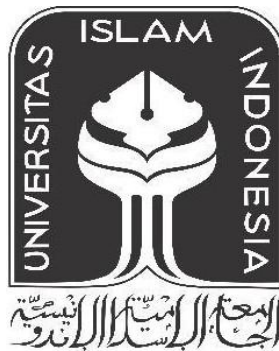


**ANALISIS POTENSI BAHAYA DAN UPAYA PENGENDALIAN
RISIKO K3 PADA AKTIVITAS PRAKTIKUM MENGGUNAKAN
METODE *HAZARD IDENTIFICATION RISK ASSESMENT AND
DETERMINING CONTROL (HIRADC)*
(Studi Kasus: Laboratorium Kualitas Air)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1
Program Studi Teknik Industri - Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia**



Nama : Pradita Nur Maulidina
No. Mahasiswa : 22522267

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2026**

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mengakui bahwa tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang seluruhnya sudah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 13 – 04 – 2026



Handwritten signature of Pradita Nur Maulidina.

(Pradita Nur Maulidina)

NIM. 22522267

SURAT BUKTI PENELITIAN

LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
JL. Kaliurang KM 14,4 Yogyakarta, Tlp (0274) 896440

SURAT BEBAS LABORATORIUM

No : 10/LKL/TL/III/2026

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيم

Yang bertanda tangan di bawah ini, Manajer Laboratorium Kualitas Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, menerangkan bahwa mahasiswa/i :

NAMA : PRADITA NUR MAULIDINA
NIM : 22522267

Tidak mempunyai tanggungan administrasi dan lain sebagainya di Laboratorium Kualitas Lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Demikian surat keterangan ini dibuat, untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.



Yogyakarta, 16 Maret 2026
Manajer Laboratorium

Fajri Mulya Iresha, S.T., M.T., Ph.D.

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**ANALISIS POTENSI BAHAYA DAN UPAYA PENGENDALIAN RISIKO K3 PADA
AKTIVITAS PRAKTIKUM MENGGUNAKAN METODE *HAZARD
IDENTIFICATION RISK ASSESMENT AND DETERMINING CONTROL (HIRADC)***

TUGAS AKHIR
ISLAM
Disusun Oleh :
Nama : Pradita Nur Maulidina
No. Mahasiswa : 22522267



Yogyakarta, hh bb tt

Dosen Pembimbing

(Atyanti Dyah Prabaswari, S.T., M.Sc.)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

ANALISIS POTENSI BAHAYA DAN UPAYA PENGENDALIAN RISIKO K3 PADA
 AKTIVITAS PRAKTIKUM MENGGUNAKAN METODE *HAZARD IDENTIFICATION*
RISK ASSESMENT AND DETERMINING CONTROL (HIRADC)

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Pradita Nur Maulidina

No. Mahasiswa 22522267

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk
 memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri
 Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, Tanggal - Bulan - Tahun

Tim Penguji

Atyanti Dyah Prabaswari, S.T., M.Sc.

Ketua

Wahyudhi Sutrisno, S.T., M.M., M.T.

Anggota I

Ratih Dianingtyas Kurnia, S.T., Ph.D.

Anggota II

Amha.
 S
 130526
imp

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana
 Fakultas Teknologi Industri
 Universitas Islam Indonesia
 Ir. *Andi Purnomo* S.T., M.Sc., Ph.D., IPM
 NIK. 015220101



HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji dan syukur saya panjatkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah, serta karunia-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Dengan penuh rasa terima kasih, karya ini saya persembahkan kepada keluarga tercinta, khususnya kedua orang tua saya, Bapak Rafiudin dan Ibu Ade Ikhlasiah yang selalu memberikan doa, dukungan, serta pengorbanan tanpa henti dalam setiap langkah saya. Kepada Ibu Atyanti Dyah Prabaswari, S.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala bimbingan, arahan, motivasi, dan kesabaran selama proses penyusunan karya ini. Serta semua teman-teman dan semua pihak yang telah membantu, menemani, dan memberikan semangat selama proses ini. Terakhir untuk diri sendiri, terima kasih sudah bertahan, berjuang, dan tidak menyerah sampai di titik ini.

