, yang senantiasa memberikan doa, dukungan, perhatian, kesabaran, serta semangat kepada penulis selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. Terima kasih telah menjadi tempat berbagi cerita, pendengar yang baik, serta pengingat bahwa setiap proses layak untuk diperjuangkan.
16. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan, doa, dukungan, serta kontribusi, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki keterbatasan dan jauh dari kata sempurna. Maka dari itu, kritik dan saran sangat penulis harapkan sehingga dapat menyempurnakan Tugas Akhir ini di masa mendatang. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan pihak yang membutuhkan.

Surabaya, 16 Juli 2026

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

FIRE RISK ASSESSMENT, EVALUASI, DAN PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI KEBAKARAN AKTIF PADA WORKSHOP FABRIKASI

Maria Belva Alifya Az-zahra

ABSTRAK

Workshop fabrikasi memiliki potensi bahaya kebakaran yang tinggi akibat aktivitas pekerjaan panas, penggunaan mesin dan material mudah terbakar. Berdasarkan kondisi *existing*, sistem proteksi kebakaran aktif yang tersedia hanya berupa Alat Pemadam Api Ringan (APAR) dan tidak menjangkau seluruh area. Penelitian ini bertujuan untuk menilai tingkat risiko kebakaran menggunakan metode *Fire Risk Assessment* (FRA) berdasarkan NFPA 551 (2022), mengevaluasi dan merancang sistem proteksi kebakaran aktif mengacu pada standar NFPA, menghitung probabilitas keandalan kondisi kebakaran terkendali dan tidak terkendali menggunakan metode *Event Tree Analysis* (ETA), serta menyusun Rencana Anggaran Biaya (RAB) instalasi sistem proteksi kebakaran aktif. Hasil penelitian menunjukkan terdapat 1 area dengan tingkat risiko *extreme*, 2 area dengan tingkat risiko *high*, 7 area dengan tingkat risiko *medium*, 1 area dengan tingkat risiko *low*, dan 1 area dengan tingkat risiko *insignificant*. Hasil evaluasi APAR menunjukkan kebutuhan APAR sejumlah 10 unit. Perancangan sistem proteksi kebakaran menghasilkan kebutuhan sebanyak 65 detektor panas, 5 detektor asap, 2 *horn strobe*, 2 *alarm bell*, 3 Titik Panggil Manual, dan 2 pilar hidran. Hasil persentase *error* sebesar 1,33% untuk *headloss* dan 5,8% untuk *head pump*. Analisis ETA menghasilkan probabilitas kebakaran terkendali sebesar 0,3999 dan kebakaran tidak terkendali sebesar 0,0000389. Total biaya implementasi sistem proteksi kebakaran aktif yang direncanakan sebesar Rp244.333.730.

Kata kunci: *Event Tree Analysis, Fire Risk Assessment, Rincian Anggaran Biaya, Sistem Proteksi Kebakaran Aktif, Workshop Fabrikasi.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

FIRE RISK ASSESSMENT, EVALUATION, AND DESIGN OF AN ACTIVE FIRE PROTECTION SYSTEM FOR A FABRICATION WORKSHOP

Maria Belva Alifya Az-zahra

ABSTRACT

Fabrication workshops are exposed to a high risk of fire due to hot work activities, machinery operation, and the presence of combustible materials. The existing active fire protection system consists only of portable fire extinguishers and does not adequately cover all areas. This study aimed to assess fire risk using the Fire Risk Assessment (FRA) method based on NFPA 551 (2022), evaluate and design an active fire protection system in accordance with NFPA standards, determine the probability of controlled and uncontrolled fire scenarios using Event Tree Analysis (ETA), and estimate the installation cost through a Cost Budget Plan (RAB). The results identified one area with an extreme risk level, two high-risk areas, seven medium-risk areas, one low-risk area, and one insignificant-risk area. The evaluation indicated a requirement for 10 portable fire extinguishers. The proposed fire protection system includes 65 heat detectors, 5 smoke detectors, 1 horn strobe, 2 alarm bells, 3 manual call points, and 2 hydrant pillars. The percentage error was 1,33% for head loss and 5,8% for pump head. ETA yielded probabilities of 0.3999 for controlled fire and 0,0000389 for uncontrolled fire. The estimated implementation cost of the proposed active fire protection system is IDR 244.333.730.

Keywords: Active Fire Protection System, Bill of Quantities, Event Tree Analysis, Fire Risk Assessment, Fabrication Workshop.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR TABEL	xxiii
DAFTAR GAMBAR.....	xxv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan.....	7
1.4 Manfaat Penelitian.....	8
1.5 Batasan Masalah	8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Definisi Api	9
2.1.1 Teori Segitiga Api (<i>Fire Triangle</i>)	9
2.1.2 Teori Tetrahedron Api (<i>Fire Tetrahedron</i>).....	10
2.2 Kebakaran.....	11
2.2.1 Klasifikasi Kebakaran.....	11
2.2.2 Klasifikasi Bahaya Hunian	11
2.2.3 Tahap Perkembangan Api/Kebakaran	12
2.2.4 Teknik Pemadaman Api.....	15
2.3 <i>Fire Risk Assessment</i>	16

2.3.1	<i>Metode Fire Risk Assessment</i>	16
2.3.2	<i>Risk Matrix Fire Risk Assessment</i>	19
2.4	Sistem Proteksi Kebakaran	21
2.5	Alat Pemadam Api Ringan	21
2.5.1	Jenis-Jenis APAR.....	22
2.5.2	Klasifikasi Bahaya.....	23
2.5.3	Instalasi APAR untuk Setiap Klasifikasi Bahaya	24
2.6	Detektor.....	26
2.7	Alarm Kebakaran	31
2.8	Hidran	32
2.8.1	Jenis Hidran.....	32
2.8.2	Komponen Hidran	32
2.8.3	Kelas Sistem Pipa Tegak.....	34
2.8.4	<i>Head Loss</i>	35
2.8.5	Daya Pompa	39
2.9	<i>Software Pipe Flow Expert</i>	40
2.10	Persentase Kesalahan	44
2.11	<i>Event Tree Analysis</i>	45
2.11.1	Keunggulan <i>Event Tree Analysis</i> (ETA).....	47
2.11.2	Tahapan <i>Event Tree Analysis</i> (ETA).....	47
2.12	Konsep <i>As Low As Reasonably Practicable</i> (ALARP)	48
2.13	Penyusunan Rencana Anggaran Biaya	50
2.14	<i>Expert Judgment</i>	50
BAB 3 METODE PENELITIAN		53
3.1	Tahap Identifikasi Awal.....	55
3.1.1	Studi Literatur	55

3.1.2	Studi Lapangan	55
3.1.3	Penetapan Rumusan Masalah, Tujuan, Manfaat Penelitian, dan Batasan Penelitian	55
3.2	Tahap Pengumpulan Data.....	56
3.2.1	Data Primer	56
3.2.2	Data Sekunder	56
3.3	Tahap Pengolahan dan Analisis Data	57
3.3.1	<i>Fire Risk Assessment</i>	57
3.3.2	Evaluasi dan Perancangan Sistem Proteksi Kebakaran	57
3.3.3	Perhitungan Manual Hidrolik Sistem Hidran	59
3.3.4	Simulasi <i>Software Pipe Flow Expert</i>	59
3.3.5	Perhitungan Persentase Kesalahan.....	59
3.3.6	Perhitungan Nilai Probabilitas Keandalan Sistem Proteksi Kebakaran Aktif	60
3.3.7	Penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB)	60
3.4	Tahap Penyusunan Kesimpulan dan Saran.....	61
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		63
4.1	Pengumpulan Data.....	63
4.2	<i>Fire Risk Assessment</i>	63
4.3	Evaluasi Alat Pemadam Api Ringan (APAR).....	67
4.3.1	Analisis <i>Checklist</i> Evaluasi APAR.....	69
4.3.2	Analisis Perhitungan Kebutuhan APAR.....	75
4.4	Perancangan Detektor.....	81
4.4.1	Penentuan Jenis Detektor.....	81
4.4.2	Analisis Perhitungan Detektor	82
4.5	Perancangan Alarm.....	88

4.6	Perancangan Hidran	90
4.6.1	Analisis Perhitungan Kebutuhan Pilar Hidran	90
4.6.2	Penempatan Pilar Hidran.....	90
4.6.3	Perhitungan Kebutuhan Air Hidran dan Kapasitas <i>Reservoir</i> ..	92
4.6.4	Penentuan Diameter Pipa Hidran	93
4.6.5	Perhitungan <i>Head Loss</i> pada Jalur Pipa Hidran	93
4.6.6	Perhitungan <i>Head Pump</i> dan Daya Pompa	97
4.6.7	Simulasi <i>Pipe Flow Expert</i> dan Perhitungan Persentase Kesalahan	99
4.7	Perhitungan Nilai Probabilitas Keandalan Perancangan Sistem Proteksi Kebakaran Aktif	101
4.7.1	Probabilitas Keandalan Sistem Proteksi Kebakaran Aktif.....	101
4.7.2	Penyusunan Diagram <i>Event Tree Analysis</i>	104
4.8	Rencana Anggaran Biaya.....	108
4.8.1	Perhitungan Harga Satuan Bahan dan Upah	108
4.8.2	Perhitungan RAB	110
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		113
5.1	Kesimpulan	113
5.2	Saran	114
DAFTAR PUSTAKA		115
LAMPIRAN 1 LAYOUT WORKSHOP FABRIKASI.....		123
LAMPIRAN 2 LAYOUT EXISTING PENEMPATAN APAR PADA WORKSHOP FABRIKASI		127
LAMPIRAN 3 LEMBAR KETERSEDIAAN EXPERT JUDGEMENT		133
LAMPIRAN 4 PENILAIAN FIRE RISK ASSESSMENT		139

LAMPIRAN 5 PENILAIAN <i>EXPERT JUDGMENT</i> TERKAIT EVALUASI APAR.....	147
LAMPIRAN 6 WAWANCARA <i>EXPERT JUDGMENT</i>.....	159
LAMPIRAN 7 <i>LAYOUT</i> EVALUASI APAR	163
LAMPIRAN 8 <i>LAYOUT</i> PELETAKKAN DETEKTOR	167
LAMPIRAN 9 <i>LAYOUT</i> PELETAKKAN ALARM.....	173
LAMPIRAN 10 <i>LAYOUT</i> PELETAKKAN HIDRAN.....	177
LAMPIRAN 11 ISOMETRI SISTEM HIDRAN	181
LAMPIRAN 12 SIMULASI <i>PIPE FLOW EXPERT</i>.....	185
LAMPIRAN 13 SPESIFIKASI POMPA	201
LAMPIRAN 14 ANALISIS HARGA SATUAN PEKERJAAN	207
LAMPIRAN 15 KATALOG HARGA BAHAN DAN MATERIAL	217
LAMPIRAN 16 DOKUMENTASI PENELITIAN	223
BIOGRAFI PENULIS	227

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Kebakaran	11
Tabel 2. 2 Kategori Metode <i>Fire Risk Assessment</i>	17
Tabel 2. 3 <i>Fire Risk Assessment</i> Kualitatif	18
Tabel 2. 4 <i>Risk Matriks</i> Perusahaan	19
Tabel 2. 5 Kategori <i>Risk Matrix</i>	20
Tabel 2. 6 Kategori <i>Probability</i>	20
Tabel 2. 7 Kategori <i>Consequence</i>	20
Tabel 2. 8 <i>Fire Extinguisher Size and Placement for Class A Hazard</i>	25
Tabel 2. 9 <i>Maximum Area in Square Feet to be Potected per Extinguisher</i>	25
Tabel 2. 10 <i>Fire Extinguisher Size and Placement for Class B Hazard</i>	25
Tabel 2. 11 <i>Maximum Travel Distance</i> APAR	26
Tabel 2. 12 Faktor Pengali	31
Tabel 2. 13 Viskositas Air	36
Tabel 2. 14 Nilai Kekasaran Pipa	37
Tabel 2. 15 Nilai K Tiap <i>Fitting</i>	38
Tabel 2. 16 Tahapan <i>Event Tree Analysis</i>	48
Tabel 4. 1 Hasil <i>Fire Risk Assessment</i> pada <i>Workshop</i> Fabrikasi	64
Tabel 4. 2 Urutan Tingkat Risiko Kebakaran Pada <i>Workshop</i> Fabrikasi	67
Tabel 4. 3 <i>Checklist</i> Evaluasi APAR Berdasarkan NFPA 10 Tahun 2022	68
Tabel 4. 4 Penentuan Jenis APAR	70
Tabel 4. 5 Penentuan Ukuran Minimal APAR	72
Tabel 4. 6 Luas Area dan Penentuan <i>Rating</i> APAR	75
Tabel 4. 7 Hasil Evaluasi APAR	80
Tabel 4. 8 Ukuran Pipa Sistem Hidran	93
Tabel 4. 9 Perhitungan <i>Headloss Mayor</i> pada Sistem Hidran	96
Tabel 4. 10 Perhitungan <i>Headloss Minor</i> pada Sistem Hidran	97
Tabel 4. 11 Persentase Kesalahan Perhitungan Sistem Hidran	101
Tabel 4. 12 Probabilitas Keandalan Sistem Proteksi Kebakaran Aktif	103
Tabel 4. 13 Harga Satuan Pemasangan APAR <i>Dry Chemical Powder</i> 6 Kg	109

Tabel 4. 14 Daftar Harga Satuan Pekerjaan	109
Tabel 4. 15 RAB Perancangan Sistem Proteksi Kebakaran Aktif.....	110

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Segitiga Api.....	9
Gambar 2. 2 Api Tetrahedron	10
Gambar 2. 3 Tahap Perkembangan Api	13
Gambar 2. 4 <i>Risk Matrix</i> NFPA 551	19
Gambar 2. 5 Luas Jangkauan APAR.....	24
Gambar 2. 6 Tata Letak Detektor <i>Peaked Ceilings</i>	30
Gambar 2. 7 Tata Letak Detektor <i>Sloped Ceilings</i>	30
Gambar 2. 8 Tampilan <i>Interface Pipe Flow Expert</i>	40
Gambar 2. 9 Tampilan Fitur <i>Pipe Flow Expert</i>	41
Gambar 2. 10 Data Material Pipa.....	42
Gambar 2. 11 Data Ukuran Pipa	43
Gambar 2. 12 Data <i>Fitting</i> Pipa	43
Gambar 2. 13 Tampilan Data Pompa	44
Gambar 2. 14 Konsep Skenario	45
Gambar 2. 15 Konstruksi <i>Event Tree Analysis</i>	46
Gambar 2. 16 Konsep <i>Event Tree Analysis</i>	46
Gambar 2. 17 Kriteria Risiko pada ALARP	49
Gambar 2. 18 Kriteria Risiko ALARP Beserta Nilai Teoritis	49
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	53
Gambar 4. 1 <i>Layout</i> Estimasi Penempatan APAR pada Area <i>Workshop</i>	76
Gambar 4. 2 <i>Layout</i> Rekomendasi Penempatan APAR di Area <i>Workshop</i>	77
Gambar 4. 3 <i>Layout</i> Rekomendasi Penempatan APAR di Area <i>Office</i> 1	78
Gambar 4. 4 <i>Layout</i> Rekomendasi Penempatan APAR di Area <i>Office</i> 2	78
Gambar 4. 5 <i>Layout</i> Rekomendasi Penempatan APAR di Area Parkiran 1 dan Area Parkiran 2	80
Gambar 4. 6 <i>Layout</i> Rekomendasi Penempatan Detektor Asap pada Ruang <i>Office</i> Lantai 1.....	85
Gambar 4. 7 <i>Layout</i> Rekomendasi Penempatan Detektor Asap pada Ruang <i>Office</i> Lantai 2.....	86

Gambar 4. 8 <i>Layout</i> Rekomendasi Penempatan Detektor Panas pada Area <i>Workshop</i>	87
Gambar 4. 9 <i>Layout</i> Rekomendasi Penempatan Titik Panggil Manual pada <i>Workshop</i> Fabrikasi Lantai 1.....	89
Gambar 4. 10 <i>Layout</i> Rekomendasi Penempatan Titik Panggil Manual pada <i>Workshop</i> Fabrikasi Lantai 2.....	89
Gambar 4. 11 <i>Layout</i> Estimasi Penempatan 1 Pilar Hidran pada <i>Workshop</i> Fabrikasi	91
Gambar 4. 12 <i>Layout</i> Rekomendasi Penempatan 2 Pilar Hidran pada <i>Workshop</i> Fabrikasi	91
Gambar 4. 13 Hasil Perhitungan <i>Friction Factor</i> dengan <i>Colebrook Equation</i> ...	95
Gambar 4. 14 Isometri Sistem Hidran	99
Gambar 4. 15 Hasil Nilai <i>Head Loss</i> dan <i>Head Pump</i> pada PFE.....	100
Gambar 4. 16 Diagram ETA.....	105

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri konstruksi saat ini menunjukkan pergeseran menuju metode konstruksi modern dengan manufaktur *offsite* berbasis teknologi prefabrikasi, yang telah ada selama puluhan tahun di industri konstruksi. Prefabrikasi merupakan proses pembangunan di mana seluruh bangunan atau bagian-bagiannya diproduksi terlebih dahulu di fasilitas khusus sebelum dibawa dan dirakit di lokasi proyek (Gunawardena dan Mendis, 2022). Dalam pelaksanaannya, proses tersebut didukung oleh kegiatan fabrikasi yang dilakukan di *workshop* fabrikasi sebagai fasilitas produksi komponen konstruksi. Fabrikasi merupakan salah satu aktivitas dalam suatu perusahaan yang berfokus pada pemenuhan kebutuhan material, dengan tahapan akhir menghasilkan produk jadi yang tersusun dari berbagai komponen material (Aldimiyyathi dkk., 2023).

Fabrikasi juga dapat diartikan sebagai proses pekerjaan yang untuk menghasilkan suatu part, komponen, atau produk. Terdapat berbagai tahapan kerja dalam proses fabrikasi seperti pemotongan (*cutting*), penyambungan (*joining*), penyelesaian akhir (*finishing*), serta proses pendukung lainnya yang umumnya dilakukan di area *workshop* atau lingkungan industri (Rahmatullah dkk., 2022). Dalam proses produksi, material yang paling umum digunakan sebagai bahan baku yaitu pelat, pipa, baja, *stainless steel*, aluminium, dan logam lainnya. Bahan baku tersebut akan diolah oleh mesin-mesin fabrikasi sesuai dengan fungsinya (Julian dkk., 2021).

Dalam proses produksi, pengolahan bahan baku menjadi produk membutuhkan berbagai sumber daya, antara lain yaitu tenaga manusia, mesin-mesin, dan peralatan pendukung lainnya (Maulana dkk., 2024). Beberapa mesin yang digunakan pada *workshop* fabrikasi antara lain mesin *cutting*, mesin *blasting*, mesin *bending*, mesin *welding*, mesin *roll plate*, mesin *milling*, dan mesin bor. Aktivitas produksi di *workshop* fabrikasi seperti *welding* dan *cutting* termasuk pekerjaan panas (*hot work*) yang menghasilkan panas dan percikan api. *National Fire Protection Association* (NFPA) melaporkan bahwa aktivitas *hot work* merupakan salah satu

penyebab utama terjadinya kebakaran pada bangunan industri, sehingga memiliki potensi bahaya kebakaran yang signifikan (Mcgree, 2023).

Menurut *International Labour Organization (2018)*, kebakaran terjadi melalui suatu rangkaian peristiwa yang dimulai dari munculnya api dan dapat berkembang menjadi bencana besar yang menimbulkan korban jiwa. Peristiwa tersebut dipicu oleh terpenuhinya tiga unsur dasar, yaitu adanya material yang mudah terbakar, sumber pemantik api, serta oksigen di udara yang mendukung terjadinya proses pembakaran. Kebakaran menjadi salah satu bencana yang berdampak besar terhadap kehidupan manusia maupun lingkungan kerja, karena selain mengakibatkan kerugian material tetapi juga berpotensi menyebabkan korban jiwa. Pada kawasan pemukiman, gedung, maupun lingkungan industri, kebakaran tetap menjadi ancaman yang perlu diwaspadai (Masriansyah dkk., 2021).

Potensi bahaya kebakaran akibat aktivitas *hot work* juga telah terjadi pada berbagai kasus di Indonesia. Salah satu diantaranya yaitu kebakaran yang terjadi pada bengkel las di Bekasi yang bermula dari ledakan mesin *hot tap* yang menimbulkan percikan api, hingga menyebabkan satu pekerja meninggal dan delapan lainnya terluka (Rachmat, 2025). Peristiwa serupa juga terjadi pada bengkel las di Duren Sawit, Jakarta Timur. Kebakaran ini bermula dari percikan api saat pekerjaan las yang kemudian menyambar ke material mudah terbakar dan menghanguskan bangunan seluas 300 m² (Sandi, 2025). Kedua kejadian tersebut menunjukkan bahwa aktivitas pekerjaan panas memiliki potensi yang tinggi sebagai sumber penyalan kebakaran.

Sebagai salah satu upaya mencegah serta menanggulangi kebakaran, Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja, Bab III Pasal 3, telah menetapkan persyaratan keselamatan kerja ditujukan untuk mencegah, mengurangi, dan memadamkan kebakaran, serta mencegah dan menekan bahaya peledakan. Merujuk pada ketentuan tersebut, Keputusan Menteri Tenaga Kerja No. Kep. 186/Men/1999 Pasal 2 tentang Unit Penanggulangan Kebakaran di Tempat Kerja mewajibkan pengurus atau pengusaha untuk melaksanakan upaya pencegahan, pengurangan, dan pemadaman kebakaran. Kewajiban tersebut mencakup pengendalian setiap bentuk energi, penyediaan sarana deteksi, alarm kebakaran, sarana evakuasi, serta pengendalian penyebaran

asap, panas, dan gas, disertai pembentukan unit penanggulangan kebakaran di tempat kerja. Selain itu, perusahaan juga harus menyelenggarakan latihan dan gladi penanggulangan kebakaran secara berkala serta menyusun buku rencana penanggulangan keadaan darurat kebakaran bagi tempat kerja dengan jumlah tenaga kerja lebih dari 50 orang atau yang memiliki potensi bahaya kebakaran kategori sedang maupun berat.

Keputusan Menteri Tenaga Kerja No. Kep. 186/Men/1999 Tentang Unit Penanggulangan Kebakaran di Tempat Kerja menjadi acuan penting mengenai risiko kebakaran. Dengan demikian, setiap bangunan diwajibkan memiliki sistem proteksi kebakaran yang memadai, baik berupa sistem proteksi aktif maupun pasif, serta dilengkapi dengan perlengkapan dan peralatan penyelamatan yang sesuai (Pasaribu dkk., 2024). Sistem proteksi kebakaran aktif merupakan sistem perlindungan yang berfungsi melalui rangkaian komponen pendeteksi kebakaran, baik yang bersifat manual maupun otomatis. Peralatan yang termasuk dalam sistem proteksi kebakaran aktif antara lain alarm kebakaran, detektor kebakaran, sprinkler, alat pemadam api ringan (APAR), serta hidran. Sementara itu, sistem proteksi kebakaran pasif adalah sistem perlindungan melalui penggunaan material struktural dan konstruksi bangunan, mencakup pemasangan *barrier* atau penghalang, penentuan jarak aman, serta penerapan komponen pelindung tahan api (Faadhil dkk., 2025).

Salah satu upaya mitigasi terhadap bahaya kebakaran diperlukan adanya penilaian risiko kebakaran agar bahaya dan risiko kebakaran tersebut dapat diminimalisir (Sulistyaningtyas dkk., 2024). Dalam upaya mengurangi potensi risiko kebakaran, *workshop* fabrikasi milik perusahaan jasa konstruksi telah melakukan penilaian risiko terhadap setiap jenis pekerjaan melalui pendekatan *Hazard Identification, Risk Assessment, and Determining Control* (HIRADC). Meskipun demikian, HIRADC merupakan metode penilaian risiko yang bersifat umum, sehingga identifikasi dan evaluasi risiko kebakaran belum dilakukan secara khusus dan terfokus. Oleh karena itu, diperlukan metode penilaian risiko kebakaran yang lebih terfokus, seperti *Fire Risk Assessment* (FRA).

Untuk mendukung pengendalian risiko kebakaran secara lebih terstruktur dan terstandar, perusahaan yang menjadi objek dalam penelitian ini telah menerapkan

Integrated Management System (IMS), yaitu sistem yang mengintegrasikan manajemen mutu (ISO 9001), manajemen lingkungan (ISO 14001), serta manajemen keselamatan dan kesehatan kerja (ISO 45001). Selaras dengan penerapan IMS, analisis aspek kebakaran pada penelitian ini mengacu pada standar internasional yang dikeluarkan oleh *National Fire Protection Association* (NFPA), yaitu NFPA 551, NFPA 10, NFPA 14, dan NFPA 72. Penggunaan standar tersebut bertujuan untuk menjamin penilaian risiko kebakaran dan perancangan sistem proteksi kebakaran aktif telah sesuai dengan persyaratan yang berlaku dan mampu meningkatkan efektivitas pengendalian risiko kebakaran pada *workshop* fabrikasi.

Pada penelitian ini mengkaji sebuah fasilitas *workshop* fabrikasi dengan luas 1.686,60 m² sebagai objek studi yang terdiri atas area *workshop*, area parkir, dan area kantor dua lantai. Aktivitas operasional harian di *workshop* melibatkan pekerjaan panas (*hot work*) secara konsisten, sehingga memiliki potensi terjadinya kebakaran. Berdasarkan hasil observasi lapangan, sistem proteksi kebakaran aktif yang tersedia hanya berupa 10 unit Alat Pemadam Api Ringan (APAR), yang terdiri atas 8 unit APAR jenis *dry chemical powder* berkapasitas 6 kg serta 2 unit APAR jenis CO₂ dengan kapasitas masing-masing 5 kg dan 10 kg. Hasil observasi menunjukkan adanya indikasi keterbatasan jangkauan APAR terhadap beberapa area kerja di *workshop* fabrikasi. Namun demikian, penilaian kesesuaian jarak jangkauan APAR secara rinci masih memerlukan evaluasi lebih lanjut dengan mengacu pada ketentuan NFPA 10 Tahun 2022. Selain itu, penggunaan APAR sebagai satu-satunya proteksi kebakaran aktif pada dasarnya hanya efektif untuk menangani kebakaran berskala kecil (Nasution dkk., 2021). Kondisi tersebut tidak sejalan dengan aktivitas di *workshop* fabrikasi yang melibatkan berbagai pekerjaan panas (*hot work*) dengan potensi kebakaran berskala besar. Oleh karena itu, perusahaan perlu melengkapi sistem proteksi kebakaran aktif lainnya, seperti sistem hidran, alarm, dan detektor kebakaran, agar penanganan kebakaran berskala besar dapat dilakukan secara lebih efektif.

Fokus pada penelitian ini terletak pada evaluasi serta perancangan sistem proteksi kebakaran aktif meliputi APAR, hidran, detektor, dan alarm. Tahap awal penelitian dilakukan penilaian risiko kebakaran, menggunakan metode *Fire Risk Assessment* yang mengacu pada NFPA 551 tahun 2022. *Fire Risk Assessment*

(FRA) adalah suatu proses untuk mengidentifikasi risiko terkait kebakaran dengan meninjau skenario kebakaran yang mungkin terjadi. Selain itu, FRA juga mempertimbangkan peluang terjadinya kebakaran serta besarnya konsekuensi yang dapat ditimbulkan (NFPA 551, 2022).

Berdasarkan NFPA 551 edisi 2022, *Fire Risk Assessment* (FRA) memiliki beberapa pendekatan, yaitu metode kualitatif, semi-kuantitatif, kuantitatif, dan metode *cost-benefit risk* yang masing-masing memiliki tujuan, tingkat kompleksitas, serta kebutuhan data yang berbeda. Metode *Fire Risk Assessment* (FRA) kualitatif dipilih dalam penelitian ini berdasarkan kesesuaian antara tujuan analisis, ketersediaan data, serta kompleksitas permasalahan kebakaran yang dikaji. Metode kualitatif memperlakukan kemungkinan (*likelihood*) dan konsekuensi kebakaran secara deskriptif tanpa menggunakan perhitungan numerik, sehingga sesuai untuk studi awal dan evaluasi risiko kebakaran secara menyeluruh, khususnya pada kondisi keterbatasan data probabilistik kebakaran yang spesifik. Selain itu, NFPA 551 secara eksplisit menyatakan bahwa metode kualitatif dapat digunakan apabila tujuan FRA adalah untuk melakukan evaluasi awal atau penyaringan risiko (*screening purposes*). Hal tersebut sejalan dengan tujuan penelitian ini, yaitu mengidentifikasi tingkat risiko kebakaran, kebutuhan sistem proteksi kebakaran tambahan, serta perubahan kategori risiko dari kondisi awal menuju kondisi setelah penerapan mitigasi, tanpa menuntut perhitungan probabilitas kebakaran secara numerik dan rinci.

Hasil penilaian risiko kebakaran yang telah dianalisis menggunakan metode FRA kualitatif yang mengacu pada NFPA 551 menjadi dasar dalam melakukan evaluasi dan perancangan sistem proteksi kebakaran aktif. Sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya, perancangan sistem proteksi kebakaran aktif merupakan hasil utama dari penelitian ini. Selain itu, dilakukan analisis keandalan terhadap sistem proteksi kebakaran aktif yang dirancang untuk menilai efektivitas perancangan. Analisis keandalan tersebut dilakukan menggunakan metode *Event Tree Analysis* (ETA), yaitu metode analisis yang menggambarkan rangkaian kejadian saling eksklusif yang dimulai dari suatu peristiwa awal (*initial event*) dan menentukan nilai probabilitas berdasarkan kondisi keberhasilan atau kegagalan sistem dalam merespons peristiwa tersebut (Abdurrahman dkk, 2025). Melalui

metode *Event Tree Analysis* (ETA), dapat ditentukan nilai probabilitas kondisi kebakaran terkendali maupun tidak terkendali, sehingga memberikan gambaran tingkat efektivitas perancangan sistem proteksi kebakaran aktif yang direncanakan.

Dalam penelitian ini juga mencakup simulasi pada instalasi sistem hidran menggunakan *software Pipe Flow Expert* untuk memastikan apakah rancangan sistem berbasis air sudah sesuai dengan regulasi yang berlaku. Hasil perancangan akan dilakukan penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) mengacu pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 8 Tahun 2023 Tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat agar implementasi perancangan sistem proteksi kebakaran aktif dapat berjalan dengan efektif dan efisien.

Sebagai referensi dalam melakukan penelitian ini, penelitian terdahulu digunakan sebagai acuan dan dasar-dasar dalam melakukan penelitian. Pada penelitian Maulana dkk. (2024), melakukan analisis risiko kebakaran pada gedung perkuliahan dengan menggunakan *Fire Risk Assessment* (FRA) kualitatif, yang bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat risiko kebakaran berdasarkan kondisi *existing* bangunan. Hasil dari *Fire Risk Assessment* tersebut digunakan sebagai acuan dalam melakukan perancangan sistem proteksi kebakaran. Sementara itu penelitian Guanquan dan Jinhui (2012), menggunakan metode *Event Tree Analysis* untuk menganalisis probabilitas berbagai skenario kebakaran. Selain itu, beberapa penelitian pendukung mengombinasikan metode FRA dengan metode lain seperti *Event Tree Analysis* pada penelitian Lisamdite dkk. (2022) dan penyusunan RAB pada penelitian Hamidah dkk. (2023).

Berdasarkan penelitian Maulana dkk. (2024), Guanquan dan Jinhui (2012), Lisamdite dkk. (2022), dan Hamidah dkk. (2023) diketahui bahwa pendekatan metode *Fire Risk Assessment* (FRA), *Event Tree Analysis* (ETA), dan evaluasi sistem proteksi kebakaran aktif telah banyak digunakan. Namun, penelitian yang mengintegrasikan metode FRA kualitatif berdasarkan NFPA 551, analisis probabilitas menggunakan metode ETA, evaluasi dan perancangan sistem proteksi kebakaran aktif, serta penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) dalam satu alur penelitian yang terpadu masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengisi celah tersebut dengan mengombinasikan metode FRA, ETA, dan

RAB dengan harapan dapat memberikan rekomendasi yang tepat dan menjadi acuan bagi perusahaan dalam memperbaiki dan meningkatkan sistem proteksi kebakaran aktif sesuai dengan standar yang berlaku, serta mengurangi risiko dan dampak kebakaran terhadap keselamatan pekerja dan keberlanjutan perusahaan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil penilaian risiko kebakaran pada *workshop* fabrikasi menggunakan metode *Fire Risk Assessment* berdasarkan NFPA 551 tahun 2022?
2. Bagaimana hasil evaluasi dan perancangan sistem proteksi kebakaran aktif pada *workshop* fabrikasi?
3. Bagaimana nilai probabilitas keandalan dari perancangan sistem proteksi kebakaran aktif menggunakan metode *Event Tree Analysis*?
4. Berapa Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk instalasi perancangan sistem proteksi kebakaran aktif pada *workshop* fabrikasi?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis penilaian risiko kebakaran pada *workshop* fabrikasi menggunakan metode *Fire Risk Assessment* berdasarkan NFPA 551 tahun 2022.
2. Mengevaluasi dan merancang sistem proteksi kebakaran aktif pada *workshop* fabrikasi.
3. Menganalisis nilai probabilitas keandalan pada perancangan sistem proteksi kebakaran aktif menggunakan metode *Event Tree Analysis*.
4. Menyusun estimasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk instalasi perancangan sistem proteksi kebakaran aktif pada *workshop* fabrikasi.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi Mahasiswa:

Mahasiswa dapat mengimplementasikan ilmu pengetahuan yang di dapat semasa kuliah mengenai penilaian risiko kebakaran dan sistem perancangan sistem proteksi kebakaran aktif untuk penerapannya secara langsung di lapangan.

2. Bagi Perusahaan:

Hasil dari penelitian dapat dimanfaatkan oleh perusahaan sebagai acuan dalam melakukan perbaikan terhadap sistem proteksi kebakaran aktif yang sudah ada maupun yang akan di pasang, sehingga dapat membantu menurunkan tingkat risiko kebakaran.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan *software Pipe Flow Expert* pada penelitian ini hanya untuk simulasi perancangan sistem hidran.
2. Perancangan sistem hidran pada penelitian ini hanya difokuskan pada kebutuhan pilar hidran dan analisis hidrolis, meliputi perhitungan *head loss* dan *head* pompa, serta tidak mencakup perancangan detail seperti *pipe support*, analisis tegangan pipa (*pipe stress*), dan komponen mekanikal lainnya.
3. Nilai persentase kesalahan perhitungan manual dan simulasi terhadap *head loss* dan *head pump* instalasi hidran dibatasi <10%.
4. Penelitian ini tidak membahas mengenai analisis serta biaya perawatan dan pemeliharaan.
5. Penelitian ini tidak membahas mengenai instalasi listrik dari perancangan sistem proteksi kebakaran.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Api

Dalam berbagai literatur, pengertian api dijelaskan dengan cara yang berbeda-beda. Menurut Furness dan Muckett (2007) api merupakan hasil dari suatu reaksi kimia, khususnya reaksi oksidasi, yang berlangsung dalam suatu rangkaian proses dan menghasilkan panas, cahaya, serta asap sebagai bentuk energi yang dilepaskan. Selain itu, api dapat didefinisikan sebagai hasil dari reaksi kimia oksidasi–reduksi yang bersifat eksotermik, melibatkan oksidator (umumnya oksigen) dan reduktor atau bahan bakar, sehingga menghasilkan energi berupa panas (Seni dkk., 2024).

Beberapa teori telah dikemukakan untuk menjelaskan bagaimana api dapat terbentuk secara lebih sistematis. Di antara teori-teori tersebut, Teori Segitiga Api (*Fire Triangle*) dan Teori Tetrahedron Api (*Fire Tetrahedron*) merupakan dua konsep yang paling dikenal dan paling sering digunakan, yang selanjutnya akan diuraikan secara lebih rinci.

2.1.1 Teori Segitiga Api (*Fire Triangle*)



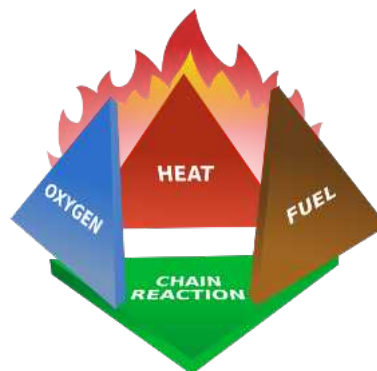
Gambar 2. 1 Segitiga Api
(Sumber: Kelvin dkk., 2015)

Gambar 2.1 merupakan ilustrasi dari teori segitiga api. Menurut NFPA (1992) menjelaskan bahwa segitiga api merupakan suatu proses oksidasi yang terjadi apabila tiga unsur utama, yaitu bahan bakar, oksigen, dan panas, saling berinteraksi. Keberadaan ketiga unsur tersebut dapat menyebabkan

kebakaran yang berisiko menimbulkan kerusakan material, cedera, hingga kematian (Kelvin dkk., 2015). Berdasarkan konsep ini, kebakaran terjadi karena terpenuhinya tiga unsur penyalan api, yaitu:

- a. Bahan bakar (*fuel*). Unsur bahan bakar dapat dibedakan menjadi tiga bentuk, yaitu padat, cair, dan gas. Bahan bakar padat meliputi kayu, kertas, plastik, atau serat, sedangkan bahan bakar cair mencakup bensin, solar, minyak tanah, dan tiner. Adapun bahan bakar gas meliputi gas mudah terbakar seperti hidrogen dan propana.
- b. Sumber panas (*heat*). Pemicu terjadinya kebakaran karena energi panas tersebut mampu menyalakan campuran antara bahan bakar dan oksigen yang terdapat di udara, sehingga memicu timbulnya nyala api.
- c. Oksigen yang terdapat di udara bebas. Tanpa keberadaan oksigen, proses penyalan api tidak dapat berlangsung (Kelvin dkk., 2015).

2.1.2 Teori Tetrahedron Api (*Fire Tetrahedron*)



Gambar 2. 2 Api Tetrahedron

(Sumber: en.wikipedia.org diakses pada 8 Desember 2025)

Gambar 2.2 merupakan ilustrasi teori api tetrahedron. Konsep ini terdiri atas empat unsur utama, yaitu panas, oksidator, bahan bakar, dan reaksi berantai. Panas berperan dalam memulai, mempertahankan, serta memperluas penyebaran api. Oksidator, terutama oksigen yang terdapat di udara, diperlukan untuk mendukung proses pembakaran. Bahan bakar merupakan unsur yang terbakar dan dapat berupa zat padat, cair, maupun gas. Sementara itu, reaksi berantai membuat proses pembakaran terus berlangsung

secara mandiri. Secara sederhana, panas yang dipancarkan oleh api akan memecah bahan bakar menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, kemudian bereaksi dengan oksigen dan menghasilkan panas kembali, sehingga terbentuk siklus pembakaran yang berkelanjutan (Helene dkk., 2019).

2.2 Kebakaran

Menurut SNI 03-3985-2000, kebakaran didefinisikan sebagai suatu peristiwa yang terjadi saat bahan mencapai temperatur kritis dan mengalami reaksi kimia dengan oksigen, yang kemudian menghasilkan panas, nyala api, cahaya, asap, uap air, karbon monoksida, karbon dioksida, dan produk maupun dampak lainnya. Mengacu pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 26/PRT/M/2008, bahaya kebakaran merupakan risiko yang timbul akibat adanya potensi paparan api, mulai dari awal terjadinya kebakaran hingga proses perambatan api, asap, dan gas yang dihasilkan.

2.2.1 Klasifikasi Kebakaran

Menurut *National Fire Protection Association* (NFPA), kebakaran dibedakan menjadi beberapa kategori yang dapat dilihat pada Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2. 1 Klasifikasi Kebakaran

Kelas Kebakaran	Definisi
A	Kebakaran pada bahan yang mudah terbakar, seperti kayu, kain, kertas, karet, dan banyak plastik.
B	Kebakaran dalam cairan yang mudah terbakar seperti kayu,
C	Kebakaran yang melibatkan peralatan dengan energi listrik.
D	Kebakaran pada logam yang mudah terbakar, seperti magnesium, titanium, zirkonium, natrium, litium, dan kalium.
K	Kebakaran pada peralatan memasak yang melibatkan media memasak yang mudah terbakar (minyak sayur dan hewani dan lemak)

Sumber: (NFPA 10, 2022)

2.2.2 Klasifikasi Bahaya Hunian

Penetapan klasifikasi bahaya di lingkungan kerja bertujuan untuk menjadi dasar dalam perencanaan fasilitas penunjang keadaan darurat yang

sesuai dengan potensi bahaya yang ada. Berdasarkan NFPA 10 Tahun 2022, bahaya diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori, yaitu:

a. Bahaya kebakaran ringan (*Light Hazard*)

Hunian dengan tingkat bahaya kebakaran rendah merupakan area yang hanya mengandung atau menyimpan bahan mudah terbakar kelas A dan B dalam jumlah sedikit, sehingga potensi penyebaran api dan pelepasan panas relatif rendah. Umumnya, jumlah bahan mudah terbakar kelas A berada dalam batas normal, dan/atau jumlah bahan mudah terbakar kelas B kurang dari 1 galon atau sekitar 3,8 liter di dalam suatu ruang.

b. Bahaya kebakaran menengah (*Ordinary Hazard*)

Hunian dengan bahaya sedang adalah lokasi yang memiliki jumlah dan tingkat mudah terbakar material Kelas A dan cairan Kelas B dalam kategori sedang. Kebakaran yang terjadi di area ini diperkirakan memiliki tingkat pelepasan panas yang sedang. Umumnya, area ini sesekali menyimpan material Kelas A melebihi perabot standar dan/atau memiliki cairan Kelas B dalam jumlah antara 1 hingga 5 galon (3,8–18,9 liter) di setiap ruangan atau area.

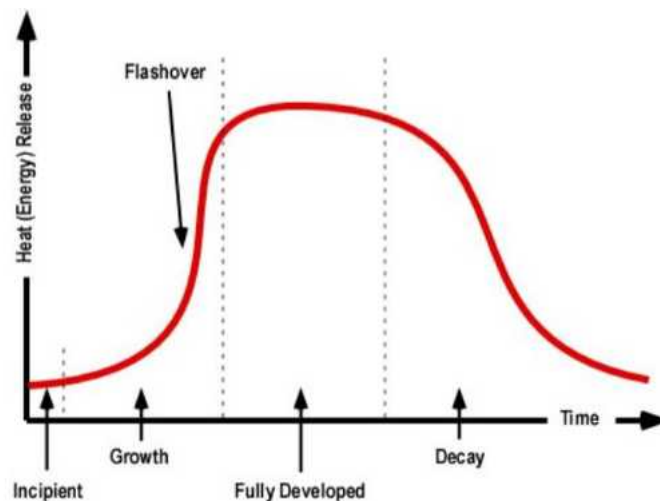
c. Bahaya kebakaran tinggi (*Extra Hazard*)

Hunian dengan bahaya tinggi merupakan lokasi yang mengandung material Kelas A dalam jumlah besar atau cairan mudah terbakar Kelas B dalam jumlah tinggi. Pada area ini, kebakaran berpotensi berkembang dengan cepat dan menghasilkan pelepasan panas yang tinggi. Lokasi ini biasanya melibatkan kegiatan penyimpanan, pengemasan, penanganan, atau proses produksi material Kelas A dan/atau memiliki cairan Kelas B lebih dari 5 galon (18,9 liter) di setiap ruangan atau area.

2.2.3 Tahap Perkembangan Api/Kebakaran

Perkembangan kebakaran terdiri atas empat tahap utama dengan satu tahap peralihan. Tahap awal dikenal sebagai tahap permulaan (*incipient*), kemudian kebakaran memasuki tahap pertumbuhan (*growth*). Selanjutnya terjadi peristiwa *flashover*, yaitu transisi yang berlangsung cepat dari tahap

pertumbuhan menuju tahap pembakaran penuh (*fully developed*). Tahap terakhir memasuki tahap surut (*decay*) ditandai dengan melemahnya intensitas api (Hartin, 2008).



Gambar 2. 3 Tahap Perkembangan Api
(Sumber: Hartin, 2008)

a. Tahap Permulaan (*Incipient*)

Selama tahap awal pembakaran, perkembangan api ditentukan oleh karakteristik bahan bakar serta kadar oksigen di udara. Panas yang dipancarkan memicu pirolisis bahan di sekitarnya dan menaikkan temperatur lingkungan. Peralihan dari tahap permulaan ke tahap pertumbuhan ditandai oleh munculnya lapisan gas panas yang lebih jelas dan meningkatnya ketinggian nyala api.

b. Tahap Pertumbuhan (*Growth*)

Ketika oksigen tersedia dalam jumlah cukup, api akan membakar sisa bahan bakar yang ada, sehingga laju pelepasan panas meningkat. Panas yang dihasilkan dari gumpalan api, gas panas, serta radiasi panas dari api dan partikel panas dalam asap meningkatkan temperatur di seluruh lapisan ruangan dan benda di sekitarnya. Api dapat terus menyebar baik secara langsung maupun melalui penyalaan bahan bakar lain di sekitarnya.

Ketika nyala api mencapai langit-langit ruangan, penyebarannya mulai berlangsung secara horizontal. Produk pirolisis dan hasil

pembakaran yang belum sempurna juga terbakar, mendukung perkembangan api lebih lanjut. Pada tahap pertumbuhan yang lebih lanjut, mekanisme utama penyebaran panas bergeser dari konveksi menjadi radiasi.

c. Tahap *Flashover*

Flashover merupakan transisi yang terjadi secara tiba-tiba dari tahap pertumbuhan menuju tahap pembakaran penuh. Pada saat ini, tipe pembakaran berubah dengan cepat, sehingga seluruh material mudah terbakar di dalam ruangan ikut terbakar. Secara umum, suhu ruangan selama tahap transisi ini mencapai 500–600°C, atau laju transfer panas dari langit-langit ke lantai kompartemen mencapai 15-20 kW/m². Saat *flashover* berlangsung, gas hasil pembakaran terdorong keluar melalui bukaan ruangan dengan kecepatan tinggi.

d. Tahap Pembakaran Penuh (*Fully Developed*)

Tahap ini juga dapat dianggap sebagai fase akhir dari *flashover*, di mana pelepasan energi mencapai tingkat maksimum. Suhu rata-rata pada tahap pembakaran penuh berkisar antara 700–1200°C. Penting untuk diperhatikan bahwa bagian ruangan tempat api pertama kali menyala mungkin mencapai tahap pembakaran penuh lebih dahulu dibandingkan bagian lainnya. Kondisi ini dapat bervariasi, sehingga meskipun sebagian ruangan masih berada pada tahap permulaan, bagian lain mungkin sudah sangat berbahaya bagi keselamatan dan kesehatan manusia.

e. Tahap Surut (*Decay*)

Kebakaran memasuki tahap surut ketika bahan bakar yang tersedia habis atau oksigen terbatas. Sesuai dengan fase *flashover*, bahan bakar yang tidak memiliki energi atau laju pelepasan panas cukup dapat melewati tahap pembakaran penuh. Pada kebakaran berskala besar, tanpa adanya tindakan pengendalian, seluruh struktur yang terbakar bisa habis hingga tahap surut. Selain itu, jika ventilasi ruangan tidak mampu memasok oksigen yang cukup, kebakaran bisa langsung memasuki tahap surut. Laju pelepasan panas menurun seiring berkurangnya oksigen, meskipun suhu masih dapat meningkat sementara. Keadaan ini tetap

berbahaya karena ruangan dapat mengandung panas tinggi, sisa bahan bakar yang terbakar, dan gas mudah terbakar hasil pembakaran.

2.2.4 Teknik Pemadaman Api

Pemadaman api dapat didefinisikan sebagai upaya eliminasi prasyarat terjadinya kebakaran. Penghilangan unsur-unsur tersebut memungkinkan pencegahan atau penghentian nyala api, dan semakin banyak unsur yang dihilangkan, semakin efektif proses pemadaman. Secara prinsip, metode pemadaman api dibedakan menjadi empat kategori, yaitu pendinginan (*cooling*), isolasi (*smothering*), pemutusan pasokan bahan bakar (*starvation*), serta pemutusan rantai reaksi kimia (*interruption of the chemical chain reaction*) (Nylander, 2021).

a. Pendinginan (*cooling*)

Pendinginan adalah metode pemadaman api dengan menghilangkan faktor panas, yaitu dengan menurunkan temperatur hingga api tidak dapat terbakar lagi. Metode yang paling umum digunakan adalah melalui penggunaan media air atau busa (*foam*).

b. Isolasi (*smothering*)

Isolasi adalah metode pemadaman api dengan menurunkan kadar oksigen hingga api tidak dapat terbakar. Secara umum, kebakaran dapat dipadamkan apabila kadar oksigen udara berada pada 12–15%, meskipun api tetap dapat menyala pada kadar oksigen yang rendah. Dengan mengisolasi bahan yang terbakar dari udara sekitar atau sumber oksigen lain, api akan mengonsumsi oksigen yang tersedia hingga tingkat di mana pembakaran tidak lagi mungkin terjadi. Salah satu cara penerapan metode isolasi adalah pelebaman (*inerting*), yaitu penggunaan gas *inert* yang tidak mudah terbakar untuk menurunkan kadar oksigen sehingga api dapat padam.

c. Memisahkan bahan bakar (*starvation*)

Memisahkan bahan bakar adalah metode pemadaman api dengan mengisolasi atau menjauhkan objek yang sedang terbakar atau mudah terbakar. Contohnya, pasokan gas atau cairan mudah terbakar dapat

ditutup atau dipindahkan ke lokasi yang lebih aman, jauh dari sumber api.

- d. Memutus rantai reaksi kimia (*interruption of the chemical chain reaction*)

Memutus rantai reaksi kimia merupakan metode pemadaman api yang cocok untuk kebakaran yang sedang berkobar. Metode ini bekerja secara kimiawi untuk menghentikan reaksi yang mendukung nyala api, sehingga pembakaran dapat dipadamkan.

2.3 Fire Risk Assessment

Berdasarkan NFPA 551 2022 tentang *Guide for the Evaluation of Fire Risk Assessment*, *Fire Risk Assessment* merupakan suatu proses untuk mengidentifikasi dan menilai risiko yang terkait dengan kebakaran, dengan mempertimbangkan skenario kebakaran yang relevan, probabilitas terjadinya, serta potensi konsekuensinya. Pelaksanaan *Fire Risk Assessment* bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat risiko dan menurunkan tingkat risiko yang ada pada gedung atau fasilitas (NFPA, 2022). Selain itu *Fire Risk Assessment* (FRA) bertujuan untuk menilai apakah strategi kebakaran yang ada telah memadai dan proporsional terhadap tingkat risiko kebakaran secara keseluruhan. Selanjutnya FRA digunakan untuk menentukan kebutuhan strategi pengendalian guna menurunkan risiko kebakaran serta memastikan perlindungan terhadap penghuni dan properti dalam perancangan keselamatan kebakaran. (Yaman, 2025).

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa *Fire Risk Assessment* (FRA) merupakan alat penting dalam manajemen keselamatan kebakaran. FRA tidak hanya membantu mengidentifikasi dan menilai risiko, tetapi juga menyediakan dasar bagi perencanaan strategi perlindungan yang efektif bagi penghuni dan properti. Dengan mempertimbangkan berbagai skenario kebakaran dan konsekuensinya, FRA memungkinkan pengambil keputusan untuk mengurangi risiko secara sistematis dan meningkatkan keselamatan pada gedung atau fasilitas.

2.3.1 Metode Fire Risk Assessment

Dalam pelaksanaan FRA menurut NFPA 551, tersedia lima metode yang dapat digunakan, yaitu: kualitatif, semi-kuantitatif berdasarkan kemungkinan

(*likelihood*), semi-kuantitatif berdasarkan konsekuensi, kuantitatif, dan *Cost-benefit Risk*. Metode-metode ini tersusun dari yang paling sederhana hingga paling kompleks, dengan karakteristik dan fokus berbeda, sehingga pemilihan metode harus disesuaikan dengan kebutuhan. Rincian kelima metode dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Kategori Metode *Fire Risk Assessment*

Kategori	Definisi	Jenis Output
Metode Kualitatif	Menggunakan <i>likelihood</i> dan <i>consequences</i> secara kualitatif	Tabulasi hasil dan <i>likelihood</i> relatif dari berbagai skenario kebakaran dan cara pengaruh oleh berbagai macam pilihan perlindungan
Metode Semi-kuantitatif <i>Likelihood</i>	Menggunakan <i>likelihood</i> secara kuantitatif dan <i>consequences</i> secara kualitatif	Penentuan model <i>output</i> kebakaran dengan representasi kualitatif dari <i>likelihood</i>
Metode Semi-kuantitatif <i>Consequence</i>	Menggunakan <i>consequences</i> secara kuantitatif dan <i>likelihood</i> secara kualitatif	Penentuan model <i>output</i> kebakaran dengan representasi kualitatif dari <i>likelihood</i>
Metode Kuantitatif	Menggabungkan perkiraan secara kuantitatif antara <i>likelihood</i> dan <i>consequences</i>	1. Penentuan kerugian; atau 2. Penentuan probabilitas <i>flashover</i>; atau 3. Penentuan probabilitas <i>fatality</i> di ruangan, lantai, bangunan; atau 4. Perencanaan frekuensi versus jumlah <i>fatality</i> 5. Perencanaan frekuensi versus kerugian; atau 6. Penentuan <i>likelihood</i> dari cedera, <i>fatality</i>, kerusakan properti, dan gangguan bisnis; atau 7. Penentuan risiko individu (penghuni bangunan) dan risiko masyarakat (seluruh populasi)
Metode <i>Cost - benefit Risk</i>	Penentuan biaya dari pendekatan alternatif untuk membatasi <i>consequences</i> dan/atau <i>likelihood</i>	8. Penentuan biaya untuk mencapai berbagai tingkat risiko atau penentuan optimasi perlindungan kebakaran dengan cara meminimalkan keseluruhan risiko atau kriteria risiko

Sumber: (NFPA 551, 2022)

Metode *Fire Risk Assessment* yang digunakan pada penelitian ini merupakan metode kualitatif. Pendekatan ini digunakan untuk melakukan penilaian awal secara cepat terhadap potensi risiko kebakaran serta untuk mengkaji berbagai langkah proteksi kebakaran yang perlu diterapkan untuk menurunkan tingkat risiko kebakaran (Cvetkovska dan Mitrevska, 2024).