MOTTO

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya”
(QS. Al – Baqarah : 286)

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”
(QS. Al - Insyirah : 6)

“Keberhasilan bukanlah milik orang pintar. Melainkan milik mereka yang senantiasa berusaha”
B.J Habibie

“Sebab tuhan tlah berjanji setelah sempit ada kemudahan”
Raim Laode

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil 'alamin, puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, berkah, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan laporan Tugas Akhir yang berjudul “ Analisis Potensi Bahaya Dan Upaya Pengendalian Risiko K3 Pada Aktivitas Praktikum Menggunakan Metode *Hazard Identification Risk Assesment And Determining Control* (HIRADC) ” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa umat manusia dari masa kegelapan menuju era yang penuh dengan ilmu pengetahuan dan peradaban. Tugas Akhir ini disusun berdasarkan penelitian yang dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan, Khususnya Laboratorium Kualitas Air dengan fokus pada analisis pengendalian risiko keselamatan kerja terhadap berbagai potensi bahaya yang muncul selama kegiatan pengujian sampel air. Penulis menyadari bahwa selama proses penyusunan laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari berbagai kendala dan tantangan. Namun, berkat dukungan, bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak, laporan ini dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, arahan, serta motivasi selama proses penyusunan laporan ini. Secara khusus, penulis ucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr.Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU., ASEAN.Eng. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Ibu Atyanti Dyah Prabaswari, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan serta arahan, motivasi, dan kesabaran sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
4. Bapak Tasyono, S.T. selaku sumber informasi saya sebagai Laboran Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan UII, yang telah membantu penulis dalam memberikan informasi seputar praktikum pengujian sampel air serta penjelasan mengenai aktivitas praktikum di Laboratorium Kualitas Air.
5. Teristimewa untuk keluarga tercinta, Bapak Rafiudin, Ibu Ade Ikhlasiah dan adik Muhammad Zharif Azfa yang selalu memberikan doa, motivasi, serta dukungan dan segala pengorbanan nya untuk penulis.
6. The Qoyum Family, saudara-saudara penulis yang selalu memberikan dukungan dan semangat agar penulis dapat menyelesaikan studi tepat waktu.
7. Kepada Sahabat-sahabat yang telah menemani, membantu, dan menjadi rumah untuk berbagi cerita suka dan duka, Zaidan Fadhil Rasyad, Tiflaturrizki Utami, Salwa Sabila, Nindi Puspita Nur Aini, Zahara Intan Wigathie, Afiana Saputri, Ulvi Sakinah, Fathan Anwar, Felix Rasyada Rafif, dan Muhammad Aldo Septiyandi serta sahabat-sahabatku, ALLBES yang telah menemani penulis selama masa perkuliahan berlangsung.

8. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Terimakasih banyak kepada semua pihak yang terkait dalam penyusunan Tugas Akhir ini. Semoga segala doa, motivasi, dan dukungan yang diberikan oleh semua pihak dapat menjadi amal kebaikan dan mendapatkan balasan dari Allah SWT.
9. Untuk diri sendiri, Terimakasih karena selalu mau belajar dan berusaha memberikan yang terbaik di setiap langkah. Dalam segala keraguan, ketakutan, tetap berusaha bangkit dan menyelesaikan apa yang telah dimulai.

Yogyakarta, 13 April 2026



(Pradita Nur Maulidina)

NIM. 22522267

ABSTRAK

Laboratorium merupakan fasilitas penting dalam menunjang proses pembelajaran di perguruan tinggi, seperti laboratorium kualitas air. Laboratorium kualitas air memiliki berbagai potensi bahaya yang berasal dari penggunaan bahan kimia, alat laboratorium, serta aktivitas praktikum yang berisiko terhadap keselamatan kerja. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi bahaya, menilai tingkat risiko, serta menentukan prioritas pengendalian risiko di laboratorium kualitas air. Metode yang digunakan yaitu *Hazard Identification, Risk Assessment, and Determining Control* (HIRADC), *Fault Tree Analysis* (FTA), dan *Analytical Hierarchy Process* (AHP), serta *Cost Benefit Analysis* (CBA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi bahaya didominasi oleh bahaya kimia dan biologis yang berdampak langsung terhadap kesehatan praktikan. Berdasarkan metode HIRADC, tingkat risiko dikategorikan dalam risiko rendah, sedang, dan tinggi, dengan risiko tertinggi terdapat pada aktivitas penggunaan mikroskop atau komputer dalam waktu lama serta pengelolaan limbah laboratorium. Analisis FTA menunjukkan bahwa akar penyebab risiko berasal dari faktor manusia, metode kerja, dan lingkungan kerja. Hasil AHP menunjukkan bahwa penggunaan APD lengkap menjadi prioritas utama pengendalian risiko, sedangkan hasil CBA menunjukkan pelatihan K3 berkala sebagai alternatif paling layak secara ekonomi dengan nilai BCR sebesar 4,62 (>1). Dengan demikian, penggunaan APD lengkap direkomendasikan sebagai pengendalian utama, didukung dengan pelatihan K3 berkala untuk meminimalkan risiko akibat human error.

Kata Kunci: Keselamatan Kerja, Laboratorium, HIRADC, FTA, AHP, CBA.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
SURAT BUKTI PENELITIAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iv
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
MOTTO.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
ABSTRAK.....	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Manfaat Penelitian.....	7
1.4.1 Bagi Peneliti.....	7
1.4.2 Bagi Instansi.....	8
1.4.3 Bagi Universitas Islam Indonesia.....	8
1.5 Batasan Penelitian	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Kajian Literatur	9
2.2 Landasan Teori.....	17
2.2.1 Laboratorium.....	17
2.2.2 Laboratorium Kualitas Air.....	17
2.2.3 Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3).....	17
2.2.4 Sistem Manajemen K3 (SMK3)	18
2.2.5 HIRA.....	18
2.2.6 HIRARC	18
2.2.7 HIRADC	19
2.2.8 Risiko.....	19
2.2.9 Penilaian Risiko	20
2.2.10 Pengendalian Risiko	20
2.2.11 Fault Tree Analysis (FTA)	21
2.2.12 Analytical Hierarchy Process (AHP)	23
2.2.13 Cost Benefit Analysis (CBA).....	24
2.2.14 Expert Judgment	24
BAB III METODE PENELITIAN.....	26
3.1 Subjek Penelitian.....	26
3.2 Objek Penelitian	26
3.3 Jenis Data	26
3.4 Metode Pengumpulan Data	26

3.5 Alur Penelitian.....	27
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....	32
4.1 Profil Laboratorium.....	32
4.2 Proses Praktikum.....	32
4.3 Pengumpulan Data	33
4.3.1 Data Kecelakaan	33
4.3.2 Hazard Identification Risk Assessment and Risk Control (HIRARC)	34
4.4 Pengolahan Data.....	36
4.4.1 Penentuan Tindakan Pencegahan Menggunakan Metode HIRADC.....	36
4.4.2 Fault Tree Analysis (FTA).....	47
4.4.3 Rekomendasi Pengendalian Risiko.....	51
4.5 AHP.....	52
4.5.1 Pengumpulan Data Awal AHP	53
4.5.2 Pembobotan dan Uji Konsistensi.....	54
4.5.3 Uji Konsistensi Alternatif.....	54
4.5.4 Pengambilan Keputusan.....	55
4.6 <i>Cost Benefit Analysis</i>	56
4.6.1 Estimasi Kerugian Aktual Laboratorium.....	56
4.6.2 Estimasi Manfaat Berdasarkan Alternatif.....	56
4.6.1 Rincian Biaya Alternatif	57
4.6.4 Hasil perhitungan Cost benefit analysis	58
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	59
5.1 Praktikum dan Lingkungan Laboratorium	59
5.2 Identifikasi Pengendalian Risiko Dengan Menggunakan Metode HIRADC.....	59
5.2.1 Identifikasi bahaya pada proses pengambilan dan pemasukan air	59
5.2.2 Identifikasi bahaya pada proses pengukuran PH.....	60
5.2.3 Identifikasi bahaya pada proses penggunaan alat analisis kimia.....	61
5.2.4 Identifikasi bahaya pada proses pemasukan bahan kimia	61
5.2.5 Identifikasi bahaya pada proses pengujian mikrobiologi air	62
5.2.6 Identifikasi bahaya pada proses meneliti bakteri.....	62
5.2.7 Identifikasi bahaya pada proses pengumpulan limbah laboratorium	63
5.3 Analisis <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA).....	63
5.3.1 Analisis FTA risiko kelelahan mata, sakit kepala, serta nyeri pada leher dan bahu	63
5.3.2 Analisis FTA risiko paparan limbah kimia atau biologis	64
5.4 Analisis Pengendalian Risiko.....	65
5.5 Analisis pengambilan keputusan AHP	66
5.5.1 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Antar-Kriteria.....	66
5.5.2 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Antar Sub-Kriteria Biaya Implementasi	66
5.5.3 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Antar Sub-Kriteria Kemudahan Implementasi	67
5.5.4 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Antar Sub-Kriteria Manajemen/PIC	67
5.5.6 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Antar Sub-Kriteria Tingkat Efektivitas.....	68
5.5.7 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Alternatif Kesesuaian Regulasi	68
5.5.8 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Alternatif Biaya Awal	69