Berikut merupakan Tabel *Fire Risk Assessment* (FRA) kualitatif yang dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 *Fire Risk Assessment* Kualitatif

No	<i>Fire Hazard</i>	<i>Existing Fire Protection</i>	<i>Inherent Fire Risk</i>			<i>Additional Fire Protection</i>	<i>Residual Fire Risk</i>		
			P	C	R		P	C	R
1.									
2.									
3.									

Sumber: (Yung, 2008)

Tabel 2.3 menyajikan Tabel *Fire Risk Assessment* (FRA) secara kualitatif untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi pada setiap potensi bahaya kebakaran (*fire hazard*) dengan mempertimbangkan sistem perlindungan kebakaran yang telah tersedia (*existing fire protection*). Penilaian risiko dilakukan menggunakan tiga parameter utama, yaitu *probability* (P), *consequence* (C), dan *risk* (R). Tingkat probabilitas menunjukkan peluang terjadinya kebakaran, sedangkan tingkat konsekuensi menggambarkan tingkat keparahan dampak kebakaran terhadap keselamatan jiwa, aset, dan kelangsungan operasional.

Penilaian risiko awal (*inherent fire risk*) dilakukan sebelum penerapan pengendalian tambahan, dengan mengacu pada matriks risiko yang mengombinasikan tingkat probabilitas dan konsekuensi. Hasil penilaian ini menunjukkan tingkat risiko kebakaran yang masih melekat pada suatu aktivitas atau area meskipun telah dilengkapi dengan sistem proteksi kebakaran yang ada. Berdasarkan hasil penilaian risiko awal, ditentukan kebutuhan penerapan *additional fire protection* berupa pengendalian teknis, administratif, maupun prosedural untuk menurunkan tingkat risiko kebakaran. Setelah pengendalian tambahan diterapkan, dilakukan evaluasi ulang untuk memperoleh nilai *residual fire risk*, yang merepresentasikan tingkat risiko kebakaran yang tersisa. Risiko residual ini selanjutnya dibandingkan dengan kriteria risiko untuk memastikan bahwa tingkat risiko kebakaran telah berada pada batas yang dapat diterima (Yung, 2008).

2.3.2 Risk Matrix Fire Risk Assessment

Dalam pelaksanaan *Fire Risk Assessment*, nilai risiko kebakaran dapat ditentukan dari *risk matrix*. Pada Gambar 2.4 menunjukkan bentuk *risk matrix* yang digunakan dalam NFPA 551 edisi 2022. Namun, dalam penelitian ini, penilaian risiko kebakaran dilakukan menggunakan *risk matrix* yang berlaku di perusahaan yang dapat dilihat pada Tabel 2.4, karena setiap perusahaan memiliki kriteria dan standar penilaian risiko yang disesuaikan dengan kebijakan internal serta karakteristik operasionalnya. *Risk matrix* menggunakan perkalian antara *probability* dan *consequence* untuk menentukan tingkat risiko. *Probability* menggambarkan tingkat frekuensi terjadinya suatu peristiwa, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 2.6, sedangkan *consequence* menggambarkan tingkat keparahan dampak suatu kejadian, sebagaimana tercantum pada Tabel 2.7. Melalui penyusunan *risk matrix* perusahaan, risiko tersebut kemudian diklasifikasikan menjadi lima kategori, yaitu *insignificant*, *low*, *medium*, *high*, dan *extreme*.

Frequent				
Probable				
Occasional				
Remote				
Improbable				
	Negligible	Marginal	Critical	Catastrophic

Key (Risk)

Low Moderate High

Gambar 2. 4 Risk Matrix NFPA 551

(Sumber: NFPA 551, 2022)

Tabel 2. 4 Risk Matriks Perusahaan

		TINGKAT RESIKO				
		1	2	3	4	5
KEMUNGKINAN	1	Insignificant	Insignificant	Low	Low	Low
	2	Insignificant	Low	Medium	Medium	High
	3	Low	Medium	Medium	High	High
	4	Low	Medium	High	Extreme	Extreme
	5	Low	High	High	Extreme	Extreme

Sumber: (Dokumen Perusahaan, 2025)

Tabel 2. 5 Kategori *Risk Matrix*

Nilai	Keterangan
<i>Extreme</i>	Stop! Pekerjaan tidak boleh dilanjutkan. Wajib dilakukan rekayasa teknik atau pengendalian penuh. Memerlukan persetujuan manajemen puncak.
<i>High</i>	Mewajibkan adanya izin kerja (<i>permit to work</i>). Pekerjaan hanya boleh dilakukan setelah ada pengendalian tambahan dan verifikasi lapangan oleh supervisor/hse.
<i>Medium</i>	Perlu dikelola dengan Prosedur Kerja (SOP) atau <i>Job Safety Analysis</i> (JSA) yang formal. Memerlukan pengawasan aktif dari Supervisor.
<i>Low</i>	Dapat dikelola dengan prosedur kerja standar dan kesadaran personel. Dianggap sebagai risiko yang dapat diterima (<i>acceptable risk</i>).
<i>Insignificant</i>	Dapat dikelola dengan prosedur kerja standar dan kesadaran personel. Dianggap sebagai risiko yang dapat diterima (<i>acceptable risk</i>).

Sumber: (Dokumen Perusahaan, 2025)

Tabel 2. 6 Kategori *Probability*

Nilai	<i>Probability</i>	Deskripsi
1	<i>Rare/Jarang Sekali</i>	Secara praktis tidak mungkin terjadi.
2	<i>Unlikely/Kecil Kemungkinannya</i>	Jarang terjadi, tapi bukan tidak mungkin.
3	<i>Possible/Mungkin</i>	Dapat terjadi sewaktu-waktu. Terjadi tahunan.
4	<i>Likely/Sering</i>	Diperkirakan akan terjadi di banyak kondisi. Terjadi bulanan.
5	<i>Almost Certain/ Hampir Pasti</i>	Diharapkan terjadi di sebagian besar kondisi. Terjadi harian/mingguan.

Sumber: (Dokumen Perusahaan, 2025)

Tabel 2. 7 Kategori *Consequence*

Nilai	<i>Consequence</i>	Deskripsi
1	<i>Insignificant</i>	Tidak ada cedera atau cedera sangat ringan yang tidak memerlukan P3K
2	<i>Minor</i>	Cedera ringan yang hanya memerlukan P3K (Pertolongan Pertama), tidak ada waktu kerja yang hilang.
3	<i>Moderate</i>	Cedera sedang yang memerlukan perawatan medis dan menyebabkan hilang waktu kerja (1-3 hari).
4	<i>Major</i>	Cedera parah yang menyebabkan cacat permanen atau hilang waktu kerja > 3 hari.
5	<i>Catastrophic</i>	Kematian (<i>Fatality</i>) atau cacat permanen ganda.

Sumber: (Dokumen Perusahaan, 2025)

2.4 Sistem Proteksi Kebakaran

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 26/PRT/M/2008, sistem proteksi kebakaran pada bangunan dan lingkungannya merupakan rangkaian perlengkapan, peralatan, serta sarana yang dipasang atau dibangun pada bangunan. Sistem ini mencakup proteksi aktif, proteksi pasif, serta upaya pengelolaan yang bertujuan untuk melindungi bangunan beserta area sekitarnya dari ancaman kebakaran. Menurut Lestaluhu dan Paskarini (2019), menyebutkan bahwa perusahaan wajib menyediakan sarana dan prasarana proteksi kebakaran serta memastikan kesiapsiagaan seluruh unsur perusahaan, termasuk pekerja, dalam upaya pencegahan dan penanggulangan kebakaran. Sistem proteksi kebakaran berfungsi untuk mendeteksi dan memadamkan api secepat mungkin melalui peralatan yang dapat dioperasikan secara manual maupun otomatis. Sistem proteksi kebakaran menjadi dua, yaitu:

a. Sistem Proteksi Kebakaran Aktif

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 26 Tahun 2008, proteksi kebakaran aktif merupakan sistem perlindungan yang terdiri dari rangkaian perangkat pendeteksi kebakaran, baik yang dioperasikan secara manual maupun yang bekerja otomatis. Sistem ini juga mencakup peralatan pemadam berbasis air, seperti *sprinkler*, pipa tegak, dan selang kebakaran, serta peralatan pemadam yang menggunakan bahan kimia, seperti APAR dan jenis pemadam khusus lainnya.

b. Sistem Proteksi Kebakaran Pasif

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 26 Tahun 2008, proteksi kebakaran pasif adalah sistem perlindungan yang dibangun melalui penggunaan material dan elemen struktural bangunan, penerapan kompartemenisasi atau pemisahan ruang sesuai tingkat ketahanan api, serta pemberian perlindungan pada setiap bukaan bangunan.

2.5 Alat Pemadam Api Ringan

Alat Pemadam Api Ringan (APAR) adalah perangkat portabel yang dapat dioperasikan secara manual atau menggunakan roda, berisi bahan pemadam yang dikeluarkan melalui tekanan untuk memadamkan api (NFPA 10, 2022). Menurut

Yunita dkk. (2023) Alat Pemadam Api Ringan (APAR) merupakan perangkat portabel yang digunakan untuk memadamkan kebakaran pada tahap awal atau kebakaran kecil. Peralatan ini berfungsi menyediakan penanganan cepat dan efektif agar api tidak berkembang menjadi lebih besar dan membahayakan manusia maupun properti. APAR biasanya ditempatkan di berbagai lokasi seperti rumah, perkantoran, pusat perbelanjaan, kendaraan, serta area publik lainnya.

2.5.1 Jenis-Jenis APAR

Berdasarkan NFPA 10 edisi 2022 tentang *Standard for Portable Fire Extinguishers* dijelaskan bahwa jenis-jenis APAR diklasifikasikan berdasarkan media pemadam yang digunakan, yaitu sebagai berikut:

a. Air

APAR jenis air digunakan untuk mengatasi kebakaran Kelas A, yaitu kebakaran yang melibatkan bahan padat non-logam seperti kayu, kertas, karton, plastik, kain, dan material sejenis. APAR air bekerja dengan menurunkan suhu pada sumber kebakaran sehingga panas dalam segitiga api dapat dihilangkan. Namun, jenis APAR ini tidak efektif untuk memadamkan kebakaran Kelas B dan C.

b. Serbuk Kimia Kering (*Dry Chemical Powder*)

APAR jenis *Dry Chemical Powder* (DCP) digunakan untuk memadamkan kebakaran Kelas A, B, dan C karena mampu menghambat panas, memutus suplai oksigen, serta menghentikan proses pembakaran. Namun, serbuk kering yang dihasilkan dapat menimbulkan rasa tidak nyaman pada pernapasan dan mengganggu jarak pandang.

c. Karbondioksida (CO₂)

APAR jenis CO₂ merupakan alat pemadam yang efektif untuk menangani kebakaran Kelas B dan C. Alat ini bekerja dengan menurunkan konsentrasi oksigen di sekitar sumber api sehingga proses pembakaran dapat dihentikan. Namun, penggunaannya tidak dianjurkan di ruang tertutup apabila penghuni tidak dibekali alat pelindung pernapasan, karena penurunan kadar oksigen dapat membahayakan keselamatan.

d. Kimia Basah (*Wet Chemical*)

APAR jenis ini bekerja dengan cara mendinginkan minyak yang terbakar sehingga api tidak mudah menyala kembali serta mencegah penyebaran api akibat percikan. Alat ini sangat sesuai digunakan di area dapur karena efektif menangani kebakaran yang bersumber dari minyak dan lemak. Namun, perlu diingat bahwa APAR kimia basah bersifat konduktif, sehingga sebelum digunakan, seluruh aliran listrik di sekitar area kebakaran harus diputus terlebih dahulu demi keamanan.

2.5.2 Klasifikasi Bahaya

Menurut NFPA 10 edisi 2022 tentang *Standard for Portable Fire Extinguishers*, setiap ruangan atau area wajib diklasifikasikan ke dalam kategori bahaya ringan, bahaya sedang, atau bahaya tinggi. Klasifikasi tersebut dijelaskan sebagai berikut:

a. Bahaya kebakaran ringan (*Light Hazard*)

Hunian dengan tingkat bahaya kebakaran rendah merupakan area yang hanya mengandung atau menyimpan bahan mudah terbakar kelas A dan B dalam jumlah sedikit, sehingga potensi penyebaran api dan pelepasan panas relatif rendah. Umumnya, jumlah bahan mudah terbakar kelas A berada dalam batas normal, dan/atau jumlah bahan mudah terbakar kelas B kurang dari 1 galon atau sekitar 3,8 liter di dalam suatu ruang.

b. Bahaya kebakaran menengah (*Ordinary Hazard*)

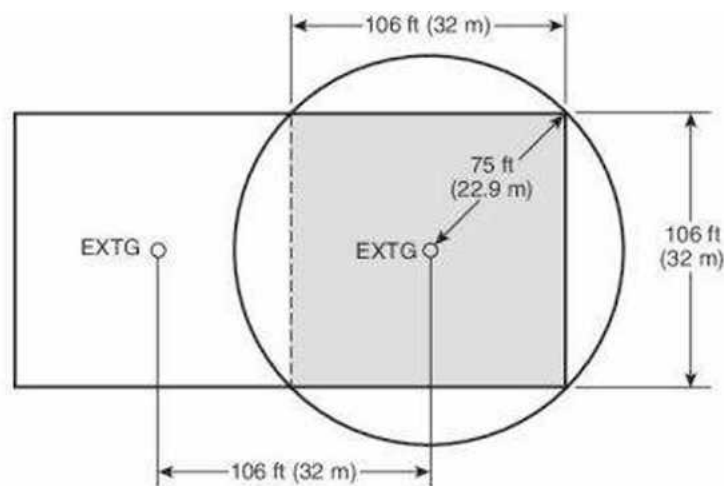
Hunian dengan bahaya sedang adalah lokasi yang memiliki jumlah dan tingkat mudah terbakar material Kelas A dan Kelas B dalam kategori sedang. Kebakaran yang terjadi di area ini diperkirakan memiliki tingkat pelepasan panas yang sedang. Umumnya, area ini sesekali menyimpan material Kelas A melebihi perabot standar dan/atau memiliki cairan Kelas B dalam jumlah antara 1 hingga 5 galon (3,8–18,9 liter) di setiap ruangan atau area.

c. Bahaya kebakaran tinggi (*Extra Hazard*)

Hunian dengan bahaya tinggi merupakan lokasi yang mengandung material Kelas A dalam jumlah besar atau cairan mudah terbakar Kelas B dalam jumlah tinggi. Pada area ini, kebakaran berpotensi berkembang dengan cepat dan menghasilkan pelepasan panas yang tinggi. Lokasi ini biasanya melibatkan kegiatan penyimpanan, pengemasan, penanganan, atau proses produksi material Kelas A dan/atau memiliki cairan Kelas B lebih dari 5 galon (18,9 liter) di setiap ruangan atau area.

2.5.3 Instalasi APAR untuk Setiap Klasifikasi Bahaya

Kebutuhan jumlah APAR menurut NFPA 10 edisi 2022 dapat dihitung dengan membandingkan luas area yang harus dilindungi dengan jangkauan area perlindungan masing-masing APAR. Sebagai contoh dapat dilihat pada Gambar 2.4, ditunjukkan bahwa lingkaran dengan radius 75 ft (22,9 m) menggambarkan area perlindungan APAR kelas A. Di dalam gambar terdapat sebuah persegi yang diarsir, yang merepresentasikan luas maksimum area yang dapat dilindungi, yaitu 11.250 ft² (1.045 m²).



Gambar 2. 5 Luas Jangkauan APAR

Sumber: (NFPA 10, 2022)

Jumlah APAR yang dibutuhkan dapat ditentukan dengan menghitung perbandingan antara luas lantai bangunan dan luas maksimum area perlindungan sesuai dengan klasifikasi bahaya dan jenis pemadam yang dapat

dilihat pada Tabel 2.8, Tabel 2.9, dan Tabel 2.10, sebagaimana dijelaskan pada Persamaan 2.1.

$$\text{Jumlah APAR} = \frac{\text{Luas Area}}{\text{Luas Maximum yang Dilindungi}} \quad (2.1)$$

Tabel 2. 8 Fire Extinguisher Size and Placement for Class A Hazard

Criteria	Light Hazard Occupancy	Ordinary Hazard Occupancy	Extra Hazard Occupancy
Minimum rated single extinguisher	2 – A	2 – A	4 – A
Maximum floor area per unit of A	3000 ft^2	1500 ft^2	1000 ft^2
Maximum floor area for extinguisher	11250 ft^2	11250 ft^2	11250 ft^2
Maximum travel distance to extinguisher	75 ft	75 ft	75 ft

Sumber: (NFPA 10, 2022)

Tabel 2. 9 Maximum Area in Square Feet to be Potected per Extinguisher

Class A Rating Shown on Extinguisher	Light Hazard Occupancy (ft^2)	Ordinary Hazard Occupancy (ft^2)	Extra Hazard Occupancy (ft^2)
1 – A	-	-	-
2 – A	6000	3000	-
3 – A	9000	4500	-
4 – A	11250	6000	4000
6 – A	11250	9000	6000
10 – A	11250	11250	10000
20 – A	11250	11250	11250
30 – A	11250	11250	11250
40 – A	11250	11250	11250

Sumber: (NFPA 10, 2022)

Tabel 2. 10 Fire Extinguisher Size and Placement for Class B Hazard

Type of Hazard	Basic Maximum Extinguisher Rating	Maximum Travel Distance to Extinguisher	
		ft	m
Light	5 – B	30	9,14
	10 – B	50	15.25
Ordinary	10 – B	30	9,14
	20 – B	50	15.25
Extra	40 – B	30	9,14
	80 – B	50	15.25

Sumber: (NFPA 10, 2022)

Penempatan APAR disesuaikan dengan *maximum travel distance* pada masing-masing jenis alat pemadam api berdasarkan kelas kebakaran. *Maximum travel distance* pada masing-masing kelas kebakaran dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2. 11 *Maximum Travel Distance* APAR

Kelas Bahaya	Jarak Tempuh Maksimal	
	ft	m
A	75	22,86
B	50	15,24
C	—*	—*
D	75	22,86
K	30	9,144

* Mengikuti kelas bahaya A dan/atau B

Sumber: (NFPA 10, 2022)

2.6 Detektor

Menurut NFPA 72 2022 detektor merupakan perangkat yang terhubung pada suatu rangkaian dan dilengkapi sensor yang mampu merespons rangsangan fisik, seperti gas, panas, atau asap. Pada instalasi detektor kebakaran, standar tersebut juga menetapkan sejumlah kriteria yang wajib dipenuhi, antara lain sebagai berikut:

- Detektor harus terpasang di seluruh area ruangan.
- Setiap detektor yang dipasang harus dapat diakses dengan mudah untuk kegiatan pemeliharaan dan pengujian berkala.
- Detektor harus dilindungi dari potensi kerusakan akibat gangguan mekanis.
- Kegiatan inspeksi, pengujian, dan pemeliharaan wajib dilaksanakan sesuai ketentuan.
- Catatan hasil seluruh inspeksi, pengujian, dan pemeliharaan harus disimpan oleh pihak berwenang selama minimal lima tahun.

Detektor kebakaran otomatis, diklasifikasikan sesuai dengan jenisnya seperti yang tertera di bawah ini.

- Detektor asap

Detektor asap adalah perangkat yang berfungsi mendeteksi partikel asap, baik yang tampak maupun tidak terlihat, dari suatu peristiwa kebakaran.

Perangkat ini dirancang untuk mengenali keberadaan konsentrasi asap dalam sebuah ruangan. Detektor asap umumnya lebih efektif sebagai pendeteksi awal kebakaran karena memiliki waktu respons yang lebih cepat dibandingkan sprinkler maupun detektor panas. Ketika asap memasuki ruang sensor, terjadi penurunan daya hantar listrik yang kemudian mengirimkan sinyal ke sistem alarm (Lestari dkk., 2021).

b. Detektor panas

Menurut SNI 03-3985-2000, detektor panas (*heat detector*) merupakan alat pendeteksi kebakaran yang bekerja berdasarkan kenaikan suhu hingga mencapai nilai tertentu. Perangkat ini menggunakan rangkaian pneumatik yang secara otomatis merespons panas yang diterimanya. *Heat detector* dikenal sebagai jenis detektor kebakaran yang paling awal dikembangkan. Prinsip kerjanya adalah ketika suhu di area pemasangan melebihi ambang batas yang ditetapkan, detektor akan memicu alarm. Jenis detektor ini umumnya lebih efektif digunakan pada area yang memang berpotensi mengalami peningkatan suhu, seperti ruang generator, ruang boiler, dapur, atau sesuai ketentuan pada spesifikasi detektor (Ruslan dkk., 2021).

c. Detektor nyala api

Flame detector (detektor nyala api) merupakan perangkat pendeteksi yang bekerja berdasarkan radiasi yang dihasilkan oleh kebakaran. Detektor ini merespons ketika menerima sinyal radiasi inframerah atau ultraviolet yang berasal dari nyala api maupun percikan api (Taufiq dan Bangsa, 2023).

d. Detektor gas

Detektor gas adalah alat yang bekerja dengan mengenali peningkatan konsentrasi gas yang muncul akibat kebakaran atau gas berbahaya lainnya. Secara umum, alat ini banyak dipakai di area industri yang rawan terjadi kebocoran gas, seperti pabrik, tambang, dan kilang minyak. Fungsinya adalah mendeteksi keberadaan gas yang berbahaya bagi manusia, misalnya karbon dioksida dan gas yang mudah terbakar. Secara umum, gas detektor mampu mendeteksi tiga hal utama: gas mudah terbakar, gas beracun, dan kondisi berkurangnya kadar oksigen di udara (Taufiq dan Bangsa, 2023).

Pada penelitian ini berfokus menggunakan detektor dengan jenis asap dan panas karena keduanya merupakan jenis detektor yang paling sesuai untuk kondisi objek yang diteliti. Dalam melakukan instalasi detektor, terdapat beberapa ketentuan yang harus dipenuhi. Hal ini sesuai dengan NFPA 72 Tahun 2022 Klausul 17, diantaranya yaitu:

- a. Detektor asap harus dipasang dengan jarak antar unit tidak boleh melebihi 30 ft (9,14 m) dalam ruang terbuka. Sedangkan untuk detektor panas, jarak maksimum yang disarankan yaitu 50 ft (15,24 m).
- b. Pada ruangan dengan bentuk yang tidak beraturan, maka dapat menggunakan radius cakupan dari tiap detektor.
- c. Jika langit-langit memiliki pembatas atau penghalang lebih dari 10% tinggi ruangan, maka area tersebut akan dianggap sebagai ruangan terpisah.

Selain itu, instalasi detektor juga mempertimbangkan jenis langit-langit dan permukaan langit-langit. Jenis langit-langit diklasifikasikan menjadi 4 kategori yaitu:

- a. Langit-langit datar

Langit-langit yang memiliki bentuk datar atau memiliki kemiringan kurang dari 1:8.

- b. Langit-langit miring

Langit-langit yang memiliki kemiringan lebih dari 1:8. Langit-langit miring selanjutnya diklasifikasikan sebagai berikut:

- 1) Tipe kemiringan berpuncak (*sloping peaked type*).

Langit-langit yang miring ke dua arah dari titik tertingginya dan memiliki bentuk melengkung seperti kubah dapat diperlakukan sebagai langit-langit berpuncak. Kemiringannya ditentukan berdasarkan sudut dari garis lengkung (tali busur) yang ditarik dari puncak hingga ke titik terendah langit-langit.

- 2) Tipe kemiringan satu arah (*sloping shed type*).

Langit-langit yang memiliki puncak di salah satu sisi dan menurun miring ke arah sisi yang berlawanan.

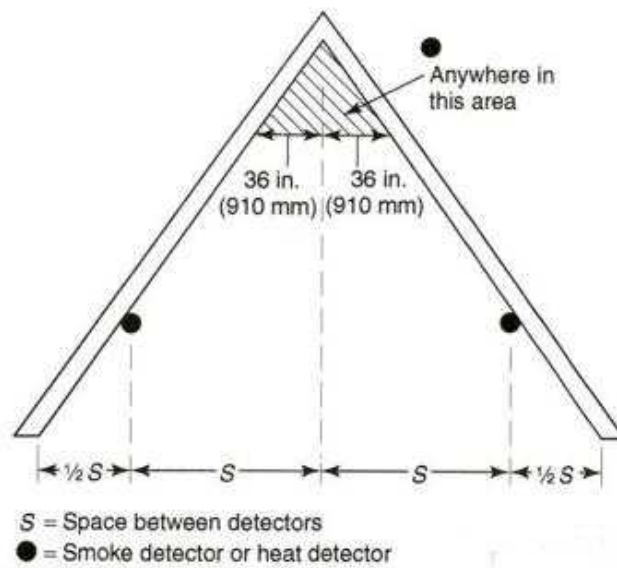
Untuk mengetahui jumlah detektor yang dibutuhkan pada ruangan dapat menggunakan Persamaan 2.2 dan 2.3 berikut:

$$\text{Jumlah detektor memanjang} = \frac{\text{panjang bangunan}}{\text{area jangkauan detektor}} \quad (2.2)$$

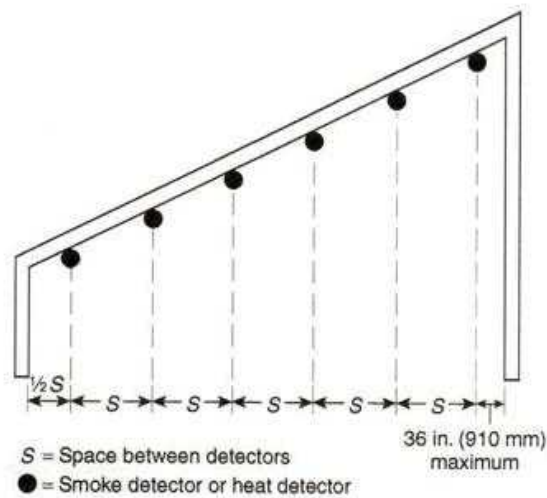
$$\text{Jumlah detektor melintang} = \frac{\text{lebar bangunan}}{\text{area jangkauan detektor}} \quad (2.3)$$

Menurut NFPA 72 (2022) Klausul 17.6.3.3.1.3, apabila terdapat balok yang menonjol lebih dari 4 inci (100 mm) dari permukaan langit-langit, maka jarak pemasangan detektor panas tipe titik yang dipasang tegak lurus terhadap arah balok tidak boleh melebihi dua pertiga dari jarak pemasangan yang terdaftar (*listed spacing*). Sedangkan untuk detektor asap, ketentuan pemasangannya diatur dalam Klausul 17.7, termasuk untuk kondisi langit-langit berbalok dan langit-langit miring. Pada langit-langit dengan balok, detektor asap harus dipasang dengan memperhitungkan obstruksi yang dapat menghambat aliran asap. Apabila balok memiliki kedalaman yang signifikan, maka setiap ruang di antara balok dapat diperlakukan sebagai area terpisah.

Selanjutnya, pada Klausul 17.6.3.4.1.1 menetapkan bahwa untuk langit-langit dengan kemiringan kurang dari 30 derajat, seluruh detektor harus dipasang berdasarkan ketinggian puncak langit-langit sebagai acuan. Sedangkan untuk kemiringan langit-langit 30 derajat atau lebih, semua detektor kecuali yang dipasang tepat di puncak, harus diberi jarak pemasangan berdasarkan ketinggian rata-rata langit-langit miring atau ketinggian puncaknya. Ilustrasi tata letak pemasangan detektor pada langit-langit miring dapat terlihat pada Gambar 2.6 dan Gambar 2.7.



Gambar 2. 6 Tata Letak Detektor *Peaked Ceilings*
(Sumber: NFPA 72, 2022)



Gambar 2. 7 Tata Letak Detektor *Sloped Ceilings*
(Sumber: NFPA 72, 2022)

Berdasarkan Gambar 2.6 dan 2.7 menjelaskan peletakan detektor dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.2 dan 2.3. Kemudian untuk mengetahui jarak maksimum detektor ke dinding menggunakan Persamaan 2.4 sebagai berikut.

$$\text{Jarak maksimum detektor ke dinding} = \frac{1}{2} \times S \quad (2.4)$$

Pada pemasangan detektor panas, apabila langit-langit memiliki ketinggian lebih dari 3 m, maka diperlukan faktor pengali pada setiap S atau jarak antar detektor panas berdasarkan Tabel 2.12.

Tabel 2. 12 Faktor Pengali

<i>Ceiling Height Greater than (>)</i>		<i>Up to and Including</i>		<i>Multiply Listed Spacing by</i>
ft	m	ft	m	
0	0	10	3.0	1.00
10	3.0	12	3.7	0.91
12	3.7	14	4.3	0.84
14	4.3	16	4.9	0.77
16	4.9	18	5.5	0.71
18	5.5	20	6.1	0.64
20	6.1	22	6.7	0.58
22	6.7	24	7.3	0.52
24	7.3	26	7.9	0.46
26	7.9	28	8.5	0.40
28	8.5	30	9.1	0.34

Sumber: (NFPA 72, 2022)

2.7 Alarm Kebakaran

Menurut (NFPA 72, 2022), alarm kebakaran merupakan bagian dari sistem proteksi yang berfungsi memberikan peringatan atau tanda setelah adanya indikasi kebakaran. Alarm kebakaran dapat bekerja secara manual, yaitu dengan menekan tombol pada *manual call point (break glass)*, maupun secara otomatis melalui detektor. Ketika detektor mendeteksi tanda-tanda kebakaran, sistem akan mengirimkan sinyal dan mengaktifkan alarm secara otomatis.

Berdasarkan (NFPA 72, 2022) pemasangan Titik Panggil Manual dijelaskan sebagai berikut:

- Klausul 17.15.6 menyatakan bahwa posisi pemasangan *Manual Call Point* (Titik Panggil Manual/TPM) harus berada pada ketinggian tidak kurang dari 42 inci (1,07 m) dan tidak lebih dari 48 inci (1,22 m) dari permukaan lantai yang sudah selesai.
- Klausul 17.15.9.4 menjelaskan bahwa *Manual Call Point* (Titik Panggil Manual/TPM) harus dipasang minimal 5 ft (1,5 m) dari setiap pintu keluar pada setiap lantai bangunan.

- c. Klausul 17.15.9.5 mengatur bahwa TPM tambahan perlu disediakan agar jarak tempuh horizontal menuju TPM terdekat tidak melebihi 200 ft (61 m) pada tiap lantai.
- d. Klausul 18.4.4.5.1 menyebutkan bahwa sistem alarm yang dirancang untuk mengurangi atau menahan kebisingan lingkungan tetap harus menghasilkan tingkat bunyi sedikitnya 12 dB di atas rata-rata kebisingan lingkungan yang telah direduksi, atau 5 dB di atas tingkat kebisingan tertinggi dengan durasi minimal 60 detik setelah proses reduksi berlangsung.

2.8 Hidran

2.8.1 Jenis Hidran

Menurut NFPA 14 (2024), hidran merupakan peralatan yang dilengkapi selang dan *nozzle* untuk menyalurkan air bertekanan sebagai media pemadaman kebakaran. Secara umum, hidran dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

- a. Hidran Kering

Hidran kering adalah sistem instalasi hidran yang pipa-pipanya tidak berisi air meskipun sudah terhubung dengan sumber air. Air baru akan mengalir dan mengisi sistem tersebut ketika hidran akan dipakai untuk pemadaman.

- b. Hidran Basah

Hidran basah adalah sistem instalasi hidran yang selalu terisi air. Karena air sudah tersedia di dalam pipa setiap saat, hidran dapat langsung menyemburkan air saat katupnya dibuka.

2.8.2 Komponen Hidran

Instalasi hidran memiliki berbagai komponen pendukung yang memastikan sistem dapat berfungsi dengan baik dan efektif saat pemadaman. Adapun komponen-komponen yang terdapat dalam sistem hidran antara lain:

a. Kotak Hidran

Kotak hidran berfungsi untuk menyimpan perlengkapan sistem hidran, seperti *nozzle*, selang, dan keran, agar terlindungi dari cuaca maupun kondisi lain yang bisa merusak fungsi atau kualitasnya.

b. Pilar Hidran

Pilar hidran merupakan komponen pada instalasi pipa hidran yang tersambung dengan pompa air. Berdasarkan NFPA 14 Tahun 2020, jumlah pilar hidran dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.5, sedangkan jangkauan radius cakupan hidran dihitung menggunakan Persamaan 2.6.

$$\text{Jumlah pilar hidran} = \frac{\text{Luas area}}{\text{Luas jangkauan hidran}} \quad (2.5)$$

$$\text{Luas radius jangkauan hidran} = \pi \times r^2 \quad (2.6)$$

c. *Nozzle*

Nozzle merupakan bagian ujung dari instalasi hidran yang berfungsi mengarahkan dan menyemburkan air dari selang ke titik pemadaman. *Nozzle* pada sistem hidran umumnya terdiri dari tiga jenis, yaitu:

1) *Nozzle Jet Fix*

Jenis *nozzle* ini menghasilkan semburan air yang lurus sehingga cocok digunakan untuk menjangkau area yang berada pada posisi tinggi atau jarak yang cukup jauh dari petugas pemadam.

2) *Nozzle Spray*

Jenis *nozzle* ini digunakan untuk memadamkan kebakaran pada jarak dekat dan efektif untuk area kebakaran yang memiliki cakupan lebih luas.

3) *Nozzle kombinasi*

Jenis *nozzle* ini merupakan kombinasi antara tipe *jet* dan *spray*. Penggunaannya dapat disesuaikan untuk memilih semburan lurus atau menyebar, tergantung jenis kebakaran dan kebutuhan saat proses pemadaman.

d. Selang Hidran

Selang pada instalasi hidran berfungsi menyalurkan air dan dibuat fleksibel agar mudah digunakan. Beberapa kualifikasi yang harus dipenuhi selang hidran meliputi:

- 1) Terbuat dari bahan kanvas, karet, atau polyester, disesuaikan dengan kebutuhan area perlindungan.
- 2) Dilengkapi dengan kopling dan *nozzle* yang memenuhi standar.
- 3) Memiliki panjang minimal 100 *ft* (30,5 m) dengan diameter 1,5 inci (40 mm).

e. Pompa Hidran

Pompa hidran digunakan untuk memompa air dari sumber air. Adapun jenis pompa yang dapat digunakan dalam sistem hidran adalah:

1) *Electric Pump*

Pompa ini berfungsi mengalirkan air dari reservoir ke jaringan hidran. Pompa bekerja dengan menghasilkan tekanan air yang tinggi dan memerlukan suplai listrik untuk dapat beroperasi.

2) *Diesel Pump*

Pompa ini berfungsi sebagai cadangan bagi *electric pump* dan akan bekerja ketika pasokan listrik untuk *electric pump* berkurang atau terputus.

3) *Jockey Pump*

Pompa ini berfungsi sebagai pompa pendukung yang umumnya berbentuk vertikal. Pompa ini berfungsi untuk menjaga atau menstabilkan tekanan air di dalam pipa serta *pressure tank*.

2.8.3 Kelas Sistem Pipa Tegak

Berdasarkan NFPA 14 edisi 2024, terdapat klasifikasi kelas sistem pipa tegak atau hidran yang terbagi menjadi:

a. Kelas I

Sistem harus menyediakan *hose connection* berdiameter 2½ inci (63,5 mm) sebagai suplai air bagi petugas pemadam kebakaran dan

personel terlatih. Kelas ini diperuntukkan bagi penanganan kebakaran besar yang membutuhkan pemadaman secara menyeluruh.

b. Kelas II

Sistem harus menyediakan *hose connection* berdiameter 1½ inci (40 mm) untuk menyalurkan air yang dapat digunakan oleh penghuni gedung atau petugas pemadam kebakaran dalam upaya penanganan awal.

c. Kelas III

Sistem hidran harus menyediakan dua macam *hose connection*: diameter 1½ inci untuk penghuni gedung (untuk pemadaman awal), dan diameter 2½ inci untuk petugas pemadam kebakaran atau orang terlatih yang menangani kebakaran berat.

Menurut NFPA 14 Tahun 2024, suplai air yang dibutuhkan dari setiap hidran adalah 380 liter per menit selama 30 menit. Perhitungan total suplai air untuk hidran dilakukan menggunakan Persamaan 2.7.

$$V_{\text{Kebutuhan Air}} = Q \times T \quad (2.7)$$

Keterangan :

$V_{\text{Kebutuhan Air}}$ = volume air (m³)

Q = Laju aliran minimum (m³/s)

T = Waktu

2.8.4 Head Loss

Head loss terbagi menjadi dua jenis, yaitu *head loss mayor* dan *head loss minor*. *Total head loss* merupakan keseluruhan kerugian tekanan yang mencakup kerugian akibat gesekan di pipa lurus, serta kerugian dari belokan, katup, dan komponen lainnya.

a. *Head Loss Mayor*

Head loss mayor merupakan kerugian tekanan akibat gesekan di dalam pipa, yang dipengaruhi oleh panjang dan diameter pipa. Berdasarkan *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (2016), perhitungan *head loss mayor* menggunakan persamaan Darcy–Weisbach, yang ditunjukkan pada Persamaan 2.8 berikut.

$$H_{\text{mayor}} = f \frac{Lv^2}{D2g} \quad (2.8)$$

Keterangan:

H_1 = *Head loss mayor* (m)

f = Faktor gesekan

L_e = Panjang pipa (m)

v = Kecepatan (m/s)

D = Diameter dalam pipa (m)

g = Percepatan gravitasi ($9,80665 \text{ m/s}^2$)

Perhitungan untuk mengetahui nilai kecepatan aliran (v) dapat dilihat pada Persamaan 2.9.

$$v = \frac{Q}{A} \quad (2.9)$$

Keterangan:

Q = Debit air (liter/detik)

A = Luas Penampang (m^2)

Langkah berikutnya dalam menentukan *head loss mayor* adalah menghitung bilangan Reynolds dan kekasaran relatif untuk memperoleh nilai faktor gesekan (*friction number*). Persamaan untuk bilangan Reynolds ditampilkan pada Persamaan 2.10.

$$\text{Re} = \frac{vD}{\mu} \quad (2.10)$$

Keterangan:

Re = Bilangan Reynold

v = Kecepatan aliran pada pipa (m/s)

D = Diameter pipa (m)

μ = Viskositas kinematik zat cair (m^2/s), dapat dilihat pada Tabel 2.13.

Tabel 2. 13 Viskositas Air

Temperatur (°C)	Kecepatan (kg/l)	Viskositas Kinematik ($10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)	Tekanan Uap Jenuh (kgf/cm ³)
5	1	1,520	0,00889
10	0,9998	1,307	0,01251
20	0,9983	1,002	0,02382
30	0,9957	0,801	0,4325
40	0,9923	0,658	0,7520

Sumber: (Pritchard, 2011)

Bilangan Reynolds juga digunakan untuk mengidentifikasi jenis aliran fluida dalam pipa, dengan ketentuan sebagai berikut:

- $Re \leq 2300$ menunjukkan aliran laminar, yaitu ketika partikel fluida bergerak dengan arah dan kecepatan seragam.
- Re sekitar 2300 menunjukkan aliran transisi.
- $Re \geq 2300$ menunjukkan aliran turbulen, yaitu ketika fluida bergerak acak dengan arah yang berubah-ubah.

Setelah memperoleh nilai Reynolds, tahap berikutnya adalah menghitung *friction factor* (f) menggunakan Persamaan 2.11.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (2.11)$$

Keterangan:

f = *Friction factor*

Re = Bilangan Reynold

ε = Kekasaran pipa

D = Diameter dalam pipa (m)

Nilai kekasaran pipa (ε) yang diperlukan dalam Persamaan 2.11 ditentukan berdasarkan jenis pipa yang digunakan. Penentuan nilai ini dapat dilakukan dengan mengacu pada Tabel 2.14.

Tabel 2. 14 Nilai Kekasaran Pipa

Jenis Pipa	Tingkat Kekasaran	
	<i>Feet</i>	mm
<i>Riveted steel</i>	0003 – 0,03	0,9 – 9,0
<i>Concrete</i>	0,001 – 0,001	0,3 – 3,0
<i>Wood stave</i>	0,0006 – 0,003	0,18 – 0,9
<i>Cast iron</i>	0,00085	0,25
<i>Galvanized iron</i>	0,0005	0,15
<i>Asphalted cast iron</i>	0,0004	0,12
<i>Commercial steel or wroth iron</i>	0,00015	0,046
<i>Drawn tubing</i>	0,000005	0,0015

Sumber: (Hurley, 2016)

b. *Head Loss Minor*

Head loss minor adalah kerugian tekanan yang muncul akibat adanya siku, sambungan, belokan, serta komponen lain dalam sistem perpipaan. Perhitungan *head loss minor* dapat dilakukan menggunakan Persamaan 2.12.

$$H_{\text{minor}} = K \frac{v^2}{2g} \quad (2.12)$$

Keterangan:

K = Nilai *factor* K

V = Kecepatan aliran dalam pipa (m/s)

g = Percepatan gravitasi (9,80665 m/s²)

Nilai faktor K yang diperlukan untuk perhitungan *fitting* seperti belokan, siku, sambungan, katup, dan aksesoris lainnya dapat dilihat pada Tabel 2.15.

Tabel 2. 15 Nilai K Tiap *Fitting*

Tipe <i>Fitting</i>	Nilai K
<i>Pipe Entry Sharp</i>	0,50
<i>Standard Bend</i>	0,36
<i>Long Bend</i>	0,19
<i>Pipe Bend</i>	0,17
<i>Elbow 45°</i>	0,19
<i>Return Bend</i>	0,60
<i>Mitre Bend 45°</i>	0,18
<i>Mitre Bend 90°</i>	0,72
<i>Gate Valve</i>	0,10
<i>Globe Valve</i>	4,10
<i>Globe Valve Angled</i>	1,80
<i>Globe Valve Straightway</i>	0,22
<i>Butterfly Valve</i>	0,30
<i>Ball Valve Full Bore</i>	0,030
<i>Lift Check Valve</i>	7,20
<i>Lift Check Valve Angled</i>	0,66
<i>Swing Check Valve</i>	1,20
<i>Tilting Disk Check</i>	0,72
<i>Wafer Check Valve</i>	1,2
<i>Foot Valve with Strainer</i>	5
<i>Hinged Foot Valve with Strainer</i>	0,90
<i>Strainer</i>	1
<i>Through Tee</i>	0,28
<i>Branch Tee</i>	0,72

Sumber: (Daxesoft Ltd, 2016)

Setelah mendapat nilai *head loss mayor* dan *head loss minor*, maka selanjutnya akan melakukan perhitungan *head loss total* menggunakan Persamaan 2.13.

$$H_L = H_{\text{mayor}} + H_{\text{minor}} \quad (2.13)$$

Keterangan:

H_L = *Headloss total* (m)

H_{mayor} = *Headloss mayor* (m)

H_{minor} = *Headloss minor* (m)

2.8.5 Daya Pompa

Daya pompa dapat ditentukan dengan cara menghitung *head pump* menggunakan Hukum Bernoulli. Persamaan Hukum Bernoulli dapat menggunakan Persamaan 2.15 dan Persamaan 2.16.

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + H_1 + H_p = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + H_2 + H_L \quad (2.14)$$

$$H_p = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (H_2 - H_1) + H_L \quad (2.15)$$

Keterangan:

P_1 = Tekanan pada pipa *inlet* (Pa)

ρ = Massa jenis fluida (air = 998 kg/m³)

g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

v_1 = Kecepatan aliran dalam pipa *inlet* (m/s)

H_1 = Tinggi permukaan air (m)

H_p = *Head pump* (m)

H_L = *Head loss total* (m)

P_2 = Tekanan pipa *outlet* (Pa)

H_2 = Tinggi pipa *outlet* (m)

Setelah nilai *head pump* ditemukan, selanjutnya mencari nilai besar daya pompa yang dibutuhkan dengan menggunakan Persamaan 2.16.

$$W_{\text{pump}} = Q \times H_p \times \rho \times g \quad (2.16)$$

Keterangan:

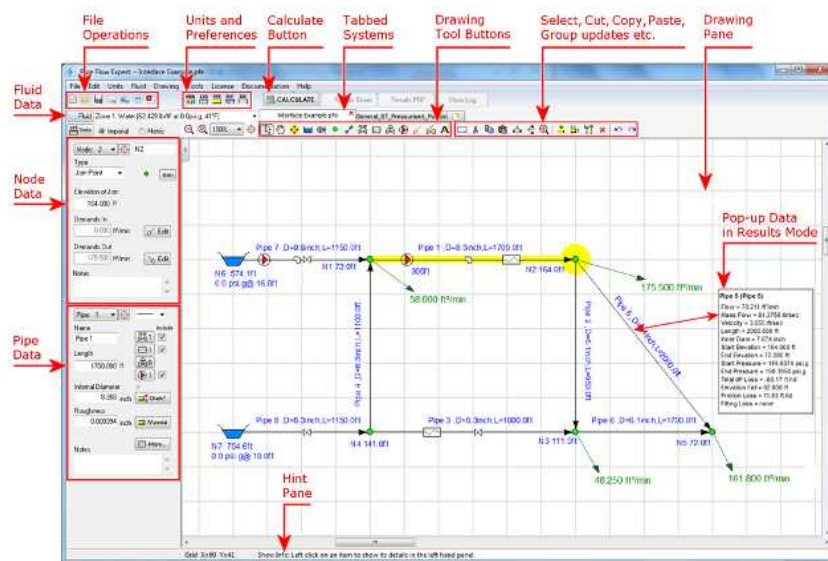
W_{pump} = Daya pompa (watt)

Q = Debit air (m³/s)

ρ = Massa jenis fluida (air = 998 kg/m³)
 g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s)
 H_p = Head pump (m)

2.9 Software Pipe Flow Expert

Pipe Flow Expert (PFE) adalah aplikasi simulasi yang digunakan untuk menganalisis dan menyelesaikan berbagai persoalan terkait aliran fluida dalam sistem perpipaan. Program ini dirancang untuk membantu perhitungan hidrolis, seperti menentukan laju aliran, kehilangan tekanan, serta kebutuhan pompa dalam suatu jaringan pipa. Dengan PFE, pengguna dapat menggambar sistem perpipaan dan menilai kinerja alirannya dengan lebih mudah. Perangkat lunak ini juga menghitung kondisi aliran dan tekanan yang stabil di seluruh sistem. Gambar 2.8 menunjukkan tampilan *interface* dari program *Pipe Flow Expert* (Daxesoft Ltd, 2016).



Gambar 2. 8 Tampilan *Interface Pipe Flow Expert*
 (Sumber: Daxesoft Ltd, 2016)

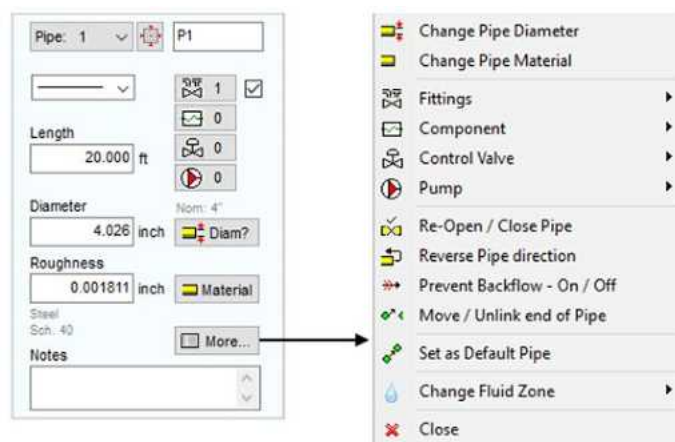
Pada *software Pipe Flow Expert*, pengguna dapat melakukan perhitungan terkait kestabilan aliran dan kondisi tekanan dalam suatu sistem perpipaan. Program ini juga mampu digunakan untuk menggambar jaringan pipa serta menganalisis berbagai karakteristik sistem saat aliran berlangsung. *Output* analisis yang dapat dihasilkan oleh *Pipe Flow Expert* meliputi:

- a. Laju aliran pada setiap pipa
- b. Kecepatan fluida setiap pipa
- c. Bilangan Reynold
- d. Faktor gesekan
- e. Kerugian (*losses*) tekanan pada gesekan
- f. Kerugian (*losses*) tekanan pada *fitting*
- g. Kerugian (*losses*) tekanan pada komponen
- h. Tekanan di setiap node
- i. Nilai-nilai HGL (*hydraulic grade line*)
- j. Titik operasi pompa
- k. NPSHa pada *inlet* pompa

Selain itu, *Pipe Flow Expert* juga menyediakan berbagai fitur pendukung untuk menganalisis dan mengoptimalkan sistem perpipaan, antara lain:

- a. Fitur pipa

Salah satu *toolbar* pada *software* ini adalah *pipe pane* beserta *sub-menu* pipa. *Toolbar* tersebut menampilkan berbagai karakteristik pipa yang dimasukkan oleh pengguna untuk setiap pipa yang terlihat pada *interface*. Di dalam *toolbar* ini tersedia pilihan untuk mengatur aksesoris, jenis material, panjang dan diameter pipa, pompa, serta karakteristik lain yang terkait dengan peralatan maupun pipa yang digunakan. Tampilan *toolbar* pada *Pipe Flow Expert* dapat dilihat pada Gambar 2.9 berikut.

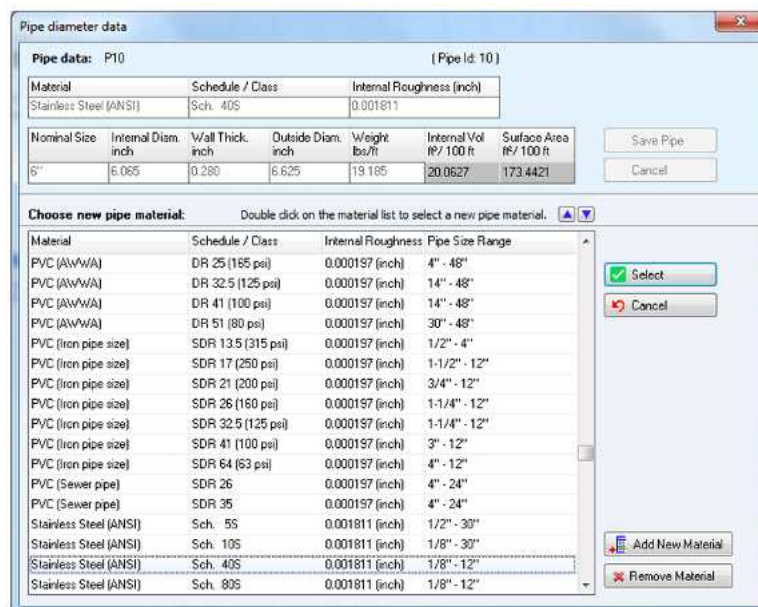


Gambar 2. 9 Tampilan Fitur *Pipe Flow Expert*

(Sumber: Daxesoft Ltd, 2016)

b. Data material pipa

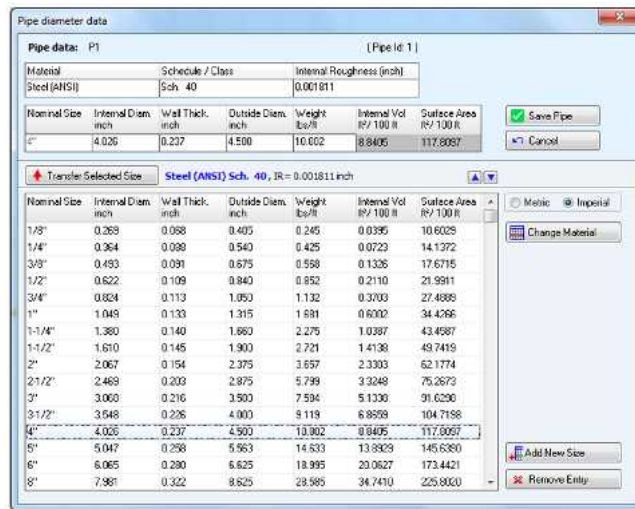
Salah satu fitur dalam *software* ini yang juga menjadi bagian dari karakteristik pipa adalah data material pipa. Informasi ini perlu ditentukan saat merencanakan sistem jaringan perpipaan. Setiap jenis material memiliki nilai koefisien kekasaran yang berbeda, yang akan memengaruhi hasil perhitungan *head loss*. *Pipe Flow Expert* telah menyediakan daftar material pipa beserta nilai koefisien kekasarannya. Pemilihan material pipa harus disesuaikan dengan kebutuhan sistem. Tampilan data material pipa pada *Pipe Flow Expert* dapat dilihat pada Gambar 2.10 berikut.