5.5.9 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Alternatif Biaya Pemeliharaan dan perawatan.....	69
5.5.10 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Alternatif Biaya Pelatihan dan Edukasi.....	70
5.5.11 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Alternatif Biaya Ketersediaan Sumber Daya.....	70
5.5.12 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Alternatif Waktu Yang Dibutuhkan	70
5.5.13 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Alternatif Kemampuan Pekerja	71
5.6 Analisis Cost Benefit.....	74
5.7 Pengambilan Keputusan.....	74
5.7.1 Hasil Berdasarkan Penelitian Terdahulu.....	74
5.7.2 Hasil Berdasarkan AHP.....	77
5.7.3 Hasil berdasarkan Cost Benefit Analysis.....	78
BAB VI PENUTUP.....	80
6.1 Kesimpulan	80
6.2 Saran.....	82
DAFTAR PUSTAKA.....	84
LAMPIRAN.....	A-1

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kajian Literatur.....	11
Tabel 2. 2 Penilaian Risiko	20
Tabel 2. 3 Simbol FTA	22
Tabel 2. 4 Skala Penilaian Perbandingan Berpasangan	24
Tabel 4. 1 Data Kecelakaan	34
Tabel 4. 2 <i>Hazard Identification Risk Assesment and Risk Control</i> (HIRARC)	35
Tabel 4. 3 <i>Hazard Identification and Determining Control</i> (HIRADC)	36
Tabel 4. 4 Penjelasan <i>event</i> FTA menatap layar komputer atau lensa mikroskop dalam waktu lama.....	49
Tabel 4. 5 Penjelasan <i>event</i> FTA Terpapar limbah kimia atau biologi saat pengumpulan limbah	50
Tabel 4. 6 Pengendalian Risiko	52
Tabel 4. 7 Estimasi Kerugian.....	56
Tabel 4. 8 Estimasi Manfaat berdasarkan alternatif.....	56
Tabel 4. 9 Rincian Biaya APD.....	57
Tabel 4. 10 Rincian Biaya pelatihan K3.....	57
Tabel 4. 11 Rincian Biaya Pencarian Bahan kimia.....	57
Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan <i>Cost Benefit Analysis</i>	58
Tabel 5. 1 Hasil Jurnal Terdahulu.....	74
Tabel 5. 2 Pengambilan Keputusan AHP	77
Tabel 5. 3 Hasil <i>Cost Benefit Analysis</i>	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Data Kecelakaan kerja Laboratorium Kualitas Air	2
Gambar 1. 2 Data Penilaian Risiko Terdahulu Laboratorium Kualits Air	3
Gambar 3. 1 Alur Penelitian	28
Gambar 4. 1 <i>Fault Tree Analysis</i> Potensi Bahaya menatap layar komputer atau lensa mikroskop dalam waktu lama	48
Gambar 4. 2 <i>Fault Tree Analysis</i> Terpapar limbah kimia atau biologi saat pengumpulan limbah	50
Gambar 4. 3 Kuesioner Pembobotan AHP	54
Gambar 4. 4 <i>Nilai Consistency Ratio</i> (CR).....	54
Gambar 4. 5 Uji Konsistensi Alternatif	55
Gambar 4. 6 Pengambilan Keputusan AHP.....	55
Gambar 5. 1 Uji Konsistensi Antar-Kriteria	66
Gambar 5. 2 Uji Konsistensi Antar Sub-Kriteria Biaya Implementasi.....	67
Gambar 5. 3 dan Uji Konsistensi Antar Sub-Kriteria Kemudahan Implementasi	67
Gambar 5. 4 Uji Konsistensi Antar Sub-Kriteria Manajemen/PIC.....	67
Gambar 5. 5 Uji Konsistensi Antar Sub-Kriteria Tingkat Efektivitas	68
Gambar 5. 6 Uji Konsistensi Alternatif Kesesuaian Regulasi	68
Gambar 5. 7 Uji Konsistensi Alternatif Biaya Awal	69
Gambar 5. 8 Uji Konsistensi Alternatif Biaya Awal	69
Gambar 5. 9 Uji Konsistensi Alternatif Biaya Biaya Pelatihan dan Edukasi	70
Gambar 5. 10 Uji Konsistensi Alternatif Biaya Ketersediaan Sumber Daya	70
Gambar 5. 11 Uji Konsistensi Alternatif Alternatif Waktu Yang Dibutuhkan.....	71
Gambar 5. 12 Uji Konsistensi Alternatif Kemampuan Pekerja	71
Gambar 5. 13 Uji Konsistensi Alternatif kejelasan PIC	71
Gambar 5. 14 Uji Konsistensi Alternatif Monitoring	72
Gambar 5. 15 Uji Konsistensi Alternatif Dukungan Manajemen.....	72
Gambar 5. 16 Uji Konsistensi Alternatif Pengaruh kecepatan kerja	72
Gambar 5. 17 Uji Konsistensi Alternatif Pengaruh akurasi dan hasil kerja	73
Gambar 5. 18 Uji Konsistensi Alternatif Kenyamanan dan Kesehatan kerja.....	73