Gambar 2. 10 Data Material Pipa
(Sumber: Daxesoft Ltd, 2016)

c. Data ukuran pipa

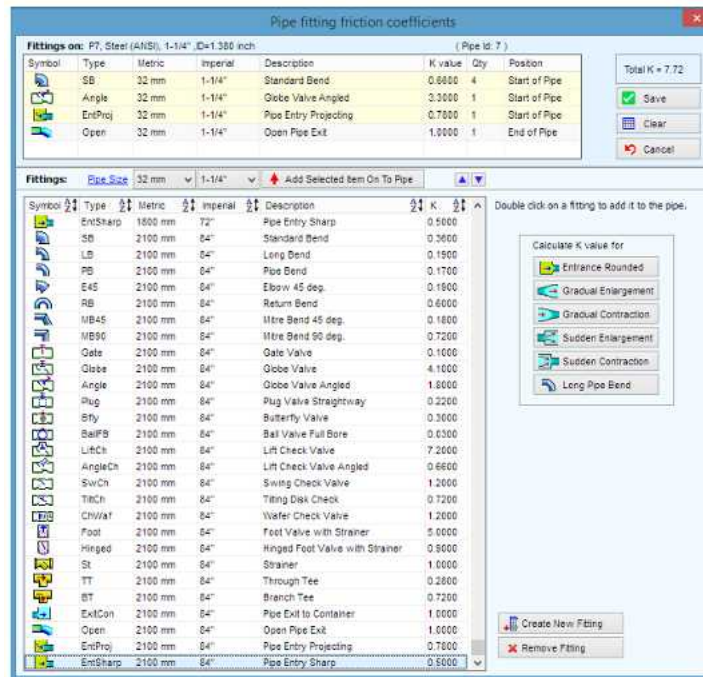
Software Pipe Flow Expert juga menyediakan data ukuran diameter pipa. Dengan fitur tersebut, pemilihan diameter pipa dalam perencanaan jaringan perpipaan menjadi lebih mudah dan akurat. Setiap ukuran diameter juga dilengkapi dengan informasi ketebalan internal yang berpengaruh pada perhitungan headloss. Tampilan data ukuran pipa pada *Pipe Flow Expert* dapat dilihat pada Gambar 2.11 berikut.



Gambar 2. 11 Data Ukuran Pipa
(Sumber: Daxesoft Ltd, 2016)

d. *Fitting* pipa

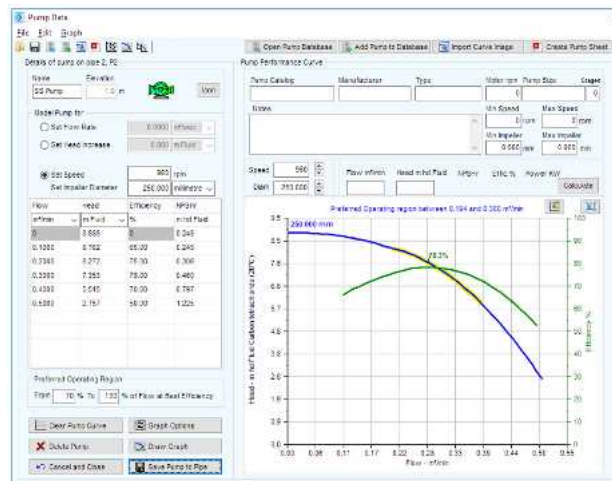
Untuk membantu perancangan sistem perpipaan, *software* ini juga menyediakan fitur pemilihan *fitting* pipa. Jika data *fitting* yang dibutuhkan tidak tersedia, pengguna dapat menambahkan jenis *fitting* baru sesuai kebutuhan. Tampilan data *fitting* pipa pada *Pipe Flow Expert* dapat dilihat pada Gambar 2.12 berikut.



Gambar 2. 12 Data *Fitting* Pipa
(Sumber: Daxesoft Ltd, 2016)

e. Data pompa

Pada tampilan ini menunjukkan data pompa yang digunakan dalam suatu jaringan perpipaan. Informasi pompa yang tersedia pada fitur ini mencakup jenis pompa, kapasitas aliran, efisiensi, serta grafik karakteristik pompa. Data tersebut ditampilkan berdasarkan performa pompa, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.13 berikut.



Gambar 2. 13 Tampilan Data Pompa
(Sumber: Daxesoft Ltd, 2016)

2.10 Persentase Kesalahan

Menurut Scuro (2005), akurasi hasil suatu eksperimen dapat ditunjukkan melalui perhitungan persentase kesalahan (*percentage error*). Apabila hasil suatu metode dibandingkan dengan hasil metode lain yang dijadikan sebagai acuan pembanding, maka tingkat kesesuaiannya dapat dinyatakan melalui persentase kesalahan berdasarkan rasio selisih kedua hasil perhitungan. Persentase kesalahan dihitung menggunakan Persamaan 2.17 berikut.

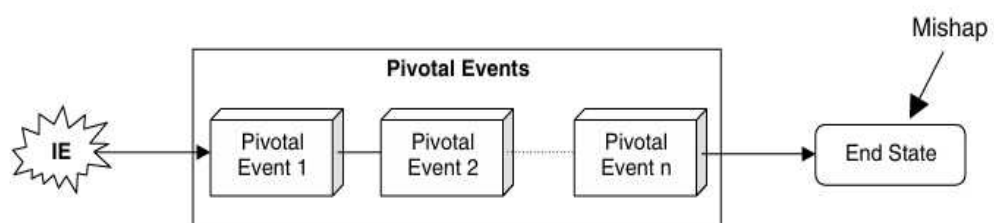
$$Error (\%) = \sum \frac{|Nilai eksperimen - Nilai teoritis|}{Nilai teoritis} \times 100\% \quad (2.17)$$

Nilai persentase kesalahan dipengaruhi oleh tingkat presisi metode maupun instrumen yang digunakan, termasuk perangkat lunak dalam proses simulasi. Oleh karena itu, besarnya persentase kesalahan yang dapat diterima tidak bersifat mutlak, melainkan bergantung pada karakteristik penelitian yang dilakukan. Pada beberapa kasus, persentase kesalahan sebesar 5–10% masih dapat diterima (Scuro, 2005).

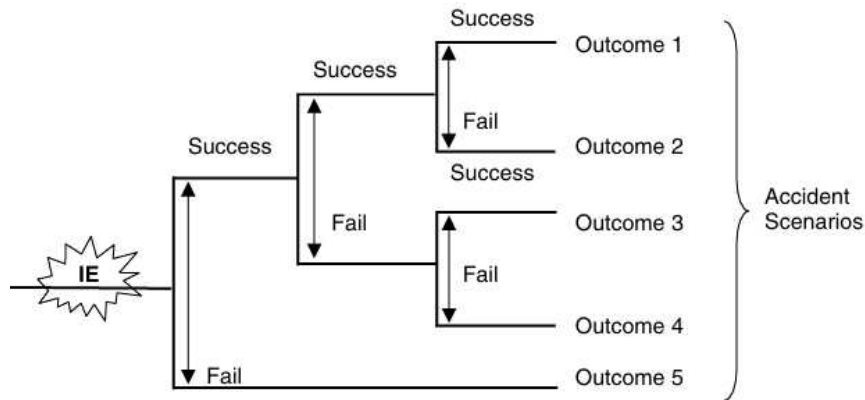
2.11 Event Tree Analysis

Event Tree Analysis (ETA) adalah suatu teknik analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi rangkaian kejadian dalam suatu skenario kecelakaan potensial yang berkembang setelah terjadinya suatu peristiwa pemicu (*initiating event*). Metode ini menunjukkan berbagai kemungkinan hasil dari satu peristiwa awal dan memungkinkan penentuan probabilitas untuk masing-masing hasil. (Ericson, 2005). Menurut Abdurrahman dkk. (2025), *Event Tree Analysis* (ETA) merupakan metode analisis yang menggambarkan rangkaian kejadian yang saling terpisah yang dimulai dari sebuah peristiwa awal (*initial event*), dengan mempertimbangkan keberhasilan atau kegagalan sistem dalam merespons peristiwa tersebut.

Pada ETA terdapat *Initiating Event* yang merupakan kegagalan atau peristiwa yang tidak diinginkan yang memulai awal dari urutan kecelakaan. IE dapat mengakibatkan kecelakaan, tergantung pada keberhasilan operasi metode pengendalian bahaya yang dirancang dalam sistem (Ericson, 2005). *Pivotal Event* (PE) adalah peristiwa yang dapat memperburuk atau memperbaiki jalannya skenario kegagalan sistem. Skenario kegagalan atau kecelakaan terdiri dari IE dan beberapa PE yang mengarahkan pada keadaan akhir, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.16. Konsep skenario kecelakaan dan penyusunan *Event Tree Analysis* (ETA) dapat dilihat pada Gambar 2.14 dan 2.15.

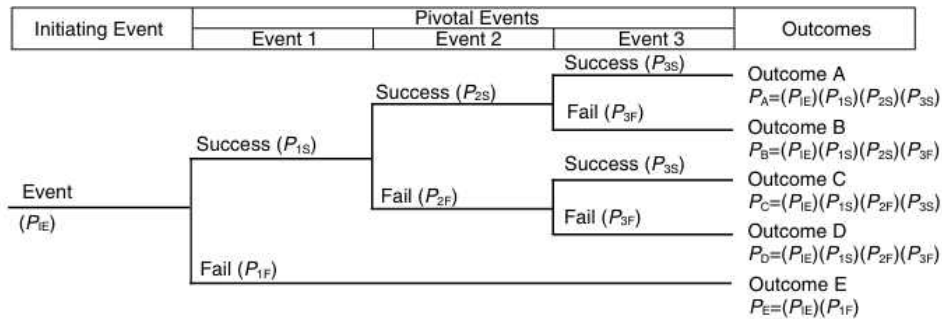


Gambar 2. 14 Konsep Skenario
(Sumber: Ericson, 2005)



Gambar 2. 15 Konstruksi Event Tree Analysis

(Sumber: Ericson, 2005)



Gambar 2. 16 Konsep Event Tree Analysis

(Sumber: Ericson, 2005)

Setelah menentukan probabilitas tiap skenario menggunakan *Event Tree Analysis* (ETA), langkah berikutnya adalah menghitung nilai *reliability* (keandalan) dan probabilitas kegagalan (*unreliability*) pada setiap cabang dalam struktur ETA. Nilai keandalan untuk setiap *pivotal event* dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.18.

$$Q = 1 - R$$

$$Q = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2.18)$$

Keterangan:

R = *Reliability* atau keandalan

Q = *Unreliability* atau kemungkinan kegagalan

λ = *Failure rate* atau laju kegagalan tiap satuan waktu

t = waktu (jam)

Selanjutnya, dapat dihitung probabilitas keberhasilan dan kegagalan peralatan atau komponen yang muncul akibat interaksi antar komponen pada setiap

cabang ETA sehingga diperoleh probabilitas total dari suatu komponen. Nilai probabilitas dapat diperoleh menggunakan Persamaan 2.19.

$$P = IE + R \text{ atau } Q$$

Keterangan:

P = Probabilitas total skenario

IE = Probabilitas *initiating event*

R = *Reliability* atau keandalan

Q = *Unreliability* atau kemungkinan kegagalan

2.11.1 Keunggulan *Event Tree Analysis* (ETA)

Berdasarkan buku *Hazard Analysis Techniques for System Safety* oleh Ericson (2005), terdapat beberapa keunggulan pada metode *Event Tree Analysis* (ETA) sebagai berikut:

- a. ETA merupakan metode yang terstruktur, teliti, dan mudah dipahami karena menggunakan dua jenis cabang, yaitu *yes* atau *no*.
- b. Model ETA bersifat visual sehingga mampu menunjukkan hubungan sebab akibat atau pengaruh antar kejadian.
- c. ETA dapat diterapkan secara efektif pada berbagai tingkat detail desain suatu sistem (misalnya gambar fasilitas).
- d. ETA mampu memberikan hasil kuantitatif yang jelas dalam bentuk frekuensi akhir, sehingga hasil analisis dapat diimplementasikan dan dikembangkan lebih lanjut.
- e. ETA juga menjadi langkah awal dalam melakukan analisis risiko kuantitatif, dengan frekuensi sebagai keluaran akhir berdasarkan tingkat risiko yang dinilai.

2.11.2 Tahapan *Event Tree Analysis* (ETA)

Berikut merupakan tahapan dalam *Event Tree Analysis* (ETA), termasuk penjelasan mengenai *design safety features* dalam urutan peristiwa mulai dari *initiating event* hingga menghasilkan berbagai *possible outcomes* (Ericson, 2005), seperti ditunjukkan pada Tabel 2.17.

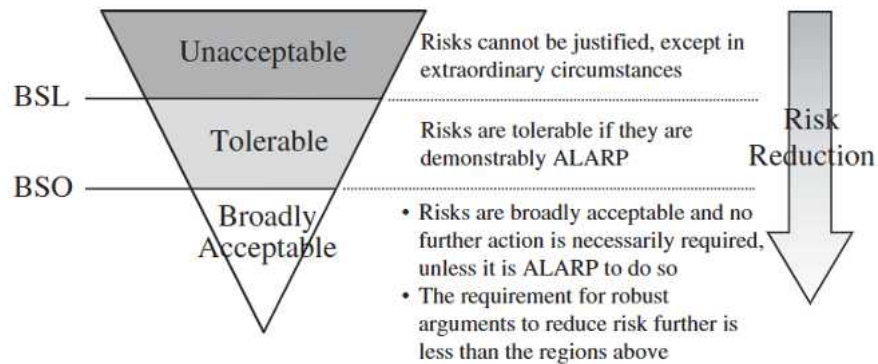
Tabel 2. 16 Tahapan *Event Tree Analysis*

No	Langkah-Langkah	Uraian
1	<i>Define the system</i>	Melakukan pemeriksaan terhadap sistem untuk menentukan batas sistem, subsistem, serta <i>interface</i> .
2	<i>Identify the accident scenario</i>	Melakukan penilaian sistem dan analisis bahaya guna mengetahui potensi bahaya serta skenario kecelakaan yang dapat terjadi dalam sistem.
3	<i>Identify initiating event</i>	Menentukan kejadian awal (<i>initiating event</i>) dalam skenario kecelakaan. IE dapat berupa peristiwa seperti kebakaran, ledakan, atau pelepasan bahan berbahaya.
4	<i>Identify pivotal event</i>	Mengidentifikasi <i>barrier</i> dan langkah mitigasi yang berkaitan dengan skenario, yang bertujuan mengurangi kemungkinan terjadinya kecelakaan.
5	<i>Build event tree diagram</i>	Menyusun <i>event tree</i> diagram yang dimulai dari IE, kemudian diikuti <i>pivotal event</i> , hingga menghasilkan berbagai kemungkinan akhir (<i>possible outcomes</i>) pada tiap cabang.
6	<i>Obtain the failure event probabilitas</i>	Mengumpulkan dan menghitung probabilitas kegagalan dari setiap <i>pivotal event</i> dalam <i>diagram event tree</i> .
7	<i>Identify the outcome risk</i>	Menentukan tingkat risiko dari setiap kemungkinan kegagalan yang muncul dalam diagram <i>event tree</i> .
8	<i>Evaluate the outcome risk</i>	Menilai tingkat risiko pada setiap cabang dan menentukan apakah risiko tersebut masih dapat diterima atau perlu tindakan lebih lanjut.
9	<i>Recommended corrective action</i>	Apabila risiko dinilai tidak dapat diterima, maka perlu disusun strategi atau desain pengendalian untuk mengurangi atau mengubah risiko tersebut.
10	<i>Documented FTA</i>	Mencatat dan menyimpan seluruh tahapan ETA dalam bentuk <i>event tree diagram</i> .

Sumber: (Ericson, 2005)

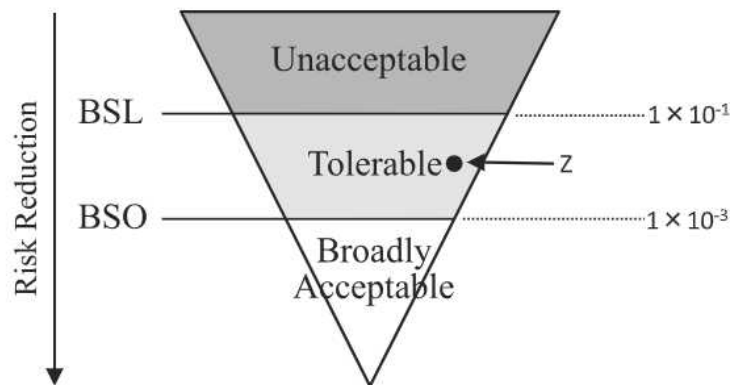
2.12 Konsep *As Low As Reasonably Practicable* (ALARP)

Metode *As Low As Reasonably Practicable* (ALARP) adalah pendekatan yang digunakan untuk menggambarkan tingkat risiko dari suatu peristiwa. Penerapan prinsip ALARP memberikan beberapa keuntungan, karena metode ini bersifat fleksibel dan menyediakan kerangka penilaian yang terstruktur. Dalam praktiknya, penilaian risiko pada ALARP biasanya ditampilkan dalam diagram berbentuk segitiga terbalik (Hurst dkk., 2019). Konsep ALARP diterapkan sebagai pedoman untuk menjelaskan tingkat risiko suatu pekerjaan, sekaligus menekankan upaya pengurangan risiko melalui penerapan berbagai bentuk mitigasi yang dibutuhkan (Marfiana dkk., 2019). Prinsip ALARP digambarkan menggunakan ilustrasi segitiga terbalik yang menunjukkan peningkatan tingkat risiko secara bertahap, mulai dari risiko rendah hingga risiko tinggi. Ilustrasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.17 dan 2.18.



Gambar 2. 17 Kriteria Risiko pada ALARP

(Sumber: Hurst dkk., 2019)



Gambar 2. 18 Kriteria Risiko ALARP Beserta Nilai Teoritis

(Sumber: Hurst dkk., 2019)

Berikut merupakan tiga kategori risiko dalam konsep ALARP (Agustin dkk., 2024):

- Wilayah 1: Risiko tidak dapat diterima (*Intolerable*)

Risiko pada wilayah ini memiliki nilai lebih dari 10^{-3} sehingga dikategorikan sangat tinggi. Risiko tersebut tidak dapat ditoleransi, dan tindakan pengurangan risiko wajib dilakukan tanpa mempertimbangkan biaya.

- Wilayah 2: Risiko dapat ditoleransi jika ALARP (*Tolerable if ALARP*)

Risiko pada wilayah ini berada pada rentang 10^{-4} hingga 10^{-6} . Risiko masih dapat diterima jika langkah pengurangan risiko atau penerapan prinsip ALARP dilakukan sejauh memungkinkan secara wajar. Pengurangan risiko tambahan tidak perlu dilakukan apabila sudah tidak realistis atau biaya yang diperlukan tidak sebanding dengan manfaatnya. Tingkat pembuktian ALARP harus sebanding dengan besar risiko.

c. Wilayah 3: Risiko dapat diterima secara luas (*Broadly Acceptable*)

Risiko pada wilayah ini bernilai kurang dari 10^{-6} . Risiko tetap harus dipantau untuk memastikan berada pada level tersebut. Jika memungkinkan, upaya pengurangan risiko tetap dapat dilakukan. Pada prinsipnya, ALARP tetap berlaku di wilayah ini, dengan pembuktian yang umumnya cukup melalui kepatuhan terhadap standar, kode, dan praktik baik yang telah ditetapkan.

2.13 Penyusunan Rencana Anggaran Biaya

Penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) merupakan langkah yang harus dilakukan sebelum pelaksanaan proyek dimulai. RAB adalah perhitungan total biaya yang diperlukan, baik untuk tenaga kerja maupun material dalam pekerjaan konstruksi. Daftar tersebut mencantumkan volume pekerjaan, harga satuan, serta total biaya dari berbagai jenis material dan upah tenaga kerja yang diperlukan selama pelaksanaan proyek (Nugroho dkk., 2010).

Penyusunan RAB dalam proyek konstruksi di Indonesia mengacu pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 8 Tahun 2023 tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi. Dalam regulasi ini, estimasi biaya konstruksi disusun menggunakan metode Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) yaitu perhitungan kebutuhan biaya tenaga kerja, bahan, dan peralatan untuk mendapatkan harga satuan untuk satu jenis pekerjaan tertentu. Metode AHSP memberikan dasar perhitungan yang lebih akurat dan dapat dipertanggungjawabkan, karena memperhitungkan faktor produktivitas, kondisi lapangan, lokasi pekerjaan, material, dan metode pelaksanaan.

2.14 Expert Judgment

Expert judgment menjadi penting dalam proses pengambilan keputusan, khususnya ketika informasi yang diperoleh dari data dan alat pemodelan belum mampu menyediakan informasi yang memadai bagi pengambil keputusan untuk merumuskan dan melaksanakan kebijakan yang efektif ataupun menentukan langkah manajerial yang tepat (Colson dan Cooke, 2018). Menurut Skjong dan Wentworth (2001), *expert judgment* merujuk pada pendapat yang disampaikan oleh seorang ahli berdasarkan kompetensi, pelatihan, dan pengalaman yang dimilikinya. Seorang ahli dapat memberikan beragam bentuk kontribusi, seperti informasi,

bukti, penilaian, maupun analisis. Identifikasi para ahli merupakan tahap yang sangat penting dalam proses penilaian berbasis keahlian. *Expert judgment* ini berfungsi untuk melengkapi kekurangan informasi sehingga keputusan yang diambil dapat lebih terarah dan dapat dipertanggungjawabkan. Adapun kriteria yang digunakan dalam memilih *expert judgment* meliputi:

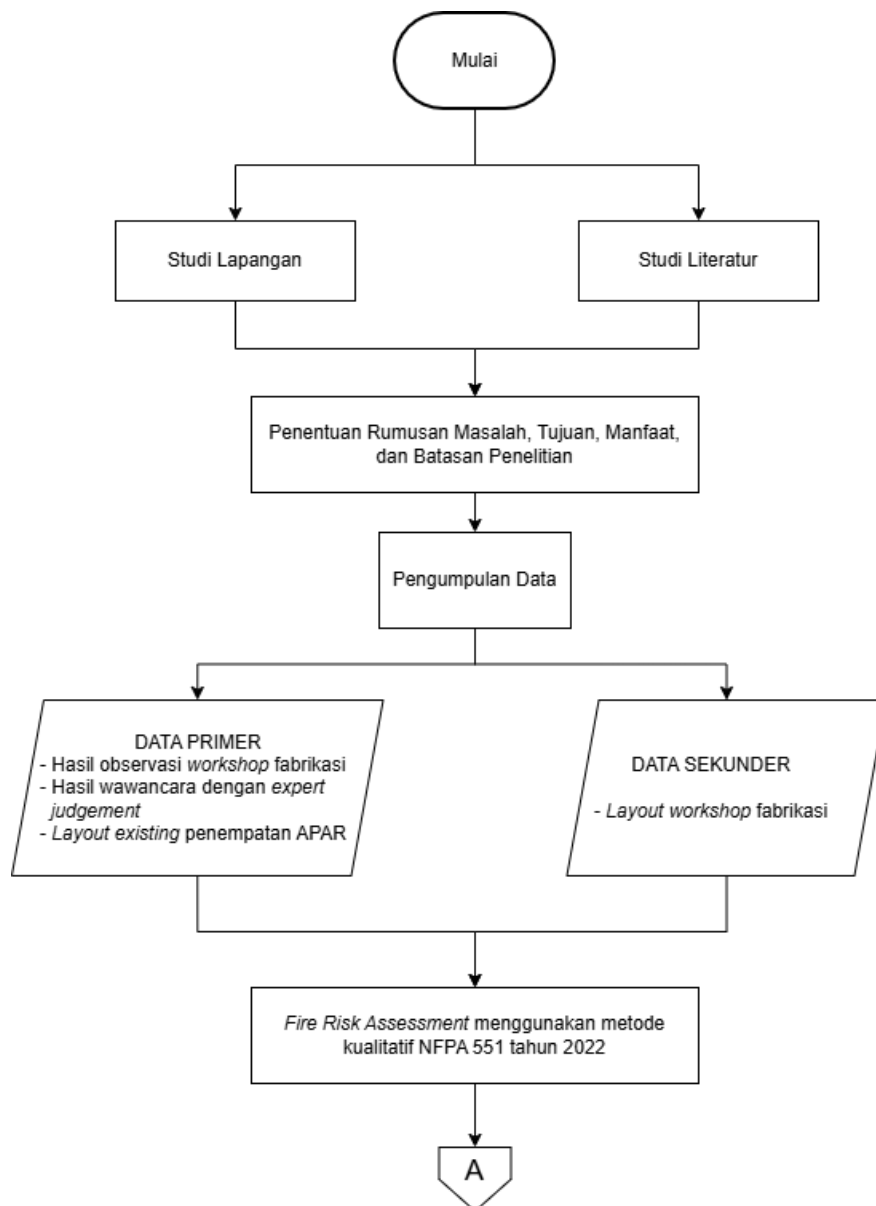
- a. Memiliki pengalaman dalam melakukan penilaian dan pengambilan keputusan, yang dibuktikan melalui kualifikasi keahlian seperti gelar, hasil penelitian, publikasi, jabatan, rekam pengalaman, penghargaan, dan sebagainya.
- b. Memiliki reputasi yang baik di lingkungan profesinya.
- c. Tersedia dan bersedia memberikan partisipasi dalam proses penilaian.
- d. Bersikap objektif serta memiliki kualitas pribadi yang mendukung, seperti kepercayaan diri dan kemampuan menyesuaikan diri.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

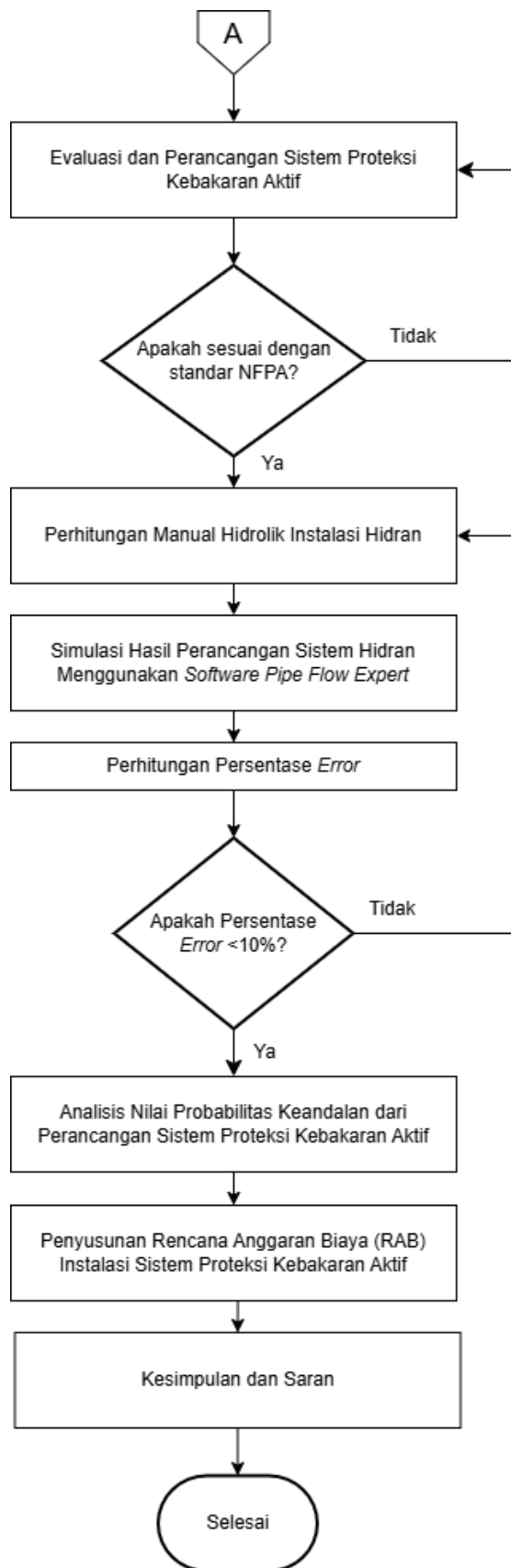
BAB 3

METODE PENELITIAN

Metode penelitian merupakan tahap awal untuk menjelaskan langkah langkah urutan pengerjaan suatu penelitian, sehingga dapat menghasilkan penelitian yang terarah, terstruktur, dan sistematis. Gambar 3.1 menggambarkan diagram alir dari penelitian yang dilakukan.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

3.1 Tahap Identifikasi Awal

Tahap identifikasi awal adalah langkah dalam pelaksanaan penelitian dimana dalam identifikasi awal meliputi studi literatur, studi lapangan, perumusan masalah, penetapan tujuan, manfaat, dan batasan penelitian. Berikut ini adalah rincian dari tahap identifikasi awal pada penelitian ini:

3.1.1 Studi Literatur

Studi literatur dalam penelitian ini diperoleh dari berbagai sumber yang relevan, antara lain buku, jurnal ilmiah, dan referensi pendukung lainnya. Studi literatur yang digunakan meliputi:

- a. Studi mengenai *Fire risk Assessment* berdasarkan NFPA 551 tahun 2022.
- b. Regulasi mengenai penanggulangan kebakaran dan sistem proteksi kebakaran.
- c. Studi mengenai metode *Event Tree Analysis*.
- d. Studi mengenai *software Pipe Flow Expert*.
- e. Studi mengenai Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP).

3.1.2 Studi Lapangan

Studi lapangan dilaksanakan untuk memperoleh gambaran kondisi aktual *workshop* fabrikasi, mengidentifikasi potensi kebakaran, serta mengevaluasi kecukupan sistem proteksi kebakaran yang diterapkan. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi dan wawancara dengan pihak terkait guna memperoleh informasi mengenai kondisi lokasi, potensi bahaya kebakaran, dan sistem proteksi kebakaran yang digunakan sebagai dasar analisis penelitian.

3.1.3 Penetapan Rumusan Masalah, Tujuan, Manfaat Penelitian, dan Batasan Penelitian

Tahapan ini mencakup perumusan masalah yang disusun berdasarkan hasil identifikasi awal terhadap kondisi dan permasalahan yang ditemukan di lapangan. Selanjutnya, dilakukan penetapan tujuan penelitian yang akan dicapai serta perumusan manfaat penelitian bagi pihak terkait, baik bagi perusahaan maupun bagi mahasiswa. Selain itu, pada tahapan ini juga

ditentukan batasan masalah guna memastikan pelaksanaan penelitian tetap terarah, sistematis, dan sesuai dengan fokus kajian yang telah ditetapkan.

3.2 Tahap Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data adalah tahapan dimana peneliti mengumpulkan data yang dibutuhkan untuk tugas akhir baik data primer ataupun data sekunder.

3.2.1 Data Primer

Data primer didapatkan dengan melakukan wawancara serta diskusi dengan para *expert judgment*. *Expert judgment* berfungsi untuk melengkapi kekurangan informasi sehingga keputusan yang diambil dapat lebih terarah dan dapat dipertanggungjawabkan. Jumlah minimum *expert judgment* yang diperlukan untuk validasi adalah tiga orang (Roebianto dkk., 2023). Menggunakan kurang dari tiga *expert judgment* dianggap berisiko karena kesepakatan antara hanya dua ahli bisa terjadi secara kebetulan dan mungkin tidak cukup untuk mengidentifikasi semua kelemahan dalam instrumen penelitian.

Pada penelitian ini, menggunakan 3 *expert judgment* yaitu HSE Supervisor, HSE Engineer, dan Fabrikasi Engineer. *Expert judgment* tersebut dipilih berdasarkan pengalaman kerja dan keterlibatan langsung dalam operasional *workshop* fabrikasi, dengan pengalaman kerja lima tahun pada bidang masing-masing. Wawancara dilakukan untuk mengetahui aktivitas yang berpotensi menyebabkan kebakaran dan data kondisi *existing* proteksi kebakaran pada *workshop* fabrikasi.

3.2.2 Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari literatur dan referensi yang relevan serta data pendukung yang berasal dari perusahaan. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini berupa data *layout workshop* fabrikasi yang diperoleh dari pihak terkait.

3.3 Tahap Pengolahan dan Analisis Data

Pada tahapan pengolahan dan analisis data akan dilakukan berbagai tahap untuk mendapatkan hasil berupa evaluasi sistem proteksi kebakaran aktif. Berikut merupakan tahapan-tahapan yang dilakukan.

3.3.1 *Fire Risk Assessment*

Fire Risk Assessment (FRA) dilakukan sebagai tahapan awal analisis untuk mengidentifikasi tingkat risiko kebakaran pada *workshop* fabrikasi. Penilaian risiko kebakaran dilakukan menggunakan metode FRA kualitatif yang mengacu pada NFPA 551 tahun 2022 dengan memanfaatkan data primer dan data sekunder. Data tersebut meliputi kondisi aktual *workshop* fabrikasi dan kondisi *existing* sistem proteksi kebakaran aktif yang diperoleh melalui observasi, wawancara, dan studi dokumen teknis. Data yang terkumpul kemudian diolah dan disajikan dalam bentuk tabel. Melalui tabel tersebut, khususnya pada bagian *additional fire protection*, diidentifikasi kebutuhan sistem proteksi kebakaran untuk menurunkan tingkat risiko kebakaran. Proteksi tambahan yang direkomendasikan berupa alat pemadam api ringan (APAR) atau sistem hidran, sesuai dengan karakteristik potensi bahaya pada masing-masing area. Hasil analisis menunjukkan perubahan kategori risiko dari kondisi awal (*inherent risk*) menjadi kondisi setelah penerapan mitigasi (*residual risk*).

3.3.2 Evaluasi dan Perancangan Sistem Proteksi Kebakaran

Evaluasi dan perancangan sistem proteksi kebakaran aktif dilakukan berdasarkan hasil *Fire Risk Assessment*. Tahapan ini bertujuan untuk mengevaluasi kecukupan sistem proteksi kebakaran *existing* serta merancang sistem proteksi kebakaran aktif yang sesuai dengan tingkat risiko kebakaran dan standar NFPA yang berlaku. Perancangan sistem proteksi kebakaran aktif meliputi perancangan APAR, sistem hidran, serta sistem detektor dan alarm kebakaran.

a. Evaluasi Perancangan APAR

Perhitungan kebutuhan Alat Pemadam Api Ringan (APAR) diawali dengan penentuan jenis bahaya kebakaran pada setiap area berdasarkan hasil penilaian risiko. Selanjutnya, kebutuhan APAR pada *workshop* fabrikasi ditentukan dengan mempertimbangkan tingkat risiko kebakaran dan luas area yang dapat dijangkau. Jangkauan APAR direpresentasikan dalam bentuk lingkaran dengan diameter tertentu pada *layout workshop*. Perancangan APAR pada penelitian ini mengacu pada standar NFPA 10 tentang *Standard for Portable Fire Extinguishers*.

b. Perancangan Hidran

Perancangan sistem hidran mengacu pada NFPA 14 tentang *Standard for the Installation of Standpipe and Hose Systems*. Perancangan mencakup penentuan jumlah, lokasi, dan cakupan hidran berdasarkan tingkat risiko kebakaran dan karakteristik area *workshop* fabrikasi.

c. Perancangan Detektor dan Alarm

Perancangan sistem detektor dan alarm dilakukan dengan mengacu pada NFPA 72 tentang *National Fire Alarm and Signaling Code*. Hasil perhitungan jumlah dan penempatan detektor serta alarm selanjutnya direpresentasikan dalam bentuk penentuan titik-titik pemasangan pada *layout workshop*.

Setelah dilakukan perancangan sistem proteksi kebakaran aktif, tahap selanjutnya adalah pemeriksaan kesesuaian hasil perancangan terhadap standar NFPA yang berlaku. Pemeriksaan ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem proteksi kebakaran aktif yang dirancang telah memenuhi ketentuan minimum terkait jumlah, penempatan, cakupan, serta spesifikasi teknis yang dipersyaratkan. Apabila hasil perancangan belum sesuai dengan standar NFPA, maka dilakukan penyesuaian kembali pada tahap evaluasi dan perancangan sistem proteksi kebakaran aktif hingga diperoleh desain yang memenuhi ketentuan standar.

3.3.3 Perhitungan Manual Hidrolik Sistem Hidran

Setelah hasil perancangan dinyatakan sesuai dengan standar NFPA, dilakukan perhitungan manual hidrolik instalasi hidran. Perhitungan ini bertujuan untuk memverifikasi kecukupan parameter hidrolik sistem hidran secara teknis. Perhitungan manual hidrolik meliputi penentuan kebutuhan debit aliran (*flow rate*), perhitungan penurunan tekanan aliran (*head loss*), serta penentuan kebutuhan tekanan pompa (*head pump*) agar sistem hidran dapat beroperasi sesuai dengan kebutuhan operasional dan ketentuan teknis yang berlaku.

3.3.4 Simulasi Software *Pipe Flow Expert*

Setelah dilakukan perhitungan manual hidrolik sistem hidran, tahapan selanjutnya adalah melakukan simulasi hidrolik sistem hidran menggunakan *software Pipe Flow Expert*. Simulasi ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem hidran yang telah dirancang, khususnya dalam memenuhi kebutuhan tekanan dan debit air sesuai dengan ketentuan standar NFPA 14. Parameter yang dimasukkan dalam simulasi meliputi panjang pipa, diameter pipa, jenis material pipa, jumlah outlet hidran, serta kebutuhan debit dan tekanan minimum. Hasil simulasi digunakan untuk memastikan bahwa sistem hidran yang dirancang mampu bekerja secara efektif dalam kondisi operasi yang direncanakan.

3.3.5 Perhitungan Persentase Kesalahan

Hasil simulasi sistem hidran menggunakan *Pipe Flow Expert* selanjutnya divalidasi dengan membandingkannya terhadap hasil perhitungan manual. Perbandingan tersebut bertujuan untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara hasil simulasi dan hasil perhitungan manual yang telah dilakukan pada tahap perancangan. Tingkat kesesuaian dinyatakan dalam bentuk persentase kesalahan dan digunakan sebagai indikator untuk mengevaluasi tingkat kesesuaian antara hasil simulasi dan hasil perhitungan manual. Semakin kecil nilai persentase kesalahan yang diperoleh, semakin tinggi tingkat kesesuaian antara kedua metode. Berdasarkan Scuro (2005),

besarnya persentase kesalahan dipengaruhi oleh tingkat presisi metode maupun instrumen yang digunakan, sehingga nilai yang dapat diterima bergantung pada karakteristik penelitian. Pada beberapa kasus, persentase kesalahan sebesar 5–10% masih dapat diterima.

Dalam penelitian ini, hasil simulasi dinyatakan dapat diterima apabila nilai persentase kesalahan berada di rentang 5-10%. Apabila nilai persentase kesalahan melebihi batas toleransi tersebut, maka dilakukan penyesuaian terhadap parameter perancangan sistem hidran hingga diperoleh hasil simulasi yang memiliki tingkat kesesuaian yang dapat diterima terhadap perhitungan manual.

3.3.6 Perhitungan Nilai Probabilitas Keandalan Sistem Proteksi Kebakaran Aktif

Perhitungan nilai keandalan dilakukan pada perancangan sistem proteksi kebakaran aktif untuk menilai tingkat kecukupan sistem yang dirancang dengan menggunakan metode *Event Tree Analysis* (ETA). Melalui metode ETA, diperoleh nilai probabilitas untuk setiap *outcome* pada skenario kebakaran, baik yang berakhir dalam kondisi terkendali maupun tidak terkendali. Nilai probabilitas tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan apakah tingkat keandalan sistem proteksi kebakaran aktif dapat diterima berdasarkan konsep *As Low as Reasonably Practicable* (ALARP).

3.3.7 Penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Dalam penelitian ini juga menyusun Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang mencakup perhitungan kebutuhan material dan upah tenaga kerja. Biaya instalasi ditentukan berdasarkan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) yang mengacu pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 8 Tahun 2023. Adapun tahapan penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB) meliputi: Menetapkan tujuan dan waktu penggunaan anggaran.

- a. Penetapan tujuan penggunaan anggaran
- b. Penyusunan estimasi kebutuhan.

- c. Analisis kebutuhan sumber daya.
- d. Pelaksanaan riset harga.
- e. Rekapitulasi biaya.

3.4 Tahap Penyusunan Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran merupakan tahap penutup dari penelitian ini, yang memuat perangkuman hasil penelitian berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, serta penyusunan saran yang diperoleh dari analisis dan rekomendasi yang dilakukan. Kesimpulan tersebut menjadi ringkasan jawaban atas permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini. Sementara itu, saran diberikan untuk mendukung penyempurnaan penelitian selanjutnya dan sebagai arahan dalam pengembangan batasan masalah yang terdapat pada tugas akhir ini.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data

Tahap awal dari penelitian ini adalah proses pengumpulan data. Pada penelitian ini menggunakan dua jenis data yakni data primer dan data sekunder. Pengumpulan data primer dilakukan dengan observasi dan wawancara mengenai potensi dan risiko kebakaran pada *workshop* fabrikasi. Tahap observasi dilakukan untuk mengetahui potensi bahaya terkait kebakaran pada *workshop* fabrikasi serta mengetahui kondisi *existing* sistem proteksi kebakaran yang ada. Selanjutnya, tahap wawancara meliputi penilaian *expert judgment* terkait *fire risk assessment* dan evaluasi APAR. Penilaian ini dilakukan bersama dengan tiga orang yang menjadi *expert judgment*, yaitu HSE Supervisor, HSE Engineer, dan Supervisor Area Workshop. Kemudian untuk data sekunder yang diperlukan dalam penelitian ini yaitu *layout workshop* fabrikasi. Data *layout* tersebut diperlukan untuk membantu dalam perhitungan kebutuhan serta penempatan hasil perancangan sistem proteksi kebakaran aktif.

4.2 Fire Risk Assessment

Berdasarkan NFPA 551 Tahun 2022 tentang *Guide for the Evaluation of Fire Risk Assessment*, *Fire Risk Assessment* (FRA) merupakan metode untuk menilai dan mengklasifikasikan tingkat risiko kebakaran berdasarkan kemungkinan terjadinya skenario kebakaran beserta peluang dan konsekuensinya. Tujuan FRA adalah menentukan tingkat risiko kebakaran serta mengevaluasi kebutuhan sistem proteksi kebakaran guna mengurangi tingkat risiko tersebut. Pada penelitian ini, penilaian risiko kebakaran dilakukan menggunakan metode FRA kualitatif mengacu pada NFPA 551 Tahun 2022 dengan tabel penilaian sebagaimana disajikan pada Tabel 2.3. Hasil penilaian kemudian diklasifikasikan ke dalam lima kategori risiko, yaitu *insignificant*, *low*, *medium*, *high*, dan *extreme*. Penilaian risiko dilakukan pada seluruh area *workshop* fabrikasi yang meliputi area *workshop*, parkir, dan *office*, dengan hasil penilaian disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil *Fire Risk Assessment* pada *Workshop* Fabrikasi

No.	Area	Fire Hazard	Existing Fire Protection	Inherent Fire Risk			Additional Fire Protection	Residual Fire Risk		
				P	C	R		P	C	R
1	Workshop	Kebocoran tabung gas pada aktivitas <i>welding</i>	APAR & Evacuation drill	Possible	Major	High	- Penyimpanan tabung gas sesuai standar - Inspeksi kebocoran <i>Hot Work Permit</i> - <i>Fire Watch</i> - <i>Housekeeping</i> - <i>Preventive Maintenance</i> mesin - Hidran - Detektor panas - Alarm kebakaran	Unlikely	Minor	Low
		Percikan api dari aktivitas <i>welding</i>		Likely	Major	Extreme		Possible	Moderate	Medium
		Percikan api dari mesin <i>cutting</i>		Possible	Major	High		Unlikely	Moderate	Medium
		Percikan api dari mesin <i>milling</i>		Unlikely	Moderate	Medium		Unlikely	Minor	Low
		<i>Overheating</i> pada mesin produksi		Unlikely	Moderate	Medium		Unlikely	Minor	Low
2	Parkiran	Tumpahan BBM	APAR & Evacuation drill	Unlikely	Moderate	Medium	- Penyediaan <i>spill kit</i> - SOP penanganan tumpahan BBM - Penetapan area khusus merokok dan pemasangan larangan merokok - Inspeksi serta <i>preventive maintenance</i> pada panel listrik secara berkala - Alarm kebakaran - Hidran	Unlikely	Minor	Low
		Putung rokok		Unlikely	Moderate	Medium		Unlikely	Minor	Low
		<i>Electrical Failure</i> pada panel utama		Unlikely	Moderate	Medium		Unlikely	Minor	Low
		Panel <i>overheating</i>		Unlikely	Moderate	Medium		Unlikely	Minor	Low

Tabel 4.1 Hasil *Fire Risk Assessment* pada *Workshop* Fabrikasi (Lanjutan)

No.	Area	Fire Hazard	Existing Fire Protection	Inherent Fire Risk			Additional Fire Protection	Residual Fire Risk		
				P	C	R		P	C	R
3	Office	Electrical failure pada instalasi listrik atau perangkat elektronik	APAR & Evacuation drill	Unlikely	Moderate	Medium	- Pemeriksaan instalasi listrik secara berkala - Penggantian kabel atau komponen yang rusak - Penggunaan MCB sesuai kapasitas beban - Pengaturan beban listrik agar tidak melebihi kapasitas instalasi - Detektor asap - Alarm kebakaran	Unlikely	Minor	Low

Tabel 4.1 menyajikan hasil *Fire Risk Assessment* pada *workshop* fabrikasi yang terdiri atas area *workshop*, parkir, dan *office*. Berdasarkan hasil penilaian diketahui bahwa pada seluruh area telah memiliki *existing fire protection* berupa APAR dan *evacuation drill*. Meskipun demikian, beberapa potensi bahaya masih memiliki tingkat *inherent fire risk* yang tinggi. Pada area *workshop*, potensi bahaya berupa percikan api dari aktivitas *welding* memiliki tingkat risiko *extreme*, sedangkan kebocoran tabung gas pada aktivitas *welding* dan percikan api dari mesin *cutting* berada pada kategori *high*. Adapun percikan api dari mesin *milling* dan *overheating* pada mesin produksi berada pada kategori *medium*. Tingginya tingkat risiko pada area *workshop* disebabkan oleh aktivitas *hot work* yang melibatkan sumber panas, percikan api, serta penggunaan gas. Oleh karena itu dilakukan penambahan sistem proteksi kebakaran berupa penyimpanan tabung gas sesuai standar, inspeksi kebocoran tabung secara berkala, penerapan *hot work permit*, penunjukan *fire watch*, penerapan *housekeeping*, pemisahan material mudah terbakar, penggunaan *spark guard*, *preventive maintenance* dan monitoring temperatur mesin, serta penambahan sistem proteksi kebakaran aktif berupa detektor panas, alarm kebakaran, dan hidran. Penerapan rekomendasi tersebut mampu menurunkan seluruh tingkat risiko menjadi kategori *low* dan *medium*.

Pada area parkir, seluruh potensi bahaya yang meliputi tumpahan BBM, puntung rokok, *electrical failure* pada panel utama, dan *panel overheating* berada pada kategori *medium*. Untuk mengurangi risiko tersebut direkomendasikan penyediaan *spill kit*, penerapan larangan sumber api dan SOP penanganan tumpahan BBM, penyediaan tempat puntung rokok, inspeksi panel listrik secara berkala, *preventive maintenance*, monitoring temperatur panel, serta penambahan alarm kebakaran. Setelah penerapan rekomendasi tersebut, seluruh tingkat risiko mengalami penurunan menjadi kategori *low*. Sementara itu, pada area *office*, potensi bahaya berupa *electrical failure* pada instalasi listrik atau perangkat elektronik berada pada kategori *medium*. Upaya pengendalian yang direkomendasikan meliputi pemeriksaan instalasi listrik secara berkala, penggantian kabel yang rusak, penggunaan *Miniatur Circuit Breaker* (MCB) sesuai kapasitas, serta penambahan detektor asap dan alarm kebakaran. Rekomendasi tersebut mampu menurunkan tingkat risiko menjadi kategori *low*. Secara

keseluruhan, hasil *Fire Risk Assessment* menunjukkan bahwa penambahan sistem proteksi kebakaran mampu menurunkan tingkat *residual fire risk* sebesar satu hingga dua tingkat dibandingkan *inherent fire risk*, sehingga meningkatkan tingkat keselamatan pada area *workshop* fabrikasi.

Tabel 4. 2 Urutan Tingkat Risiko Kebakaran Pada *Workshop* Fabrikasi

No	<i>Fire Hazard</i>	<i>Inherent Fire Risk</i>
1	Percikan api dari aktivitas <i>welding</i>	<i>Extreme</i>
2	Kebocoran tabung gas pada aktivitas <i>welding</i>	<i>High</i>
3	Percikan api dari mesin <i>cutting</i>	<i>High</i>
4	Percikan api dari mesin <i>milling</i>	<i>Medium</i>
5	<i>Overheating</i> pada mesin produksi	<i>Medium</i>
6	<i>Electrical failure</i> pada instalasi listrik atau perangkat elektronik	<i>Medium</i>
7	Putung rokok	<i>Medium</i>
8	<i>Electrical failure</i> pada panel utama	<i>Medium</i>
9	Panel <i>overheating</i>	<i>Medium</i>
10	Tumpahan BBM	<i>Medium</i>

Berdasarkan pada Tabel 4.2, potensi bahaya dengan tingkat risiko tertinggi adalah percikan api dari aktivitas *welding* pada area *workshop* dengan kategori *extreme*. Selanjutnya, kebocoran tabung gas pada aktivitas *welding* serta percikan api dari mesin *cutting* berada pada kategori *high*. Adapun potensi bahaya lainnya, yaitu percikan api dari mesin *milling*, *overheating* pada mesin produksi, tumpahan BBM, puntung rokok, *electrical failure* pada panel utama, *overheating* pada panel, serta *electrical failure* pada instalasi listrik atau perangkat elektronik berada pada kategori *medium*. Secara keseluruhan, area *workshop* merupakan area dengan tingkat risiko kebakaran tertinggi karena aktivitas *hot work* yang melibatkan proses *welding*, *cutting*, serta penggunaan mesin produksi dan gas bertekanan sehingga memiliki satu potensi bahaya dengan kategori *extreme*, dua potensi bahaya dengan kategori *high*, dan dua potensi bahaya dengan kategori *medium*.