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Laboratorium merupakan bagian penting yang harus dimiliki oleh perguruan tinggi sebagai sarana pendukung proses pembelajaran. Melalui kegiatan praktikum di laboratorium, dapat membantu mahasiswa untuk menguji teori yang dipelajari secara lebih mendalam, sehingga dapat meningkatkan pemahaman dan ketertarikan terhadap bidang studi yang dipelajari Cahyaningrum et al., (2019). Namun demikian, aktivitas di laboratorium memiliki potensi bahaya yang cukup tinggi dan dapat menimbulkan kecelakaan kerja apabila tidak dikelola dengan baik. Seperti penggunaan bahan kimia, peralatan listrik, dan peralatan tajam yang dapat menimbulkan berbagai risiko yang dapat membahayakan pengguna laboratorium.

Universitas Islam Indonesia memiliki 58 laboratorium yang berada di bawah pengelolaan program studi maupun laboratorium terpadu milik universitas. Seluruh laboratorium ini berfungsi sebagai ruang pendukung pembelajaran, penelitian, dan pengembangan teknologi, serta sebagian telah beroperasi mengikuti standar internasional, termasuk laboratorium terpadu yang telah terakreditasi ISO 17025. Akreditasi ini menunjukkan bahwa laboratorium tersebut mampu memenuhi persyaratan teknis dan manajemen mutu dalam melakukan pengujian serta kalibrasi secara profesional. Laboratorium - laboratorium yang dimiliki UII meliputi berbagai bidang keilmuan, mulai dari perencanaan lingkungan, rekayasa teknik, hingga pengembangan teknologi.

Beberapa laboratorium utama yang digunakan dalam penelitian di UII antara lain Laboratorium Desain Arsitektur, Laboratorium Arsitektur Digital, dan Laboratorium Teknologi Bangunan. Di bidang ilmu lingkungan, terdapat Laboratorium Kualitas Udara & Air, Laboratorium Bioteknologi Lingkungan, Laboratorium Analisis Risiko Lingkungan, serta Laboratorium Limbah Bahan Berbahaya Beracun. Dalam bidang teknik sipil dan rekayasa, UII menyediakan Laboratorium Struktur & Rekayasa Mekanika, Laboratorium Rekayasa Jalan Raya & Transportasi, serta Laboratorium Mekanika Tanah. Selain itu, terdapat Laboratorium Teknik Industri dan Elektro seperti

laboratorium Metrologi dan Instrumentasi Industri, Laboratorium Mekatronika, dan Laboratorium Konversi Energi.

Laboratorium yang digunakan dalam penelitian ini adalah Laboratorium Kualitas Air. Laboratorium kualitas air menyediakan beragam jenis layanan pengujian yang meliputi analisis air minum, air limbah, air tanah, serta parameter kualitas udara tertentu. Aktivitas laboratorium yang melibatkan bahan kimia korosif, alat gelas yang mudah pecah, proses pemanasan, serta penggunaan instrumen presisi berisiko tinggi yang menyebabkan Laboratorium Kualitas Air termasuk dalam kategori laboratorium dengan potensi bahaya rendah hingga tinggi. Risiko yang muncul antara lain tumpahan bahan kimia, pecahan alat gelas, paparan uap beracun, luka bakar akibat alat pemanas, hingga risiko kontaminasi sampel bagi kesehatan.

Klasifikasi	Tipe Insiden	Orang Terlibat	Lokasi Kejadian	Data Peralatan	Penyebab			
					Langsung		Dasar	
					Tindakan tidak aman	Kondisi tidak aman	Faktor pribadi	Faktor pekerjaan
Kecelakaan Minor	Terkena pecahan gelas	Mahasiswa	Lab. Kualitas Air	Gelas Reaksi	Kurang Hati-Hati	-	Tidak Fokus	-
Kecelakaan Kimia	Terkena Larutan Asam	Mahasiswa	Lab. Kualitas Air	Gelas Larutan	Kurang Hati-Hati	-	Tidak Fokus	-

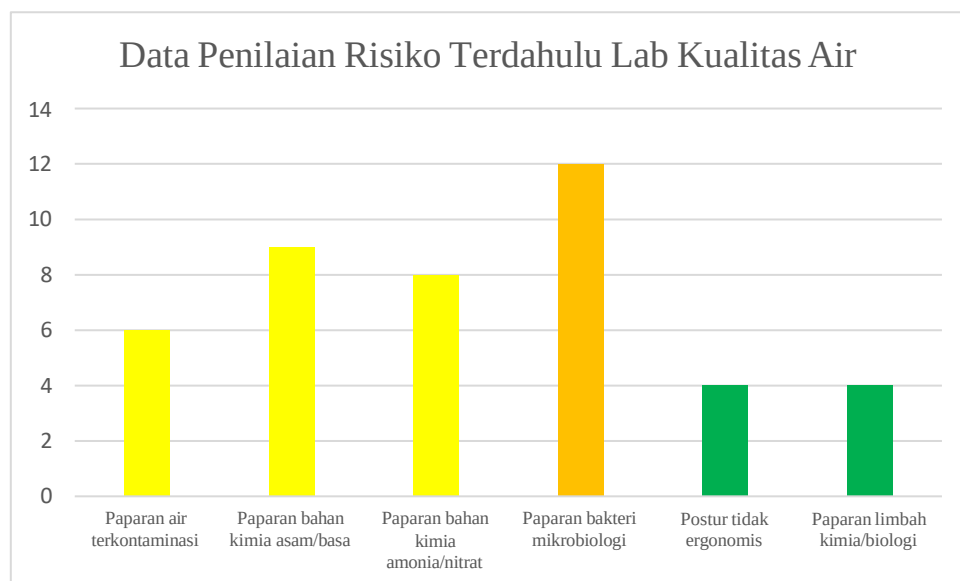
Gambar 1. 1 Data Kecelakaan kerja Laboratorium Kualitas Air

Berdasarkan data kecelakaan kerja yang terjadi di Laboratorium Kualitas Air, tercatat terdapat dua kejadian kecelakaan kerja yang melibatkan mahasiswa sebagai pengguna laboratorium. Kejadian tersebut meliputi kecelakaan minor akibat pecahan gelas reaksi serta kecelakaan kimia akibat paparan larutan asam. Kedua kejadian tersebut disebabkan oleh tindakan tidak aman berupa kurangnya kehati-hatian serta faktor pribadi seperti kurang fokus saat bekerja. Meskipun tergolong dalam kategori kecelakaan ringan, kejadian ini menunjukkan bahwa potensi bahaya di laboratorium belum sepenuhnya terkendali dan berpotensi menimbulkan kecelakaan kerja yang lebih serius apabila tidak segera dilakukan perbaikan.