4.3 Evaluasi Alat Pemadam Api Ringan (APAR)

Pada tahap ini dilakukan evaluasi terhadap APAR dengan menggunakan *checklist* evaluasi APAR. *Checklist* evaluasi APAR terdiri dari 17 butir pertanyaan yang mengacu pada standar NFPA 10 Tahun 2022 tentang *Standart for Portable Fire Extinguisher*. *Checklist* tersebut digunakan sebagai acuan dalam menganalisis

kesesuaian APAR. Hasil *Checklist* evaluasi APAR berdasarkan NFPA 10 Tahun 2022 dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 *Checklist* Evaluasi APAR Berdasarkan NFPA 10 Tahun 2022

No.	Pertanyaan	Kesesuaian		Keterangan
		Ya	Tidak	
1.	Apakah jenis APAR telah sesuai dengan klasifikasi kelas kebakarannya? (5.3.1)	✓		
2.	Apakah APAR selalu terisi penuh dan dapat dioperasikan serta disimpan di tempat yang telah ditentukan setiap kali tidak digunakan? (6.1.2)	✓		
3.	Apakah APAR diletakkan pada area yang mudah diakses dan dapat segera digunakan saat terjadi kebakaran? (6.1.3.1)	✓		
4.	Apakah APAR ditempatkan di sepanjang jalur lalu lalang termasuk pada pintu keluar area? (6.1.3.2)		✓	
5.	Apakah terdapat tanda yang menunjukkan lokasi APAR didekat area pemasangan APAR? (6.1.3.3.4)		✓	
6.	Apakah pemasangan APAR telah mengikuti salah satu ketentuan berikut? (6.1.3.4) a. Dipasang dengan aman di gantungan khusus APAR b. Dipasang didalam braket yang dilengkapi dengan tali pelepas atau tali pengikat	✓		
7.	Apakah tinggi pemasangan APAR yang memiliki berat kotor tidak lebih dari 40 lb (18,14 kg) berada pada ketinggian dimana bagian atas APAR tidak lebih dari 5 ft (1,53 m) di atas lantai? (6.1.3.9.1)	✓		
8.	Apakah terdapat informasi petunjuk pengoperasian APAR didekat area pemasangan APAR? (6.1.3.10.1)	✓		
9.	Apakah ukuran minimal APAR telah disesuaikan dengan ketentuan untuk tiap kelas bahayanya? (6.2) (6.3)	✓		
10.	Apakah jarak pemasangan APAR telah disesuaikan dengan ketentuan untuk tiap kelas bahayanya? (6.2) (6.3)		✓	
11.	Apakah pemeliharaan dan pengisian ulang APAR telah dilakukan oleh orang yang tersertifikasi? (7.1.2.1)	✓		
12.	Apakah APAR yang kondisinya tidak sesuai saat hasil inspeksi akan ditarik dan diganti segera dengan APAR yang sesuai dengan jenis bahaya dan memiliki <i>rating</i> yang sama? (7.1.3)	✓		
13.	Apakah APAR telah diinspeksi secara manual saat pertama kali dipasang? (7.2.1.1)	✓		
14.	Apakah APAR telah diinspeksi baik secara manual ataupun dengan sistem pemantauan elektronik dengan <i>interval</i> inspeksi tidak lebih dari 31 hari? (7.2.1.2)	✓		

Tabel 4.3 *Checklist* Evaluasi APAR Berdasarkan NFPA 10 Tahun 2022 (Lanjutan)

No.	Pertanyaan	Kesesuaian		Keterangan
		Ya	Tidak	
15.	Apakah pemeriksaan APAR secara berkala telah mencakup pengecekan terhadap beberapa kriteria berikut ini? (7.2.2) a. Ditempatkan pada titik yang ditentukan b. Visibilitas APAR atau penempatan APAR pada area yang dapat terlihat dengan jelas c. Akses menuju titik penempatan APAR yang mudah d. Pembacaan <i>pressure gauge</i> atau indikator tekanan tabung dalam rentang atau posisi yang dapat sesuai	✓		
16.	Apakah telah dilakukan tindakan korektif segera pada saat ditemukan ketidaksesuaian pada hasil inspeksi APAR? (7.2.3)	✓		
17.	Apakah catatan inspeksi manual telah disimpan pada label di APAR atau daftar periksa inspeksi elektronik yang tersimpan dalam <i>file</i> ? (7.2.4.1.1)	✓		

4.3.1 Analisis *Checklist* Evaluasi APAR

Berdasarkan *checklist* evaluasi APAR sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 4.3, dilakukan analisis kesesuaian dengan kondisi *existing* yang terdapat pada *workshop* fabrikasi. Berikut merupakan analisis *checklist* evaluasi APAR di area *workshop* fabrikasi.

1. Kesesuaian jenis APAR

Penentuan jenis APAR disesuaikan dengan jenis/kelas kebakaran yang terdapat pada *workshop*. Menurut NFPA 10 Tahun 2022 klasifikasi kelas kebakaran diantaranya yaitu kelas kebakaran A (bahan padat non logam), kelas kebakaran B (bahan cair atau gas yang mudah terbakar), kelas kebakaran C (instalasi listrik bertegangan), kelas kebakaran D (logam), dan kelas kebakaran K (peralatan dapur). Dengan mengetahui jenis kelas kebakaran pada area tersebut, maka dapat digunakan untuk menentukan rekomendasi jenis APAR yang tepat dan sesuai untuk memadamkan kebakaran sehingga pemadaman dapat dilakukan dengan efektif. Penentuan jenis APAR pada *workshop* fabrikasi dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Penentuan Jenis APAR

No	Area	Sumber api	Bahan yang dapat terbakar	Kelas kebakaran	Jenis APAR <i>existing</i>	Jenis APAR rekomendasi	Ket.
1	<i>Workshop</i>	Korsleting listrik, percikan api, <i>overheating</i> mesin, kebocoran gas	Gas argon, gas oxygen, gas acetylene dan pelumas mesin	B	<i>Dry Chemical Powder (DCP)</i>	<i>Dry Chemical Powder (DCP)</i>	Sesuai
2	<i>Office 1</i>	Korsleting listrik	Kabel, kertas, perangkat elektronik, <i>furniture</i> kayu	A dan C	CO ₂	CO ₂ dan <i>Clean Agent</i>	Sesuai
3	<i>Office 2</i>	Korsleting listrik	Kabel, kertas, perangkat elektronik, <i>furniture</i> kayu	A dan C	CO ₂	CO ₂ dan <i>Clean Agent</i>	Sesuai
4	Parkir 1	Kebocoran bahan bakar	Kendaraan, <i>furniture</i> kayu	A	Tidak terdapat APAR	<i>Dry Chemical Powder (DCP)</i>	Tidak sesuai
5	Parkir 2	Kebocoran bahan bakar	Kendaraan, <i>furniture</i> kayu	A	<i>Dry Chemical Powder (DCP)</i>	<i>Dry Chemical Powder (DCP)</i>	Sesuai

Berdasarkan Tabel 4.4 yang menjelaskan mengenai penentuan jenis APAR sesuai dengan klasifikasi kebakarannya, didapatkan penjelasan sebagai berikut:

- Pada area *workshop* yang termasuk dalam kelas kebakaran B, memiliki rekomendasi APAR dengan jenis *dry chemical powder (DCP)*. Hal ini telah sesuai dengan kondisi *existing* APAR yang tersedia.
- Pada area *office 1* dan *office 2* yang termasuk dalam kelas kebakaran A dan C memiliki rekomendasi APAR dengan jenis CO₂ dan *clean agent*. Hal ini telah sesuai dengan kondisi *existing* APAR yang tersedia.

- c. Pada area parkir 1 yang termasuk dalam kelas kebakaran A memiliki rekomendasi APAR dengan jenis *dry chemical powder* (DCP). Hal ini belum sesuai dengan kondisi *existing* dikarenakan tidak tersedia APAR pada area tersebut.
- d. Pada area parkir 2 yang termasuk dalam kelas kebakaran A memiliki rekomendasi APAR dengan jenis *dry chemical powder* (DCP). Hal ini telah sesuai dengan kondisi *existing* APAR yang tersedia.

2. Kondisi *existing* APAR yang terpasang

Kondisi APAR yang tersedia pada *workshop* fabrikasi selalu terisi penuh dan siap untuk digunakan apabila terjadi kebakaran. Hal ini dikarenakan adanya sistem inspeksi APAR bulanan yang bertujuan untuk memastikan APAR dalam kondisi yang sesuai. Apabila ditemukan ketidaksesuaian pada APAR, maka akan digantikan dengan APAR yang baru.

3. Peletakan APAR

APAR yang tersedia pada *workshop* fabrikasi dipasang pada beberapa titik area yang tidak terhalang oleh alat ataupun material. Peletakan APAR dapat dipastikan memiliki visibilitas yang tinggi dan mudah diakses.

4. Penempatan APAR di sepanjang jalur lalu lalang

Pada kondisi *existing* APAR masih belum tersedia di area dekat pintu keluar *workshop* fabrikasi. Sehingga perlu adanya penambahan APAR pada area dekat pintu keluar *workshop* fabrikasi.

5. Tanda yang menunjukkan lokasi APAR

Pada kondisi *existing* setiap APAR masih belum dilengkapi dengan tanda lokasi APAR. Sehingga perlu pemasangan tanda lokasi APAR yang berbentuk segitiga sama sisi dengan ukuran 35 cm pada setiap sisi serta warna dasar merah. Pada bagian dalam segitiga terdapat tulisan “APAR” yang berwarna putih dan terletak di bagian atas, disertai dengan nomor APAR di bagian bawahnya serta tanda panah ke bawah yang berwarna putih.

6. Pemasangan APAR

Pemasangan APAR di area workshop dilakukan dengan dua metode, yaitu digantung pada dinding menggunakan braket khusus atau ditempatkan pada braket penyangga yang diletakkan di lantai. Metode pemasangan disesuaikan dengan jenis APAR yang tersedia, yaitu *dry chemical powder* (DCP) dan CO₂, serta ukuran tabung APAR agar tetap aman, stabil, dan mudah dijangkau saat digunakan.

7. Tinggi pemasangan APAR

APAR yang terpasang di area *workshop* terdiri dari tipe *dry chemical powder* (DCP) berukuran 6 kg dan tipe CO₂ berukuran 5 kg. Tinggi pemasangan APAR di area *workshop* tidak melebihi 125 cm dari permukaan lantai. Kondisi ini telah sesuai dengan ketentuan NFPA 10 Tahun 2022 yang menyatakan bahwa APAR dengan berat kotor tidak lebih dari 18,14 kg harus dipasang dengan posisi bagian atas tabung tidak melebihi 1,53 m dari lantai.

8. Pemasangan petunjuk pengoperasian APAR

Pada setiap pemasangan APAR telah dilengkapi dengan petunjuk pengoperasian yang ditempel langsung pada tabung APAR dalam bentuk stiker berukuran kecil. Stiker tersebut memuat informasi mengenai langkah-langkah penggunaan APAR dalam melakukan pemadaman api sehingga dapat memudahkan pengguna saat keadaan darurat.

9. Ukuran minimal APAR

Penentuan ukuran APAR yang digunakan sebagai proteksi kebakaran pada suatu area didasarkan pada *rating* APAR. *Rating* tersebut ditentukan dengan mempertimbangkan kelas kebakaran dan tingkat bahaya pada area tersebut. Hasil penentuan *rating* APAR yang tercantum pada Tabel 4.5 dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan ukuran minimum APAR.

Tabel 4. 5 Penentuan Ukuran Minimal APAR

No.	Area	Klasifikasi Bahaya	Kelas Kebakaran	Rating APAR
1	<i>Workshop</i>	<i>Extra Hazard</i>	B	80-B
2	<i>Office</i>	<i>Light Hazard</i>	A dan C	2-A
3	Parkiran	<i>Light Hazard</i>	A	2-A

10. Jarak pemasangan APAR

Jarak pemasangan APAR pada *workshop* fabrikasi lebih dari 15,25 meter dimana tidak sesuai dengan ketentuan NFPA 10 Tahun 2022.

11. Pemeliharaan dan pengisian ulang APAR

Pemeliharaan dan pengisian ulang APAR di perusahaan dilakukan oleh vendor yang telah bekerja sama dengan perusahaan serta memiliki izin usaha dan sertifikat pengujian APAR. Setelah proses pengisian ulang selesai, APAR akan dilengkapi dengan label baru yang memuat informasi terkait pengisian, termasuk tanggal kedaluwarsa atau jadwal pengisian ulang berikutnya.

12. Penggantian APAR

Penggantian APAR dilakukan berdasarkan hasil inspeksi bulanan yang dilaksanakan oleh perusahaan. Jika pada saat inspeksi ditemukan APAR dengan kondisi yang tidak memenuhi standar, maka tim HSE akan segera melakukan penggantian. Di perusahaan, penggantian APAR umumnya dilakukan karena masa berlaku telah habis atau tekanan pada tabung tidak sesuai dengan standar. APAR yang tidak sesuai akan ditarik dari area kerja dan diganti dengan APAR baru yang tersedia di *storage*. APAR lama kemudian dikumpulkan untuk selanjutnya diserahkan kepada vendor pengisian ulang yang bekerja sama dengan perusahaan. Selain itu, APAR pengganti dipastikan memiliki jenis dan *rating* yang sesuai dengan potensi bahaya di area pemasangan sebelumnya.

13. Inspeksi manual APAR saat pertama kali dipasang

APAR baru atau APAR yang dipasang untuk pertama kali akan melalui inspeksi manual guna memastikan kondisi tabung serta seluruh komponennya berada dalam keadaan baik, lengkap, dan sesuai dengan standar yang berlaku.

14. Jangka waktu inspeksi APAR

Seluruh APAR yang berada di area *workshop* diinspeksi oleh tim HSE setiap bulan dengan interval pemeriksaan tidak melebihi 31 hari. Proses inspeksi dilakukan melalui pengecekan beberapa komponen APAR, termasuk kondisi fisik dan tanggal kedaluwarsa. Setelah

pemeriksaan selesai, hasil inspeksi dicatat dalam formulir inspeksi APAR. Data inspeksi bulanan tersebut kemudian ditinjau kembali oleh tim HSE untuk memastikan kesesuaian kondisi APAR serta menentukan tindakan perbaikan apabila ditemukan ketidaksesuaian.

15. Kriteria inspeksi APAR

Inspeksi APAR dilakukan dengan pengecekan beberapa kriteria berikut ini:

- a. Ditempatkan pada titik yang ditentukan.
- b. Visibilitas APAR atau penempatan APAR pada area yang dapat terlihat dengan jelas.
- c. Akses menuju titik penempatan APAR yang mudah.
- d. Pembacaan *pressure gauge* atau indikator tekanan tabung dalam rentang atau posisi yang dapat sesuai.
- e. Pengecekan isi APAR melalui penimbangan atau dengan mengangkat APAR.
- f. Kondisi ban, roda, kereta, selang, dan *nozzle* yang baik untuk APAR beroda.

16. Pelaksanaan tindakan korektif

Monitoring APAR di perusahaan dilakukan berdasarkan hasil inspeksi bulanan yang dilaksanakan oleh tim HSE. Apabila ditemukan ketidaksesuaian pada hasil inspeksi, tim HSE akan membuat laporan serta segera melakukan penarikan APAR lama untuk diganti dengan unit yang baru. Ketidaksesuaian yang umum ditemukan meliputi tekanan tabung yang berada di luar batas normal maupun APAR yang telah melewati masa berlaku.

17. Penyimpanan dokumen inspeksi

Pengisian hasil inspeksi APAR dilakukan menggunakan formulir inspeksi manual yang selanjutnya dicatat dan direkap ke dalam *software Microsoft Excel*. Rekapitulasi hasil inspeksi APAR bulanan kemudian dikomunikasikan kepada pihak manajemen sebagai bentuk pelaporan pelaksanaan inspeksi APAR secara berkala.

4.3.2 Analisis Perhitungan Kebutuhan APAR

Pada tahap ini dilakukan perhitungan kebutuhan APAR yang dapat memproteksi seluruh area *workshop* fabrikasi dengan *rating* APAR yang sesuai. Penentuan *rating* APAR dipengaruhi oleh kelas kebakaran serta tingkat klasifikasi bahaya pada area tersebut. Setelah penetapan *rating* APAR, *rating* tersebut dapat dijadikan acuan untuk menentukan luas cakupan perlindungan masing-masing APAR. Berdasarkan luas area proteksi tersebut, jumlah kebutuhan APAR dapat dihitung sesuai dengan luas area yang akan dilindungi. Perhitungan jumlah APAR berdasarkan luas perlindungan mengacu pada ketentuan NFPA 10 tahun 2022. Pada *workshop* fabrikasi, perhitungan kebutuhan APAR dibagi ke dalam lima area yang berbeda berdasarkan faktor bahayanya, yaitu area *workshop*, *office*, dan parkir. Berikut merupakan perhitungan jumlah kebutuhan APAR pada masing-masing area *workshop* fabrikasi.

Tabel 4. 6 Luas Area dan Penentuan *Rating* APAR

No	Area	Luas (m ²)	Luas (ft ²)	Kelas Kebakaran	Klasifikasi Bahaya	<i>Rating</i> APAR
1	<i>Workshop</i>	1.307,30	14.071,66	B	<i>Extra Hazard</i>	80-B
2	<i>Office 1</i>	83,89	902,98	A dan C	<i>Light Hazard</i>	2-A
3	<i>Office 2</i>	83,89	902,98	A dan C	<i>Light Hazard</i>	2-A
4	Parkiran 1	156,63	1.685,95	A	<i>Light Hazard</i>	2-A
5	Parkiran 2	112,30	1.208,79	A	<i>Light Hazard</i>	2-A

1. Area *Workshop*

Area *Workshop* memiliki luas 1.307,30 m² atau 14.071,66 ft² yang termasuk dalam klasifikasi bahaya hunian *extra* (tinggi) dan memiliki bahaya kelas kebakaran B dengan kebutuhan APAR *rating* 80-B. APAR dengan *rating* 80-B memiliki jarak maksimum antar APAR sebesar 15,25 m atau 50 ft sehingga diperoleh perhitungan jumlah kebutuhan APAR sebagai berikut.

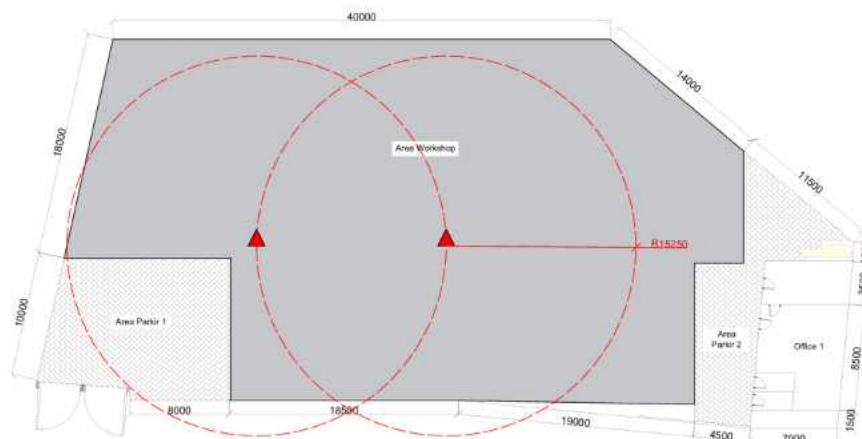
$$\text{Jumlah APAR} = \frac{\text{Luas area}}{\text{Luas perlindungan APAR}}$$

$$\text{Jumlah APAR} = \frac{14.071,66}{3,14 \times 50 \times 50}$$

$$\text{Jumlah APAR} = \frac{14.071,66 \text{ ft}^2}{7.850 \text{ ft}^2}$$

$$\text{Jumlah APAR} = 1,79 \approx 2 \text{ APAR}$$

Berdasarkan hasil perhitungan evaluasi kebutuhan APAR yang telah dilakukan, area *workshop* memerlukan 2 unit APAR dengan *rating* 80-B. Namun, untuk memastikan bahwa luas cakupan perlindungan dari masing-masing APAR telah mampu melindungi seluruh area *workshop*, diperlukan estimasi penyebaran APAR. Berikut merupakan *layout* estimasi penempatan APAR pada area *workshop*.

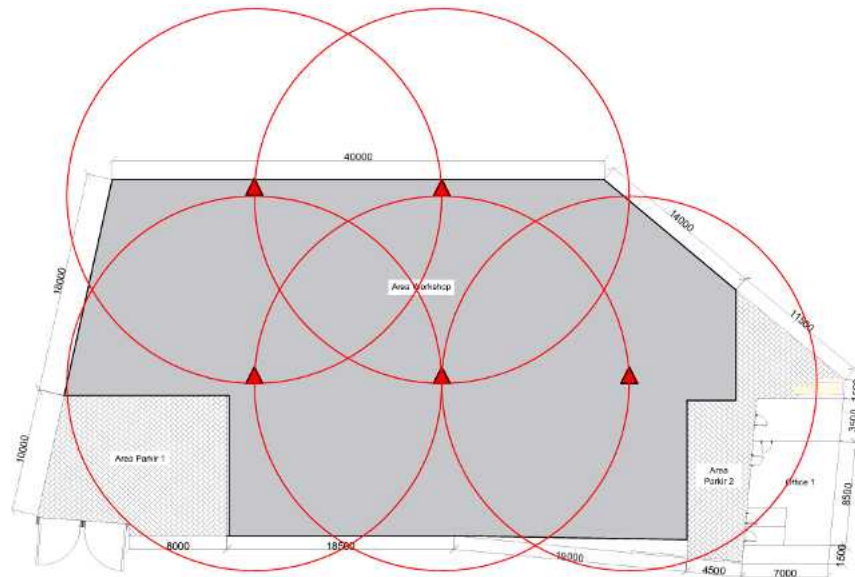


Gambar 4. 1 *Layout* Estimasi Penempatan APAR pada Area *Workshop*

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa penempatan sejumlah dua APAR tidak dapat memproteksi seluruh area *workshop*. Hal ini dipengaruhi oleh bentuk bangunan *workshop* yang tidak beraturan sehingga perlu penambahan jumlah APAR.

Berdasarkan *layout* rekomendasi penempatan APAR di area *workshop* dengan penambahan unit APAR sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.2, diketahui bahwa diperlukan 5 unit APAR dengan *rating* 80-B untuk melindungi seluruh area *workshop*. Sementara itu, APAR *existing* yang tersedia di area *workshop* berjumlah 6 unit dengan *rating* 10-B. Dengan demikian, meskipun jumlah APAR *existing* telah mencukupi, kapasitas proteksinya masih berada di bawah *rating* yang

direkomendasikan sehingga diperlukan penggantian APAR agar sesuai dengan kebutuhan proteksi pada area *workshop*.



Gambar 4. 2 *Layout Rekomendasi Penempatan APAR di Area Workshop*

2. Area Office

Area *office* terbagi menjadi 2 berdasarkan letak lantainya yaitu pada lantai 1 dan lantai 2. Area *office* 1 dan *office* 2 memiliki luas sebesar 83,89 m² atau 902,98 ft². Kedua ruangan tersebut termasuk dalam klasifikasi bahaya hunian *light* (rendah) dan memiliki bahaya kelas kebakaran A dan C dengan kebutuhan APAR *rating* 2-A. APAR dengan *rating* 2-A memiliki cakupan luas perlindungan sebesar 6.000 ft² sehingga diperoleh perhitungan jumlah kebutuhan APAR sebagai berikut.

$$\text{Jumlah APAR} = \frac{\text{Luas area}}{\text{Luas perlindungan APAR}}$$

$$\text{Jumlah APAR} = \frac{902,98 \text{ ft}^2}{6.000 \text{ ft}^2}$$

$$\text{Jumlah APAR} = 0,15 \approx 1 \text{ APAR}$$

Berdasarkan hasil perhitungan evaluasi kebutuhan APAR yang telah dilakukan, kedua area *office* memerlukan masing-masing 1 unit APAR dengan *rating* 2-A. Meskipun hasil perhitungan berdasarkan luas perlindungan menunjukkan kebutuhan sebesar 1 unit APAR, pada

A diagram of a building layout with various dimensions and a dashed circle. The building has a complex shape with several rooms and corridors. Dimensions are labeled in feet: 14,000, 25,500, 1,150, 15,000, 3,500, 15,000, 8,500, 19,000, 4,500, 7,000, and 15,000. A dashed circle is drawn around the building, with a radius of 22,900 feet indicated by a red line and the label 'R22900'. Two red arrows point from the center of the circle to the building: one points to a yellow-shaded area labeled 'Area 1' and the other points to a red-shaded area labeled 'Area 2'.



Berdasarkan *layout* rekomendasi penempatan APAR di area *office* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4, diketahui bahwa area *office* 1 memerlukan 2 unit APAR dan area *office* 2 memerlukan satu unit APAR dengan jenis CO₂ dengan *rating* 2-A untuk memberikan perlindungan yang memadai. Pada kondisi *existing office* 1 dan *office* 2 masing-masing memiliki APAR sejumlah 1 unit. Sehingga perlu penambahan 1 unit pada area *office* 1.

3. Area Parkiran

Parkiran terbagi menjadi 2 area dimana masing-masing memiliki luas 156,63 m² atau 1.685,95 ft² dan luas 112,30 m² atau 1.208,79 ft². Area tersebut termasuk dalam klasifikasi bahaya *light* (rendah) dan memiliki bahaya kelas kebakaran A dengan kebutuhan APAR *rating* 2-A. APAR dengan *rating* 2-A memiliki cakupan luas perlindungan sebesar 6.000 ft² sehingga diperoleh perhitungan jumlah kebutuhan APAR sebagai berikut..

a. Parkiran 1

$$\text{Jumlah APAR} = \frac{\text{Luas area}}{\text{Luas perlindungan APAR}}$$

$$\text{Jumlah APAR} = \frac{1.685,95 \text{ ft}^2}{6.000 \text{ ft}^2}$$

$$\text{Jumlah APAR} = 0,28 \approx 1 \text{ APAR}$$

b. Parkiran 2

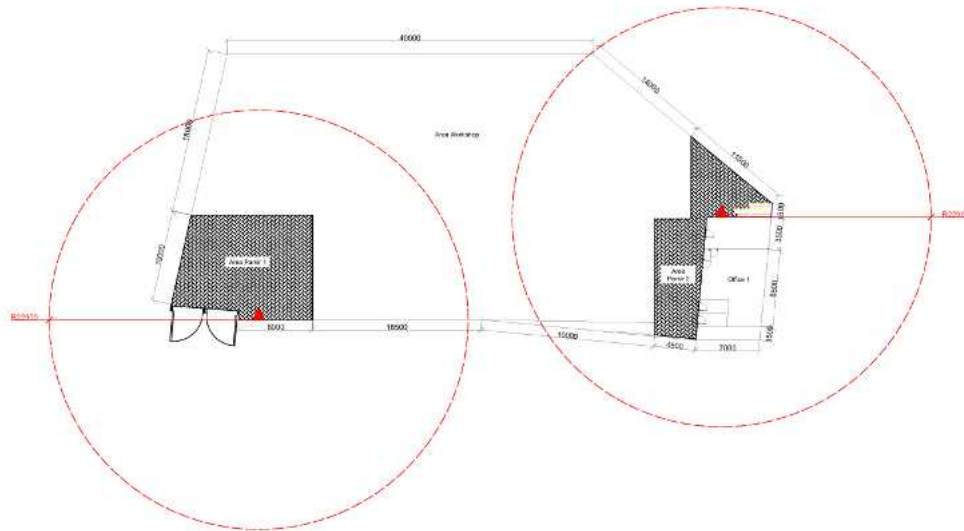
$$\text{Jumlah APAR} = \frac{\text{Luas area}}{\text{Luas perlindungan APAR}}$$

$$\text{Jumlah APAR} = \frac{1.208,79 \text{ ft}^2}{6000 \text{ ft}^2}$$

$$\text{Jumlah APAR} = 0,2 \approx 1 \text{ APAR}$$

Berdasarkan hasil perhitungan evaluasi kebutuhan APAR yang telah dilakukan, kedua area parkir memerlukan masing-masing 1 unit APAR dengan *rating* 2-A. Namun, untuk memastikan bahwa luas cakupan perlindungan dari masing-masing APAR telah mampu melindungi seluruh area parkir, diperlukan estimasi penyebaran APAR.

Berikut merupakan *layout* rekomendasi penempatan APAR pada area parkir.



Gambar 4. 5 *Layout* Rekomendasi Penempatan APAR di Area Parkiran 1 dan Area Parkiran 2

Berdasarkan *layout* rekomendasi penempatan APAR di area parkir 1 dan parkir 2 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.5, diketahui bahwa masing-masing area parkir memerlukan 1 unit APAR jenis *dry chemical powder* (DCP) dengan *rating* 2-A untuk memberikan perlindungan yang memadai. Kondisi *existing* APAR berjumlah 1 unit pada area parkir 2 sedangkan area parkir 1 tidak tersedia APAR. Sehingga diperlukan penambahan 1 unit APAR jenis *dry chemical powder* (DCP) dengan *rating* 2-A pada area parkir 1 agar kebutuhan proteksi kebakaran pada seluruh area parkir dapat terpenuhi.

Setelah dilakukan perhitungan jumlah kebutuhan APAR pada masing-masing area, maka berikut ini merupakan hasil evaluasi APAR dan rekapitulasi data kebutuhan APAR.

Tabel 4. 7 Hasil Evaluasi APAR

No	Area	Kelas Kebakaran	Klasifikasi Bahaya	Rating APAR	Jumlah Kebutuhan APAR	Jumlah Existing APAR	Keterangan
1	Work shop	B	Extra Hazard	80-B	5	6	Rating APAR tidak sesuai

Tabel 4.7 Hasil Evaluasi APAR (Lanjutan)

No	Area	Kelas Kebakaran	Klasifikasi Bahaya	Rating APAR	Jumlah Kebutuhan APAR	Jumlah Existing APAR	Keterangan
2	Office 1	A dan C	Light Hazard	2-A	2	1	Tidak sesuai
3	Office 2	A dan C	Light Hazard	2-A	1	2	Sesuai
4	Parkir 1	A	Light Hazard	2-A	1	0	Tidak sesuai
5	Parkir 2	A	Light Hazard	2-A	1	1	Sesuai

Berdasarkan Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa jumlah APAR *existing* secara keseluruhan belum memenuhi standar dari NFPA 10 Tahun 2022. Hal ini dikarenakan terdapat ketidaksesuaian terhadap jumlah APAR dan *rating* APAR yang digunakan. Dengan demikian perlu dilakukan penambahan APAR serta penyesuaian *rating* APAR. Total APAR yang dibutuhkan yaitu berjumlah 10 unit APAR guna melindungi *workshop* fabrikasi.

4.4 Perancangan Detektor

4.4.1 Penentuan Jenis Detektor

Berdasarkan NFPA 72 Tahun 2022, terdapat berbagai jenis detektor kebakaran yang dapat digunakan sesuai dengan karakteristik area, potensi bahaya, serta kondisi lingkungan pada bangunan. Pemilihan jenis detektor yang tepat akan mempengaruhi kinerja detektor dan keefektifitasan perlindungan dari detektor. Perancangan detektor akan dilakukan pada area *workshop* dan area *office*. Detektor yang akan digunakan pada area *workshop* merupakan jenis detektor panas, sedangkan pada area *office* akan menggunakan detektor asap.

Penggunaan detektor panas pada area *workshop* dipilih karena aktivitas seperti *welding*, *cutting*, dan pengoperasian mesin dapat menghasilkan panas, percikan api, debu, uap, maupun asap non-kebakaran. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan *false alarm* apabila menggunakan detektor asap. Sedangkan pada area *office* akan menggunakan jenis detektor asap karena area tersebut merupakan ruang tertutup dengan aktivitas normal perkantoran

dan memiliki potensi kebakaran dari material mudah terbakar seperti kertas, dokumen, furnitur, serta peralatan listrik dan elektronik. Detektor asap lebih sesuai digunakan pada area *office* karena mampu mendeteksi keberadaan asap pada tahap awal kebakaran, sehingga dapat memberikan peringatan dini sebelum api berkembang menjadi lebih besar.

4.4.2 Analisis Perhitungan Detektor

Perhitungan kebutuhan detektor mengacu pada NFPA 72 Tahun 2022 tentang *National Fire Alarm and Signaling Code*. Pada standar tersebut dijelaskan bahwa pemasangan detektor asap memiliki jarak maksimal satu sama lain sejauh 9,1 m serta jarak maksimal ke dinding sejauh 4,55 m. Sedangkan pemasangan detektor panas dengan jenis *fixed temperature* memiliki jarak maksimal satu sama lain sebesar 15,25 m. Pada perhitungan kebutuhan detektor panas juga dipengaruhi oleh ketinggian langit-langit (*ceiling*) yang dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Atap pada area *workshop* memiliki tipe puncak atau *peaked* dengan kemiringan langit-langit kurang dari 30 derajat. Dimana atap *peaked* adalah atap yang memiliki 2 sisi miring yang bertemu di satu titik/garis. Sehingga untuk menghitung detektor dilakukan dengan mengetahui nilai *ceiling slope* dan *depth beam*. Sesuai NFPA 72 Klausul 17.6.3.3.1.2 apabila terdapat balok yang menonjol lebih dari 4 inci (100 mm) dari permukaan langit-langit, maka jarak pemasangan detektor panas tipe titik yang dipasang tegak lurus terhadap arah balok tidak boleh melebihi dua pertiga dari jarak pemasangan yang terdaftar (*listed spacing*). Pada Klausul 17.6.3.4.1.1 kemiringan langit-langit kurang dari 30 derajat, semua detektor harus dipasang dengan menggunakan ketinggian puncak. Berdasarkan NFPA 72 Tahun 2022, perhitungan kebutuhan detektor pada area *office* dan area *workshop* sebagai berikut.

1. Area Office

Pada area *office* 1 dan *office* 2, terdapat beberapa ruangan yang dipisahkan oleh dinding atau sekat. Oleh karena itu, perhitungan kebutuhan detektor asap tidak hanya didasarkan pada luas total area *office*, tetapi dihitung berdasarkan masing-masing ruangan. Hal ini

dilakukan karena keberadaan sekat atau dinding dapat memengaruhi penyebaran asap menuju detektor. Apabila suatu ruangan tertutup tidak dilengkapi detektor, maka asap dari kebakaran pada ruangan tersebut berpotensi terlambat terdeteksi. Berdasarkan hasil identifikasi *layout*, area *office* 1 dan *office* 2 terdiri atas 5 ruangan yang membutuhkan detektor asap.

a. *Office* 1A

Ruang *office* 1A memiliki panjang ruangan 3,5 m dan lebar ruangan 7 m. Apabila pemasangan detektor asap memiliki jarak maksimal satu sama lain sejauh 9,1 m serta jarak maksimal ke dinding sejauh 4,55 m, maka perhitungan kebutuhan detektor pada area *office* 1A sebagai berikut.

$$S = 9,1 \text{ m}$$

$$\text{Detektor memanjang} = \frac{\text{Panjang}}{S} = \frac{3,5}{9,1} = 0,38 \approx 1$$

$$\text{Detektor melintang} = \frac{\text{Lebar}}{S} = \frac{7}{9,1} = 0,77 \approx 1$$

$$\text{Total Detektor} = \text{detektor memanjang} \times \text{detektor melintang}$$

$$\text{Total Detektor} = 1 \times 1 = 1 \text{ unit detektor asap}$$

Berdasarkan perhitungan diperoleh bahwa ruangan *office* 1A membutuhkan 1 unit detektor asap.

b. *Office* 1B

Ruang *office* 1B memiliki panjang ruangan 8,5 m dan lebar ruangan 7 m. Apabila pemasangan detektor asap memiliki jarak maksimal satu sama lain sejauh 9,1 m serta jarak maksimal ke dinding sejauh 4,55 m, maka perhitungan kebutuhan detektor pada area *office* 1B sebagai berikut.

$$S = 9,1 \text{ m}$$

$$\text{Detektor memanjang} = \frac{\text{Panjang}}{S} = \frac{8,5}{9,1} = 0,93 \approx 1$$

$$\text{Detektor melintang} = \frac{\text{Lebar}}{S} = \frac{7}{9,1} = 0,77 \approx 1$$

$$\text{Total Detektor} = \text{detektor memanjang} \times \text{detektor melintang}$$

$$\text{Total Detektor} = 1 \times 1 = 1 \text{ unit detektor asap}$$

Berdasarkan perhitungan diperoleh bahwa ruangan *office* 1B membutuhkan 1 unit detektor asap.

c. *Office* 2A

Ruang *office* 2A memiliki panjang ruangan 8 m dan lebar ruangan 7 m. Apabila pemasangan detektor asap memiliki jarak maksimal satu sama lain sejauh 9,1 m serta jarak maksimal ke dinding sejauh 4,55 m, maka perhitungan kebutuhan detektor pada area *office* 2A sebagai berikut.

$$S = 9,1 \text{ m}$$

$$\text{Detektor memanjang} = \frac{\text{Panjang}}{S} = \frac{8}{9,1} = 0,88 \approx 1$$

$$\text{Detektor melintang} = \frac{\text{Panjang}}{S} = \frac{7}{9,1} = 0,77 \approx 1$$

$$\text{Total Detektor} = \text{detektor memanjang} \times \text{detektor melintang}$$

$$\text{Total Detektor} = 1 \times 1 = 1 \text{ unit detektor asap}$$

Berdasarkan perhitungan diperoleh bahwa ruangan *office* 2A membutuhkan 1 unit detektor asap.

d. *Office* 2B

Ruang *office* 2B memiliki panjang ruangan 3 m dan lebar ruangan 4,5 m. Apabila pemasangan detektor asap memiliki jarak maksimal satu sama lain sejauh 9,1 m serta jarak maksimal ke dinding sejauh 4,55 m, maka perhitungan kebutuhan detektor pada area *office* 2B sebagai berikut.

$$S = 9,1 \text{ m}$$

$$\text{Detektor memanjang} = \frac{\text{Panjang}}{S} = \frac{3}{9,1} = 0,33 \approx 1$$

$$\text{Detektor melintang} = \frac{\text{Lebar}}{S} = \frac{4,5}{9,1} = 0,49 \approx 1$$

$$\text{Total Detektor} = \text{detektor memanjang} \times \text{detektor melintang}$$

$$\text{Total Detektor} = 1 \times 1 = 1 \text{ unit detektor asap}$$

Berdasarkan perhitungan diperoleh bahwa ruangan *office* 2B membutuhkan 1 unit detektor asap.

e. *Office 2C*

Ruang *office 2C* memiliki panjang ruangan 4 m dan lebar ruangan 7 m. Apabila pemasangan detektor asap memiliki jarak maksimal satu sama lain sejauh 9,1 m serta jarak maksimal ke dinding sejauh 4,55 m, maka perhitungan kebutuhan detektor pada area *office 2C* sebagai berikut.

$$S = 9,1 \text{ m}$$

$$\text{Detektor memanjang} = \frac{\text{Panjang}}{S} = \frac{4}{9,1} = 0,44 \approx 1$$

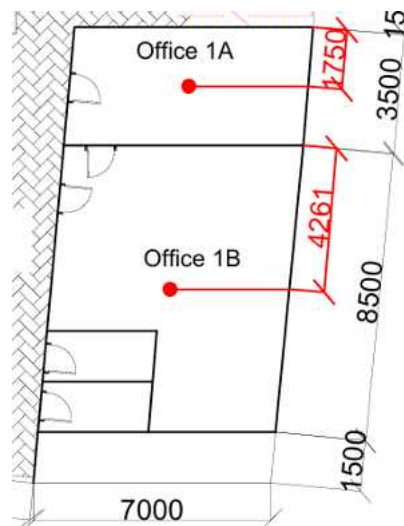
$$\text{Detektor melintang} = \frac{\text{Lebar}}{S} = \frac{7}{9,1} = 0,77 \approx 1$$

$$\text{Total Detektor} = \text{detektor memanjang} \times \text{detektor melintang}$$

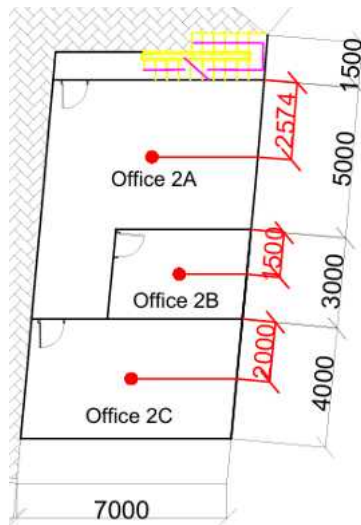
$$\text{Total Detektor} = 1 \times 1 = 1 \text{ unit detektor asap}$$

Berdasarkan perhitungan diperoleh bahwa ruangan *office 2C* membutuhkan 1 unit detektor asap.

Setelah diperoleh kebutuhan detektor asap pada setiap ruangan *office*, berikut merupakan rekomendasi penempatan detektor asap yang dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7.



Gambar 4. 6 *Layout Rekomendasi Penempatan Detektor Asap pada Ruang Office Lantai 1*



Gambar 4. 7 Layout Rekomendasi Penempatan Detektor Asap pada Ruang Office Lantai 2

2. Area Workshop

Perhitungan kebutuhan detektor panas pada area *workshop* mengacu pada NFPA 72, yaitu berdasarkan jarak pemasangan atau *listed spacing* detektor panas. Area *workshop* memiliki dimensi panjang 28,99 m dan lebar 54,65 m. Detektor panas yang digunakan diasumsikan memiliki *listed spacing* sebesar 50 ft atau sekitar 15,25 m. Area *workshop* memiliki atap tipe miring/*peaked* dengan ketinggian yang bervariasi. Berdasarkan data gambar bangunan, titik terendah atap berada sekitar 8 m, sedangkan puncak atap berada pada ketinggian sekitar 12,7 m.

Menurut NFPA 72 Tahun 2022, pada pemasangan detektor panas di *ceiling* dengan ketinggian lebih dari 10 ft hingga 30 ft atau sekitar 3–9,1 m, jarak pemasangan detektor perlu dikurangi menggunakan faktor pengali berdasarkan ketinggian *ceiling*. Karena sebagian area atap *workshop* memiliki ketinggian yang mendekati dan melebihi batas tersebut, maka pada penelitian ini digunakan pendekatan konservatif dengan faktor pengali 0,34, yaitu faktor reduksi terkecil pada tabel NFPA 72. Penggunaan faktor pengali tersebut dilakukan karena penelitian ini merupakan perancangan awal dan tidak memiliki akses terhadap *engineering judgment* atau kajian teknis lanjutan dari pihak ahli/vendor. Selain itu, penelitian Carboni dkk., (2022) menunjukkan bahwa detektor

panas masih dapat digunakan pada area dengan *ceiling* tinggi hingga 11,5 m, meskipun efektivitas deteksinya dapat menurun seiring bertambahnya ketinggian. Oleh karena itu, penggunaan faktor reduksi terkecil dipilih untuk menghasilkan jarak pemasangan yang lebih rapat sehingga rancangan menjadi lebih konservatif, berikut merupakan perhitungan kebutuhan detektor pada area *workshop*.

$$S = 15,25 \text{ m} \times \text{faktor pengali}$$

$$S = 15,25 \text{ m} \times 0,34$$

$$S = 5,185 \text{ m}$$

$$\text{Detektor memanjang} = \frac{\text{Panjang}}{S} = \frac{28,99}{5,185} = 5,59 \approx 6$$

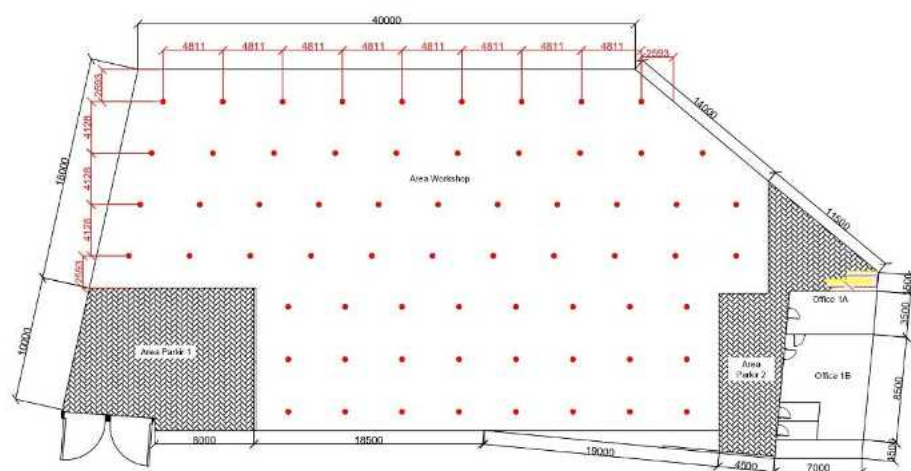
$$\text{Detektor melintang} = \frac{\text{Lebar}}{S} = \frac{54,65}{15,25} = 10,54 \approx 11$$

$$\text{Total Detektor} = \text{detektor memanjang} \times \text{detektor melintang}$$

$$\text{Total Detektor} = 6 \times 11 = 66 \text{ unit detektor panas}$$

Berdasarkan perhitungan diperoleh bahwa area *workshop* membutuhkan 66 unit detektor panas.

Apabila pemasangan detektor panas memiliki jarak maksimal satu sama lain sejauh 5,185 m serta jarak maksimal ke dinding sejauh 2,5925 m, berikut merupakan rekomendasi penempatan detektor asap yang dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4. 8 *Layout* Rekomendasi Penempatan Detektor Panas pada Area *Workshop*

Pada Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa hasil rekomendasi penempatan detektor panas pada area *workshop* menggunakan 65 unit detektor. Hal ini disebabkan oleh bentuk bangunan yang tidak beraturan sehingga terdapat beberapa area dengan dimensi yang tidak memungkinkan untuk dilakukan penempatan detektor secara simetris. Namun demikian, jarak maksimum antar detektor sebesar 5,185 m serta jarak maksimum detektor terhadap dinding sebesar 2,5925 m masih memenuhi ketentuan yang dipersyaratkan. Oleh karena itu, penggunaan 65 unit detektor panas dinilai telah memadai untuk memberikan perlindungan terhadap potensi kebakaran pada area *workshop* yang direncanakan.

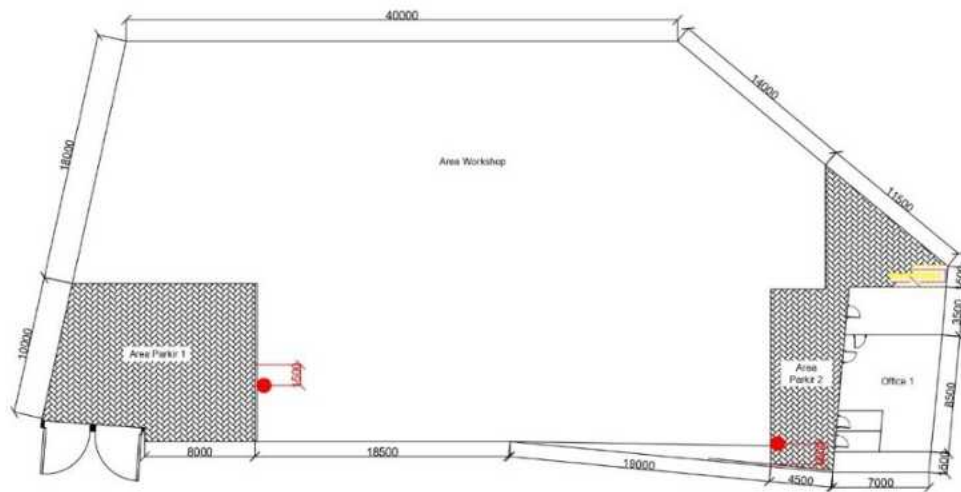
4.5 Perancangan Alarm

Perancangan sistem alarm kebakaran mengacu pada NFPA 72 Tahun 2022 tentang *National Fire Alarm and Signaling Code*. Pada perancangan ini, sistem alarm terdiri atas titik panggil manual (TPM) sebagai perangkat aktivasi manual dan *horn-strobe* sebagai perangkat pemberi peringatan suara serta visual. *Horn-strobe* digunakan agar peringatan kebakaran dapat diterima oleh pekerja maupun penghuni bangunan, khususnya pada area *workshop* yang memiliki potensi kebisingan dari aktivitas pengoperasian mesin, pengelasan, pemotongan, dan penggerindaan.

Berdasarkan NFPA 72 Tahun 2022, tingkat suara lingkungan rata-rata pada area industri adalah sebesar 88 dBA. Pada Klausul 18.4.4.1 dijelaskan bahwa sinyal alarm untuk mode publik harus memiliki tingkat suara minimal 15 dB di atas tingkat suara lingkungan rata-rata, atau 5 dB di atas tingkat suara maksimum yang berlangsung sekurang-kurangnya 60 detik, dipilih nilai yang lebih besar. Pengukuran tingkat suara tersebut dilakukan pada ketinggian 5 ft atau sekitar 1,5 m di atas lantai. Berdasarkan ketentuan tersebut, maka tingkat suara minimum *horn-strobe* pada area *workshop* adalah sebesar 103 dBA dengan durasi maksimum 7,5 menit atau 450 detik.

Selain perangkat notifikasi, sistem alarm kebakaran juga dilengkapi dengan titik panggil manual (TPM). TPM berfungsi untuk mengaktifkan alarm secara manual apabila kebakaran diketahui langsung oleh pekerja sebelum terdeteksi oleh detektor

otomatis. Berdasarkan NFPA 72 Tahun 2022 Klausul 17.15.6, tinggi pemasangan TPM tidak boleh kurang dari 42 in atau 1,07 m dan tidak boleh lebih dari 48 in atau 1,22 m dari lantai jadi. Selanjutnya, pada Klausul 17.15.9.4 dijelaskan bahwa kotak alarm manual harus ditempatkan dalam jarak 5 ft atau sekitar 1,5 m dari setiap pintu keluar pada setiap lantai. Selain itu, berdasarkan Klausul 17.15.9.5, jarak antar titik panggil manual tidak boleh melebihi 61 m yang diukur secara horizontal. Dari ketentuan tersebut maka dapat diketahui kebutuhan TPM pada *workshop* fabrikasi sejumlah 2 unit TPM pada lantai 1 dan 1 unit TPM pada lantai 2 yang dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10.



Gambar 4. 9 *Layout* Rekomendasi Penempatan Titik Panggil Manual pada *Workshop* Fabrikasi Lantai 1



Gambar 4. 10 *Layout* Rekomendasi Penempatan Titik Panggil Manual pada *Workshop* Fabrikasi Lantai 2

4.6 Perancangan Hidran

Perancangan hidran dilakukan pada *workshop* fabrikasi bertujuan untuk mendukung upaya penanggulangan kebakaran secara cepat, yang dapat dilakukan oleh para karyawan atau personel internal perusahaan yang terlatih. Berdasarkan tujuan tersebut, mengacu pada NFPA 14 Klausul 3.3.30 sistem hidran diklasifikasikan pada sistem hidran kelas II.

4.6.1 Analisis Perhitungan Kebutuhan Pilar Hidran

Berdasarkan NFPA 14 Tahun 2024 Klausul 9.5.2.2.1.2, jarak tempuh maksimum (*travel distance*) pada bangunan yang tidak dilengkapi sistem sprinkler adalah 130 ft atau setara dengan 40 m. Oleh karena itu, jangkauan hidran pada *workshop* fabrikasi ditentukan berdasarkan batas jarak tersebut. Perhitungan jangkauan hidran dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Jangkauan hidran} = \pi r^2$$

$$\text{Jangkauan hidran} = 3,14 \times (40 \text{ m})^2$$

$$\text{Jangkauan hidran} = 5.024 \text{ m}^2$$

Luas keseluruhan *workshop* fabrikasi adalah 1.686,60 m², sehingga jumlah pilar hidran yang dibutuhkan dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan 2.5 sebagai berikut.

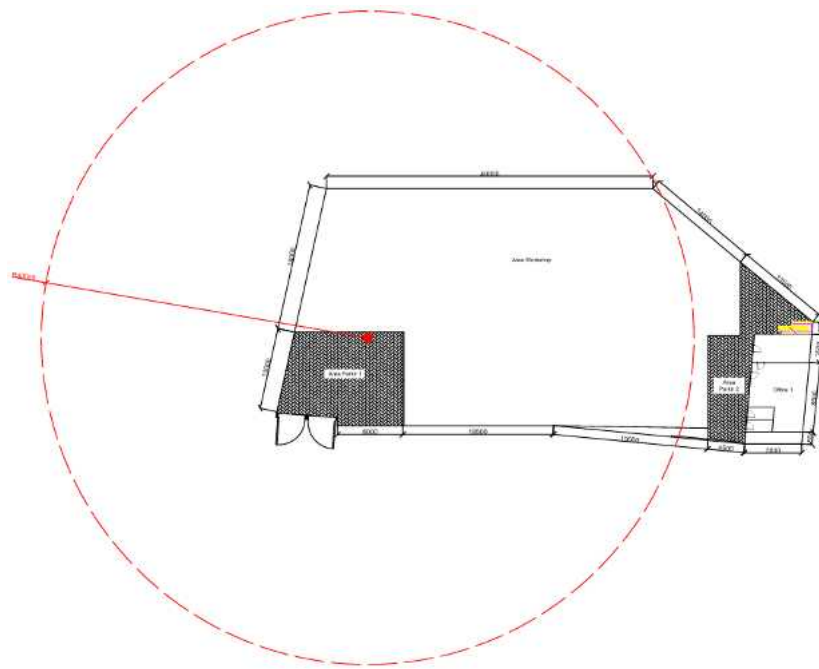
$$\text{Jumlah pilar hidran} = \frac{\text{Luas area}}{\text{Luas jangkauan hidran}}$$

$$\text{Jumlah pilar hidran} = \frac{1.686.60}{5.024}$$

$$\text{Jumlah pilar hidran} = 0,336 \approx 1 \text{ buah pilar.}$$

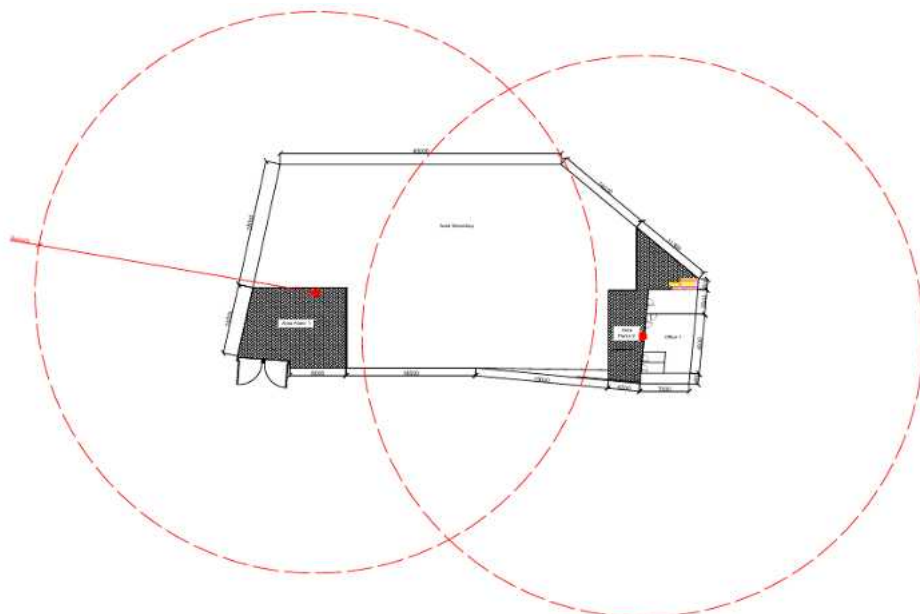
4.6.2 Penempatan Pilar Hidran

Berdasarkan perhitungan kebutuhan pilar hidran, diketahui *workshop* fabrikasi membutuhkan 1 buah pilar hidran untuk memenuhi kebutuhan pada area tersebut. Namun, untuk memastikan bahwa luas cakupan perlindungan dari pilar hidran telah mampu melindungi seluruh area *workshop*, diperlukan estimasi penempatan pilar hidran. Berikut merupakan *layout* estimasi penempatan pilar hidran pada area *workshop* fabrikasi.



Gambar 4. 11 *Layout Estimasi Penempatan 1 Pilar Hidran pada Workshop Fabrikasi*

Pada Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa jumlah pilar yang dibutuhkan berdasarkan perhitungan masih belum mampu memproteksi seluruh area *workshop* fabrikasi. Dengan demikian diperlukan penambahan jumlah pilar hidran sehingga mampu memproteksi seluruh area *workshop* fabrikasi yang dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4. 12 *Layout Rekomendasi Penempatan 2 Pilar Hidran pada Workshop Fabrikasi*

Berdasarkan Gambar 4.12 penambahan pilar hidran pada area tersebut sudah mencakup seluruh area *workshop* fabrikasi. Sesuai dengan NFPA bangunan dengan tidak terpasang sprinkler memiliki *travel distance* 40 m. Sehingga untuk jangkauan pilar hidran menggunakan ketentuan tersebut. Dengan demikian 2 pilar hidran yang terpasang sudah dapat menjangkau seluruh area *workshop* fabrikasi.

4.6.3 Perhitungan Kebutuhan Air Hidran dan Kapasitas *Reservoir*

Berdasarkan NFPA 14 Klausul 10.6.2.1.1, sistem hidran kelas II harus memiliki kapasitas suplai air sebesar 100 gpm, yang setara dengan 379 L/menit atau 0,00632 m³/detik. Selanjutnya, mengacu pada Klausul 5.2, durasi pancaran air direncanakan selama 30 menit atau 1.800 detik. Oleh karena itu, kebutuhan volume air dapat ditentukan melalui perhitungan antara debit aliran dan waktu operasi, sesuai dengan Persamaan 2.7.

$$Q = 0,00632 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$T = 1.800 \text{ detik}$$

$$V_{\text{Kebutuhan Air}} = Q \times T$$

$$V_{\text{Kebutuhan Air}} = 0,00632 \text{ m}^3/\text{detik} \times 1.800 \text{ detik}$$

$$V_{\text{Kebutuhan Air}} = 11,376 \text{ m}^3$$

Maka kebutuhan air yang dibutuhkan untuk sistem hidran kelas II agar memenuhi standar NFPA 14 adalah sebesar 11,376 m³. Berdasarkan perhitungan kebutuhan pilar hidran, diketahui *workshop* fabrikasi membutuhkan 2 pilar hidran untuk menjangkau seluruh area. Oleh karena itu, untuk mengetahui kebutuhan air total pada skenario kebakaran terburuk, yaitu ketika 2 pilar hidran digunakan secara bersamaan, maka perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$V_{\text{Total}} = V_{\text{Kebutuhan Air}} \times \text{jumlah pilar hidran}$$

$$V_{\text{Total}} = 11,376 \text{ m}^3 \times 2$$

$$V_{\text{Total}} = 22,752 \text{ m}^3$$

Jadi, total kebutuhan air pada skenario kebakaran terburuk adalah sebesar 22,752 m³.

Setelah total kebutuhan air untuk sistem hidran diketahui, tahap selanjutnya adalah menentukan kapasitas reservoir yang diperlukan sebagai tempat penyimpanan air. Berdasarkan kebutuhan air sebesar 22,752 m³, reservoir harus dirancang dengan kapasitas yang mampu menampung volume tersebut secara efektif. Oleh karena itu, dipilih rancangan reservoir berbentuk balok dengan dimensi panjang 3 m, lebar 3 m, dan tinggi 2,6 m agar sesuai dengan kapasitas air yang dibutuhkan.

$$V_{\text{Reservoir}} = p \times l \times t$$

$$V_{\text{Reservoir}} = 3 \times 3 \times 2,6$$

$$V_{\text{Reservoir}} = 23,4 \text{ m}^3$$

Dengan demikian, diketahui bahwa kapasitas reservoir yang dirancang sebesar 23,4 m³ telah mencukupi kebutuhan sistem hidran yang mengacu pada standar NFPA 14 Tahun 2024 untuk sistem hidran kelas II, yaitu 379 L/menit selama 30 menit.

4.6.4 Penentuan Diameter Pipa Hidran

Dalam sistem hidran, pipa berfungsi sebagai media distribusi air pemadam dari sumber suplai menuju titik proteksi kebakaran. Pemilihan ukuran pipa harus mengacu pada ketentuan yang berlaku dalam NFPA 14. Ukuran pipa yang direncanakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Ukuran Pipa Sistem Hidran

Jenis Pipa	Diameter
Pipa <i>Suction</i>	5" (125 mm)
Pipa <i>Discharge</i>	4" (100 mm)

4.6.5 Perhitungan *Head Loss* pada Jalur Pipa Hidran

Perancangan sistem hidran pada penelitian ini mengacu pada NFPA 14 dengan menggunakan metode Darcy-Weisbach untuk menghitung kehilangan tekanan (*head loss*) pada jaringan perpipaan, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan 2.8. Berdasarkan NFPA 14, ukuran pipa pada sistem hidran harus ditentukan melalui perhitungan hidrolis dengan diameter minimum 4 inci (100 mm). Perhitungan *head loss* dilakukan pada jalur pipa

terjauh (*most remote hydrant*) karena merupakan kondisi yang paling kritis dalam sistem. Untuk mempermudah analisis hidrolis, simulasi aliran dilakukan menggunakan perangkat lunak *Pipe Flow Expert* berdasarkan spesifikasi pipa yang digunakan pada sistem hidran, berikut merupakan contoh perhitungan pada pipa dengan mengetahui spesifikasi pipa tersebut.

Line number : P17
 Ukuran pipa : 4" atau 100 mm
 Aliran volume air (Q) : 0,0063 m³/s
 Diameter dalam (D) : 0,1022604 m
 Panjang pipa (L) : 1 m
 Suhu air : 20°C

Untuk mengetahui luas penampang (A) pada lingkaran pipa dapat menggunakan rumus berikut.

$$A = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A = \frac{3,14 \times (0,1022604^2)}{4}$$

$$A = 0,008208894 \text{ m}^2$$

Perhitungan *headloss mayor* diawali dengan mencari nilai kecepatan aliran air sebagai berikut.

$$v = \frac{Q}{A}$$

$$v = \frac{0,0063 \text{ m}^3/\text{s}}{0,008208894 \text{ m}^2}$$

$$v = 0,76746 \text{ m/s}$$

Setelah nilai kecepatan aliran diketahui, berikutnya menganalisis nilai bilangan Reynold sebagai berikut.

$$Re = \frac{vD}{\mu}$$

$$Re = \frac{0,76746 \text{ m/s} \times 0,1022604 \text{ m}}{0,000001002 \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 78.324,15$$

Dari perhitungan yang dilakukan diperoleh bahwa nilai bilangan Reynold sebesar 78.324,15. Nilai $Re \geq 2300$ menunjukkan aliran tersebut termasuk aliran turbulen, yaitu ketika fluida bergerak acak dengan arah yang berubah-ubah. Berdasarkan hasil tersebut, maka digunakan rumus faktor gesekan yang sesuai dengan aliran turbulen.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{0,00015/0,1022604}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

$$f = 0,0241$$

Colebrook Equation Calculator

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

Absolute Roughness (ϵ)
0,00015 × Meter (m)

Pipe Diameter (D)
0,1022604 × Meter (m)

Reynolds Number, Re (dimensionless)
78324,15 × Dimensionless

Friction Factor (f) =
0.024114435

Gambar 4. 13 Hasil Perhitungan *Friction Factor* dengan *Colebrook Equation*

Dari perhitungan pada Gambar 4.13 didapatkan nilai faktor gesekan sebesar 0,0241, sehingga perhitungan *headloss mayor* menggunakan Persamaan 2.8 sebagai berikut.

$$H = f \frac{L v^2}{D 2g}$$

$$H = 0,0241 \times \frac{1 \times (0,76746^2)}{0,1022604 \times 2 \times 9,8}$$

$$H = 0,007086395 \text{ m}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut diperoleh nilai *headloss mayor* pada pipa P17 sebesar 0,007086395 m. Berikut merupakan hasil perhitungan *headloss mayor* pada seluruh pipa pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Perhitungan *Headloss Mayor* pada Sistem Hidran

No	Nama Pipa	Diameter Dalam	Panjang	Aliran Volume Air	Kecepatan Aliran Air	Headloss
		m	m	m ³ /s	m/s	m
1	P1	0,1281	2,9	0,0126	0,97814	0,024232
2	P2	0,1281	1	0,0126	0,97814	0,008385
3	P3	0,1022604	1	0,0126	1,534920597	0,025865
4	P4	0,1022604	1	0,0126	1,534920597	0,025865
5	P5	0,1022604	1,6	0,0126	1,534920597	0,041383
6	P6	0,1022604	0,5	0,0126	1,534920597	0,012932
7	P7	0,1022604	3,3	0,0126	1,534920597	0,084862
8	P8	0,1022604	0,9	0,0063	0,767460299	0,006073
9	P9	0,1022604	1	0,0063	0,767460299	0,007086
10	P10	0,1022604	0,9	0,0063	0,767460299	0,006059
11	P11	0,1022604	2,3	0,0063	0,767460299	0,016299
12	P12	0,1022604	4,8	0,0063	0,767460299	0,03366
13	P13	0,1022604	35,2	0,0063	0,767460299	0,24959
14	P14	0,1022604	4,9	0,0063	0,767460299	0,034723
15	P15	0,1022604	2	0,0063	0,767460299	0,014173
16	P16	0,1022604	2,5	0,0063	0,767460299	0,017716
17	P17	0,1022604	1	0,0063	0,767460299	0,007086
Total Headloss Mayor						0,615983

Berikutnya akan menganalisis nilai *headloss minor* pada P1. Nilai K dan aliran kecepatan diperoleh dari *value software Pipe Flow Expert*.

$$H_m = K \frac{v^2}{2g}$$

$$H_m = (6,3+0,49) \frac{(0,97814)^2}{2(9,8)}$$

$$H_m = 0,33145$$

Nilai *headloss minor* yang diperoleh dari perhitungan pipa P1 sebesar 0,33145 m. Pada Tabel 4.10 diketahui total *headloss minor* yang didapatkan dari perhitungan sistem perpipaan hidran adalah sebesar 1,0917 m. Setelah mendapat nilai *head loss mayor* dan *head loss minor*, maka selanjutnya akan melakukan perhitungan *head loss total* menggunakan Persamaan 2.13.

$$H_{\text{total}} = H_{\text{mayor}} + H_{\text{minor}}$$

$$H_{\text{total}} = 0,615983\text{m} + 1,0917\text{ m}$$

$$H_{\text{total}} = 1,708\text{ m}$$

Tabel 4. 10 Perhitungan *Headloss Minor* pada Sistem Hidran

No	Nama Pipa	Jenis <i>Fitting</i>	K	Kecepatan Aliran Air (m/s)	<i>Headloss Minor</i> (m)
1	P1	<i>Foot Valve with Strainer</i>	6,3	0,97814	0,30753
		<i>Elbow 90°</i>	0,49	0,97814	0,01392
2	P3	<i>Swing Check Valve</i>	2	1,534920597	0,24041
		<i>Elbow 90°</i>	0,51	1,534920597	0,0613
3	P4	Gate Valve	0,14	1,534920597	0,01683
		<i>Elbow 90°</i>	0,51	1,534920597	0,0613
4	P5	<i>Elbow 90°</i>	0,51	1,534920597	0,0613
5	P6	<i>Elbow 90°</i>	0,51	1,534920597	0,0613
6	P7	<i>Tee Branch</i>	1,02	0,767460299	0,12261
7	P8	<i>Gate Valve</i>	0,14	0,767460299	0,00421
		<i>Elbow 90°</i>	0,51	0,767460299	0,01533
8	P10	<i>Elbow 90°</i>	0,51	0,767460299	0,01533
10	P11	<i>Gate Valve</i>	0,14	0,767460299	0,00421
		<i>Elbow 90°</i>	0,51	0,767460299	0,01533
11	P12	<i>Elbow 90°</i>	0,51	0,767460299	0,01533
12	P13	<i>Elbow 90°</i>	0,51	0,767460299	0,01533
13	P14	<i>Elbow 90°</i>	0,51	0,767460299	0,01533
14	P15	<i>Elbow 90°</i>	0,51	0,767460299	0,01533
15	P16	<i>Gate Valve</i>	0,14	0,767460299	0,00421
		<i>Elbow 90°</i>	0,51	0,767460299	0,01533
Total <i>Headloss Minor</i>					1,0917

4.6.6 Perhitungan *Head Pump* dan Daya Pompa

Perhitungan head pompa dilakukan dengan mempertimbangkan *head loss*, perbedaan elevasi antara sumber air dan pilar hidran terjauh, serta tekanan yang harus tersedia pada pilar hidran sesuai dengan kebutuhan sistem. Tekanan pada pilar hidran menurut NFPA 14 yaitu sebesar 65 psi atau 448.159 Pa. Nilai *head pump* dapat diketahui melalui Persamaan 2.15 sebagai berikut.

$$P_1 = 0 \text{ Pa}$$

$$P_2 = 448.159 \text{ Pa}$$

$$V_1 = 0,97814 \text{ m/s}$$

$$V_2 = 0,76746 \text{ m/s}$$

$$H_1 = 1,3 \text{ m}$$

$$H_2 = 2,6 \text{ m}$$

$$H_L = 1,708 \text{ m}$$

$$\rho = 998 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$H_p = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (H_2 - H_1) + H_L$$

$$H_p = \frac{448.159 - 0}{998 \times 9,8} + \frac{(0,76746)^2 - (0,67635)^2}{2 \times 9,8} + (2,6 - 1,3) + 1,708$$

$$H_p = 45,82 - 0,01876 + 1,3 + 1,708$$

$$H_p = 48,81 \text{ m}$$

Nilai *head* pompa yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam pemilihan spesifikasi pompa yang sesuai dengan kebutuhan sistem hidran yang dirancang. Besar daya pompa yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$W_{\text{pump}} = Q \times H_p \times \rho \times g$$

$$W_{\text{pump}} = 0,01264 \times 48,81 \times 998 \times 9,81$$

$$W_{\text{pump}} = 6.034,24 \text{ watt}$$

$$W_{\text{pump}} = 6,03 \text{ kW}$$

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, diperoleh kebutuhan daya pompa sebesar 6,03 kW untuk mendukung operasi sistem hidran pada *workshop* fabrikasi. Selanjutnya, dilakukan pemilihan jenis pompa yang sesuai dengan kebutuhan *head* dan daya yang telah dihitung. Adapun jenis pompa yang digunakan pada penelitian ini adalah Ebara. Spesifikasi dengan kebutuhan perancangan sistem proteksi kebakaran aktif pada *workshop* fabrikasi sebagai berikut.

Jenis pompa : *End Suction Pump*

Merk : Ebara

Tipe : 125 × 100 FS4LA

Frekuensi : 50 Hz

Speed : 1450 rpm

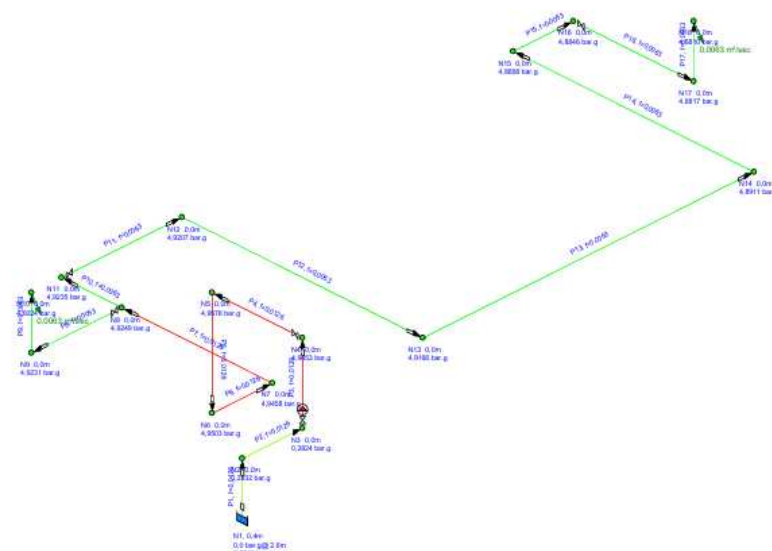
Daya pompa : 14 kW

Efisiensi pompa : 45%

Rincian lebih lengkap terkait spesifikasi pompa kebakaran yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Lampiran 13 tentang katalog spesifikasi pompa.

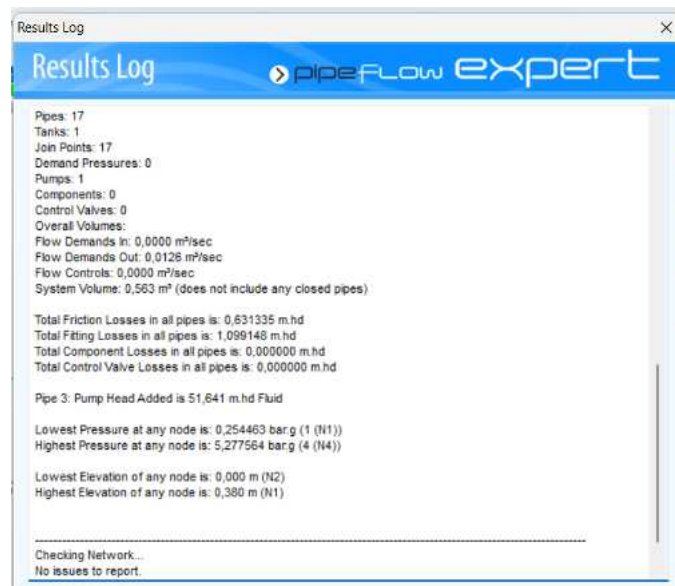
4.6.7 Simulasi *Pipe Flow Expert* dan Perhitungan Persentase Kesalahan

Hasil perancangan sistem perpipaan yang telah diperoleh selanjutnya disimulasikan menggunakan perangkat lunak *Pipe Flow Expert*. Simulasi dilakukan berdasarkan desain isometri pipa dengan menggunakan beberapa parameter masukan, meliputi jenis pipa, jenis fluida, diameter pipa, debit air hidran, kebutuhan air, jenis dan jumlah *fitting*, serta elevasi pipa. Berdasarkan parameter tersebut, *software* akan menghitung kehilangan energi akibat gesekan sepanjang pipa (*headloss mayor*) dan kehilangan energi akibat *fitting* perpipaan (*headloss minor*), yang kemudian dijumlahkan untuk memperoleh nilai total *headloss*. Nilai total *headloss* yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk menentukan kebutuhan *head* pompa dan daya pompa.



Gambar 4. 14 Isometri Sistem Hidran

Pada Gambar 4.14 menunjukkan hasil perancangan isometri sistem hidran menggunakan *Pipe Flow Expert*. Model isometri tersebut merepresentasikan konfigurasi jaringan perpipaan yang telah dirancang dan digunakan sebagai dasar simulasi hidrolis. Setelah proses perancangan isometri selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah melakukan kalkulasi menggunakan perangkat lunak *Pipe Flow Expert* untuk memperoleh nilai total *headloss* dan kebutuhan *head* pompa. Hasil perhitungan tersebut ditampilkan pada Gambar 4.15.



Gambar 4. 15 Hasil Nilai *Head Loss* dan *Head Pump* pada PFE

Berdasarkan Gambar 4.15 diperoleh nilai *headloss* total sebesar 1,73 m dan nilai *headpump* sebesar 51,641 m. Setelah diperoleh hasil perhitungan secara manual dan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak, tahap selanjutnya adalah menentukan besarnya perbedaan antara kedua metode tersebut melalui perhitungan persentase kesalahan (*error*). Adapun perhitungan persentase *error* dilakukan berdasarkan Persamaan 2.18.

a. Persentase kesalahan *headloss*

$$Error (\%) = \sum \frac{|Nilai software - Nilai manual|}{Nilai manual} \times 100\%$$

$$Error (\%) = \sum \frac{|1,73 - 1,708|}{1,708} \times 100\%$$

$$Error (\%) = 1,33\%$$

b. Persentase kesalahan *headpump*

$$Error (\%) = \sum \frac{|Nilai software - Nilai manual|}{Nilai manual} \times 100\%$$

$$Error (\%) = \sum \frac{|51,641 - 48,811|}{48,811} \times 100\%$$

$$Error (\%) = 5,8\%$$

Nilai Persentase kesalahan dari perbedaan hasil antara perhitungan *headloss* dan *headpump* secara manual dan *software* disajikan pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 11 Persentase Kesalahan Perhitungan Sistem Hidran

No	Parameter	Hasil		Persentase kesalahan (%)
		Manual	Software	
1	<i>Headloss</i>	1,708	1,73	1,33
2	<i>Headpump</i>	48,81	51,641	5,8

Berdasarkan Tabel 4.11 diperoleh persentase *error* pada *headloss* sebesar 1,33% dan pada *headpump* sebesar 5,8%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa hasil simulasi menggunakan *Pipe Flow Expert* memiliki tingkat kesesuaian yang baik dengan hasil perhitungan manual. Berdasarkan Scuro (2005), besarnya persentase kesalahan dipengaruhi oleh tingkat presisi metode dan instrumen yang digunakan, sehingga pada beberapa kasus persentase kesalahan sebesar 5–10% masih dapat diterima.

4.7 Perhitungan Nilai Probabilitas Keandalan Perancangan Sistem Proteksi Kebakaran Aktif

4.7.1 Probabilitas Keandalan Sistem Proteksi Kebakaran Aktif

Perhitungan probabilitas keandalan sistem proteksi kebakaran aktif pada penelitian ini dilakukan dengan mengacu pada beberapa sumber, antara lain *OREDA Handbook* (2009) serta berbagai penelitian terdahulu yang relevan. Komponen sistem yang dianalisis meliputi manual *fire detection*, APAR, detektor asap, *fire alarm*, dan hidran. Nilai probabilitas keberhasilan deteksi manual diperoleh dari penelitian Garvey dkk. (2014) mengenai *Fire Human Reliability Analysis*, yang memodelkan *manual fire detection* sebagai *Human Failure Event* (HFE) pada *Event Tree Analysis*. Pada kondisi *staffed-fast prompt detection*, diperoleh nilai *Human Error Probability* (HEP) sebesar $7,6 \times 10^{-3}$. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Chen (2011) berjudul *Reliability Analysis of a Fire Alarm System*, nilai *Probability of Failure on Demand* (PFD) untuk sistem alarm kebakaran diperoleh sebesar $6,11 \times 10^{-3}$ atau setara dengan 0,00611.

Kemudian dalam penelitian Tiwary (2021) berjudul *Reliability Evaluation of Fire Extinguisher An Innovative Safety Approach*, nilai *failure rate* dari APAR nilainya sebesar $5,66 \times 10^{-3}$ per tahun. Sementara itu, nilai

failure rate pada hidran sebesar $8,42 \times 10^{-7}$ per jam (Forell dkk., 2016) dan detektor panas akan mengacu pada buku OREDA (2009). Analisis probabilitas keandalan pada penelitian ini dilakukan dengan mengacu pada Persamaan 2.19 Hasil perhitungan digunakan untuk menentukan tingkat keandalan sistem pencegahan dan penanggulangan kebakaran yang meliputi *manual fire detection*, APAR, detektor panas, hidran, dan alarm.

1. *Manual Fire Detection*

Nilai *Human Error Probability* (HEP) sebesar $7,6 \times 10^{-3}$ merepresentasikan probabilitas kegagalan pekerja dalam mendeteksi kebakaran pada satu kejadian (*per demand*), sehingga:

$$\text{HEP} = Q$$

$$Q = 0,0076$$

$$R_{(t)} = 1 - Q$$

$$R_{(t)} = 1 - 0,0076$$

$$R_{(t)} = 0,9924$$

2. APAR

Diketahui:

$$\lambda \times t = 5,66 \times 10^{-3} \text{ per tahun}$$

maka,

$$R_{(t)} = e^{-\lambda t}$$

$$R_{(t)} = e^{-0,00566}$$

$$R_{(t)} = 0,9944$$

$$Q = 1 - R_{(t)}$$

$$Q = 1 - 0,9944$$

$$Q = 0,0056$$

3. Detektor Panas

Diketahui:

$$\lambda = 0,65 \times 10^{-3} / \text{jam (OREDA, 2009)}$$

$$t = 8.760 \text{ jam/tahun}$$

maka,

$$R_{(t)} = e^{-\lambda t}$$

$$R_{(t)} = e^{-(0,65 \times 10^{-3} \times 8.760)}$$

$$R_{(t)} = e^{-0,005694}$$

$$R_{(t)} = 0,9943$$

$$Q = 1 - R_{(t)}$$

$$Q = 1 - 0,9943$$

$$Q = 0,0057$$

4. Alarm

Nilai *probability of failure on demand* (PFD) alarm sebesar $6,11 \times 10^{-3}$ atau 0,00611. Nilai PFD ini setara dengan nilai Q (probabilitas gagal).

$$R_{(t)} = 1 - Q$$

$$R_{(t)} = 1 - 0,00611$$

$$R_{(t)} = 0,99389$$

5. Hidran

Diketahui:

$$\lambda = 8,42 \times 10^{-7}/\text{jam}$$

$$t = 8.760 \text{ jam/tahun}$$

maka,

$$R_{(t)} = e^{-\lambda t}$$

$$R_{(t)} = e^{-(8,42 \times 10^{-7} \times 8.760)}$$

$$R_{(t)} = e^{-0,00737592}$$

$$R_{(t)} = 0,9926$$

$$Q = 1 - R_{(t)}$$

$$Q = 1 - 0,9926$$

$$Q = 0,0074$$

Nilai probabilitas keandalan sistem proteksi kebakaran aktif pada *workshop* fabrikasi disajikan pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Probabilitas Keandalan Sistem Proteksi Kebakaran Aktif

No	Konponen	R (<i>Reability</i>)	Q (<i>Unreability</i>)
1	<i>Manual Fire Detection</i>	0,9924	0,0076
2	APAR	0,9944	0,0056
3	Detektor Panas	0,9943	0,0057
4	Alarm	0,99389	0,00611
5	Hidran	0,9926	0,0074

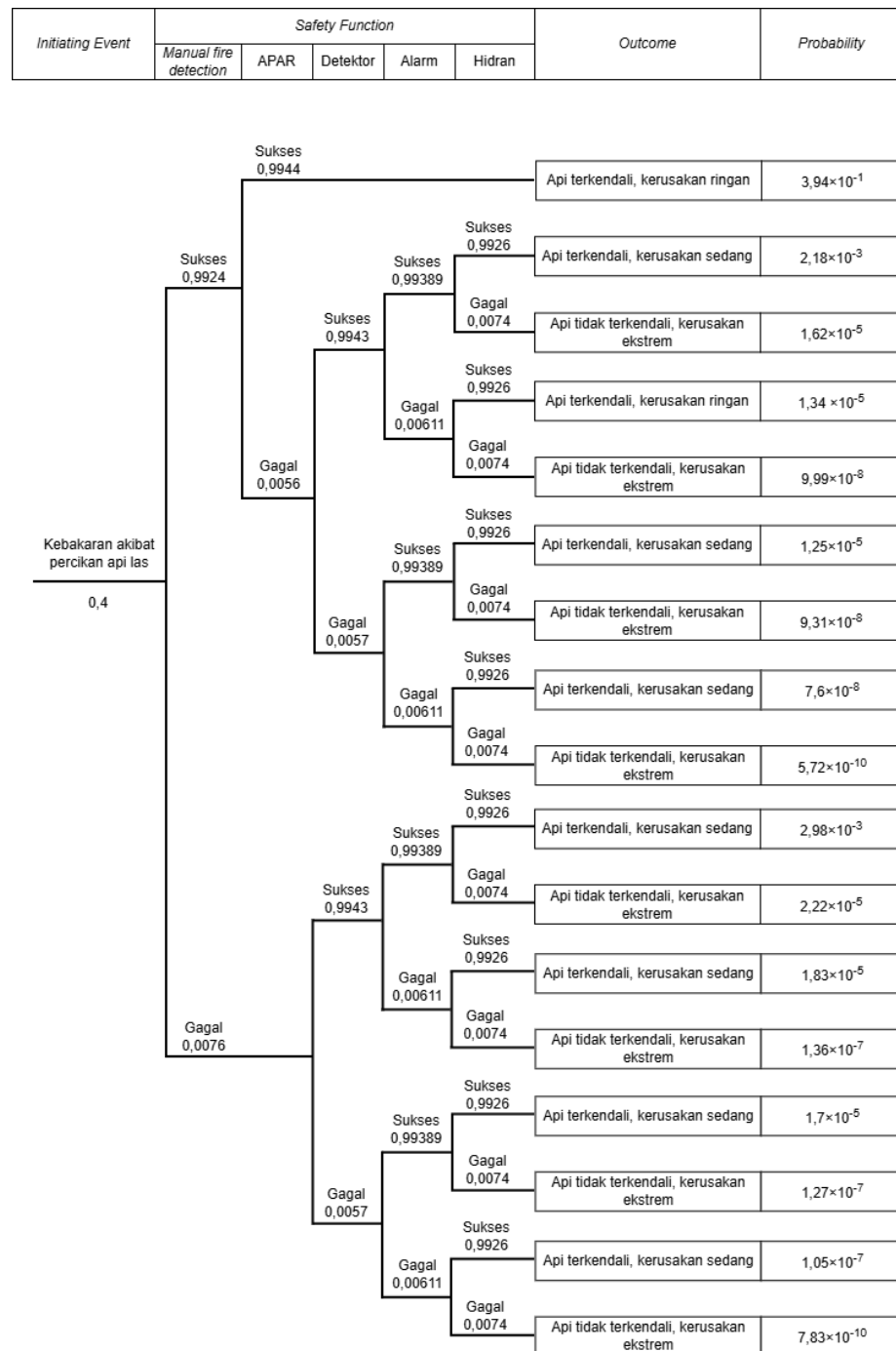
Berdasarkan Tabel 4.11, nilai probabilitas keandalan dan kegagalan pada masing-masing komponen sistem pencegahan dan penanggulangan kebakaran menunjukkan variasi yang berbeda. *Manual fire detection* memiliki nilai *reliability* sebesar 0,9924 dan *unreliability* sebesar 0,0076. APAR memiliki nilai *reliability* sebesar 0,9944 dan *unreliability* sebesar 0,0056. Detektor panas memiliki nilai *reliability* sebesar 0,9943 dengan probabilitas kegagalan sebesar 0,0057. Hidran memiliki nilai *reliability* sebesar 0,9926 dan *unreliability* sebesar 0,0074. Adapun alarm kebakaran memiliki nilai *reliability* sebesar 0,99389 dan *unreliability* sebesar 0,00611.

4.7.2 Penyusunan Diagram *Event Tree Analysis*

Metode *Event Tree Analysis* (ETA) digunakan untuk menentukan probabilitas terjadinya kebakaran berdasarkan urutan keberhasilan atau kegagalan sistem proteksi kebakaran yang tersedia. Penentuan *initiating event* pada penelitian ini mengacu pada hasil *Fire Risk Assessment* yang disajikan pada Tabel 4.1 dengan mempertimbangkan tingkat risiko tertinggi berdasarkan matriks risiko. Berdasarkan Tabel 4.1, risiko dengan kategori tertinggi ditunjukkan oleh warna merah yang mengindikasikan tingkat potensi kebakaran yang tinggi. Hasil penilaian menunjukkan bahwa terdapat satu aktivitas dengan tingkat risiko tinggi, yaitu pekerjaan pengelasan yang berpotensi menghasilkan percikan api. Oleh karena itu, *initiating event* yang digunakan dalam analisis ETA pada penelitian ini adalah kejadian kebakaran yang dipicu oleh percikan api dari aktivitas pengelasan. Nilai *initiating event* diperoleh dari jumlah kejadian per tahun, dimana pada perusahaan telah terjadi dua kejadian dalam rentang waktu lima tahun terakhir, sehingga diperoleh nilai *initiating event* sebesar 0,4 per tahun.

Pivotal event merupakan tahapan respons sistem proteksi kebakaran yang berfungsi untuk mengendalikan dan menanggulangi potensi terjadinya kebakaran. Nilai *pivotal event* pada setiap *safety function* ditentukan berdasarkan perhitungan *failure rate*, yang dinyatakan dalam bentuk *reliability* (keandalan) dan *unreliability* (kemungkinan kegagalan), sebagaimana disajikan pada Tabel 4.12. Nilai tersebut selanjutnya digunakan

sebagai input dalam penyusunan diagram *Event Tree Analysis* (ETA). Gambar 4.14 memperlihatkan diagram ETA yang disusun berdasarkan *initiating event* berupa kejadian kebakaran yang dipicu oleh percikan api dari aktivitas pengelasan.



Gambar 4. 16 Diagram ETA

Berdasarkan Gambar 4.16, analisis *Event Tree Analysis* (ETA) dilakukan dengan *initiating event* berupa kejadian kebakaran yang dipicu oleh percikan api dari aktivitas pengelasan. Adapun *pivotal event* yang dianalisis meliputi detektor panas, alarm kebakaran, APAR, dan sistem hidran. Kombinasi antara keberhasilan (*success*) dan kegagalan (*failure*) dari setiap *pivotal event* menghasilkan 17 kemungkinan *outcome*. Setiap *outcome* menggambarkan konsekuensi atau dampak yang dapat terjadi akibat skenario kebakaran yang telah ditetapkan.

Sebagai contoh, perhitungan probabilitas pada skenario yang menghasilkan *outcome* 1 dilakukan dengan mengalikan probabilitas *initiating event* dengan nilai probabilitas keberhasilan (R) atau kegagalan (Q) dari setiap *pivotal event*, sehingga diperoleh:

$$P = \text{initiating event (IE)} \times R \text{ atau } Q \text{ pivotal event (PE)}$$

$$P = 0,4 \times 0,9924 \times 0,9944$$

$$P = 3,94 \times 10^{-1}$$

Berdasarkan perhitungan, diperoleh nilai *probability* untuk kebakaran pada skenario 1 yaitu sebesar $3,94 \times 10^{-1}$ per tahun.

Outcome pada kejadian kebakaran yang dipicu oleh percikan api dari aktivitas pengelasan terdiri atas kemungkinan terjadinya kebakaran yang dapat dikendalikan maupun kebakaran yang tidak dapat dikendalikan, serta tingkat kerusakan yang ditimbulkan, yaitu kerusakan ringan, sedang, dan ekstrem. Kebakaran terkendali menggambarkan kondisi ketika api dapat ditangani secara efektif melalui sistem pencegahan dan penanggulangan kebakaran yang tersedia. Sebaliknya, kebakaran tidak terkendali menunjukkan kondisi ketika sistem pencegahan dan penanggulangan yang ada tidak mampu mengendalikan perkembangan api, sehingga berpotensi menyebabkan kerusakan yang lebih besar. Adapun kategori tingkat kerusakan sebagai berikut.

- a. Kerusakan ringan merupakan kondisi kerusakan yang bersifat minor dan dapat segera ditangani melalui tindakan perbaikan tanpa memerlukan waktu yang lama.

- b. Kerusakan sedang merupakan kerusakan yang memerlukan waktu perbaikan tertentu sehingga dapat mengakibatkan terganggunya atau berkurangnya waktu produktivitas mesin.
- c. Kerusakan ekstrem merupakan kondisi kerusakan berat yang membutuhkan waktu perbaikan yang relatif lama, bahkan hingga memerlukan penggantian komponen utama, sehingga menyebabkan hilangnya waktu produktivitas mesin secara signifikan.

Berdasarkan hasil analisis bahaya menggunakan metode *Event Tree Analysis* (ETA), diperoleh 9 skenario *outcome* yang menggambarkan kondisi kebakaran terkendali dan 8 skenario *outcome* yang menunjukkan kondisi kebakaran tidak terkendali. Nilai probabilitas masing-masing *outcome* diperoleh dari hasil perkalian probabilitas pada setiap *pivotal event* yang terdapat pada skenario terkait. Selanjutnya, total probabilitas untuk kondisi kebakaran terkendali maupun tidak terkendali dapat dihitung sebagai berikut.

- a. Kebakaran terkendali

$$P = (3,94 \times 10^{-1}) + (2,18 \times 10^{-3}) + (1,34 \times 10^{-5}) + (1,25 \times 10^{-5}) + (7,6 \times 10^{-8}) + (2,98 \times 10^{-3}) + (1,83 \times 10^{-5}) + (1,7 \times 10^{-5}) + (7,83 \times 10^{-10}) = 3,9 \times 10^{-1} \text{ per tahun}$$

- b. Kebakaran tidak terkendali

$$P = (1,62 \times 10^{-5}) + (9,99 \times 10^{-8}) + (9,31 \times 10^{-8}) + (5,72 \times 10^{-10}) + (2,22 \times 10^{-5}) + (1,36 \times 10^{-7}) + (1,27 \times 10^{-7}) + (7,83 \times 10^{-10}) = 3,8 \times 10^{-5} \text{ per tahun}$$

Berdasarkan hasil perhitungan probabilitas menggunakan metode *Event Tree Analysis* (ETA), diperoleh kemungkinan terjadinya kebakaran terkendali maupun kebakaran tidak terkendali dengan probabilitas kejadian kebakaran akibat percikan api pada pekerjaan las sebesar 0,4 per tahun. Hasil analisis menunjukkan bahwa probabilitas kebakaran terkendali sebesar $3,9 \times 10^{-1}$ per tahun, sedangkan probabilitas kebakaran tidak terkendali sebesar $3,8 \times 10^{-5}$ per tahun. Mengacu pada konsep *As Low As Reasonably Practicable* (ALARP), nilai probabilitas kebakaran tidak terkendali berada pada kategori *Broadly Acceptable* karena nilainya lebih kecil dari 1×10^{-3} per tahun. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat risiko kebakaran tidak terkendali pada area *workshop* fabrikasi dapat diterima dan berada pada tingkat risiko yang

rendah, sehingga risiko yang tersisa dianggap cukup kecil dan tidak memerlukan tindakan pengurangan risiko tambahan yang signifikan.

4.8 Rencana Anggaran Biaya

Rencana Anggaran Biaya (RAB) disusun untuk memperkirakan besarnya biaya yang dibutuhkan dalam implementasi sistem proteksi kebakaran aktif yang meliputi pengadaan Alat Pemadam Api Ringan (APAR), detektor, alarm, dan instalasi sistem hidran pada area *workshop* fabrikasi. Penyusunan RAB mencakup seluruh komponen pekerjaan yang diperlukan, mulai dari pekerjaan persiapan, pekerjaan tanah dan urugan, pembangunan bak reservoir, pemasangan jaringan perpipaan hidran, hingga pengadaan APAR, detektor, dan alarm.

Perhitungan RAB dilakukan berdasarkan hasil perancangan teknis dan volume pekerjaan yang diperoleh dari kondisi aktual di lapangan. Harga satuan material dan upah tenaga kerja mengacu pada Harga Satuan Pokok Kegiatan (HSPK) yang berlaku di daerah setempat serta harga pasar terkini. Selain itu, estimasi biaya juga mempertimbangkan penggunaan material, tenaga kerja, dan peralatan secara optimal sehingga pelaksanaan sistem proteksi kebakaran dapat dilakukan secara efektif, efisien, serta sesuai dengan kebutuhan anggaran yang telah direncanakan.

4.8.1 Perhitungan Harga Satuan Bahan dan Upah

Harga satuan bahan dan upah digunakan sebagai dasar dalam penyusunan analisis harga satuan pekerjaan pada proyek yang direncanakan. Penentuan harga tersebut mengacu pada Peraturan Bupati Gresik Nomor 26 Tahun 2025 tentang Standar Harga Satuan Biaya Operasional Kegiatan Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah Tahun Anggaran 2026, sehingga estimasi biaya yang diperoleh dapat mencerminkan standar harga yang berlaku serta menjadi acuan dalam penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB). Berikut merupakan contoh perhitungan AHSP pada pengadaan APAR.

Diketahui bahwa *workshop* fabrikasi membutuhkan 7 unit APAR dengan tipe *Dry Chemical Powder* dan 3 unit APAR dengan jenis CO₂. Setelah mengetahui kuantitas dari bahan-bahan yang diperlukan maka

selanjutnya dilakukan perhitungan pada aspek harga satuan pekerjaan untuk mengetahui hasil biaya gabungan antara pekerja, bahan, dan peralatan, yang dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4. 13 Harga Satuan Pemasangan APAR *Dry Chemical Powder* 6 Kg

No	Uraian	Kode	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	Tenaga Kerja					
1	Pekerja	L.01	OH	0,102	Rp175.500	Rp17.850
2	Mandor	L.04	OH	0,006	Rp220.000	Rp1.320
Jumlah Harga Tenaga Kerja						Rp19.170
B	Bahan					
1	APAR ABC Powder 6 kg dan aksesoris		unit	1,10	Rp508.500	Rp559.350
Jumlah Harga Bahan						Rp559.350
C	Peralatan					
Jumlah Harga Alat						-
D	Jumlah (A+B+C)					Rp578.520
E	Biaya Umum dan Keuntungan 10% - 15% x D				10%	Rp57.852
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					Rp636.372

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh bahwa biaya yang diperlukan untuk pemasangan satu unit APAR jenis *Dry Chemical Powder* (ABC Powder) berkapasitas 6 kg adalah sebesar Rp636.372. Perhitungan AHSP pada komponen sistem proteksi kebakaran aktif lainnya disajikan secara lengkap pada Lampiran 14. Adapun daftar harga satuan yang diperoleh disajikan pada Tabel 4.15 sebagai berikut.

Tabel 4. 14 Daftar Harga Satuan Pekerjaan

No	Jenis Pekerjaan	Satuan	Harga Satuan (Rp)
1	Pembersihan dan Pengupasan Permukaan Tanah	m ²	Rp20.460
2	Pemasangan APAR CO ₂ 3 kg	unit	Rp1.231.087
3	Pemasangan APAR DCP 3 kg	unit	Rp321.167
4	Pemasangan APAR DCP 6 kg	unit	Rp636.372
5	Galian tanah biasa	m ³	Rp218.339
6	Urukan tanah kembali	m ³	Rp102.300
7	Pengecoran	m ³	Rp1.608.241
8	Pemasangan 1 m Pipa Galvanis 4" (100 mm)	unit	Rp994.835
9	Pemasangan 1 m Pipa Galvanis 5" (125 mm)	unit	Rp1.093.730
10	Pemasangan Gate Valve 4" (100 mm)	unit	Rp6.009.592
11	Pemasangan Check Valve 4" (100 mm)	unit	Rp7.296.592
12	Pemasangan Foot Valve 5" (125 mm)	unit	Rp3.954.148

Tabel 4. 14 Daftar Harga Satuan Pekerjaan (Lanjutan)

No	Jenis Pekerjaan	Satuan	Harga Satuan (Rp)
13	Pemasangan Tee 4" (100 mm)	unit	Rp528.264
14	Pengelasan Sambungan Pipa	m	Rp24.935
15	Pemasangan Hydrant Pillar	unit	Rp5.432.785
16	Pemasangan Outdoor Hydrant Box	unit	Rp6.596.953
17	Pemasangan Pompa	unit	Rp67.053.443
18	Pemasangan Smoke Detector Konvensional	unit	Rp299.338
19	Pemasangan Heat Detector Konvensional	unit	Rp178.063
20	Pemasangan Alarm Bell	unit	Rp203.841
21	Pemasangan Horn Strobe	unit	Rp243.573
22	Pemasangan Titik Panggil Manual	unit	Rp237.798

4.8.2 Perhitungan RAB

Setelah harga satuan bahan dan upah ditentukan, tahap berikutnya adalah menghitung total biaya pelaksanaan pekerjaan. Rencana Anggaran Biaya (RAB) diperoleh dari hasil perkalian antara harga satuan pekerjaan yang telah dianalisis dengan volume masing-masing pekerjaan. Perhitungan tersebut menghasilkan estimasi biaya keseluruhan yang dibutuhkan untuk pelaksanaan proyek pada setiap tahapan pekerjaan. Hasil perhitungan total biaya tersebut disajikan pada Tabel 4.15.

Tabel 4. 15 RAB Perancangan Sistem Proteksi Kebakaran Aktif

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	PERSIAPAN				
1	Pembersihan dan Pengupasan Permukaan Tanah	m ²	158	Rp20.460	Rp3.232.680
Sub Total Persiapan					Rp3.232.680
B	PEMASANGAN APAR				
1	Pemasangan APAR CO ₂ 3 kg	unit	3	Rp1.231.087	Rp3.693.261
2	Pemasangan APAR DCP 3 kg	unit	2	Rp321.167	Rp642.334
3	Pemasangan APAR DCP 6 kg	unit	5	Rp636.372	Rp3.181.860
Sub Total Pemasangan Apar					Rp7.517.455
B	PEMASANGAN SISTEM HIDRAN				
1	Galian Tanah Bak Reservoir	m ³	33,2	Rp218.339	Rp7.248.855
2	Urukan Kembali Galian Tanah Bak Reservoir	m ³	27,45	Rp102.300	Rp2.670.030
3	Pengecoran Bak Reservoir	m ³	5,80	Rp1.608.241	Rp11.418.511
4	Pengecoran Tutup Bak Reservoir	m ³	1,63	Rp1.608.241	Rp2.621.433

Tabel 4.15 RAB Perancangan Sistem Proteksi Kebakara Aktif (Lanjutan)

No	Uraian	Satuan	Volume	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
B	PEMASANGAN SISTEM HIDRAN				
5	Pemasangan Pipa Galvanis SCH 40 4"	m	63	Rp994.835	Rp62.475.638
6	Pemasangan Pipa Galvanis SCH 40 5"	m	4	Rp1.093.730	Rp4.265.547
7	Pemasangan <i>Gate Valve</i> 4"	unit	4	Rp6.009.592	Rp24.038.368
8	Pemasangan <i>Check Valve</i> 4"	unit	1	Rp7.296.592	Rp7.296.592
9	Pemasangan <i>Foot Valve</i> 5"	unit	1	Rp3.954.148	Rp3.954.148
10	Pemasangan <i>Tee</i> 4"	unit	1	Rp528.264	Rp528.264
11	Pengelasan Sambungan Pipa	m	11	Rp24.935	Rp274.283
12	Pemasangan <i>Hydrant Pillar</i>	unit	2	Rp5.432.785	Rp10.865.570
13	Pemasangan <i>Hydrant Box Outdoor</i>	unit	2	Rp6.596.953	Rp13.193.906
14	Pemasangan Pompa	unit	1	Rp67.053.443	Rp67.053.443
Sub Total Pemasangan Sistem Hidran					Rp217.904.588
C	PEMASANGAN DETEKTOR				
1	Pemasangan <i>Smoke Detector</i> Konvensional	unit	5	Rp299.338	Rp1.496.690
2	Pemasangan <i>Heat Detector</i> Konvensional	unit	65	Rp178.063	Rp11.574.095
Sub Total Pemasangan Sistem Detektor					Rp13.070.785
D	PEMASANGAN ALARM				
1	Pemasangan <i>Alarm Bell</i>	unit	2	Rp203.841	Rp407.682
2	Pemasangan <i>Horn Strobe</i>	unit	2	Rp243.573	Rp487.146
3	Pemasangan Titik Panggil Manual	unit	3	Rp237.798	Rp713.394
Sub Total Pemasangan Alarm					Rp1.608.222
Total Biaya					Rp243.333.730

Berdasarkan hasil perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang telah dilakukan, diperoleh total biaya yang dibutuhkan untuk implementasi sistem proteksi kebakaran aktif pada area *workshop* fabrikasi sebesar Rp244.333.730. Biaya tersebut mencakup pengadaan dan pemasangan APAR, sistem hidran, detektor, serta sistem alarm kebakaran sesuai dengan hasil perancangan yang telah dilakukan. Estimasi biaya ini disusun berdasarkan volume pekerjaan, analisis harga satuan, serta harga bahan dan upah yang mengacu pada standar harga yang berlaku.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang dapat diambil pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penilaian risiko kebakaran menggunakan metode *Fire Risk Assessment* (FRA) mengacu pada NFPA 551, diperoleh 1 area dengan tingkat risiko *extreme*, 2 area *high*, 7 area *medium*, 1 area *low*, dan 1 area *insignificant*. Area dengan tingkat risiko tertinggi (*extreme*) disebabkan oleh potensi percikan api pada aktivitas pengelasan. Hasil FRA juga menunjukkan bahwa penerapan rekomendasi berupa penambahan sistem proteksi kebakaran mampu menurunkan tingkat risiko kebakaran pada setiap area sebesar satu hingga dua tingkat dibandingkan dengan kondisi *existing*, sehingga meningkatkan tingkat keselamatan di *workshop* fabrikasi.
2. Berdasarkan hasil evaluasi dan perancangan sistem proteksi kebakaran aktif pada *workshop* fabrikasi, diperoleh hasil sebagai berikut
 - a. Evaluasi Alat Pemadam Api Ringan (APAR) menunjukkan bahwa kondisi *existing* belum memenuhi persyaratan NFPA 10 sehingga diperlukan penyesuaian terhadap jumlah, jenis, dan penempatannya. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa kebutuhan APAR pada *workshop* fabrikasi sebanyak 10 unit yang terdiri atas 7 unit APAR *Dry Chemical Powder* (DCP) dan 3 unit APAR CO₂
 - b. Perancangan sistem deteksi kebakaran menghasilkan kebutuhan sebanyak 5 unit detektor asap yang dipasang pada area *office* dan 65 unit detektor panas yang dipasang pada area *workshop* sesuai dengan ketentuan NFPA 72.
 - c. Perancangan sistem alarm kebakaran menghasilkan kebutuhan sebanyak 2 unit *horn strobe*, 2 unit *alarm bell*, dan 3 unit Titik Panggil Manual (TPM) yang dipasang pada jarak 1,5 m dekat pintu keluar dengan ketentuan minimal 1 TPM pada setiap lantai sesuai dengan NPA 72.

- d. Perancangan sistem hidran menghasilkan kebutuhan sebanyak 2 unit pilar hidran dengan sistem kelas II. Perbandingan perhitungan hidrolis secara manual dan *software* menghasilkan nilai persentase *error* sebesar 1,33% untuk *headloss* dan 5,8% untuk *head pump*.
3. Berdasarkan hasil *Event Tree Analysis* (ETA) diperoleh 17 skenario *outcome*, terdiri atas 9 skenario kebakaran terkendali dan 8 skenario kebakaran tidak terkendali. Probabilitas kebakaran tidak terkendali sebesar $3,8 \times 10^{-5}$ kejadian per tahun, sehingga berdasarkan konsep *As Low As Reasonably Practicable* (ALARP) termasuk dalam kategori *Broadly Acceptable*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem proteksi kebakaran aktif yang dirancang memiliki tingkat keandalan yang baik dalam mengendalikan potensi kebakaran pada *workshop* fabrikasi.
4. Berdasarkan hasil penyusunan Rencana Anggaran Biaya (RAB), diperoleh total biaya implementasi sistem proteksi kebakaran aktif sebesar Rp244.333.730. Estimasi biaya tersebut mencakup pengadaan dan pemasangan APAR, sistem deteksi kebakaran, sistem alarm kebakaran, dan sistem hidran, sehingga dapat dijadikan sebagai acuan bagi perusahaan dalam merencanakan implementasi sistem proteksi kebakaran aktif pada *workshop* fabrikasi.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian ini lebih lanjut adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan merancang kebutuhan sistem proteksi kebakaran pasif pada area *workshop* fabrikasi.
2. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan data *failure rate* aktual apabila tersedia.
3. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan melakukan analisis kelayakan ekonomi terhadap implementasi sistem proteksi kebakaran aktif menggunakan metode *Benefit Cost Analysis* (BCA) atau *Life Cycle Cost Analysis* (LCCA), sehingga dapat memberikan gambaran mengenai efisiensi biaya serta manfaat investasi dalam jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman, T. N. J. K., Jusuf, H., & Nurfadillah, A. R. (2025). Analisis risiko keselamatan kerja menggunakan metode event tree analysis (ETA) pada pekerjaan blasting quarry. *Journal of Qualitative Health Research & Case Studies Reports*, 5(4), 459–470. <https://doi.org/10.56922/quilt.v5i4.1136>
- Agustin, D. I., Amrullah, H. N., Santiasih, I., & Gustav, J. S. (2024). Identifikasi Bahaya Kebakaran Mesin Hammer Mill dengan Mempertimbangkan Probabilitas Komponen dan Human Reliability Assasement. *Journal of Safety, Health, and Environmental Engineering*. <https://doi.org/10.35991/jshee.v2i1.26>
- Aldimiyyathi, F. S., Rahardjo, S., & Surianto, Moh. A. (2023). Implementasi Prinsip Just in Time Pada Proses Fabrikasi Di Pt Petrokimia Gresik. *Journal of Social and Economics Research*, 5(2), 696–704. <https://doi.org/10.54783/jser.v5i2.157>
- Carboni, M., Rossi, L., & Mocellin, P. (2022). On the use of Fire Safety Engineering to Evaluate the Performance of Heat Detectors in High Ceiling Application. *Chemical Engineering Transactions*, 91, 331–336. <https://doi.org/10.3303/CET2291056>
- Chen, Y. (2011). Reliability analysis of a fire alarm system. *Procedia Engineering*, 24, 731–736. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2727>
- Colson, A. R., & Cooke, R. M. (2018). Expert elicitation: Using the classical Model to Validate Experts' Judgments. *Review of Environmental Economics and Policy*, 12(1), 113–132. <https://doi.org/10.1093/reep/rex022>
- Cvetkovska, M., & Mitrevska, M. J. (2024). Fire Hazard and Fire Risk Assessment of Urban Areas In North Macedonia. *Journal of Applied Engineering Science*, 22(2), 272–278. <https://doi.org/10.5937/jaes0-50442>
- Daxesoft Ltd. (2016). *Pipe Flow Expert User Guide*. www.pipeflow.co.uk

- Ericson, C. A. (2005). *Hazard Analysis Techniques for System Safety*. <https://doi.org/DOI:10.1002/0471739421>
- Faadhil, M. A., Waldani, D., Herlina, Y., Zeswita, A. L., & Asih, W. M. (2025). Analisis Sistem Proteksi Kebakaran di PT. Muba Electric Power Kabupaten Musi Banyuasin. *Jurnal Penelitian Dan Kajian Ilmiah*, 19, 719–725. <https://doi.org/https://doi.org/10.31869/mi.v19i1.6845>
- Forell, B., Peschke, J., Einarsson, S., & Röwekamp, M. (2016). Technical reliability of active fire protection features - generic database derived from German nuclear power plants. *Reliability Engineering and System Safety*, 145, 277–286. <https://doi.org/10.1016/j.res.2015.09.010>
- Furness, A., & Muckett, M. (2007). *Introduction to Fire Safety Management*.
- Garvey, M., Joglar, F., & Collins, E. P. (2014). HRA for Detection and Suppression Activities in Response to Fire Events. 2014 *Reliability and Maintainability Symposium*. <https://doi.org/10.1109/rams.2014.6798523>
- Guanquan, C., & Jinhui, W. (2012). Study on probability distribution of fire scenarios in risk assessment to emergency evacuation. *Reliability Engineering and System Safety*, 99, 24–32. <https://doi.org/10.1016/j.res.2011.10.014>
- Gunawardena, T., & Mendis, P. (2022). Prefabricated Building Systems—Design and Construction. *Encyclopedia*, 2(1), 70–95. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia2010006>
- Hamidah, L. N., Ashari, Moch. L., & Khairansyah, M. D. (2023). Evaluasi Alat Pemadam Api Ringan dan Perancangan Sistem Hidran Pada Gedung dan Warehouse Di Perusahaan Galangan Kapal. *7th Conference on Safety Engineering and It's Application*.
- Hartin, E. (2008). *Fire Development and Fire Behavior Indicators*. <https://studylib.net/doc/8403459/fire-development-and-fire-behavior-indicators---cftb-us->

- Helene, P., Britez, C., & Carvalho, M. (2019). Fire impacts on concrete structures. A brief Review. **Revista ALCONPAT**, 10(1), 1–21. <https://doi.org/10.21041/ra.v10i1.421>
- Hurley, M. J. (2016). **SFPE Handbook of Fire Protection Engineering Fifth Edition**. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0>
- Hurst, J., McIntyre, J., Tamauchi, Y., Kinuhata, H., & Kodama, T. (2019). A summary of the 'ALARP' principle and associated thinking. **Journal of Nuclear Science and Technology**, 56(2), 241–253. <https://doi.org/10.1080/00223131.2018.1551814>
- International Labour Organization. (2018). *Manajemen Risiko Kebakaran*. www.ilo.org/
- Julian, F., Kardiman, & Fauji, N. (2021). *Sistem Pengendalian Kualitas (Quality Control) Pada Proses Fabrikasi Project “Refinery Development Master Plan (RDMP). 8(September), 167–186*. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.7049124>
- Kelvin, Yuliana, E. P., & Rahayu, S. (2015). Pemetaan Lokasi Kebakaran Berdasarkan Prinsip Segitiga Api Pada Industri Textile. **Seminar Nasional “Inovasi Dalam Desain Dan Teknologi” - IDeaTech 2015**.
- Keputusan Menteri Tenaga Kerja No. Kep. 186/Men/1999 Tentang Unit Penanggulangan Kebakaran Di Tempat Kerja, Pub. L. 186 (1999). <https://temank3.kemnaker.go.id/public/media/files/241001045931.pdf>
- Lestaluhu, F., & Paskarini, I. (2019). Pemasangan Alat Pemadam Api Ringan Di PT. E-T-A Indonesia. **Indonesian Journal of Occupational Safety and Health**, 8(1), 38–46. <https://doi.org/10.20473/ijosh.v8i1.2019.38-46>
- Lestari, F., Hastiti, L. R., Pujiriani, I., Andrias, D., Nurdiansyah, W., Chandra, J., Ismail, A., Havosan, I., Chandra, I. S., Maharani, C. F., Wardhany, M. S., Kadir, A., Paramitasari, A. A. L. D., & P, R. Y. (2021). **Keselamatan Kebakaran (Fire Safety)**. www.fkm.ui.ac.id

- Lisamdite, V. P., Handoko, L., & Khairansyah, M. D. (2022). Fire Risk Assessment dan ETA pada Gedung Institusi Pendidikan di Surabaya. **8Th Conference On Safety Engineering and ITS Application**.
- Marfiana, P., Ritonga, H. K., & Salsabiela, M. (2019). Implementasi Job Safety Analysis (JSA) Sebagai Upaya Pencegahan Kecelakaan Kerja. **Jurnal Migasia**, 3(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.36601/jurnal-migasian.v3i2.75>
- Masriansyah, Mulya, W., & Noeryanto. (2021). Analisis Sistem Tanggap Darurat Kebakaran di Pusat Kesehatan Masyarakat Margo Mulyo Balikpapan. **Jurnal Keselamatan, Kesehatan Kerja Dan Lindungan Lingkungan**, (1), 1. <https://jurnal.d4k3.uniba-bpn.ac.id/index.php/idek3/article/view/182>
- Maulana, F., Ashari, Moch. L., & Anindita, G. (2024). Fire Risk Assessment dan Perencanaan Sistem Proteksi Kebakaran Aktif pada Gedung Perkuliahan di Jakarta. **Journal of Safety, Health, and Environmental Engineering**. <https://doi.org/10.35991/jshee.v2i1.30>
- Maulana, M. S., Fidzaky, A. F., Kinanti, A. F., Prayoga, D., & Yasin, M. (2024). Perkembangan Sektor Industri Manufaktur Terhadap Globalisasi. **MENAWAN : Jurnal Riset Dan Publikasi Ilmu Ekonomi**, 2(1), 101–112. <https://doi.org/10.61132/menawan.v2i1.141>
- Mcgree, T. (2023). **Structure Fires Caused by Hot Work Supporting Tables (NFPA)**. <https://www.nfpa.org/education-and-research/research/nfpa-research/fire-statistical-reports/structure-fires-started-by-hot-work>
- Nasution, F., Syahfira, A., Kholijah, S., & Pulungan, A. S. (2021). 2021Nasution_APAR. **Shihatuna: Jurnal Pengabdian Kesehatan Masyarakat**, (2), 53–59. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.30829/shihatuna.v0i0.9283>
- NFPA 10. (2022). **NFPA 10 Standard for Portable Fire Extinguishers**. www.nfpa.org.
- NFPA 14. (2024). **NFPA 14 Standard for the Installation of Standpipe and Hose System**.

NFPA 72. (2022). *NFPA 72 National Fire Alarm and Signaling Code*.

NFPA 551. (2022). *NFPA 551 Guide for the Evaluation of Fire Risk Assessment 2022*. www.nfpa.org.

Nugroho, A., Beeh, Y. R., & Astuningdyas, H. (2010). Perancangan Aplikasi Rencana Anggaran Biaya (RAB) (Studi Kasus Pada Dinas Pekerjaan Umum Kota Salatiga). *Jurnal Informatika*, 10(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.9744/informatika.10.1.10-18>

Nylander, J. (2021). *Fire hazards onboard unmanned vessels Fire protection of unmanned ships with conventional solutions Title: Fire hazards onboard unmanned vessels-Fire protection of unmanned ships with conventional solutions*.

OREDA. (2009). *Offshore Reliability Data 5th Edition* (Vol. 1).

Pasaribu, N. M. P., Oktavia, R., Khairunnisa, T. Z., & Hasibuan, A. (2024). Analisis Sistem Tanggap Darurat Dalam Upaya Penanggulangan Kebakaran di Tempat Kerja. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 2(2), 163–169. <https://doi.org/https://doi.org/10.61492/jpmmocci.v2i2.147>

Peraturan Bupati Gresik Nomor 26 Tahun 2025 Tentang Standar Harga Satuan Biaya Operasional Kegiatan Anggaran Pendapatan Dan Belanja Daerah Tahun Anggaran 2026, Pub. L. 26 (2025). <https://jdih.gresikkab.go.id/produk-hukum/download-file/peraturan-bupati-kabupaten-gresik/peraturan-bupati-gresik-nomor-26-tahun-2025-tentang-standar-harga-satuan-biaya-operasional-kegiatan-anggaran-pendapatan-dan-belanja-daerah-tahun-anggaran-2026>

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Nomor 8 Tahun 2023 Tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat, Pub. L. 8 (2023). <https://peraturan.bpk.go.id/Download/335339/permen-pupr-no-8-tahun-2023.pdf>

Pritchard, P. J. (2011). *Fox and McDonald's Introduction to Fluid Mechanics*.

- Rachmat, M. A. (2025, March 26). *Bengkel Las di Bekasi Kebakaran, 1 Orang Tewas 8 Luka-luka*. DetikNews. <https://news.detik.com/berita/d-7842237/bengkel-las-di-bekasi-kebakaran-1-orang-tewas-8-luka-luka>
- Rahmatullah, Umroh, B., Amiruddin, A., & Siregar, A. M. (2022). Implementasi Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Pada Aktivitas Fabrikasi (Pengelasan, Pemotongan, Penggerindaan) di Kota Medan. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 5(2), 175–185. <https://doi.org/DOI:https://doi.org/10.30596/rmme.v5i2.11447>
- Roebianto, A., Savitri, S. I., Aulia, I., Suciyan, A., & Mubarakah, L. (2023). Content Validity: Definition and Procedure Of Content Validation in Psychological Research. *TPM - Testing, Psychometrics, Methodology in Applied Psychology*, 30(1), 5–18. <https://doi.org/10.4473/TPM30.1.1>
- Ruslan, M., Amin, M. S. Al, & Emidiana. (2021). *Perancangan Sistem Fire Alarm Kebakaran Pada Gedung Laboratorium XXX*. 18(2), p-ISSN. <https://doi.org/https://doi.org/10.33557/jtekno.v18i2.1412>
- Sandi, M. R. (2025, September 28). *Kebakaran Bengkel Las di Duren Sawit Jaktim, Kerugian Ditaksir Rp450 Juta*. INews. <https://www.inews.id/news/megapolitan/kebakaran-bengkel-las-di-duren-sawit-jaktim-kerugian-ditaksir-rp450-juta/all>
- Scuro, S. R. (2005). *INTRODUCTION TO ERROR THEORY FOR BEGINNING LABS*.
- Seni, W., Bakri, A., Monica, F., Ichsan, M., & Saputra, F. (2024). Evaluasi Jalur Evakuasi Kebakaran Pada Aula Bale Nyak Syeckh Universitas Abulyatama Aceh. *Multidisciplinary Indonesian Center Journal (MICJO)*, 1, 437–452. <https://doi.org/https://doi.org/10.62567/micjo.v1i1.51>
- Skjong, R., & Wentworth, B. H. (2001). *Expert Judgment and Risk Perception*. International Society of Offshore and Polar Engineers.
- Sulistyaningtyas, S. A., Nugraha, A. L., & Hadi, F. (2024). Analisis Risiko Bencana Kebakaran Permukiman Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process (Studi Kasus : Kecamatan Banyumanik dan

Tembalang, Kota Semarang). *Jurnal Geodesi Undip Januari*, 13, 48–57.
<https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jgundip.2024.42258>

Taufiq, M., & Bangsa, I. A. (2023). Analisis Instalasi Fire Alarm Pada Basement Apartement Sebagai Sistem Proteksi Kebakaran. *Aisyah Journal of Informatics and Electrical Engineering*, 5.
<https://doi.org/https://doi.org/10.30604/jti.v5i1.125>

Tiuary, A. (2021). Reliability Evaluation of Fire Extinguisher-An Innovative Safety Approach. In *International Journal of Innovative Science and Research Technology* (Vol. 6, Number 5). www.ijisrt.com244

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 1970 Tentang Keselamatan Kerja, Pub. L. 1 (1970).

Wikipedia. (n.d.). *Fire*. Retrieved December 8, 2025, from <https://en.wikipedia.org/wiki/Fire>

Yaman, M. (2025). Fire Risk Analysis with Risk Matrix Method in Historical Wooden Mosques as Cultural Heritage. *Capitale Culturelle*, 2025(31), 393–414. <https://doi.org/10.13138/2039-2362/3525>

Yung, D. (2008). *Principles of Fire Risk Assessment in Buildings*. John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470714065>

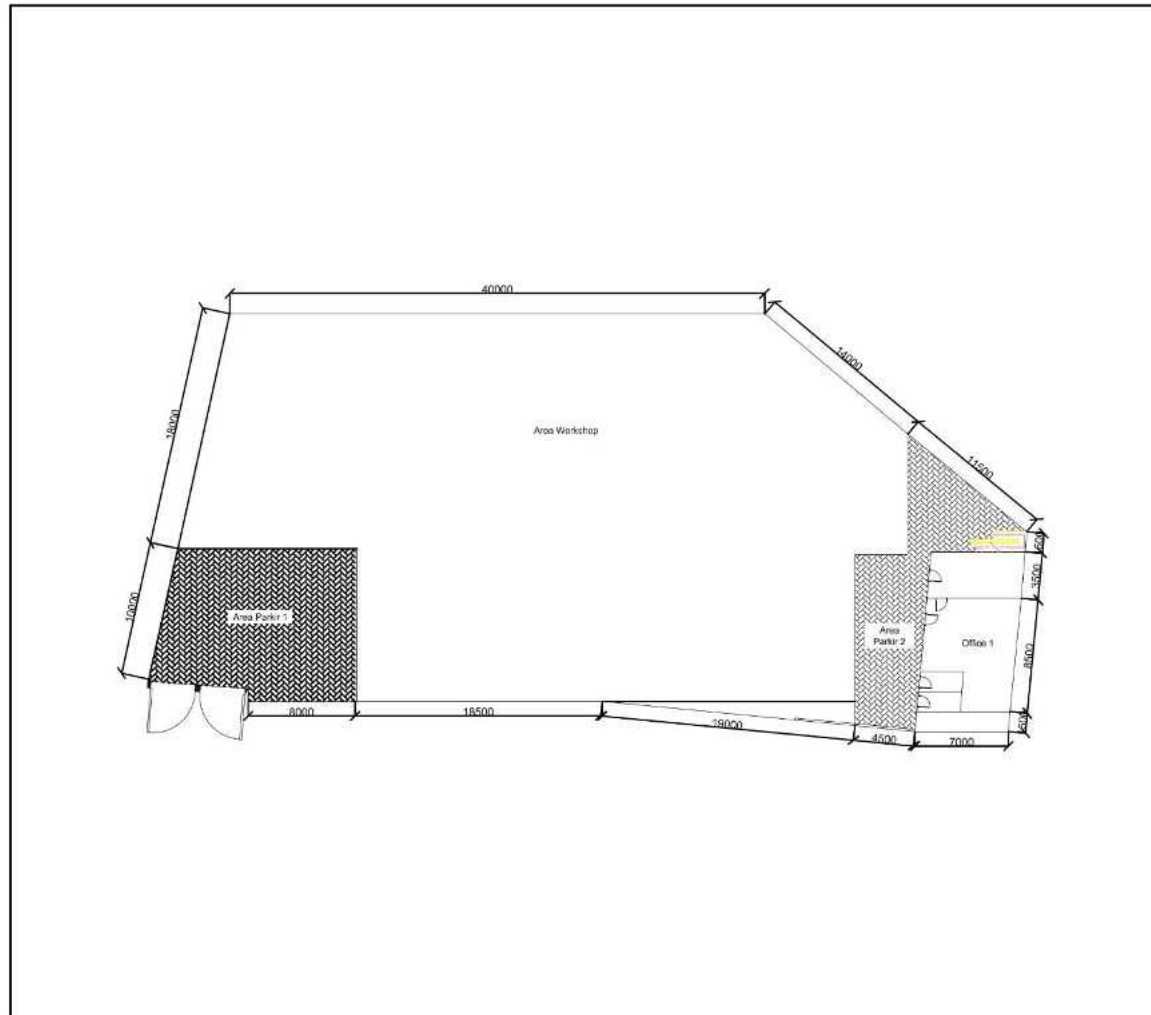
Yunita, R., Rusman, I., Wahidin, A. J., Akbar, N., Tinggi, S., & Payakumbuh, T. (2023). Perancangan Sistem Aplikasi Berbasis Android untuk Pengecekan Alat Pemadam Api Ringan melalui E-APAR. *Journal Of Engineering And Technology Innovation (JETI)* Juni, 2(2).

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN 1
LAYOUT WORKSHOP FABRIKASI

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



PPNS
POLITEKNIK PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

PROGRAM STUDI
TEKNIK KESELAMATAN DAN
KESEHATAN KERJA

POLITEKNIK PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

*FIRE RISK ASSESSMENT, EVALUASI,
DAN PERANCANGAN SISTEM
PROTEKSI KEBAKARAN AKTIF
PADA WORKSHOP FABRIKASI*

DOSEN PEMBIMBING

1. Moch. Luqman Ashari, S.T., M.T.
2. Dika Rahayu Widiana, S.T. M.T., Ph. D.

NAMA MAHASISWA

MARIA BELVA ALIFYA AZ-ZAHRA

SCALE

1:400

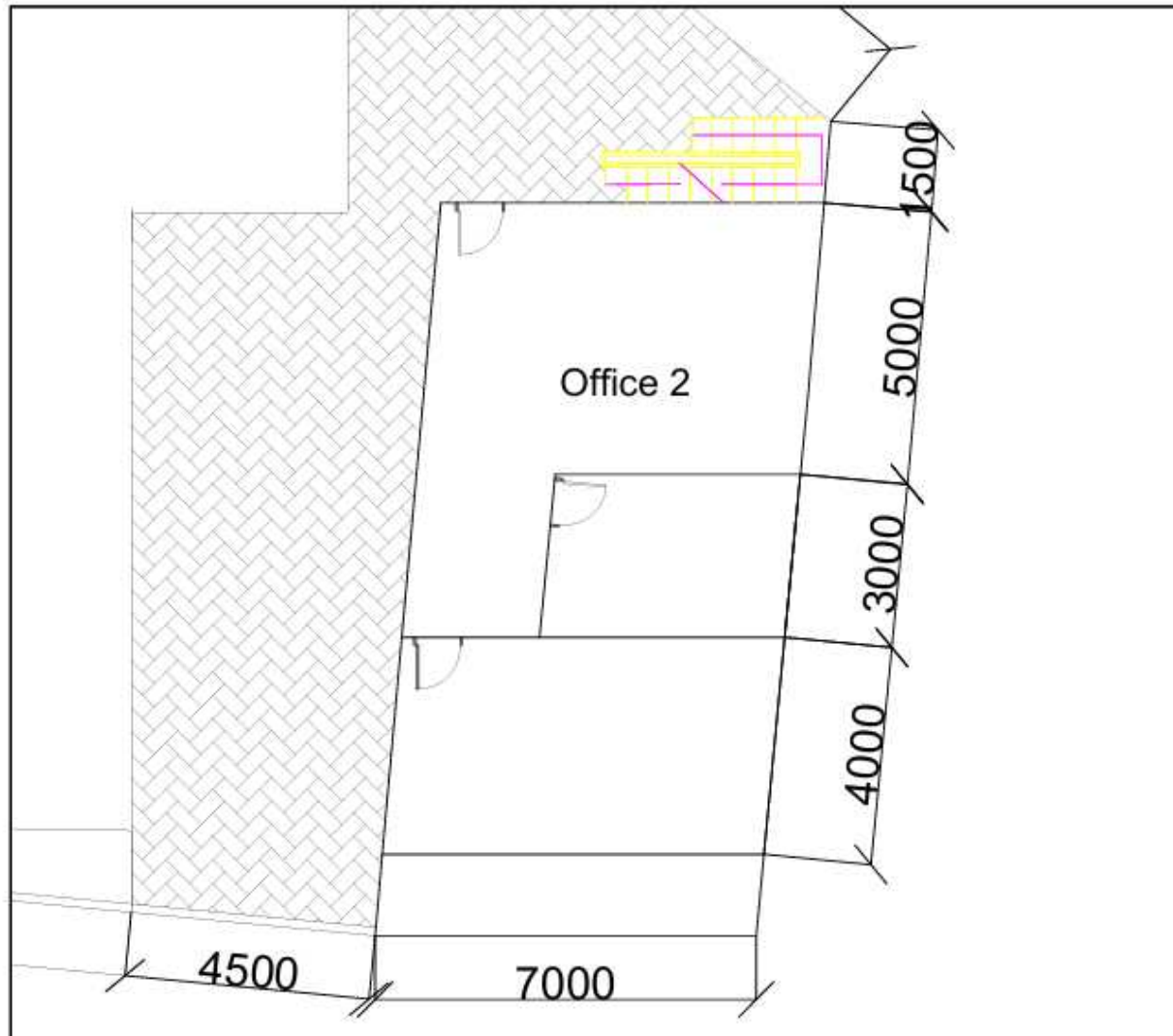
SATUAN

mm

APPROVED

JUDUL GAMBAR

*Layout Workshop
Fabrikasi Lantai 1*



PPNS

PROGRAM STUDI
TEKNIK KESELAMATAN DAN
KESEHATAN KERJA

POLITEKNIK PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

*FIRE RISK ASSESSMENT, EVALUASI,
DAN PERANCANGAN SISTEM
PROTEKSI KEBAKARAN AKTIF
PADA WORKSHOP FABRIKASI*

DOSEN PEMBIMBING

1. Moch. Liqman Ashari, S.T., M.T.
2. Dika Rahayu Widiana, S.T. M.T., Ph. D.

NAMA MAHASISWA

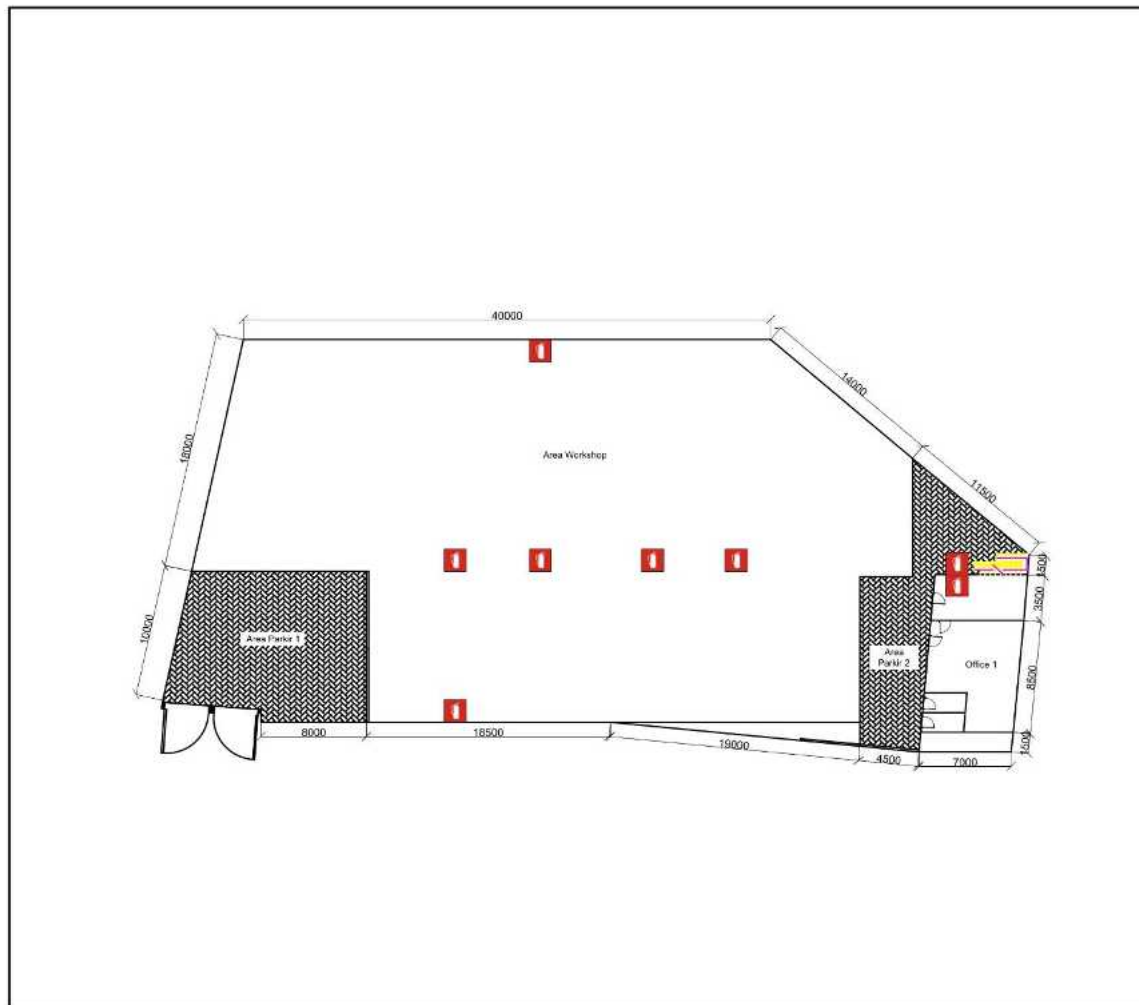
MARIA BELVA ALIFYA AZ-ZAHRA

SCALE	SATUAN
1:100	mm
APPROVED	JUDUL GAMBAR
	<i>Layout Workshop Fabrikasi Lantai 2</i>



LAMPIRAN 2
LAYOUT EXISTING PENEMPATAN
APAR PADA WORKSHOP FABRIKASI

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



PPNS

PROGRAM STUDI
TEKNIK KESELAMATAN DAN
KESEHATAN KERJA

POLITEKNIK PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

*FIRE RISK ASSESSMENT, EVALUASI,
DAN PERANCANGAN SISTEM
PROTEKSI KEBAKARAN AKTIF
PADA WORKSHOP FABRIKASI*

DOSEN PEMBIMBING

1. Moch. Luqman Ashari, S.T., M.T.
2. Dika Rahayu Widiama, S.T. M.T., Ph. D.

NAMA MAHASISWA

MARIA BELVA ALIFYA AZ-ZAHRA

SCALE

1:400

APPROVED

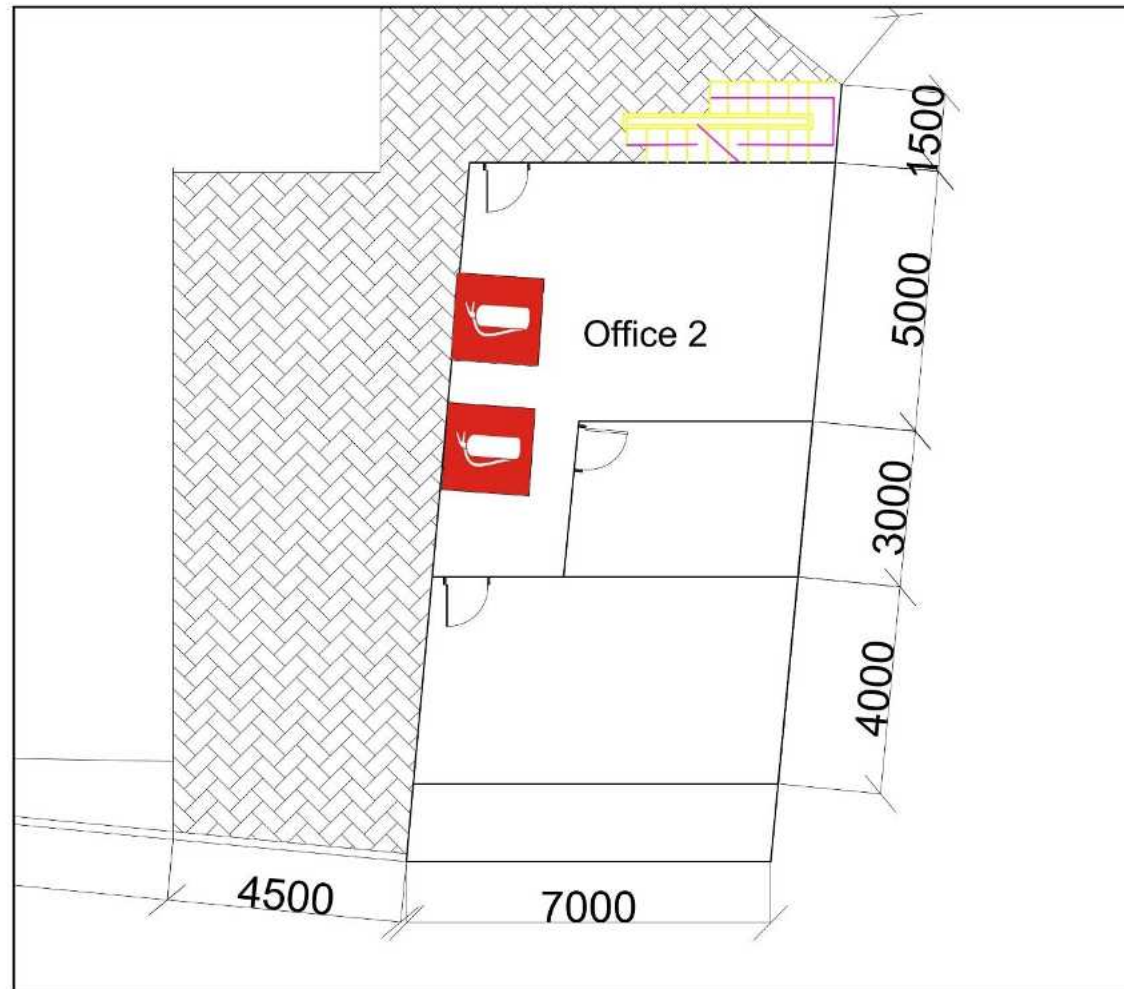
SATUAN

mm

JUDUL GAMBAR

[Signature]

*Layout Eksisting
APAR Lantai 1*



PPNS POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA

PROGRAM STUDI
TEKNIK KESELAMATAN DAN
KESEHATAN KERJA

POLITEKNIK PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

*FIRE RISK ASSESSMENT, EVALUASI,
DAN PERANCANGAN SISTEM
PROTEKSI KEBAKARAN AKTIF
PADA WORKSHOP FABRIKASI*

DOSEN PEMBIMBING

1. Moch. Luqman Ashari, S.T., M.T.
2. Dika Rahayu Widiyana, S.T. M.T., Ph. D.

NAMA MAHASISWA

MARIA BELVA ALIFYA AZ-ZAHRA

SCALE	SATUAN
1:100	mm
APPROVED	JUDUL GAMBAR

	Layout Eksisting APAR Lantai 2
--	-----------------------------------



Peletakan APAR pada area *workshop*



Peletakkan APAR pada area *office*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 3
LEMBAR KETERSEDIAAN
EXPERT JUDGEMENT

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR KETERSEDIAAN *EXPERT JUDGEMENT*

Penelitian ini menggunakan *expert judgement* untuk membantu dan memeriksa dalam proses identifikasi bahaya, penilaian risiko pekerjaan, penilaian risiko kebakaran, serta menentukan cara-cara penyelesaian dan alternatif pemecahan masalah. Pemilihan *expert judgement* memiliki kriteria sebagai berikut:

1. Bersedia melakukan peninjauan terhadap *Fire Risk Assessment* (FRA) dan hasil penelitian.
2. Bersedia melakukan penilaian evaluasi kesesuai APAR pada *workshop* fabrikasi.
3. Bersedia melakukan wawancara terkait data yang akan dibutuhkan.
4. Bersedia meluangkan waktu pada jam kerja untuk memberikan informasi terkait pekerjaan yang dilakukan pada *workshop* fabrikasi.
5. Memiliki pengalaman dan pengetahuan dalam bidang pekerjaannya masing-masing.
6. Pernah berpartisipasi dalam penilaian risiko pekerjaan di perusahaan.
7. Bersifat netral, jujur, dan dapat beradaptasi dengan baik.

Yang menyatakan,

Nama : HARLIANSYAH WIJAYA

Jabatan : HSE SUPERVISOR

Bersedia menjadi *expert judgement* pada Tugas Akhir untuk melakukan penilaian *Fire Risk Assessment* (FRA), evaluasi APAR, serta membantu memberikan informasi terkait penelitian.

Gresik, 21-04-2026

Yang Menyatakan,



(HARLIANSYAH WIJAYA)

LEMBAR KETERSEDIAAN *EXPERT JUDGEMENT*

Penelitian ini menggunakan *expert judgement* untuk membantu dan memeriksa dalam proses identifikasi bahaya, penilaian risiko pekerjaan, penilaian risiko kebakaran, serta menentukan cara-cara penyelesaian dan alternatif pemecahan masalah. Pemilihan *expert judgement* memiliki kriteria sebagai berikut:

1. Bersedia melakukan peninjauan terhadap *Fire Risk Assessment (FRA)* dan hasil penelitian.
2. Bersedia melakukan penilaian evaluasi kesesuai APAR pada *workshop* fabrikasi.
3. Bersedia melakukan wawancara terkait data yang akan dibutuhkan.
4. Bersedia meluangkan waktu pada jam kerja untuk memberikan informasi terkait pekerjaan yang dilakukan pada *workshop* fabrikasi.
5. Memiliki pengalaman dan pengetahuan dalam bidang pekerjaannya masing-masing.
6. Pernah berpartisipasi dalam penilaian risiko pekerjaan di perusahaan.
7. Bersifat netral, jujur, dan dapat beradaptasi dengan baik.

Yang menyatakan,

Nama : INDAH TRI WULANDARI S.ST

Jabatan : HSE ENGINEER

Bersedia menjadi *expert judgement* pada Tugas Akhir untuk melakukan penilaian *Fire Risk Assessment (FRA)*, evaluasi APAR, serta membantu memberikan informasi terkait penelitian.

Gresik, 21 - 04 - 2026

Yang Menyatakan,



(INDAH TRI W)

LEMBAR KETERSEDIAAN *EXPERT JUDGEMENT*

Penelitian ini menggunakan *expert judgement* untuk membantu dan memeriksa dalam proses identifikasi bahaya, penilaian risiko pekerjaan, penilaian risiko kebakaran, serta menentukan cara-cara penyelesaian dan alternatif pemecahan masalah. Pemilihan *expert judgement* memiliki kriteria sebagai berikut:

1. Bersedia melakukan peninjauan terhadap *Fire Risk Assessment* (FRA) dan hasil penelitian.
2. Bersedia melakukan penilaian evaluasi kesesuai APAR pada *workshop* fabrikasi.
3. Bersedia melakukan wawancara terkait data yang akan dibutuhkan.
4. Bersedia meluangkan waktu pada jam kerja untuk memberikan informasi terkait pekerjaan yang dilakukan pada *workshop* fabrikasi.
5. Memiliki pengalaman dan pengetahuan dalam bidang pekerjaannya masing-masing.
6. Pernah berpartisipasi dalam penilaian risiko pekerjaan di perusahaan.
7. Bersifat netral, jujur, dan dapat beradaptasi dengan baik.

Yang menyatakan,

Nama : Nur Hasyim

Jabatan : SSPV

Bersedia menjadi *expert judgement* pada Tugas Akhir untuk melakukan penilaian *Fire Risk Assessment* (FRA), evaluasi APAR, serta membantu memberikan informasi terkait penelitian.

Gresik, 22 - 04 - 2026

Yang Menyatakan,


(Nur Hasyim)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN 4
PENILAIAN FIRE RISK ASSESSMENT

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

FIRE RISK ASSESSMENT
WORKSHOP FABRIKASI

No.	Area	Fire Hazard	Existing Fire Protection	Inherent Fire Risk			Additional Fire Protection	Residual Fire Risk		
				P	C	R		P	C	R
1	Workshop	Kebocoran tabung gas pada aktivitas <i>welding</i>	APAR & Evacuation drill	Possible	Major	High	- Penyimpanan tabung sesuai standar - Inspeksi kebocoran berkala	Unlikely	Minor	Low
		Percikan api dari aktivitas <i>welding</i>		Likely	Major	Extreme	- Hot Work Permit - Fire watch - Housekeeping - Pemisahan material mudah terbakar - Detektor panas - Alarm kebakaran - Hidran	Possible	Moderate	Medium
		Percikan api dari mesin <i>cutting</i>		Possible	Major	High	- Housekeeping - Pelindung percikan (<i>spark guard</i>) - Detektor panas - Alarm kebakaran	Unlikely	Moderate	Medium
		Percikan api dari mesin <i>milling</i>		Unlikely	Moderate	Medium	- Housekeeping - Preventive maintenance mesin	Unlikely	Minor	Low
		Overheating pada mesin produksi		Unlikely	Moderate	Medium	- Preventive maintenance mesin - Monitoring temperatur mesin - Detektor panas	Unlikely	Minor	Low

No.	Area	Fire Hazard	Existing Fire Protection	Inherent Fire Risk			Additional Fire Protection	Residual Fire Risk		
				P	C	R		P	C	R
2	Parkiran	Tumpahan BBM	APAR & Evacuation drill	Unlikely	Moderate	Medium	- Penyediaan spill kit - Larangan sumber api - SOP penanganan tumpahan BBM	Unlikely	Minor	Low
		Putung rokok		Unlikely	Moderate	Medium	- Tempat putung rokok	Unlikely	Minor	Low
		Electrical failure pada panel utama		Unlikely	Moderate	Medium	- Inspeksi panel listrik - Preventive maintenance - Alarm kebakaran	Unlikely	Minor	Low
		Panel overheating		Unlikely	Moderate	Medium	- Monitoring temperatur panel - Pemeriksaan beban panel - Preventive maintenance	Unlikely	Minor	Low
3	Office	Electrical failure pada instalasi listrik atau perangkat elektronik	APAR & Evacuation drill	Unlikely	Moderate	Medium	- Pemeriksaan instalasi listrik berkala - Penggantian kabel yang rusak - Penggunaan MCB sesuai kapasitas - Detektor asap - Alarm kebakaran	Unlikely	Minor	Low

Gresik, 20 Juli 2026

Yang Menyatakan,



 (HARIYANTO W)

FIRE RISK ASSESSMENT
WORKSHOP FABRIKASI

No.	Area	Fire Hazard	Existing Fire Protection	Inherent Fire Risk			Additional Fire Protection	Residual Fire Risk		
				P	C	R		P	C	R
1	Workshop	Kebocoran tabung gas pada aktivitas <i>welding</i>	APAR & Evacuation drill	Possible	Major	High	- Penyimpanan tabung sesuai standar - Inspeksi kebocoran berkala	Unlikely	Minor	Low
		Percikan api dari aktivitas <i>welding</i>		Likely	Major	Extreme	- Hot Work Permit - Fire watch - Housekeeping - Pemisahan material mudah terbakar - Detektor panas - Alarm kebakaran - Hidran	Possible	Moderate	Medium
		Percikan api dari mesin <i>cutting</i>		Possible	Major	High	- Housekeeping - Pelindung percikan (<i>spark guard</i>) - Detektor panas - Alarm kebakaran	Unlikely	Moderate	Medium
		Percikan api dari mesin <i>milling</i>		Unlikely	Moderate	Medium	- Housekeeping - Preventive maintenance mesin	Unlikely	Minor	Low
		Overheating pada mesin produksi		Unlikely	Moderate	Medium	- Preventive maintenance mesin - Monitoring temperatur mesin - Detektor panas	Unlikely	Minor	Low

No.	Area	Fire Hazard	Existing Fire Protection	Inherent Fire Risk			Additional Fire Protection	Residual Fire Risk		
				P	C	R		P	C	R
2	Parkiran	Tumpahan BBM	APAR & Evacuation drill	Unlikely	Moderate	Medium	- Penyediaan <i>spill kit</i> - Larangan sumber api - SOP penanganan tumpahan BBM	Unlikely	Minor	Low
		Putung rokok		Unlikely	Moderate	Medium	- Tempat putung rokok	Unlikely	Minor	Low
		Electrical failure pada panel utama		Unlikely	Moderate	Medium	- Inspeksi panel listrik - Preventive maintenance - Alarm kebakaran	Unlikely	Minor	Low
		Panel overheating		Unlikely	Moderate	Medium	- Monitoring temperatur panel - Pemeriksaan beban panel - Preventive maintenance	Unlikely	Minor	Low
3	Office	Electrical failure pada instalasi listrik atau perangkat elektronik	APAR & Evacuation drill	Unlikely	Moderate	Medium	- Pemeriksaan instalasi listrik berkala - Penggantian kabel yang rusak - Penggunaan MCB sesuai kapasitas - Detektor asap - Alarm kebakaran	Unlikely	Minor	Low

Gresik, 20 Juli 2026

Yang Menyatakan,


(INDAH TI W)

FIRE RISK ASSESSMENT

WORKSHOP FABRIKASI

No.	Area	Fire Hazard	Existing Fire Protection	Inherent Fire Risk			Additional Fire Protection	Residual Fire Risk		
				P	C	R		P	C	R
1	Workshop	Kebocoran tabung gas pada aktivitas <i>welding</i>	APAR & Evacuation drill	Possible	Major	High	- Penyimpanan tabung sesuai standar - Inspeksi kebocoran berkala	Unlikely	Minor	Low
		Percikan api dari aktivitas <i>welding</i>		Likely	Major	Extreme	- Hot Work Permit - Fire watch - Housekeeping - Pemisahan material mudah terbakar - Detektor panas - Alarm kebakaran - Hidran	Possible	Moderate	Medium
		Percikan api dari mesin <i>cutting</i>		Possible	Major	High	- Housekeeping - Pelindung percikan (<i>spark guard</i>) - Detektor panas - Alarm kebakaran	Unlikely	Moderate	Medium
		Percikan api dari mesin <i>milling</i>		Unlikely	Moderate	Medium	- Housekeeping - Preventive maintenance mesin	Unlikely	Minor	Low
		Overheating pada mesin produksi		Unlikely	Moderate	Medium	- Preventive maintenance mesin - Monitoring temperatur mesin - Detektor panas	Unlikely	Minor	Low

No.	Area	Fire Hazard	Existing Fire Protection	Inherent Fire Risk			Additional Fire Protection	Residual Fire Risk		
				P	C	R		P	C	R
2	Parkiran	Tumpahan BBM	APAR & Evacuation drill	Unlikely	Moderate	Medium	- Penyediaan <i>spill kit</i> - Larangan sumber api - SOP penanganan tumpahan BBM	Unlikely	Minor	Low
		Putung rokok		Unlikely	Moderate	Medium	- Tempat putung rokok	Unlikely	Minor	Low
		Electrical failure pada panel utama		Unlikely	Moderate	Medium	- Inspeksi panel listrik - Preventive maintenance - Alarm kebakaran	Unlikely	Minor	Low
		Panel overheating		Unlikely	Moderate	Medium	- Monitoring temperatur panel - Pemeriksaan beban panel - Preventive maintenance	Unlikely	Minor	Low
3	Office	Electrical failure pada instalasi listrik atau perangkat elektronik	APAR & Evacuation drill	Unlikely	Moderate	Medium	- Pemeriksaan instalasi listrik berkala - Penggantian kabel yang rusak - Penggunaan MCB sesuai kapasitas - Detektor asap - Alarm kebakaran	Unlikely	Minor	Low

Gresik, 20 Juli 2026

Yang Menyatakan,


(H. H. H. H.)

LAMPIRAN 5
PENILAIAN *EXPERT JUDGMENT*
TERKAIT EVALUASI APAR

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PENILAIAN EXPERT JUDGEMENT
EVALUASI APAR BERDASARKAN NFPA 10 TAHUN 2022

Nama : **HARHANSYAH WUJAYA**

Jabatan : **HSE SPV**

Silahkan beri tanda centang (✓) pada jawaban yang dianggap sesuai.

No.	Pertanyaan	Kesesuaian		Keterangan
		Ya	Tidak	
1.	Apakah jenis APAR telah sesuai dengan klasifikasi kelas kebakarannya? (5.3.1)	✓		
2.	Apakah APAR selalu terisi penuh dan dapat dioperasikan serta disimpan di tempat yang telah ditentukan setiap kali tidak digunakan? (6.1.2)	✓		
3.	Apakah APAR diletakkan pada area yang mudah diakses dan dapat segera digunakan saat terjadi kebakaran? (6.1.3.1)	✓		
4.	Apakah APAR ditempatkan di sepanjang jalur lalu lalang termasuk pada pintu keluar area? (6.1.3.2)		✓	
5.	Apakah terdapat tanda yang menunjukkan lokasi APAR didekat area pemasangan APAR? (6.1.3.3.4)		✓	
6.	Apakah pemasangan APAR telah mengikuti salah satu ketentuan berikut? (6.1.3.4) a. Dipasang dengan aman di gantungan khusus APAR b. Dipasang didalam braket yang dilengkapi dengan tali pelepas atau tali pengikat	✓		
7.	Apakah tinggi pemasangan APAR yang memiliki berat kotor tidak lebih dari 40 lb (18,14 kg) berada pada ketinggian dimana bagian atas APAR tidak lebih dari 5 ft (1,53 m) di atas lantai? (6.1.3.9.1)	✓		
8.	Apakah terdapat informasi petunjuk pengoperasian APAR didekat area pemasangan APAR? (6.1.3.10.1)	✓		

No.	Pertanyaan	Kesesuaian		Keterangan
		Ya	Tidak	
9.	Apakah ukuran minimal APAR telah disesuaikan dengan ketentuan untuk tiap kelas bahayanya? (6.2) (6.3)	✓		
10.	Apakah jarak pemasangan APAR telah disesuaikan dengan ketentuan untuk tiap kelas bahayanya? (6.2) (6.3)		✓	
11.	Apakah pemeliharaan dan pengisian ulang APAR telah dilakukan oleh orang yang tersertifikasi? (7.1.2.1)	✓		
12.	Apakah APAR yang kondisinya tidak sesuai saat hasil inspeksi akan ditarik dan diganti segera dengan APAR yang sesuai dengan jenis bahaya dan memiliki <i>rating</i> yang sama? (7.1.3)	✓		
13.	Apakah APAR telah diinspeksi secara manual saat pertama kali dipasang? (7.2.1.1)	✓		
14.	Apakah APAR telah diinspeksi baik secara manual ataupun dengan sistem pemantauan elektronik dengan <i>interval</i> inspeksi tidak lebih dari 31 hari? (7.2.1.2)	✓		
15.	Apakah pemeriksaan APAR secara berkala telah mencakup pengecekan terhadap beberapa kriteria berikut ini? (7.2.2) a. Ditempatkan pada titik yang ditentukan b. Visibilitas APAR atau penempatan APAR pada area yang dapat terlihat dengan jelas c. Akses menuju titik penempatan APAR yang mudah d. Pembacaan <i>pressure gauge</i> atau indikator tekanan tabung dalam rentang atau posisi yang dapat sesuai e. Pengecekan isi APAR melalui penimbangan atau dengan mengangkat APAR f. Kondisi ban, roda, kereta, selang, dan <i>nozzle</i> yang baik untuk APAR beroda	✓		

No.	Pertanyaan	Kesesuaian		Keterangan
		Ya	Tidak	
16.	Apakah telah dilakukan tindakan korektif segera pada saat ditemukan ketidaksesuaian pada hasil inspeksi APAR? (7.2.3)	✓		
17.	Apakah catatan inspeksi manual telah disimpan pada label di APAR atau daftar periksa inspeksi elektronik /yang tersimpan dalam file? (7.2.4.1.1)	✓		

Gresik, 21-04-2026

Yang Menyatakan,


)
 W

PENILAIAN EXPERT JUDGEMENT
EVALUASI APAR BERDASARKAN NFPA 10 TAHUN 2022

Nama : Indah Tri W

Jabatan : HSE Engineer

Silahkan beri tanda centang (✓) pada jawaban yang dianggap sesuai.

No.	Pertanyaan	Kesesuaian		Keterangan
		Ya	Tidak	
1.	Apakah jenis APAR telah sesuai dengan klasifikasi kelas kebakarannya? (5.3.1)	✓		
2.	Apakah APAR selalu terisi penuh dan dapat dioperasikan serta disimpan di tempat yang telah ditentukan setiap kali tidak digunakan? (6.1.2)	✓		
3.	Apakah APAR diletakkan pada area yang mudah diakses dan dapat segera digunakan saat terjadi kebakaran? (6.1.3.1)	✓		
4.	Apakah APAR ditempatkan di sepanjang jalur lalu lalang termasuk pada pintu keluar area? (6.1.3.2)		✓	
5.	Apakah terdapat tanda yang menunjukkan lokasi APAR didekat area pemasangan APAR? (6.1.3.3.4)		✓	
6.	Apakah pemasangan APAR telah mengikuti salah satu ketentuan berikut? (6.1.3.4) a. Dipasang dengan aman di gantungan khusus APAR b. Dipasang didalam braket yang dilengkapi dengan tali pelepas atau tali pengikat	✓		
7.	Apakah tinggi pemasangan APAR yang memiliki berat kotor tidak lebih dari 40 lb (18,14 kg) berada pada ketinggian dimana bagian atas APAR tidak lebih dari 5 ft (1,53 m) di atas lantai? (6.1.3.9.1)	✓		
8.	Apakah terdapat informasi petunjuk pengoperasian APAR didekat area pemasangan APAR? (6.1.3.10.1)	✓		

No.	Pertanyaan	Kesesuninn		Keterangan
		Ya	Tidak	
9.	Apakah ukuran minimal APAR telah disesuaikan dengan ketentuan untuk tiap kelas bahayanya? (6.2) (6.3)	✓		
10.	Apakah jarak pemasangan APAR telah disesuaikan dengan ketentuan untuk tiap kelas bahayanya? (6.2) (6.3)		✓	
11.	Apakah pemeliharaan dan pengisian ulang APAR telah dilakukan oleh orang yang tersertifikasi? (7.1.2.1)	✓		
12.	Apakah APAR yang kondisinya tidak sesuai saat hasil inspeksi akan ditarik dan diganti segera dengan APAR yang sesuai dengan jenis bahaya dan memiliki <i>rating</i> yang sama? (7.1.3)	✓		
13.	Apakah APAR telah diinspeksi secara manual saat pertama kali dipasang? (7.2.1.1)	✓		
14.	Apakah APAR telah diinspeksi baik secara manual ataupun dengan sistem pemantauan elektronik dengan <i>interval</i> inspeksi tidak lebih dari 31 hari? (7.2.1.2)	✓		
15.	Apakah pemeriksaan APAR secara berkala telah mencakup pengecekan terhadap beberapa kriteria berikut ini? (7.2.2) a. Ditempatkan pada titik yang ditentukan b. Visibilitas APAR atau penempatan APAR pada area yang dapat terlihat dengan jelas c. Akses menuju titik penempatan APAR yang mudah d. Pembacaan <i>pressure gauge</i> atau indikator tekanan tabung dalam rentang atau posisi yang dapat sesuai e. Pengecekan isi APAR melalui penimbangan atau dengan mengangkat APAR f. Kondisi ban, roda, kereta, selang, dan <i>nozzle</i> yang baik untuk APAR beroda	✓		

No.	Pertanyaan	Kesesuaian		Keterangan
		Ya	Tidak	
16.	Apakah telah dilakukan tindakan korektif segera pada saat ditemukan ketidaksesuaian pada hasil inspeksi APAR? (7.2.3)	✓		
17.	Apakah catatan inspeksi manual telah disimpan pada label di APAR atau daftar periksa inspeksi elektronik /yang tersimpan dalam file? (7.2.4.1.1)	✓		

Gresik, 21 April 2026

Yang Menyatakan,



(INDAH TI W)

PENILAIAN EXPERT JUDGEMENT
EVALUASI APAR BERDASARKAN NFPA 10 TAHUN 2022

Nama : *Mur hasyim*
 Jabatan : *SPV*

Silahkan beri tanda centang (✓) pada jawaban yang dianggap sesuai.

No.	Pertanyaan	Kesesuaian		Keterangan
		Ya	Tidak	
1.	Apakah jenis APAR telah sesuai dengan klasifikasi kelas kebakarannya? (5.3.1)	✓		
2.	Apakah APAR selalu terisi penuh dan dapat dioperasikan serta disimpan di tempat yang telah ditentukan setiap kali tidak digunakan? (6.1.2)	✓		
3.	Apakah APAR diletakkan pada area yang mudah diakses dan dapat segera digunakan saat terjadi kebakaran? (6.1.3.1)	✓		
4.	Apakah APAR ditempatkan di sepanjang jalur lalu lalang termasuk pada pintu keluar area? (6.1.3.2)		✓	
5.	Apakah terdapat tanda yang menunjukkan lokasi APAR didekat area pemasangan APAR? (6.1.3.3.4)		✓	
6.	Apakah pemasangan APAR telah mengikuti salah satu ketentuan berikut? (6.1.3.4)	✓		
	a. Dipasang dengan aman di gantungan khusus APAR b. Dipasang didalam braket yang dilengkapi dengan tali pelepas atau tali pengikat			
7.	Apakah tinggi pemasangan APAR yang memiliki berat kotor tidak lebih dari 40 lb (18,14 kg) berada pada ketinggian dimana bagian atas APAR tidak lebih dari 5 ft (1,53 m) di atas lantai? (6.1.3.9.1)	✓		
8.	Apakah terdapat informasi petunjuk pengoperasian APAR didekat area pemasangan APAR? (6.1.3.10.1)	✓		

No.	Pertanyaan	Kesesuaian		Keterangan
		Ya	Tidak	
9.	Apakah ukuran minimal APAR telah disesuaikan dengan ketentuan untuk tiap kelas bahayanya? (6.2) (6.3)	✓		
10.	Apakah jarak pemasangan APAR telah disesuaikan dengan ketentuan untuk tiap kelas bahayanya? (6.2) (6.3)		✓	
11.	Apakah pemeliharaan dan pengisian ulang APAR telah dilakukan oleh orang yang tersertifikasi? (7.1.2.1)	✓		
12.	Apakah APAR yang kondisinya tidak sesuai saat hasil inspeksi akan ditarik dan diganti segera dengan APAR yang sesuai dengan jenis bahaya dan memiliki <i>rating</i> yang sama? (7.1.3)	✓		
13.	Apakah APAR telah diinspeksi secara manual saat pertama kali dipasang? (7.2.1.1)	✓		
14.	Apakah APAR telah diinspeksi baik secara manual ataupun dengan sistem pemantauan elektronik dengan <i>interval</i> inspeksi tidak lebih dari 31 hari? (7.2.1.2)	✓		
15.	Apakah pemeriksaan APAR secara berkala telah mencakup pengecekan terhadap beberapa kriteria berikut ini? (7.2.2) a. Ditempatkan pada titik yang ditentukan b. Visibilitas APAR atau penempatan APAR pada area yang dapat terlihat dengan jelas c. Akses menuju titik penempatan APAR yang mudah d. Pembacaan <i>pressure gauge</i> atau indikator tekanan tabung dalam rentang atau posisi yang dapat sesuai e. Pengecekan isi APAR melalui penimbangan atau dengan mengangkat APAR f. Kondisi ban, roda, kereta, selang, dan <i>nozzle</i> yang baik untuk APAR beroda	✓		

No.	Pertanyaan	Kesesuaian		Keterangan
		Ya	Tidak	
16.	Apakah telah dilakukan tindakan korektif segera pada saat ditemukan ketidaksesuaian pada hasil inspeksi APAR? (7.2.3)	✓		
17.	Apakah catatan inspeksi manual telah disimpan pada label di APAR atau daftar periksa inspeksi elektronik /yang tersimpan dalam file? (7.2.4.1.1)	✓		

Gresik, 22 April 2026

Yang Menyatakan,

 **ASUKA**
ENGINEERING INDONESIA
Nurhasyim

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 6
WAWANCARA *EXPERT JUDGMENT*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR OBSERVASI DAN WAWANCARA

EXPERT JUDGEMENT

Nama Mahasiswa : Maria Belva Alifya Az-zahra

Hari, Tanggal : Selasa, 23 Juni 2026

Narasumber

Nama : Hariansyah Wijaya

Jabatan : HSE Supervisor

Hasil Wawancara

1. Apakah dalam lima tahun terakhir pernah terjadi kejadian timbulnya api (*fire incident*) atau *near miss fire incident* akibat aktivitas pekerjaan panas (*hot work*), seperti pengelasan, pada area kerja di perusahaan yang bergerak di bidang konstruksi?

Jawaban :

Seingat saya, dalam lima tahun terakhir pernah terjadi sekitar tahun 2023 ada dua kejadian yang berkaitan dengan aktivitas hot work. Salah satunya terjadi ketika percikan api hasil pengelasan menyambar material pelapis atau sekat untuk pekerjaan pengecoran lantai. Kejadian lainnya terjadi ketika panas dari proses pengelasan pada kolom baja membakar karung goni kering yang digunakan sebagai pelapis wire sling. Selain itu, saya juga pernah mengalami kejadian cutting torch clamp yang terlepas sehingga menimbulkan api dan merusak sebagian selang (hose). Seluruh kejadian tersebut berhasil dikendalikan dan tidak berkembang menjadi kebakaran besar. Sepengetahuan saya, kejadian-kejadian tersebut tidak memiliki laporan atau dokumentasi resmi perusahaan.

2. Berapa kapasitas tabung gas yang digunakan sebagai material pendukung pada area workshop fabrikasi untuk kegiatan pengelasan, sehingga dapat dijadikan acuan dalam identifikasi potensi bahaya kebakaran?

Jawaban:

Kapasitas tabung gas yang disimpan dan digunakan pada area workshop fabrikasi adalah 6 m³ atau setara dengan 40 liter untuk setiap tabung. Kapasitas tersebut berlaku untuk

tabung gas argon, asetilena, maupun oksigen yang digunakan sebagai penunjang aktivitas pekerjaan pengelasan dan pemotongan (hot work) di area workshop.

Gresik, 24 Juni 2026

Mahasiswa



Maria Belva Alifya Az-zahra

HSE Supervisor



Hariansyah Wijaya

Mengetahui,

Supervisor Area



Nur Hasyim

HSE Engineer

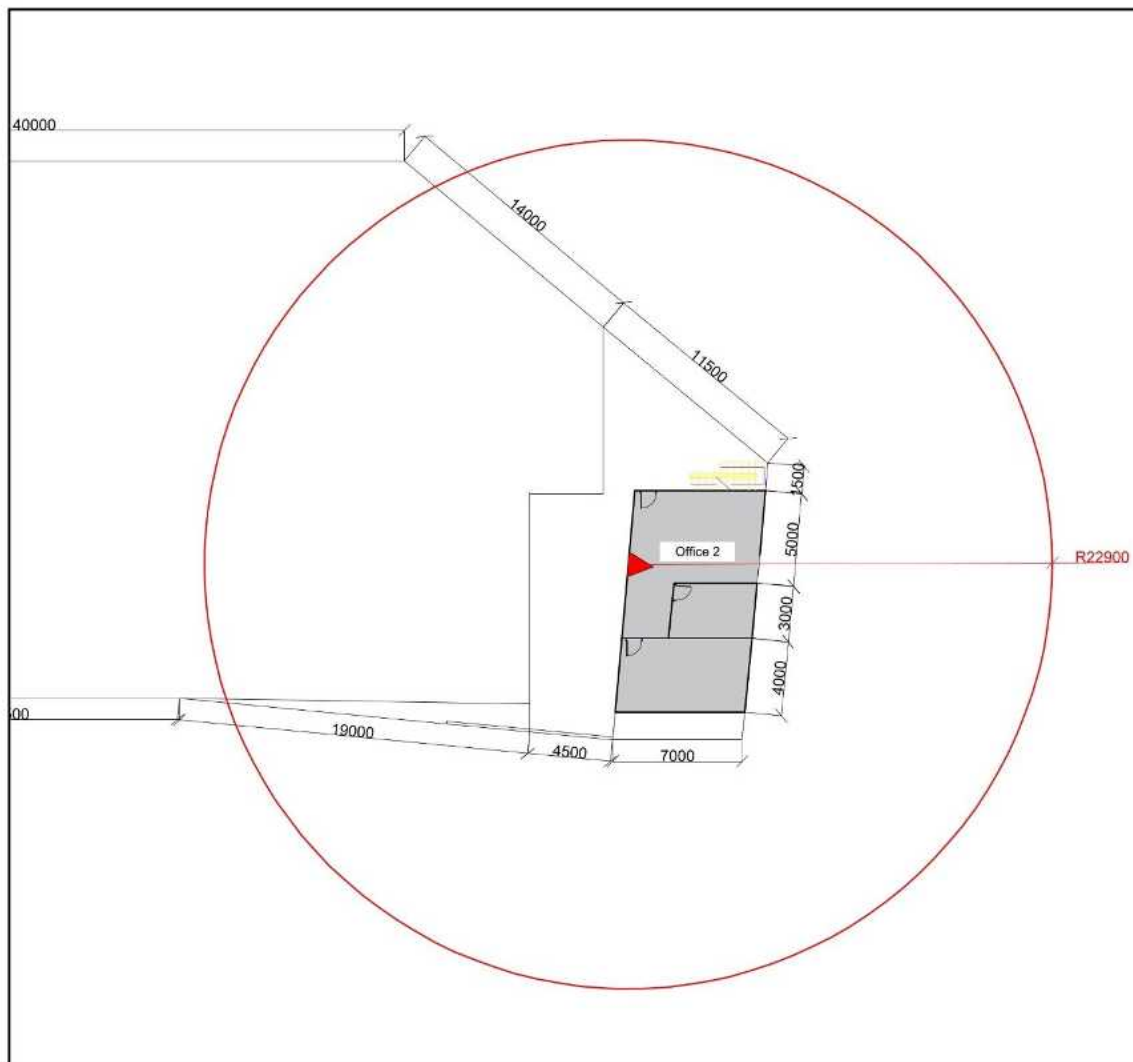


Indah Tri W.

LAMPIRAN 7
LAYOUT EVALUASI APAR

(Halaman ini sengaja dikosongkan)





PPNS POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA

PROGRAM STUDI
TEKNIK KESELAMATAN DAN
KESEHATAN KERJA

POLITEKNIK PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

*FIRE RISK ASSESSMENT, EVALUASI,
DAN PERANCANGAN SISTEM
PROTEKSI KEBAKARAN AKTIF
PADA WORKSHOP FABRIKASI*

DOSEN PEMBIMBING

1. Moch. Luqman Ashari, S.T., M.T.
2. Dika Rahayu Widiana, S.T. M.T., Ph. D.

NAMA MAHASISWA

MARIA BELVA ALIFYA AZ-ZAHRA

SCALE	SATUAN
1:300	mm

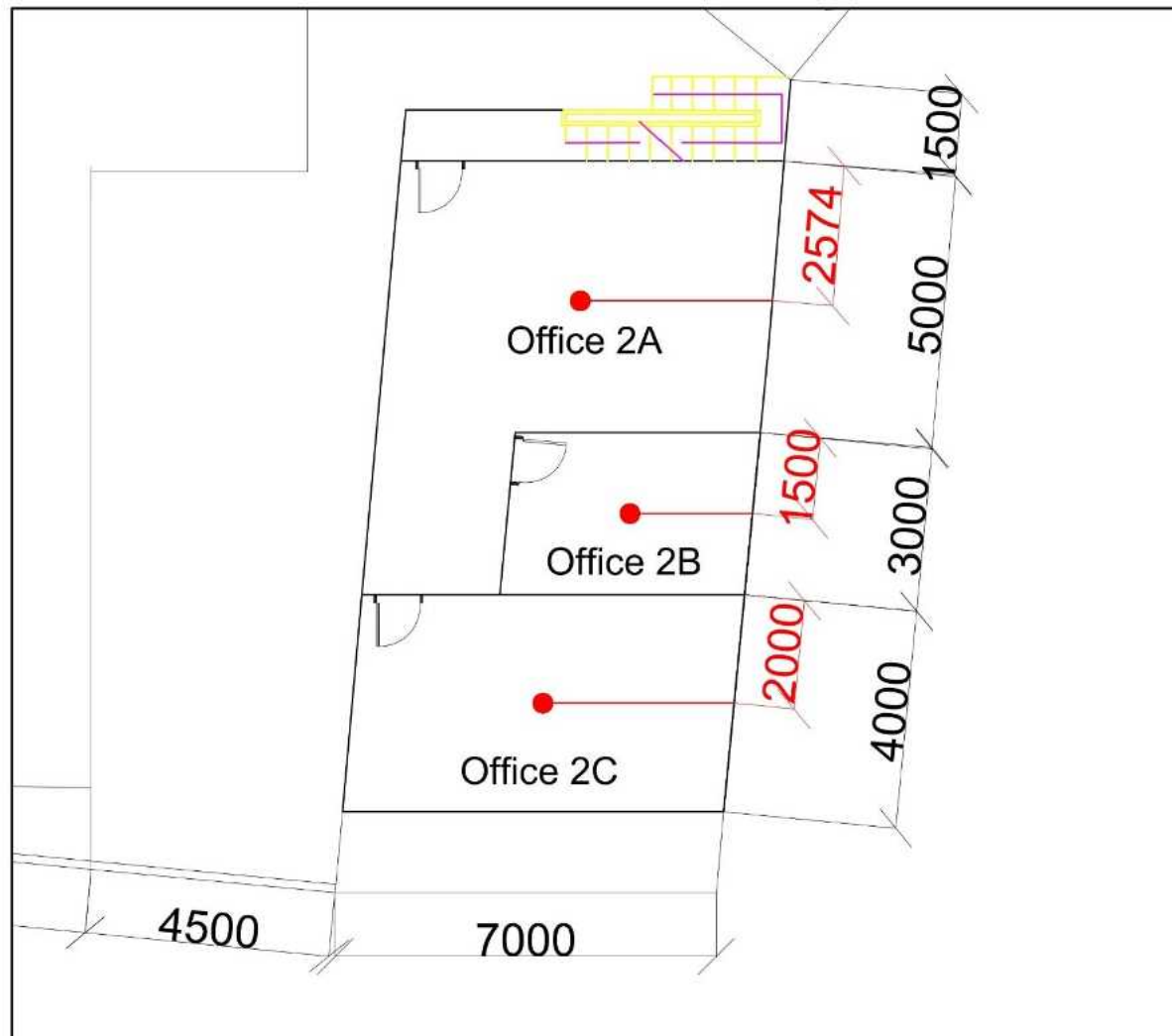
APPROVED JUDUL GAMBAR

*Layout Peletakan
APAR Lantai 2*



LAMPIRAN 8
LAYOUT PELETAKKAN DETEKTOR

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



PPNS

PROGRAM STUDI
TEKNIK KESELAMATAN DAN
KESEHATAN KERJA

POLITEKNIK PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

FIRE RISK ASSESSMENT, EVALUASI,
DAN PERANCANGAN SISTEM
PROTEKSI KEBAKARAN AKTIF
PADA WORKSHOP FABRIKASI

DOSEN PEMBIMBING

1. Moch. Luqman Ashari, S.T., M.T.
2. Dika Rahayu Widiana, S.T. M.T., Ph. D.

NAMA MAHASISWA

MARIA BELVA ALIFYA AZ-ZAHRA

SCALE

1:100

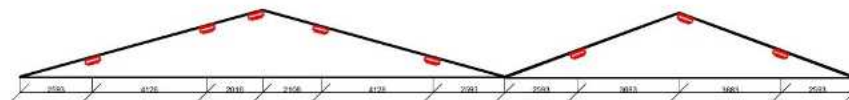
APPROVED

SATUAN

mm

JUDUL GAMBAR

Layout Peletakan
Detektor Lantai 2



PPNS
POLITEKNIK
PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

PROGRAM STUDI
TEKNIK KESELAMATAN DAN
KESEHATAN KERJA

POLITEKNIK PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

FIRE RISK ASSESSMENT, EVALUASI,
DAN PERANCANGAN SISTEM
PROTEKSI KEBAKARAN AKTIF
PADA *WORKSHOP* FABRIKASI

DOSEN PEMBIMBING

1. Moch. Luqman Ashari, S.T., M.T.
2. Dika Rahayu Widiana, S.T. M.T., Ph. D.

NAMA MAHASISWA

MARIA BELVA ALIFYA AZ-ZAHRA

SCALE

1:200

APPROVED

SATUAN

mm

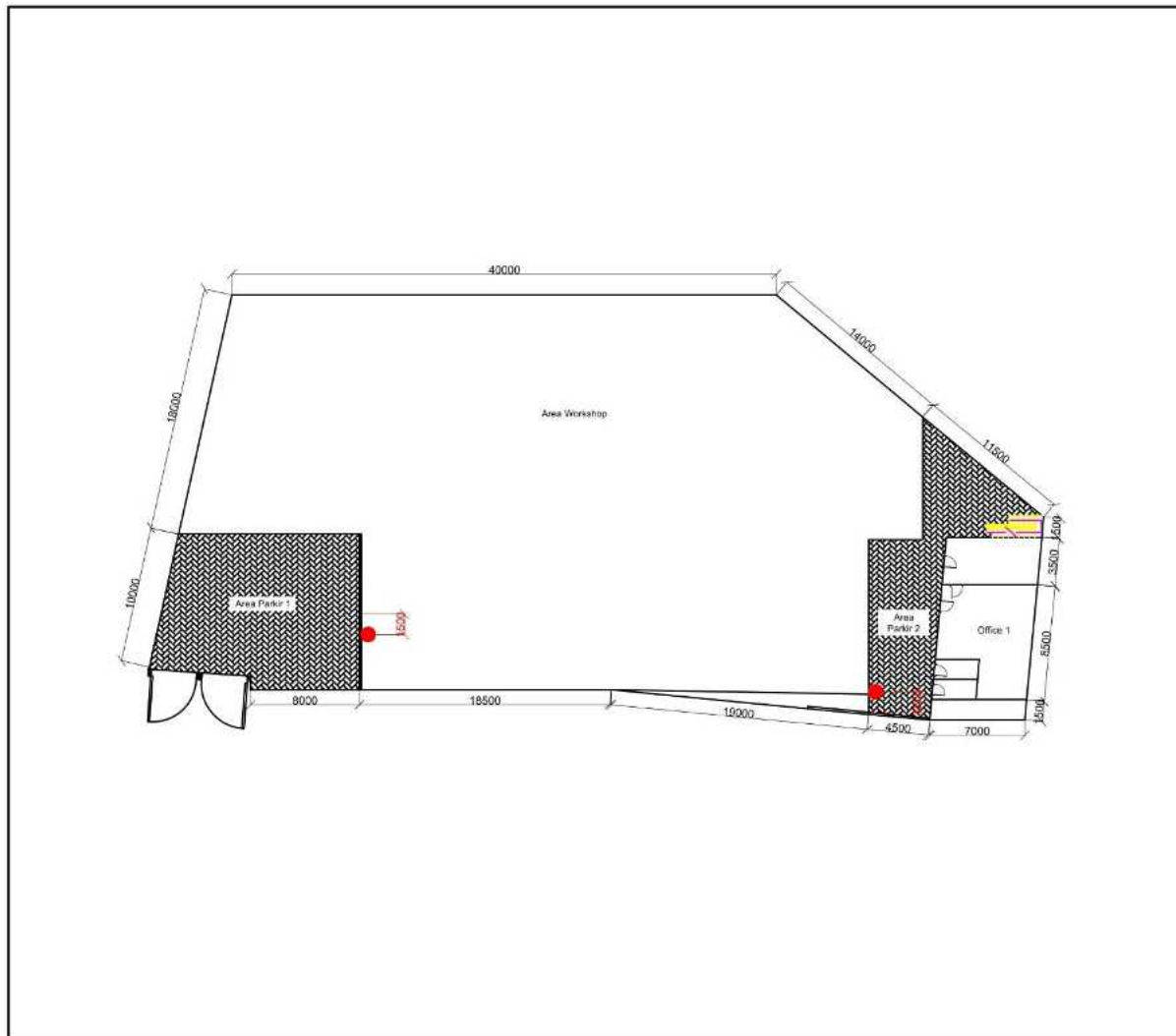
JUDUL GAMBAR

*Layout Peletakan
Detektor Panas*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 9
LAYOUT PELETAKKAN ALARM

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



PPNS

PROGRAM STUDI
TEKNIK KESELAMATAN DAN
KESEHATAN KERJA

POLITEKNIK PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

FIRE RISK ASSESSMENT, EVALUASI,
DAN PERANCANGAN SISTEM
PROTEKSI KEBAKARAN AKTIF
PADA *WORKSHOP* FABRIKASI

DOSEN PEMBIMBING

1. Moch. Luqman Ashari, S.T., M.T.
2. Dika Rahayu Widiana, S.T. M.T., Ph. D.

NAMA MAHASISWA

MARIA BELVA ALIFYA AZ-ZAHRA

SCALE

1:400

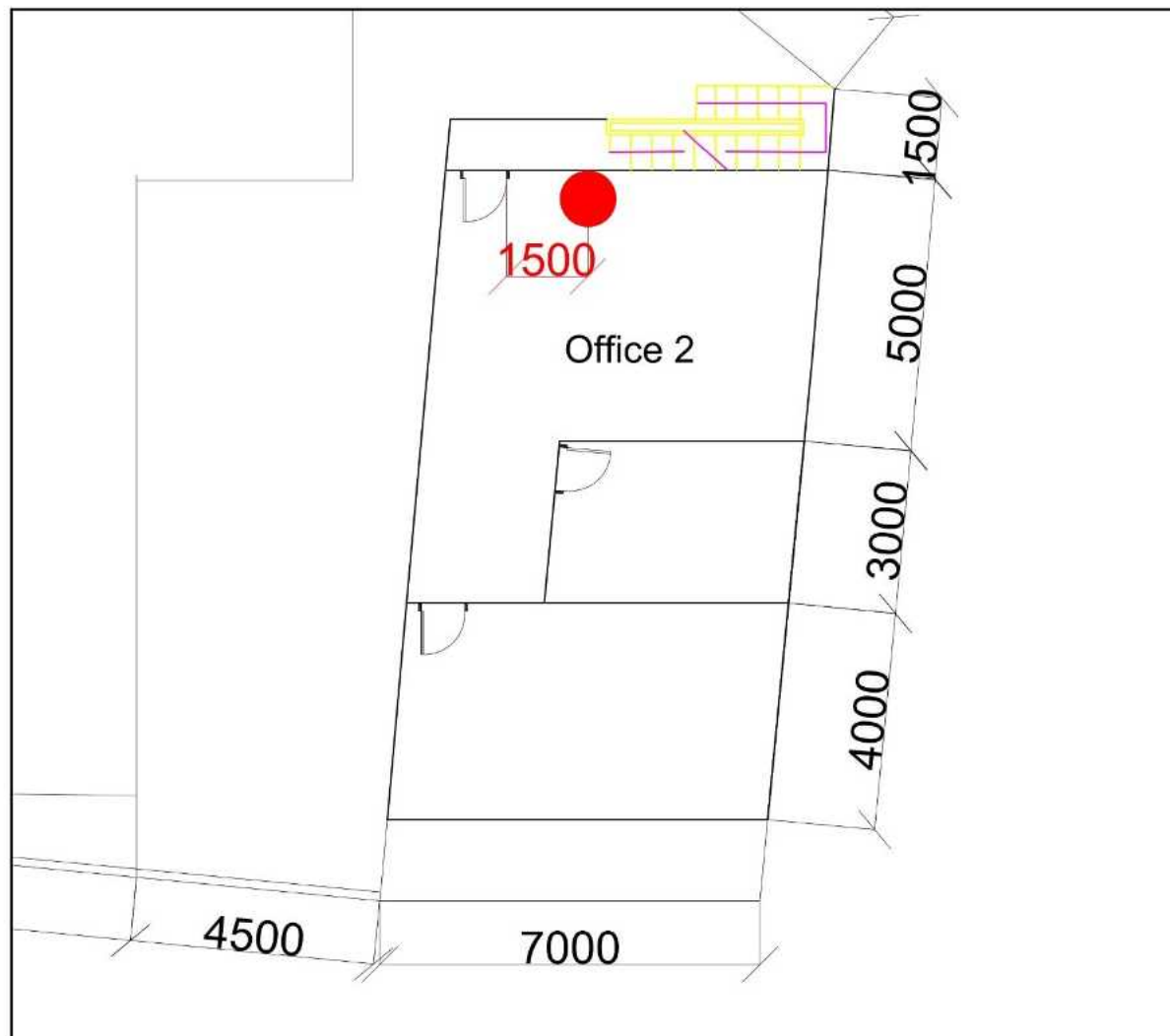
SATUAN

mm

APPROVED

JUDUL GAMBAR

*Layout Peletakan
Alarm Lantai 1*



PPNS POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA

PROGRAM STUDI
TEKNIK KESELAMATAN DAN
KESEHATAN KERJA

POLITEKNIK PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

*FIRE RISK ASSESSMENT, EVALUASI,
DAN PERANCANGAN SISTEM
PROTEKSI KEBAKARAN AKTIF
PADA WORKSHOP FABRIKASI*

DOSEN PEMBIMBING

1. Moch. Luqman Ashari, S.T., M.T.
2. Dika Rahayu Widiana, S.T. M.T., Ph. D.

NAMA MAHASISWA

MARIA BELVA ALIFYA AZ-ZAHRA

SCALE

1:100

APPROVED

SATUAN

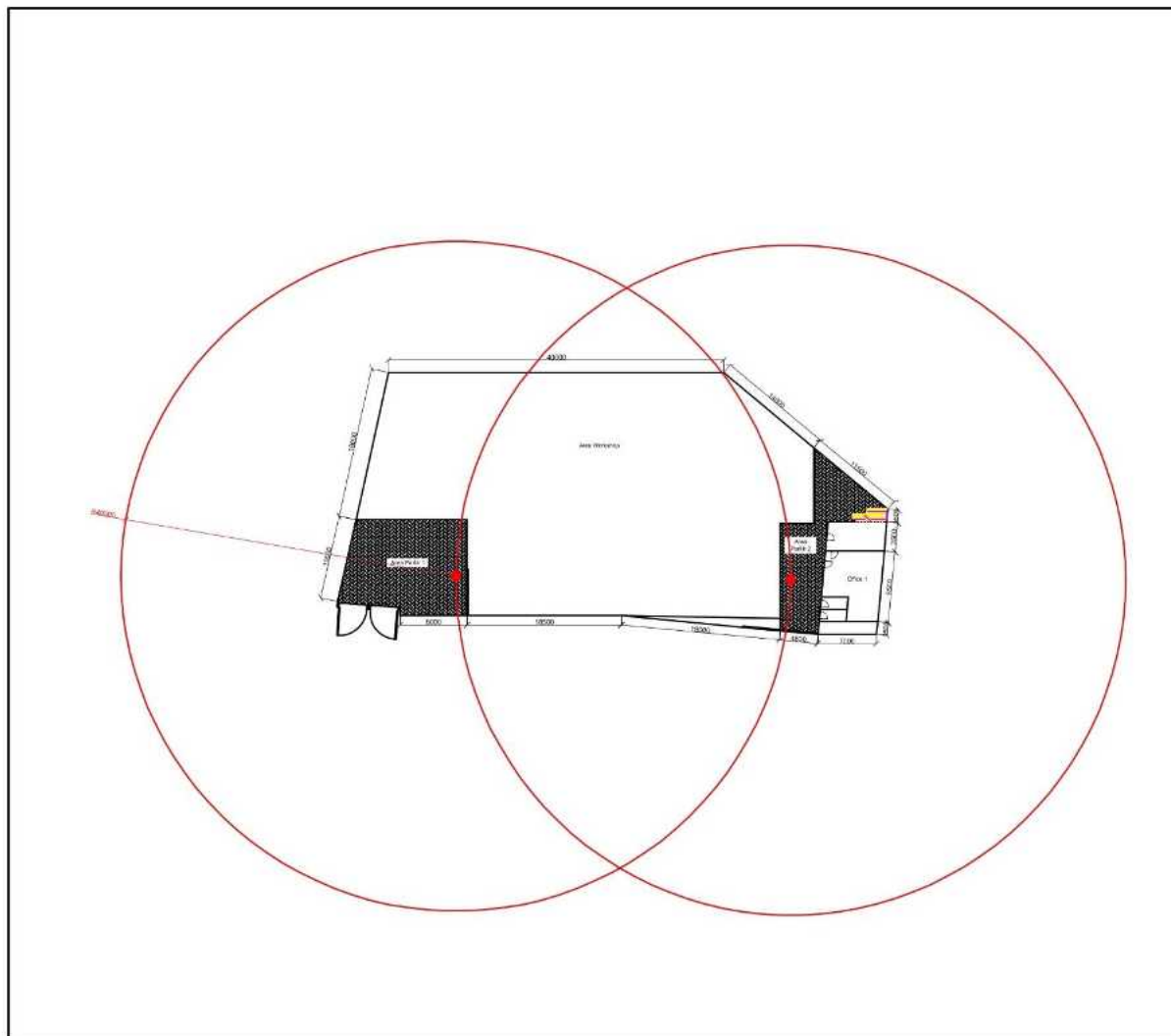
mm

JUDUL GAMBAR

*Layout Peletakan
Alarm Lantai 2*

LAMPIRAN 10
LAYOUT PELETAKKAN HIDRAN

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



PPNS POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA

PROGRAM STUDI
TEKNIK KESELAMATAN DAN
KESEHATAN KERJA

POLITEKNIK PERKAPALAN
NEGERI SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

*FIRE RISK ASSESSMENT, EVALUASI,
DAN PERANCANGAN SISTEM
PROTEKSI KEBAKARAN AKTIF
PADA WORKSHOP FABRIKASI*

DOSEN PEMBIMBING

1. Moch. Luqman Ashari, S.T., M.T.
2. Dika Rahayu Widiana, S.T. M.T., Ph. D.

NAMA MAHASISWA

MARIA BELVA ALIFYA AZ-ZAHRA

SCALE

1:500

APPROVED

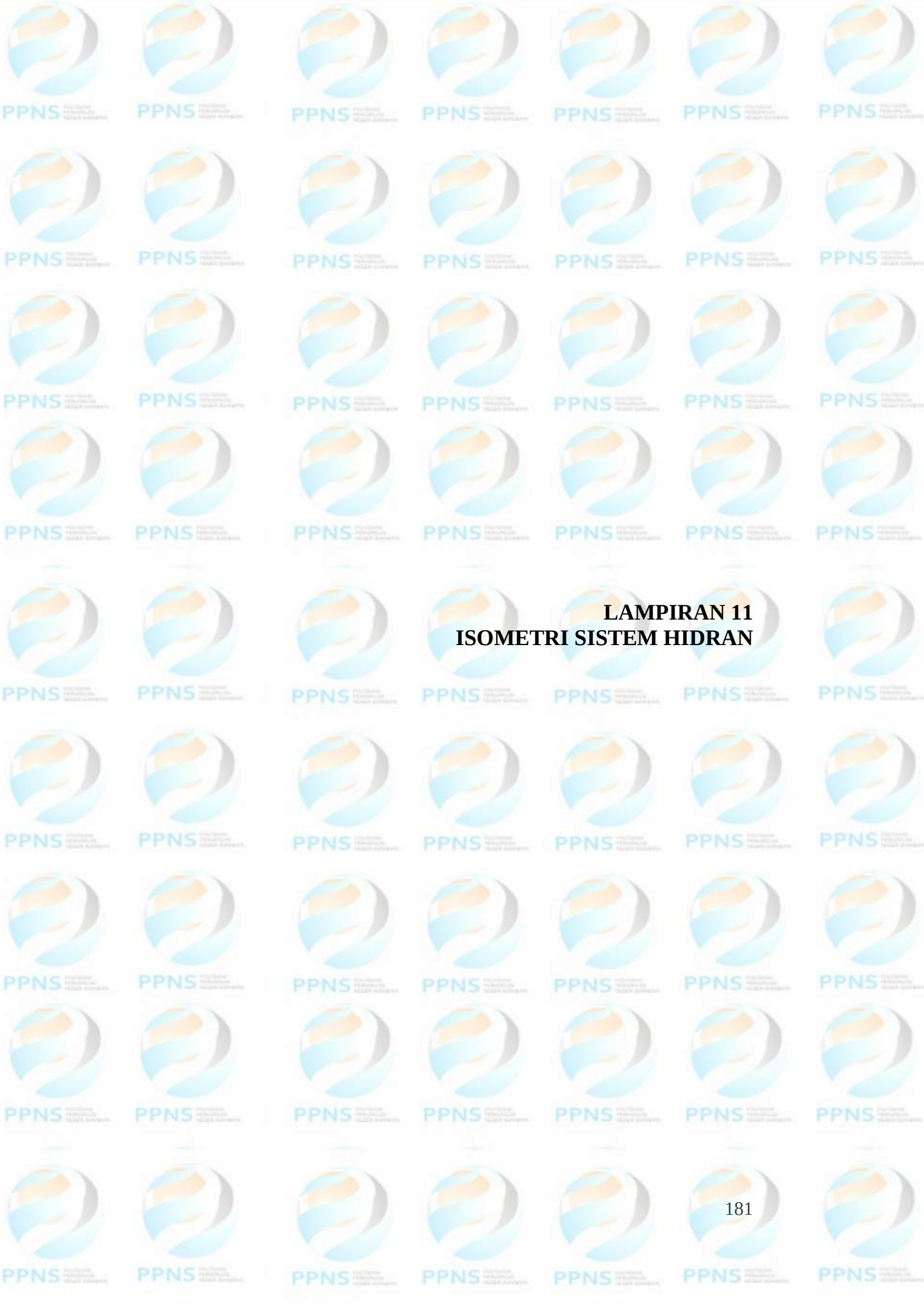
SATUAN

mm

JUDUL GAMBAR

*Layout Peletakan
Hidran*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN 11
ISOMETRI SISTEM HIDRAN

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



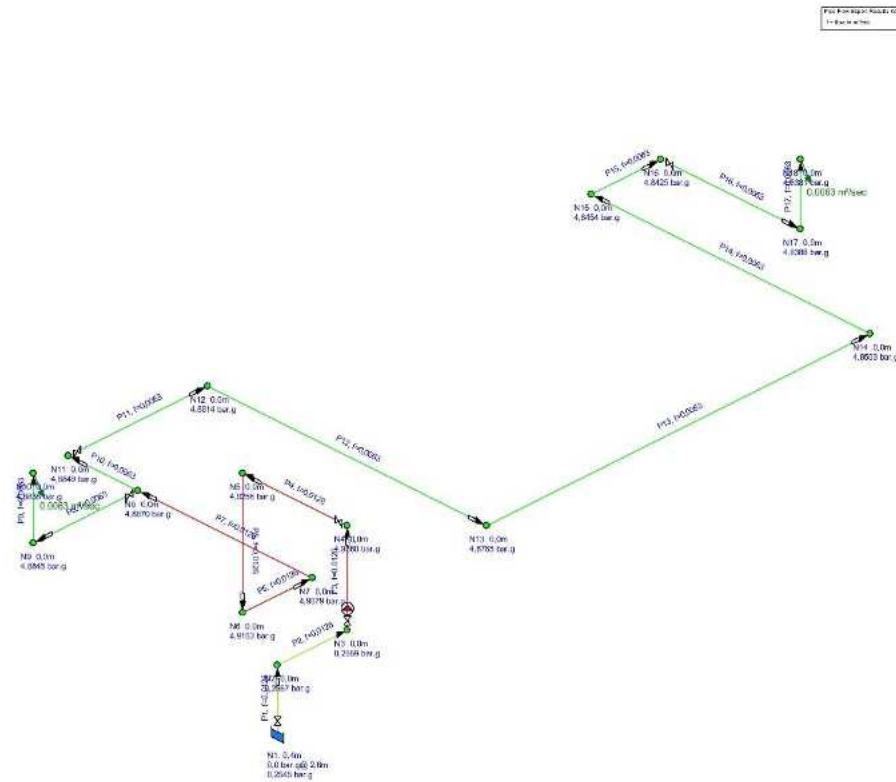
LAMPIRAN 12
SIMULASI PIPE FLOW EXPERT

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



Pipe Flow Design 1

Results Data



Fluid Data

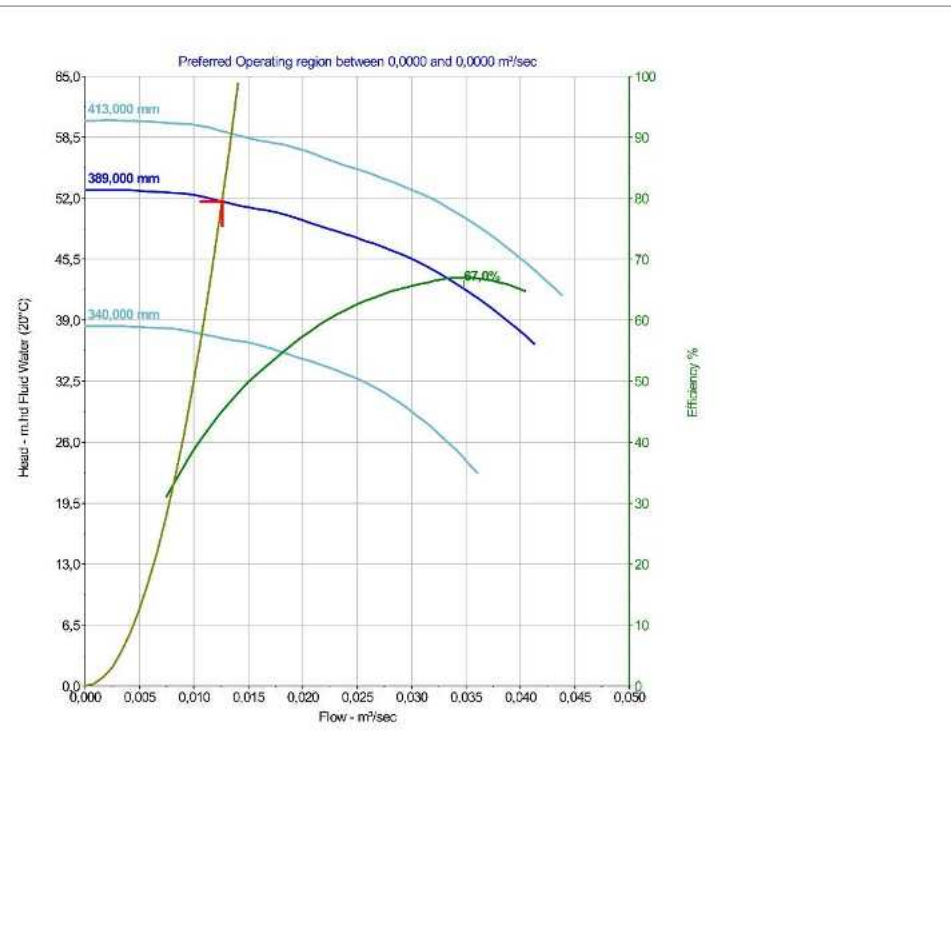
Zone	Fluid Name	Chemical Formula	Temperature °C	Pressure bar.g	Density kg/m³	Centistokes	Centipoise	Vapour Pressure bar.a	State
1	Water	H2O	20,000	0,0000	998,000000	1,000000	1,002000	0,024000	Liquid

Pump Data

Pipe Id	Pipe Name	Pump Name	Speed rpm	Pref. Op From m ³ /sec	Pref. Op To m ³ /sec	Flow In/Out m ³ /sec	Velocity m/sec	Suction Pressure bar.g	Discharge Pressure bar.g	Pump Head (+) m.hd Fluid	Pump NPSHr m.hd (absolute)	Pump NPSHa m.hd (absolute)	Pump Efficiency Percentage	Pump Power Kilowatts
3	P3	Pump	1450	0,0000	0,0000	0,0126	1,542	0,2321	5,2863	51,641	1,940	12,480	45,03	14,1430

Pump Data Name: Pump Catalog: Manufacturer: Type: Size: Stages: 0 Speed: 1450 Rpm Impeller Diam: 389,000 mm Min Speed: 1450 Rpm Max Speed: 1450 Rpm Min Diam: 340,000 mm Max Diam: 413,000 mm	Fluid Data Fluid: Water Density: 998,000000 kg/m³ Viscosity: 1,0020 cP Temperature: 20,000 °C Vapor Pressure: 0,0240 bar.a Atm Pressure: 1,0132 bar.a Design Curve Shutoff Head: 52,822 m.hd Fluid Shutoff dP: 5,1697 bar.g BEP: 67,0% @ 0,0348 m³/sec Power at BEP: 21,55 kW NPSHr at BEP: 2,928 m.hd Fluid Max Flow Power: 23,04 kW @ 0,0413 m³/sec	Operating Notes Pref. Op. Region: 0% - 0% of BEP Pref. Flow Range: 0,0000 - 0,0000 m³/sec Notes: Data Point Flow: 0,0126 m³/sec Head: 51,641 m.hd Fluid Efficiency: 45,03% Power: 14,14 kW NPSHr: 1,940 m.hd Fluid
--	--	---

Pump graph is shown on next page (when document is in landscape format).



Pipe Data

Pipe Id	Pipe Name and Notes	Inner Diameter mm	Length m	Mass Flow kg/sec	Voi Flow m³/sec	Velocity m/sec	dP Total Loss bar	Entry Pressure bar.g	Exit Pressure bar.g
1	P1	127,940	2,890	12,5748	0,0126	0,980	-0,0022	0,2545	0,2567
2	P2	127,940	1,000	12,5748	0,0126	0,980	0,0008	0,2567	0,2559
3	P3	102,006	1,000	12,5748	0,0126	1,542	-5,0217	0,2559	5,2776
4	P4	102,006	1,000	12,5748	0,0126	1,542	0,0104	5,2776	5,2672
5	P5	102,006	1,600	12,5748	0,0126	1,542	0,0103	5,2672	5,2569
6	P6	102,006	0,500	12,5748	0,0126	1,542	0,0074	5,2569	5,2495
7	P7	102,006	3,281	12,5748	0,0126	1,542	0,0209	5,2495	5,2286
8	P8	102,006	0,857	6,2874	0,0063	0,771	0,0025	5,2286	5,2261
9	P9	102,006	1,000	6,2874	0,0063	0,771	0,0007	5,2261	5,2254
10	P10	102,006	0,855	6,2874	0,0063	0,771	0,0021	5,2286	5,2265
11	P11	102,006	2,300	6,2874	0,0063	0,771	0,0035	5,2265	5,2230
12	P12	102,006	4,750	6,2874	0,0063	0,771	0,0048	5,2230	5,2181
13	P13	102,006	35,220	6,2874	0,0063	0,771	0,0262	5,2181	5,1919
14	P14	102,006	4,900	6,2874	0,0063	0,771	0,0049	5,1919	5,1870
15	P15	102,006	2,000	6,2874	0,0063	0,771	0,0029	5,1870	5,1841
16	P16	102,006	2,500	6,2874	0,0063	0,771	0,0037	5,1841	5,1804
17	P17	102,006	1,000	6,2874	0,0063	0,771	0,0007	5,1804	5,1797

Pipe Factors

Pipe Id	Pipe Name	Inner Roughness mm	Inner Diameter mm	Length m	Reynolds Number	Flow Type	Friction Factor	Entry Fittings Total K Factor	Exit Fittings Total K Factor	Component Cv	Component Kv	Sprinkler Imperial K	Sprinkler Metric K
1	P1	0,150000	127,940	2,890	124893	Turbulent	0,022325	6,3000	0,4900	none	none	none	none
2	P2	0,150000	127,940	1,000	124893	Turbulent	0,022325	none	none	none	none	none	none
3	P3	0,150012	102,006	1,000	156645	Turbulent	0,022965	2,0000	0,5100	none	none	none	none
4	P4	0,150012	102,006	1,000	156645	Turbulent	0,022965	0,1400	0,5100	none	none	none	none
5	P5	0,150012	102,006	1,600	156645	Turbulent	0,022965	0,0000	0,5100	none	none	none	none
6	P6	0,150012	102,006	0,500	156645	Turbulent	0,022965	0,0000	0,5100	none	none	none	none
7	P7	0,150012	102,006	3,281	156645	Turbulent	0,022965	0,0000	1,0200	none	none	none	none
8	P8	0,150012	102,006	0,857	78323	Turbulent	0,024114	0,1400	0,5100	none	none	none	none
9	P9	0,150012	102,006	1,000	78323	Turbulent	0,024114	none	none	none	none	none	none
10	P10	0,150012	102,006	0,855	78323	Turbulent	0,024114	0,0000	0,5100	none	none	none	none
11	P11	0,150012	102,006	2,300	78323	Turbulent	0,024114	0,1400	0,5100	none	none	none	none
12	P12	0,150012	102,006	4,750	78323	Turbulent	0,024114	0,0000	0,5100	none	none	none	none
13	P13	0,150012	102,006	35,220	78323	Turbulent	0,024114	0,0000	0,5100	none	none	none	none
14	P14	0,150012	102,006	4,900	78323	Turbulent	0,024114	0,0000	0,5100	none	none	none	none
15	P15	0,150012	102,006	2,000	78323	Turbulent	0,024114	0,0000	0,5100	none	none	none	none
16	P16	0,150012	102,006	2,500	78323	Turbulent	0,024114	0,1400	0,5100	none	none	none	none
17	P17	0,150012	102,006	1,000	78323	Turbulent	0,024114	none	none	none	none	none	none

Pipe Materials

Pipe Id	Pipe Name	Nominal Size	Material	Schedule Class	Roughness mm	Inner Diameter mm	Wall Thickness mm	Outer Diameter mm	Length m	Weight kgs (full length)	Internal Volume m ³
1	P1	125 mm	Steel (ANSI) Galvanised	Sch. 40	0,150000	127,940	6,680	141,300	2,890	64,095	0,037
2	P2	125 mm	Steel (ANSI) Galvanised	Sch. 40	0,150000	127,940	6,680	141,300	1,000	22,178	0,013
3	P3	100 mm	Steel (ANSI) Galvanised	Sch. 40	0,150012	102,006	6,147	114,300	1,000	16,395	0,008
4	P4	100 mm	Steel (ANSI) Galvanised	Sch. 40	0,150012	102,006	6,147	114,300	1,000	16,395	0,008
5	P5	100 mm	Steel (ANSI) Galvanised	Sch. 40	0,150012	102,006	6,147	114,300	1,600	26,232	0,013
6	P6	100 mm	Steel (ANSI) Galvanised	Sch. 40	0,150012	102,006	6,147	114,300	0,500	8,198	0,004
7	P7	100 mm	Steel (ANSI) Galvanised	Sch. 40	0,150012	102,006	6,147	114,300	3,281	53,792	0,027
8	P8	100 mm	Steel (ANSI) Galvanised	Sch. 40	0,150012	102,006	6,147	114,300	0,857	14,051	0,007
9	P9	100 mm	Steel (ANSI) Galvanised	Sch. 40	0,150012	102,006	6,147	114,300	1,000	16,395	0,008
10	P10	100 mm	Steel (ANSI) Galvanised	Sch. 40	0,150012	102,006	6,147	114,300	0,855	14,018	0,007
11	P11	100 mm	Steel (ANSI) Galvanised	Sch. 40	0,150012	102,006	6,147	114,300	2,300	37,709	0,019
12	P12	100 mm	Steel (ANSI) Galvanised	Sch. 40	0,150012	102,006	6,147	114,300	4,750	77,877	0,039
13	P13	100 mm	Steel (ANSI) Galvanised	Sch. 40	0,150012	102,006	6,147	114,300	35,220	577,435	0,288
14	P14	100 mm	Steel (ANSI) Galvanised	Sch. 40	0,150012	102,006	6,147	114,300	4,900	80,336	0,040
15	P15	100 mm	Steel (ANSI) Galvanised	Sch. 40	0,150012	102,006	6,147	114,300	2,000	32,790	0,016
16	P16	100 mm	Steel (ANSI) Galvanised	Sch. 40	0,150012	102,006	6,147	114,300	2,500	40,988	0,020
17	P17	100 mm	Steel (ANSI) Galvanised	Sch. 40	0,150012	102,006	6,147	114,300	1,000	16,395	0,008

Pipe Fittings

Pipe Id	Pipe	Fitting Position	Description	Imperial Size	Metric Size	Database Ref	K Value	Quantity	K Total	Entry K Total	Exit K Total
1	P1	Start of Pipe	Foot Valve with Strainer	5"	125 mm	Foot	6,3000	1	6,3000		
1	P1	End of Pipe	Standard Bend	5"	125 mm	SB	0,4900	1	0,4900		
										6,3000	0,4900
2	P2	No Fittings									
3	P3	Start of Pipe	Swing Check Valve	4"	100 mm	SwCh	2,0000	1	2,0000		
3	P3	End of Pipe	Standard Bend	4"	100 mm	SB	0,5100	1	0,5100		
										2,0000	0,5100
4	P4	Start of Pipe	Gate Valve	4"	100 mm	Gate	0,1400	1	0,1400		
4	P4	End of Pipe	Standard Bend	4"	100 mm	SB	0,5100	1	0,5100		
										0,1400	0,5100
5	P5	End of Pipe	Standard Bend	4"	100 mm	SB	0,5100	1	0,5100		
										0,0000	0,5100
6	P6	End of Pipe	Standard Bend	4"	100 mm	SB	0,5100	1	0,5100		
										0,0000	0,5100
7	P7	End of Pipe	Branch Tee	4"	100 mm	BT	1,0200	1	1,0200		
										0,0000	1,0200
8	P8	Start of Pipe	Gate Valve	4"	100 mm	Gate	0,1400	1	0,1400		
8	P8	End of Pipe	Standard Bend	4"	100 mm	SB	0,5100	1	0,5100		
										0,1400	0,5100
9	P9	No Fittings									
10	P10	End of Pipe	Standard Bend	4"	100 mm	SB	0,5100	1	0,5100		
										0,0000	0,5100
11	P11	Start of Pipe	Gate Valve	4"	100 mm	Gate	0,1400	1	0,1400		
11	P11	End of Pipe	Standard Bend	4"	100 mm	SB	0,5100	1	0,5100		
										0,1400	0,5100
12	P12	End of Pipe	Standard Bend	4"	100 mm	SB	0,5100	1	0,5100		
										0,0000	0,5100

Pipe Id	Pipe	Fitting Position	Description	Imperial Size	Metric Size	Database Ref	K Value	Quantity	K Total	Entry K Total	Exit K Total
13	P13	End of Pipe	Standard Bend	4"	100 mm	SB	0,5100	1	0,5100		
										0,0000	0,5100
14	P14	End of Pipe	Standard Bend	4"	100 mm	SB	0,5100	1	0,5100		
										0,0000	0,5100
15	P15	End of Pipe	Standard Bend	4"	100 mm	SB	0,5100	1	0,5100		
										0,0000	0,5100
16	P16	Start of Pipe	Gate Valve	4"	100 mm	Gate	0,1400	1	0,1400		
16	P16	End of Pipe	Standard Bend	4"	100 mm	SB	0,5100	1	0,5100		
										0,1400	0,5100
17	P17	No Fittings									

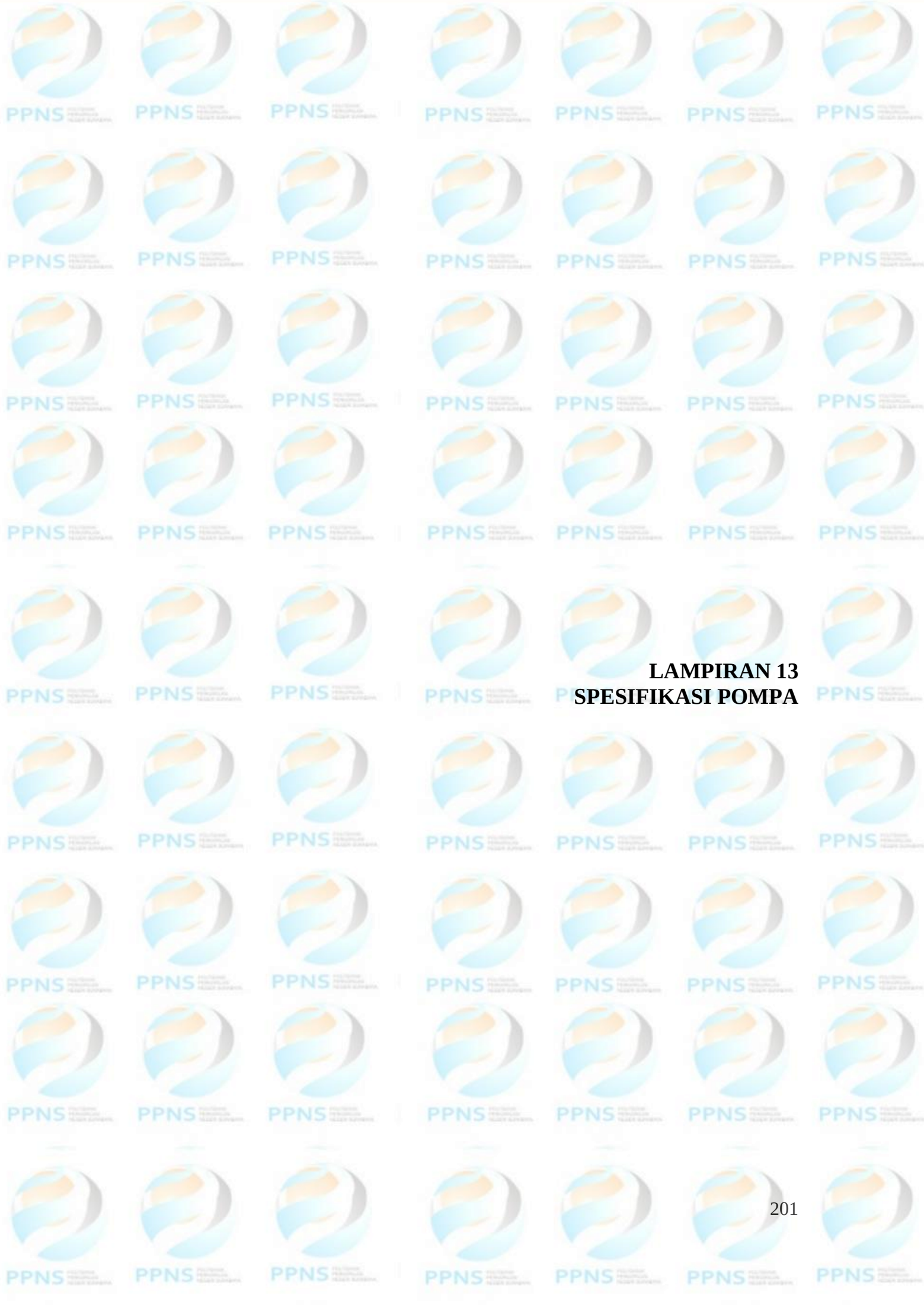
Node Data

Node Id	Node Type	Node	Elevation m	Liquid Level m	Surface Press. bar.g	Press. at Node bar.g	HGL at Node m.hd Fluid	Demand In (Mass) kg/sec	Demand Out (Mass) kg/sec	Demand In (Vol) @ Fluid Zone Density Downstream m ³ /sec	Demand Out (Vol) @ Fluid Zone Density Downstream m ³ /sec
1	Tank	N1	0,380	2,600	0,0000	0,2545	2,980	N/A	N/A	N/A	N/A
2	Join Point	N2	0,000	N/A	N/A	0,2567	2,623	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	Join Point	N3	0,000	N/A	N/A	0,2559	2,614	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	Join Point	N4	0,000	N/A	N/A	5,2776	53,924	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5	Join Point	N5	0,000	N/A	N/A	5,2672	53,818	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
6	Join Point	N6	0,000	N/A	N/A	5,2569	53,712	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
7	Join Point	N7	0,000	N/A	N/A	5,2495	53,637	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
8	Join Point	N8	0,000	N/A	N/A	5,2286	53,424	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	Join Point	N9	0,000	N/A	N/A	5,2261	53,398	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
10	Join Point	N10	0,000	N/A	N/A	5,2254	53,391	0,0000	6,2874	0,0000	0,0063
11	Join Point	N11	0,000	N/A	N/A	5,2265	53,402	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12	Join Point	N12	0,000	N/A	N/A	5,2230	53,366	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
13	Join Point	N13	0,000	N/A	N/A	5,2181	53,317	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
14	Join Point	N14	0,000	N/A	N/A	5,1919	53,049	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
15	Join Point	N15	0,000	N/A	N/A	5,1870	52,998	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
16	Join Point	N16	0,000	N/A	N/A	5,1841	52,969	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
17	Join Point	N17	0,000	N/A	N/A	5,1804	52,931	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
18	Join Point	N18	0,000	N/A	N/A	5,1797	52,924	0,0000	6,2874	0,0000	0,0063

Energy Data

Pipe Id	Pipe Name	Energy Loss To Pipe Friction	Energy Loss To Pipe Fittings	Energy Loss To Pipe Components	Energy Loss To Pipe Control Valves	Energy Loss To Pump Inefficiency	SUBTOTAL Loss Pipe Items + Pump	Energy Loss To Discharge Pressure	Energy Loss To Change in Elevation	TOTAL USED Sum of All Items
		Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts	Kilowatts
1	P1	0,003046	0,041009	0,000000	0,000000	N/A	0,044054	0,000000	-0,046860	-0,002806
2	P2	0,001054	0,000000	0,000000	0,000000	N/A	0,001054	0,000000	0,000000	0,001054
3	P3	0,003365	0,037515	0,000000	0,000000	7,774799	7,815678	0,000000	0,000000	7,815678
4	P4	0,003365	0,009715	0,000000	0,000000	N/A	0,013080	0,000000	0,000000	0,013080
5	P5	0,005384	0,007623	0,000000	0,000000	N/A	0,013006	0,000000	0,000000	0,013006
6	P6	0,001682	0,007623	0,000000	0,000000	N/A	0,009305	0,000000	0,000000	0,009305
7	P7	0,011040	0,015245	0,000000	0,000000	N/A	0,026285	0,000000	0,000000	0,026285
8	P8	0,000378	0,001214	0,000000	0,000000	N/A	0,001593	0,000000	0,000000	0,001593
9	P9	0,000442	0,000000	0,000000	0,000000	N/A	0,000442	0,000000	0,000000	0,000442
10	P10	0,000378	0,000953	0,000000	0,000000	N/A	0,001330	0,000000	0,000000	0,001330
11	P11	0,001016	0,001214	0,000000	0,000000	N/A	0,002230	0,000000	0,000000	0,002230
12	P12	0,002098	0,000953	0,000000	0,000000	N/A	0,003051	0,000000	0,000000	0,003051
13	P13	0,015555	0,000953	0,000000	0,000000	N/A	0,016508	0,000000	0,000000	0,016508
14	P14	0,002164	0,000953	0,000000	0,000000	N/A	0,003117	0,000000	0,000000	0,003117
15	P15	0,000883	0,000953	0,000000	0,000000	N/A	0,001836	0,000000	0,000000	0,001836
16	P16	0,001104	0,001214	0,000000	0,000000	N/A	0,002318	0,000000	0,000000	0,002318
17	P17	0,000442	0,000000	0,000000	0,000000	N/A	0,000442	0,000000	0,000000	0,000442

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



LAMPIRAN 13
SPESIFIKASI POMPA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

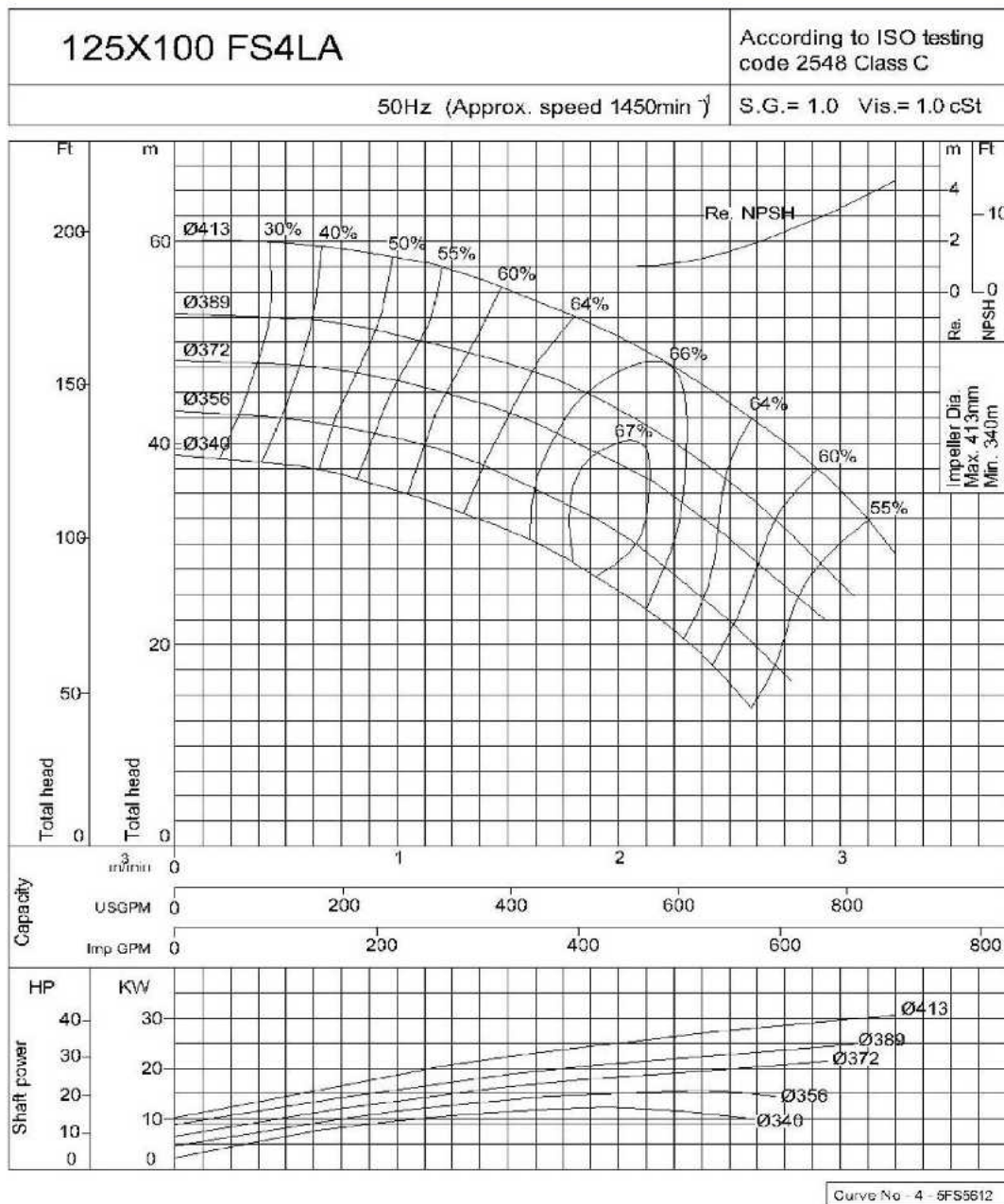
TECHNICAL DATA BOOK
EBARA END SUCTION VOLUTE PUMP
MODEL FSA
SUCTION SIZE 50 ~ 250 MM



Ebara End Suction Volute Pump

Model **FSA**

Performance Curve 4 Poles (15/27)



Ebara End Suction Volute Pump

Model **FSA**

Impeller and Coupling (1/3)

50 Hz

4 POLES - 1500 rpm

MODEL	MOTOR		IMPELLER DIAMETER mm	COUPLING CLA	SHAFT DIAMETER	
	POWER	FRAME			PUMP	MOTOR
	kW	No.			φ P (mm)	φ M (mm)
50x40 FSHA	0.4	71	182	112	24	14
	0.75	80	209			19
65x50 FSHA	0.75	80	199	112	24	19
65x50 FSJA	1.5	90L	240	112	24	24
	2.2	100L	261	125		28
80x65 FSGA	0.75	80	164	112	24	19
80x65 FSHA	1.5	90L	207	112	24	24
	2.2	100L	237	140	32	28
80x65 FSJA	3.7	112M	261			
	5.5	132S	279	160	32	38
80x65 FSKA	7.5	132M	300			
	11	160M	333	112	24	42
100x80 FSGA	1.5	90L	169		24	24
	2.2	100L	183	125		28
100x80 FSHA	2.2	100L	199	140	32	28
	3.7	112M	223			
100x80 FSJA	3.7	112M	236	140	32	48
	5.5	132S	265	160		
100x80 FSGCA	2.2	100L	166	140	32	28
	3.7	112M	190	140		
100x80 FSHCA	3.7	112M	187	140	32	28
	5.5	132S	205	160		38
125x100 FSJCA	7.5	132M	223	160	38	38
	5.5	132S	232			38
125x100 FSKA	7.5	132M	251	160	32	38
	11	160M	273			42
125x100 FSJA	7.5	132M	250	160	32	38
	11	160M	283			42
125x100 FSLA	15	160L	315	180	32	48
	18.5	180M	333			48
150x125 FSHA	22	180L	368	180	32	48
	30	200L	407	200		55
150x125 FSJA	7.5	132M	190	160	32	38
	11	160M	212			42
150x125 FSKA	15	160L	224	160	32	42
	18.5	180M	246			48
150x125 FSLA	22	180L	260	180	42	55
	30	200L	274			60
150x100 FSNA	37	225SC	316	224	55	70
	45	225MC	334			80
150x100 FSHA	55	250SC	378	250	55	70
	75	250MC	400			80
150x100 FSJA	55	250SC	424	250	55	70
	75	250MC	409			80
150x100 FSKA	55	250SC	460	280	55	70
	90	280SC	499			80

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 14
ANALISIS HARGA SATUAN PEKERJAAN

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

1. Persiapan

Tahap pekerjaan pembersihan dan pengupasan permukaan tanah dilakukan pada area sepanjang jalur pipa hidran dengan luas area sebesar 158 m³. Analisis Harga Satuan Pekerjaan dilakukan dengan satuan m³ sebagai berikut.

1.1.3.1						
Jenis Pekerjaan:	Pembersihan dan Pengupasan Permukaan Tanah					
Satuan Pembayaran:	m2					
No	Uraian	Kode	Sat.	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	0,100	Rp 175.000,00	Rp 17.500,00
2	Mandor	L.04	OH	0,005	Rp 220.000,00	Rp 1.100,00
JUMLAH HARGA TENAGA KERJA						Rp 18.600,00
B	BAHAN					
JUMLAH HARGA BAHAN						
C	PERALATAN					
JUMLAH HARGA ALAT						
D	Jumlah (A+B+C)					Rp 18.600,00
E	Biaya Umum dan Keuntungan 10% - 15% x D				10%	Rp 1.860,00
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					Rp 20.460,00

2. Pemasangan APAR

5.6.3.1						
Jenis Pekerjaan:	Pemasangan 1 Unit Fire Extinguisher CO2 3 Kg					
Satuan Pembayaran:	Unit					
No	Uraian	Kode	Sat.	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	0,102	Rp 175.000,00	Rp 17.850,00
2	Mandor	L.04	OH	0,006	Rp 220.000,00	Rp 1.320,00
JUMLAH HARGA TENAGA KERJA						Rp 19.170,00
B	BAHAN					
1	Fire Extinguisher 3 Kg dan aksesoris		Unit	1,10	Rp 1.000.000,00	Rp 1.100.000,00
JUMLAH HARGA BAHAN						Rp 1.100.000,00
C	PERALATAN					
JUMLAH HARGA ALAT						
D	Jumlah (A+B+C)					Rp 1.119.170,00
E	Biaya Umum dan Keuntungan 10% - 15% x D				10%	Rp 111.917,00
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					Rp 1.231.087,00

5.6.3.1						
Jenis Pekerjaan:	Pemasangan 1 Unit Fire Extinguisher DCP 3 Kg					
Satuan Pembayaran:	Unit					
No	Uraian	Kode	Sat.	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	0,102	Rp 175.000,00	Rp 17.850,00
2	Mandor	L.04	OH	0,006	Rp 220.000,00	Rp 1.320,00
JUMLAH HARGA TENAGA KERJA						Rp 19.170,00
B	BAHAN					
1	Fire Extinguisher 3 Kg dan aksesoris		Unit	1,10	Rp 248.000,00	Rp 272.800,00
JUMLAH HARGA BAHAN						Rp 272.800,00
C	PERALATAN					
JUMLAH HARGA ALAT						
D	Jumlah (A+B+C)					Rp 291.970,00
E	Biaya Umum dan Keuntungan 10% - 15% x D				10%	Rp 29.197,00
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					Rp 321.167,00

5.6.3.4						
Jenis Pekerjaan:	Pemasangan 1 Unit Fire Extinguisher 6 Kg					
Satuan Pembayaran:	Unit					
No	Uraian	Kode	Sat.	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	0,102	Rp 175.000,00	Rp 17.850,00
2	Mandor	L.04	OH	0,006	Rp 220.000,00	Rp 1.320,00
JUMLAH HARGA TENAGA KERJA						Rp 19.170,00
B	BAHAN					
1	Fire Extinguisher 6 Kg dan aksesoris		Unit	1,10	Rp 508.500,00	Rp 559.350,00
JUMLAH HARGA BAHAN						Rp 559.350,00
C	PERALATAN					
JUMLAH HARGA ALAT						
D	Jumlah (A+B+C)					Rp 578.520,00
E	Biaya Umum dan Keuntungan 10% - 15% x D				10%	Rp 57.852,00
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					Rp 636.372,00

3. Galian Tanah Biasa

1.2.1.1.6						
Jenis Pekerjaan:	Galian Tanah biasa					
Satuan Pembayaran:	m3					
No	Uraian	Kode	Sat.	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	1,050	Rp 175.000,00	Rp 183.750,00
2	Mandor	L.04	OH	0,067	Rp 220.000,00	Rp 14.740,00
JUMLAH HARGA TENAGA KERJA						Rp 198.490,00
B	BAHAN					
JUMLAH HARGA BAHAN						
C	PERALATAN					
JUMLAH HARGA ALAT						
D	Jumlah (A+B+C)					Rp 198.490,00
E	Biaya Umum dan Keuntungan 10% - 15% x D				10%	Rp 19.849,00
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					Rp 218.339,00

4. Urugan Tanah Kembali

1.3.1.1						
Jenis Pekerjaan:	Urugan Kembali Galian Tanah					
Satuan Pembayaran:	m3					
No	Uraian	Kode	Sat.	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	0,500	Rp 175.000,00	Rp 87.500,00
2	Mandor	L.02	OH	0,025	Rp 220.000,00	Rp 5.500,00
JUMLAH HARGA TENAGA KERJA						Rp 93.000,00
B	BAHAN					
JUMLAH HARGA BAHAN						
C	PERALATAN					
JUMLAH HARGA ALAT						-
D	Jumlah (A+B+C)					Rp 93.000,00
E	Biaya Umum dan Keuntungan 10% - 15% x D				10%	Rp 9.300,00
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					Rp 102.300,00

5. Pengecoran

2.2.1.5.6						
Jenis Pekerjaan:		1 m3 Beton				
Satuan Pembayaran:		m3				
No	Uraian	Kode	Sat.	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	1,000	Rp 175.000,00	Rp 175.000,00
2	Tukang Batu	L.02	OH	0,250	Rp 200.000,00	Rp 50.000,00
3	Kepala tukang	L.03	OH	0,025	Rp 200.000,00	Rp 5.000,00
4	Mandor	L.04	OH	0,100	Rp 220.000,00	Rp 22.000,00
JUMLAH HARGA TENAGA KERJA						Rp 252.000,00
B	BAHAN					
1	Semen		kg	407	Rp 1.700,00	Rp 691.900,00
2	Pasir Beton		kg	731	Rp 300,00	Rp 219.300,00
3	Kerikil		kg	1009	Rp 210,00	Rp 211.890,00
4	Air		liter	202	Rp 210,00	Rp 42.420,00
JUMLAH HARGA BAHAN						Rp 1.165.510,00
C	PERALATAN					
1	Molen/Beton Mixer		hari	0,1475	Rp 301.875,00	Rp 44.526,56
JUMLAH HARGA ALAT						Rp 44.526,56
D	Jumlah (A+B+C)					Rp 1.462.036,56
E	Biaya Umum dan Keuntungan 10% - 15% x D				10%	Rp 146.203,66
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					Rp 1.608.241

6. Pemasangan Pipa Galvanis 4" dan 5"

6.4.2.25						
Jenis Pekerjaan:		Pemasangan 1 m Pipa Galvanis 4" (100 mm)				
Satuan Pembayaran:		m				
No	Uraian	Kode	Sat.	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	0,317	Rp 175.000,00	Rp 55.475,00
2	Tukang Pipa	L.02	OH	0,529	Rp 200.000,00	Rp 105.800,00
3	Kepala tukang	L.03	OH	0,053	Rp 200.000,00	Rp 10.600,00
4	Mandor	L.04	OH	0,016	Rp 220.000,00	Rp 3.520,00
JUMLAH HARGA TENAGA KERJA						Rp 175.395,00
B	BAHAN					
1	Pipa Galvanis SCH 40; DN. 4" (100 mm) + fitting & aksesoris		m	1,50	Rp 486.000,00	Rp 729.000,00
JUMLAH HARGA BAHAN						Rp 729.000,00
C	PERALATAN					
JUMLAH HARGA ALAT						
D	Jumlah (A+B+C)					Rp 904.395,00
E	Biaya Umum dan Keuntungan 10% - 15% x D				10%	Rp 90.439,50
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					Rp 994.835,00

6.4.2.26						
Jenis Pekerjaan:		Pemasangan 1 m Pipa Galvanis 5" (125 mm)				
Satuan Pembayaran:		m				
No	Uraian	Kode	Sat.	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	0,394	Rp 175.000,00	Rp 68.950,00
2	Tukang Pipa	L.02	OH	0,658	Rp 200.000,00	Rp 131.600,00
3	Kepala tukang	L.03	OH	0,066	Rp 200.000,00	Rp 13.200,00
4	Mandor	L.04	OH	0,020	Rp 220.000,00	Rp 4.400,00
JUMLAH HARGA TENAGA KERJA						Rp 218.150,00
B	BAHAN					
1	Pipa Galvanis SCH 40; DN. 5" (125 mm) + fitting & aksesoris		m	1,50	Rp 517.433,33	Rp 776.150,00
JUMLAH HARGA BAHAN						Rp 776.150,00
C	PERALATAN					
JUMLAH HARGA ALAT						
D	Jumlah (A+B+C)					Rp 994.300,00
E	Biaya Umum dan Keuntungan 10% - 15% x D				10%	Rp 99.430,00
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					Rp 1.093.730,00

7. Pemasangan *Gate Valve*

6.5.1.9						
Jenis Pekerjaan:	Pemasangan 1 buah gate valve 4"					
Satuan Pembayaran:	unit					
No	Uraian	Kode	Sat.	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	0,631	Rp 175.000,00	Rp 110.425,00
2	Tukang Pipa	L.02	OH	1,054	Rp 200.000,00	Rp 210.800,00
3	Mandor	L.04	OH	0,032	Rp 220.000,00	Rp 7.040,00
JUMLAH HARGA TENAGA KERJA						Rp 328.265,00
B	BAHAN					
1	Gate Valve 4"		unit	1,30	Rp 3.950.000,00	Rp 5.135.000,00
JUMLAH HARGA BAHAN						Rp 5.135.000,00
C	PERALATAN					
JUMLAH HARGA ALAT						
D	Jumlah (A+B+C)					Rp 5.463.265,00
E	Biaya Umum dan Keuntungan 10% - 15% x D				10%	Rp 546.326,50
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					Rp 6.009.592,00

8. Pemasangan *Check Valve*

6.5.3.9						
Jenis Pekerjaan:	Pemasangan 1 buah check valve 4"					
Satuan Pembayaran:	unit					
No	Uraian	Kode	Sat.	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	0,631	Rp 175.000,00	Rp 110.425,00
2	Tukang Pipa	L.02	OH	1,054	Rp 200.000,00	Rp 210.800,00
3	Mandor	L.04	OH	0,032	Rp 220.000,00	Rp 7.040,00
JUMLAH HARGA TENAGA KERJA						Rp 328.265,00
B	BAHAN					
1	Check Valve 4"		unit	1,30	Rp 4.850.000,00	Rp 6.305.000,00
JUMLAH HARGA BAHAN						Rp 6.305.000,00
C	PERALATAN					
JUMLAH HARGA ALAT						
D	Jumlah (A+B+C)					Rp 6.633.265,00
E	Biaya Umum dan Keuntungan 10% - 15% x D				10%	Rp 663.326,50
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					Rp 7.296.592,00

9. Pemasangan *Foot Valve*

6.5.6.10						
Jenis Pekerjaan:	Pemasangan 1 buah foot valve 5" (125 mm)					
Satuan Pembayaran:	unit					
No	Uraian	Kode	Sat.	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	0,788	Rp 175.000,00	Rp 137.900,00
2	Tukang Pipa	L.02	OH	1,316	Rp 200.000,00	Rp 263.200,00
3	Mandor	L.04	OH	0,039	Rp 220.000,00	Rp 8.580,00
JUMLAH HARGA TENAGA KERJA						Rp 409.680,00
B	BAHAN					
1	Foot Valve 5" + material bantu		unit	1,30	Rp 2.450.000,00	Rp 3.185.000,00
JUMLAH HARGA BAHAN						Rp 3.185.000,00
C	PERALATAN					
JUMLAH HARGA ALAT						
D	Jumlah (A+B+C)					Rp 3.594.680,00
E	Biaya Umum dan Keuntungan 10% - 15% x D				10%	Rp 359.468,00
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					Rp 3.954.148,00

10. Pemasangan Tee

9.7.3.21						
Jenis Pekerjaan:		Pemasangan 1 buah Tee 4"				
Satuan Pembayaran:		unit				
No	Uraian	Kode	Sat.	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	0,068	Rp 175.000,00	Rp 11.900,00
2	Tukang Pipa	L.02	OH	0,034	Rp 200.000,00	Rp 6.800,00
3	Mandor	L.04	OH	0,007	Rp 220.000,00	Rp 1.540,00
JUMLAH HARGA TENAGA KERJA						Rp 20.240,00
B	BAHAN					
1	Tee 4"		unit	1,00	Rp 460.000,00	Rp 460.000,00
JUMLAH HARGA BAHAN						Rp 460.000,00
C	PERALATAN					
JUMLAH HARGA ALAT						
D	Jumlah (A+B+C)					Rp 480.240,00
E	Biaya Umum dan Keuntungan 10% - 15% x D				10%	Rp 48.024,00
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					Rp 528.264,00

11. Pengelasan sambungan pipa

AHSP pengelasan sambungan pipa dilakukan dengan satuan meter. Volume pekerjaan merupakan panjang area yang akan dilakukan pengelasan. Volume pengelasan sambungan pipa diperoleh dengan mengetahui keliling pipa dan jumlah titik sambungan (*joint*) sebagai berikut.

	OD (m)	Keliling (m)	Joint	Volume Las (m)
Pipa 4"	0,1143	0,358902	27	9,69
Pipa 5"	0,1413	0,443682	2	0,89
Total volume las pipa				10,58

3.13.3						
Jenis Pekerjaan:		Pengelasan Sambungan Pipa Galvanis Sch.40 dengan Las Listrik (SMAW)				
Satuan Pembayaran:		m				
No	Uraian	Kode	Sat.	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	0,0164	Rp 175.000,00	Rp 2.870,00
2	Tukang besi	L.02	OH	0,0164	Rp 200.000,00	Rp 3.280,00
3	Mandor	L.04	OH	0,0016	Rp 220.000,00	Rp 352,00
JUMLAH HARGA TENAGA KERJA						Rp 6.150,00
B	BAHAN					
1	Kawat las listrik		kg	0,24	Rp 35.000,00	Rp 8.400,00
JUMLAH HARGA BAHAN						Rp 8.400,00
C	PERALATAN					
1	Alat Las Listrik		hari	0,0164	Rp 495.000,00	Rp 8.118,00
JUMLAH HARGA ALAT						Rp 8.118,00
D	Jumlah (A+B+C)					Rp 22.668,00
E	Biaya Umum dan Keuntungan 10% - 15% x D				10%	Rp 2.266,80
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					Rp 24.934,80

12. Pemasangan *Hydrant Pillar*

5.6.2.3						
Jenis Pekerjaan: Pemasangan 1 Unit Hydrant Pillar						
Satuan Pembayaran: unit						
No	Uraian	Kode	Sat.	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	1,269	Rp 175.000,00	Rp 222.075,00
2	Tukang Pipa	L.02	OH	2,119	Rp 200.000,00	Rp 423.800,00
3	Kepala tukang	L.03	OH	0,212	Rp 200.000,00	Rp 42.400,00
4	Mandor	L.04	OH	0,071	Rp 220.000,00	Rp 15.620,00
JUMLAH HARGA TENAGA KERJA						Rp 703.895,00
B	BAHAN					
1	Hydrant Pillar dan aksesoris		unit	1,10	Rp 3.850.000,00	Rp 4.235.000,00
JUMLAH HARGA BAHAN						Rp 4.235.000,00
C	PERALATAN					
JUMLAH HARGA ALAT						
D	Jumlah (A+B+C)					Rp 4.938.895,00
E	Biaya Umum dan Keuntungan 10% - 15% x D				10%	Rp 493.889,50
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					Rp 5.432.785,00

13. Pemasangan *Outdoor Hydrant Box*

5.6.2.5						
Jenis Pekerjaan: Pemasangan 1 Unit Outdoor Hydrant Box						
Satuan Pembayaran: unit						
No	Uraian	Kode	Sat.	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	1,774	Rp 175.000,00	Rp 310.450,00
2	Mandor	L.04	OH	0,099	Rp 220.000,00	Rp 21.780,00
JUMLAH HARGA TENAGA KERJA						Rp 332.230,00
B	BAHAN					
1	Outdoor Hydrant Box dan aksesoris		unit	1,10	Rp 5.150.000,00	Rp 5.665.000,00
JUMLAH HARGA BAHAN						Rp 5.665.000,00
C	PERALATAN					
JUMLAH HARGA ALAT						-
D	Jumlah (A+B+C)					Rp 5.997.230,00
E	Biaya Umum dan Keuntungan 10% - 15% x D				10%	Rp 599.723,00
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					Rp 6.596.953,00

14. Pemasangan Pompa

5.6.4.2						
Jenis Pekerjaan: Pemasangan 1 Main Fire Pump Centrifugal End Suction						
Satuan Pembayaran: Unit						
No	Uraian	Kode	Sat.	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	22,821	Rp 175.000,00	Rp 3.993.675,00
2	Tukang Pipa	L.02	OH	38,112	Rp 200.000,00	Rp 7.622.400,00
3	Kepala tukang	L.03	OH	3,811	Rp 200.000,00	Rp 762.200,00
4	Mandor	L.04	OH	1,270	Rp 220.000,00	Rp 279.400,00
JUMLAH HARGA TENAGA KERJA						Rp 12.657.675,00
B	BAHAN					
1	Main Fire Pump Centrifugal End Suction, 1.000 USGPM dan aksesoris		Unit	1,05	Rp 46.000.000,00	Rp 48.300.000,00
JUMLAH HARGA BAHAN						Rp 48.300.000,00
C	PERALATAN					
JUMLAH HARGA ALAT						
D	Jumlah (A+B+C)					Rp 60.957.675,00
E	Biaya Umum dan Keuntungan 10% - 15% x D				10%	Rp 6.095.767,50
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					Rp 67.053.443,00

15. Pemasangan *Smoke Detector*

5.4.1.10						
Jenis Pekerjaan:	Pemasangan 1 Unit Smoke Detector Konvensional					
Satuan Pembayaran:	unit					
No	Uraian	Kode	Sat.	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	0,095	Rp 175.000,00	Rp 16.625,00
2	Tukang Listrik/Elektronik	L.02	OH	0,159	Rp 200.000,00	Rp 31.800,00
3	Mandor	L.04	OH	0,005	Rp 220.000,00	Rp 1.100,00
JUMLAH HARGA TENAGA KERJA						Rp 49.525,00
B	BAHAN					
1	Smoke Detector dan aksesoris		unit	1,05	Rp 212.000,00	Rp 222.600,00
JUMLAH HARGA BAHAN						Rp 222.600,00
C	PERALATAN					
JUMLAH HARGA ALAT						
D	Jumlah (A+B+C)					Rp 272.125,00
E	Biaya Umum dan Keuntungan 10% - 15% x D				10%	Rp 27.212,50
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					Rp 299.338,00

16. Pemasangan *Heat Detector*

5.4.1.12						
Jenis Pekerjaan:	Pemasangan 1 Unit Fix Heat Detector Konvensional					
Satuan	unit					
No	Uraian	Kode	Sat.	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	0,095	Rp 175.000,00	Rp 16.625,00
2	Tukang Listrik/Elektronik	L.02	OH	0,159	Rp 200.000,00	Rp 31.800,00
3	Mandor	L.04	OH	0,005	Rp 220.000,00	Rp 1.100,00
JUMLAH HARGA TENAGA KERJA						Rp 49.525,00
B	BAHAN					
1	Fix Heat Detector dan aksesoris		unit	1,05	Rp 107.000,00	Rp 112.350,00
JUMLAH HARGA BAHAN						Rp 112.350,00
C	PERALATAN					
JUMLAH HARGA ALAT						
D	Jumlah (A+B+C)					Rp 161.875,00
E	Biaya Umum dan Keuntungan 10% - 15% x D				10%	Rp 16.187,50
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					Rp 178.063,00

17. Pemasangan *Alarm Bell*

5.4.1.17						
Jenis Pekerjaan:	Pemasangan 1 Unit Alarm Bell					
Satuan Pembayaran:	unit					
No	Uraian	Kode	Sat.	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	0,064	Rp 175.000,00	Rp 11.200,00
2	Tukang Listrik/Elektronik	L.02	OH	0,107	Rp 200.000,00	Rp 21.400,00
3	Mandor	L.04	OH	0,004	Rp 220.000,00	Rp 880,00
JUMLAH HARGA TENAGA KERJA						Rp 33.480,00
B	BAHAN					
1	Alarm Bell dan aksesoris		unit	1,05	Rp 144.600,00	Rp 151.830,00
JUMLAH HARGA BAHAN						Rp 151.830,00
C	PERALATAN					
JUMLAH HARGA ALAT						
D	Jumlah (A+B+C)					Rp 185.310,00
E	Biaya Umum dan Keuntungan 10% - 15% x D				10%	Rp 18.531,00
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					Rp 203.841,00

18. Pemasangan *Horn Strobe*

5.4.1.15						
Jenis Pekerjaan:	Pemasangan 1 Unit Horn Strobe					
Satuan Pembayaran:	unit					
No	Uraian	Kode	Sat.	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	0,064	Rp 175.000,00	Rp 11.200,00
2	Tukang Listrik/Elektronik	L.02	OH	0,107	Rp 200.000,00	Rp 21.400,00
3	Mandor	L.04	OH	0,004	Rp 220.000,00	Rp 880,00
JUMLAH HARGA TENAGA KERJA						Rp 33.480,00
B	BAHAN					
1	Horn Strobe dan aksesoris		unit	1,05	Rp 179.000,00	Rp 187.950,00
JUMLAH HARGA BAHAN						Rp 187.950,00
C	PERALATAN					
JUMLAH HARGA ALAT						
D	Jumlah (A+B+C)					Rp 221.430,00
E	Biaya Umum dan Keuntungan 10% - 15% x D				10%	Rp 22.143,00
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					Rp 243.573,00

19. Pemasangan Titik Panggil Manual

5.4.1.14						
Jenis Pekerjaan:	Pemasangan 1 Unit Titik Panggil Manual					
Satuan Pembayaran:	unit					
No	Uraian	Kode	Sat.	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A	TENAGA KERJA					
1	Pekerja	L.01	OH	0,064	Rp 175.000,00	Rp 11.200,00
2	Tukang Listrik/Elektronik	L.02	OH	0,107	Rp 200.000,00	Rp 21.400,00
3	Mandor	L.04	OH	0,004	Rp 220.000,00	Rp 880,00
JUMLAH HARGA TENAGA KERJA						Rp 33.480,00
B	BAHAN					
1	Titik Panggil Manual dan aksesoris		unit	1,05	Rp 174.000,00	Rp 182.700,00
JUMLAH HARGA BAHAN						Rp 182.700,00
C	PERALATAN					
JUMLAH HARGA ALAT						-
D	Jumlah (A+B+C)					Rp 216.180,00
E	Biaya Umum dan Keuntungan 10% - 15% x D				10%	Rp 21.618,00
F	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					Rp 237.798,00



LAMPIRAN 15
KATALOG HARGA BAHAN DAN MATERIAL

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

Home > Pertukangan > Alat Keselamatan > Pemadam Api > [BEST SELLER]...



[BEST SELLER] APAR MASS ABC POWDER 6KG KOMPLIT SET GARANSI 2 TAHUN - POWDER SUPER

Terjual 500+ • 5 (67 rating)

Rp508.500

40% Rp860.000

Pilih pilihan powder: POWDER SUPER

POWDER STANDARD

POWDER SUPER

Home > Pertukangan > Alat Keselamatan > Pemadam Api > APAR MASS B...



APAR MASS BC CO2 / Carbon Dioksida 3KG KOMPLIT SET GARANSI 2 TAHUN

Terjual 40+ • 5 (7 rating)

Rp1.000.000[Detail Produk](#)

Kondisi: Baru
Berat Satuan: 10,8 kg
Min. Beli: 1 Buah
Kategori: Pemadam Api
Etalase: Semua Etalase

Home > Pertukangan > Perangkat Keamanan > Spare Part > [BEST SELLER]...



[BEST SELLER] APAR ABC POWDER SERBUK 1KG, 2KG, 3KG, 4KG, 5KG, 6KG, 9KG, 12KG, FOAM 12L MASS...

Terjual 100+ • 5 (22 rating)

Rp248.000

34% Rp375.000

Pilih isi / media: POWDER STANDARD

POWDER STANDARD

POWDER SUPER

Home > Pertukangan > Leding > Pompa Air > Pompa Ebara 125 x 100 FS4L...

**Pompa Ebara 125 x 100 FS4LA 522****Rp46.000.000**[Detail Produk](#)

Kondisi: Baru
Berat Satuan: 500 kg
Waktu Preorder: 6 Hari
Min. Beli: 1 Buah
Kategori: Pompa Air
Etalase: Pompa Ebara komplek Motor

Home > Pertukangan > Leding > Pipa PVC > Pipa Galvanis SCH40 Spindo SNI 5" Inch Panjang 6...



Pipa Galvanis SCH40 Spindo SNI 5" Inch Panjang 6 Meter

Rp3.104.600[Detail Produk](#)[Info Penting](#)

Kondisi: Baru
Berat Satuan: 1 g
Min. Beli: 1 Buah
Kategori: Pipa PVC
Etalase: Pipa Galvanis
Pipa Galvanis SCH40 Spindo SNI 5" Inch Panjang 6 Meter
Spesifikasi:
Diameter: 5"
Diameter Luar (OD): 119.7mm
Ketebalan: 6.6mm
Toleransi Ketebalan: +/- 10%
Panjang: 6 Meter

Home > Pertukangan > Leding > Pipa PVC > Pipa Galvanis SCH40 Spindo SNI 5" Inch Panjang 6...



Pipa Galvanis SCH40 Spindo SNI 5" Inch Panjang 6 Meter

Rp3.104.600[Detail Produk](#)[Info Penting](#)

Kondisi: Baru
Berat Satuan: 1 g
Min. Beli: 1 Buah
Kategori: Pipa PVC
Etalase: Pipa Galvanis
Pipa Galvanis SCH40 Spindo SNI 5" Inch Panjang 6 Meter
Spesifikasi:
Diameter: 5"
Diameter Luar (OD): 119.7mm
Ketebalan: 6.6mm
Toleransi Ketebalan: +/- 10%
Panjang: 6 Meter

Home > Pertukangan > Leding > Tool Valve & Klep > gate valve 4" fivalco...



gate valve 4" fivalco rising system UL-FM 300PSI

Terjual 14 • 5 (5 rating)

Rp3.950.000[Detail Produk](#)

Kondisi: Baru
Berat Satuan: 23 kg
Min. Beli: 1 Buah
Kategori: Foot Valve & Klep
Etalase: Semua Etalase



foot valve 5" inch MIZU JIS 10K cast iron /saringan air

2 barang berhasil terjual

Rp2.450.000[Detail Produk](#)

Kondisi: Baru
Berat Satuan: 25 kg
Min. Beli: 1 Buah
Kategori: Foot Valve & Klep
Etalase: Semua Etalase

Home > Pertukangan > Lading > Foot Valve & Klep > Check Valve 4" JIS 10



Check Valve 4" JIS 10K Swing SS304 Body TC

Rp4.850.000

[Detail Produk](#) [Info Penting](#)

Kondisi: **Baru**
 Berat Satuan: 25 kg
 Min. Beli: 1 Buah
 Kategori: **Foot Valve & Klep**
 Etalase: **Valves**
 Check Valve 4" JIS 10K Swing SS304 Body TC
 TC = TACHEN TAIWAN

Home > Pertukangan > Alat Keselamatan > Pemadam Api > HYDRANT PILAR



HYDRANT PILLAR 4" 2.5" 2.5" MERK ZEKI two way 2 arah hidran pilar

Terjual 50+ • 4.9 (15 rating)

Rp3.850.000

[Detail Produk](#)

Kondisi: **Baru**
 Berat Satuan: 100 kg
 Min. Beli: 1 Buah
 Kategori: **Pemadam Api**
 Etalase: **HYDRANT**
 hydrant pillar merek zeki 4 #34x2.5x2.5

Home > Pertukangan > Perangkat Keamanan > Smoke Detector > Conven...



Conventional Smoke Detector Photoelectric Tonata Aseanware / 2 Wire ASW

Terjual 750+ • 4.9 (28 rating)

Rp212.000

33% Rp318.000

[Detail Produk](#) [Info Penting](#)

Kondisi: **Baru**

Home > Pertukangan > Perangkat Keamanan > Smoke Detector > Fire Alar...



Fire Alarm Conventional Heat Detector Fixed Temp Tonata / 2 Wire

Terjual 500+ • 5 (77 rating)

Rp107.000

33% Rp160.500

[Detail Produk](#) [Info Penting](#)

Kondisi: **Baru**
 Berat Satuan: 250 g

Home > Pertukangan > Otomasi Industrial > Push Button > Manual Call Po...



Manual Call Point / Manual Push Button/ Manual Break Glass Hooseki Terbaru

Rp174.000

[Detail Produk](#)

Kondisi: **Baru**
 Berat Satuan: 400 g
 Min. Beli: 1 Buah
 Kategori: **Push Button**
 Etalase: **Somua Etalase**

Home > Pertukangan > Perangkat Keamanan > Smoke Detector > Fire Alar...



Fire Alarm Horn Strobe Tonata Aseanware / Fire Alarm Siren

Terjual 500+ • 5 (77 rating)

Rp179.000

33% Rp268.500

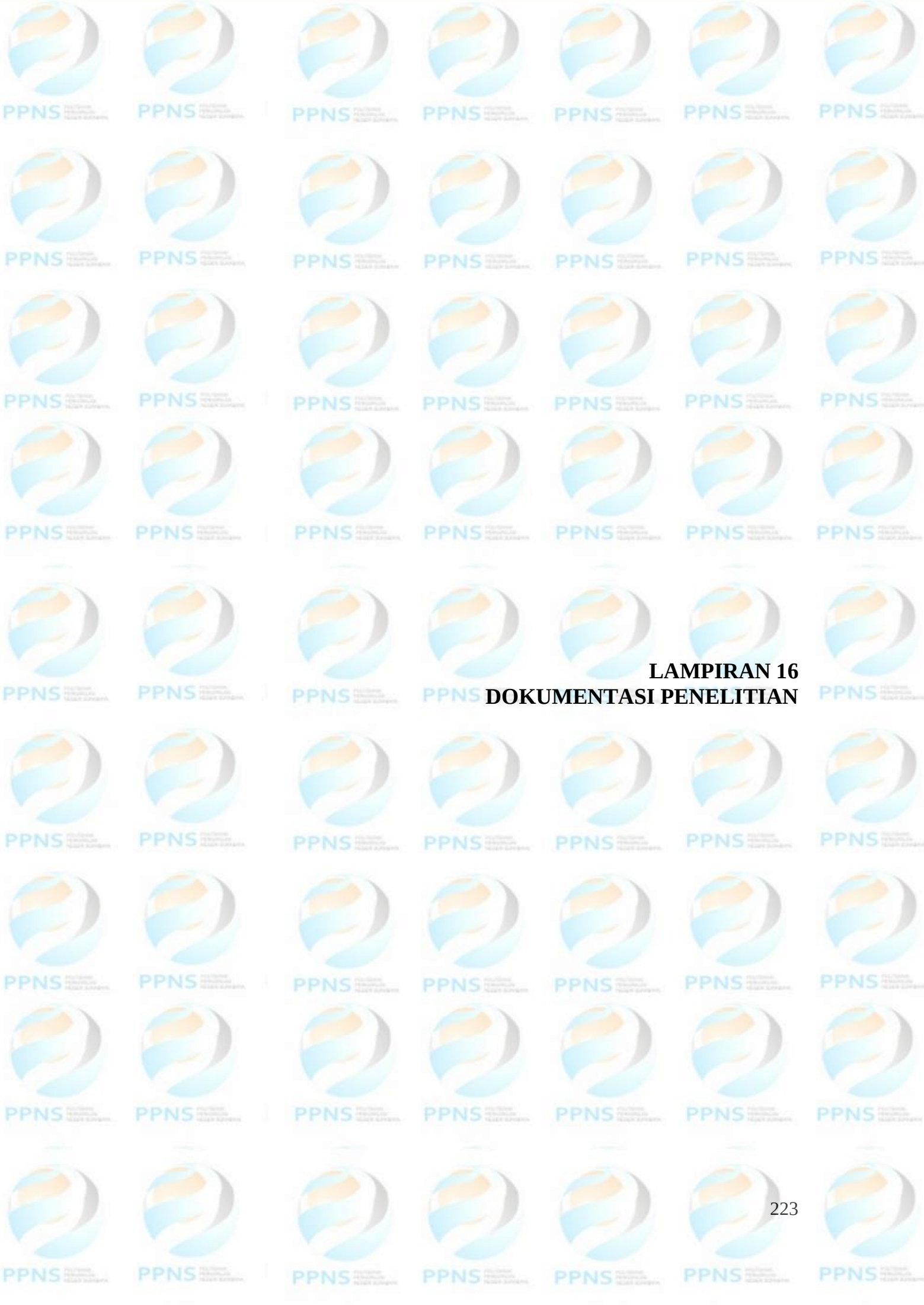
[Detail Produk](#) [Info Penting](#)

Kondisi: **Baru**
 Berat Satuan: 250 g
 Min. Beli: 1 Buah
 Kategori: **Smoke Detector**
 Etalase: **Somua Etalase**

Harga Satuan Tertinggi Upah Kerja Kab. Gresik
(Peraturan Bupati Gresik No. 33 Tahun 2025)

No	Uraian	Satuan	Upah/hari
1	Mandor	orang	Rp 220.000
2	Kepala Tukang Gali Tanah	orang	Rp 200.000
3	Kepala Tukang Batu	orang	Rp 200.000
4	Kepala Tukang Kayu	orang	Rp 200.000
5	Kepala Tukang Besi	orang	Rp 200.000
6	Kepala Tukang Cat	orang	Rp 200.000
7	Kepala Tukang Listrik	orang	Rp 200.000
8	Kepala Tukang Pipa	orang	Rp 200.000
9	Tukang Gali Tanah	orang	Rp 200.000
10	Tukang Batu	orang	Rp 200.000
11	Tukang Kayu	orang	Rp 200.000
12	Tukang Besi	orang	Rp 200.000
13	Tukang Cat	orang	Rp 200.000
14	Tukang Plitur	orang	Rp 200.000
15	Tukang Aspal	orang	Rp 200.000
16	Tukang Pipa	orang	Rp 200.000
17	Tukang Listrik	orang	Rp 200.000
18	Tukang Las	orang	Rp 200.000
19	Tukang Tebas	orang	Rp 200.000
20	Pekerja	orang	Rp 175.000
21	Operator Excavator	orang	Rp 350.000
22	Mekanik	orang	Rp 250.000
23	Pengemudi	orang	Rp 260.000
24	Penjaga Malam	orang	Rp 200.000
25	Juru Ukur	orang	Rp 200.000
26	Tukang Tanaman	orang	Rp 170.000
27	Pembantu Juru Ukur	orang	Rp 150.000
28	Sewa Molen	hari	Rp 301.875
29	Sewa Welding set	hari	Rp 495.000
30	Air	liter	Rp 733
31	Semen	kg	Rp 1.700
32	Pasir Beton	kg	Rp 300
33	Kerikil	kg	Rp 210

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

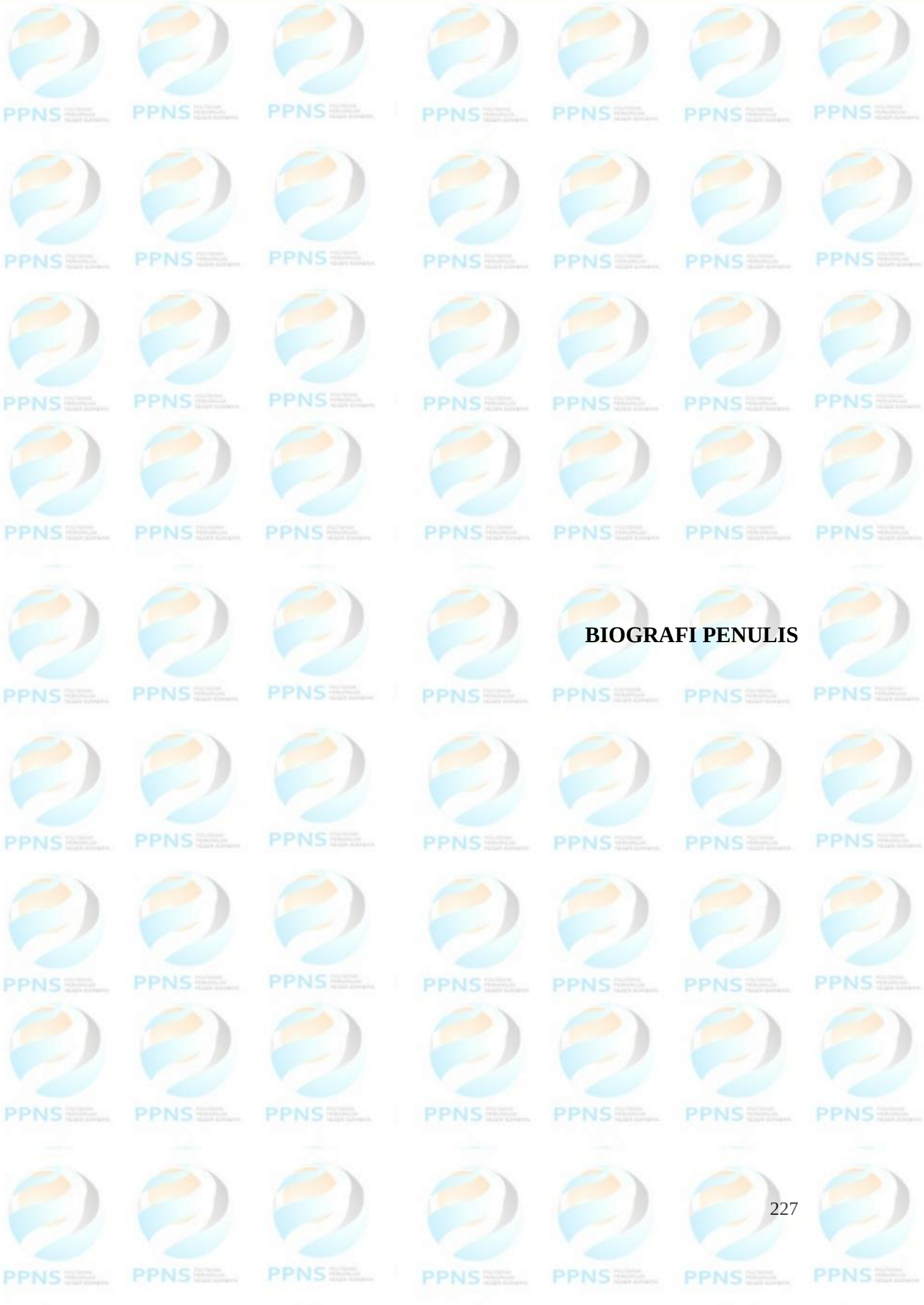


LAMPIRAN 16
DOKUMENTASI PENELITIAN

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BIOGRAFI PENULIS

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIOGRAFI PENULIS



Maria Belva Alifya Az-zahra, yang kerap disapa Maria, lahir di Bandung pada 29 Desember 2004. Penulis merupakan putri dari Ibu Ellya Rahayu dan Alm. Bapak Yaminudin. Penulis menempuh pendidikan di SDN Balongsari 1 Surabaya, kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri 26 Surabaya, dan SMA Negeri 11 Surabaya. Setelah menyelesaikan pendidikan menengah atas, penulis melanjutkan pendidikan di Program Studi D4 Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS). Selama menempuh pendidikan, penulis memperoleh pengalaman *On The Job Training* (OJT) di PT PLN Nusantara Power Unit Pembangkit Gresik dan PT Asuka Engineering, yang memberikan pengalaman serta wawasan mengenai penerapan keselamatan dan kesehatan kerja di lingkungan industri. Setelah melewati banyak proses, penulis akhirnya menyelesaikan penelitian Tugas Akhir yang berjudul penulis menyusun Tugas Akhir yang berjudul "***Fire Risk Assessment, Evaluasi, dan Perancangan Sistem Proteksi Kebakaran Aktif pada Workshop Fabrikasi***". Penulis berharap hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat serta menjadi referensi bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang keselamatan dan kesehatan kerja serta sistem proteksi kebakaran. Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan doa, dukungan, bimbingan, dan kontribusi selama proses penyusunan Tugas Akhir ini. Kritik dan saran yang membangun dapat disampaikan melalui *e-mail* mariabelvaa@gmail.com.