Keselamatan dan Kesehatan Kerja merupakan suatu konsep dan upaya yang bertujuan untuk menjaga keutuhan serta kesejahteraan fisik dan mental tenaga kerja pada khususnya, serta manusia pada umumnya, untuk mewujudkan masyarakat yang makmur

dan sejahtera. Secara keilmuan, K3 dipahami sebagai bidang pengetahuan yang berfokus pada pencegahan terjadinya kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja. Penerapan K3 memiliki keterkaitan yang erat dengan seluruh proses kerja Redjeki (2016). K3 memiliki peran yang sangat penting dalam mencegah terjadinya kecelakaan serta penyakit akibat kerja di lingkungan laboratorium. Penerapan prinsip K3 secara menyeluruh tidak hanya bertujuan untuk menciptakan lingkungan kerja yang aman, efisien, dan produktif, tetapi juga memastikan bahwa setiap kegiatan praktikum dan penelitian dapat berlangsung sesuai dengan standar keselamatan yang telah ditetapkan Gunawan (2022).

Risiko sendiri dipahami sebagai kombinasi antara kemungkinan terjadinya suatu kejadian berbahaya dan tingkat keparahan dampak yang ditimbulkannya. Proses penilaian risiko (*risk assessment*) dilakukan untuk mengevaluasi sejauh mana potensi bahaya tersebut dapat menimbulkan kerugian, serta menentukan apakah risiko tersebut masih dapat diterima atau memerlukan tindakan pengendalian lebih lanjut. Safitri et al. (2024).



Gambar 1. 2 Data Penilaian Risiko Terdahulu Laboratorium Kualits Air
(Sumber: Penelitian Terdahulu)

Berdasarkan grafik Data Penilaian Risiko Laboratorium terdahulu, terlihat bahwa setiap potensi bahaya memiliki tingkat risiko yang berbeda. Risiko tertinggi terdapat pada paparan bakteri mikrobiologi dengan skor 12, menunjukkan bahwa aktivitas yang melibatkan mikroorganisme memiliki kemungkinan bahaya yang lebih besar dan membutuhkan pengendalian ketat. Selanjutnya, paparan bahan kimia asam/basa memiliki skor 9, yang menunjukkan adanya potensi iritasi atau reaksi kimia berbahaya jika tidak

ditangani dengan prosedur yang benar. Paparan bahan kimia amonia/nitrat berada pada skor 8, menunjukkan risiko sedang yang tetap membutuhkan kewaspadaan. Sementara itu, paparan air terkontaminasi memiliki skor 6, yang menunjukkan adanya potensi ancaman kesehatan namun relatif lebih rendah dibandingkan bahaya kimia dan mikrobiologi. Risiko ergonomi seperti postur tidak ergonomis serta paparan limbah kimia/biologi masing-masing memiliki skor 4, yang menunjukkan risiko lebih rendah tetapi tetap penting untuk dikontrol demi mencegah cedera jangka panjang atau paparan berulang. Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan pentingnya penerapan prosedur keselamatan untuk mengurangi risiko pada aktivitas laboratorium, terutama pada aspek mikrobiologi dan bahan kimia berbahaya.

Penelitian ini didasarkan pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya di Laboratorium Kualitas Air. Berdasarkan hasil penelitian terdahulu, ditemukan bahwa masih terdapat sejumlah risiko keselamatan kerja, seperti penggunaan APD yang tidak konsisten, penanganan bahan kimia tanpa prosedur yang tepat, serta penyimpanan bahan berbahaya yang belum sesuai standar. Selain itu, masih ada pengguna laboratorium yang kurang memperhatikan aspek keselamatan, seperti tidak menggunakan sarung tangan atau masker ketika bekerja dengan bahan kimia berbahaya. Situasi ini menunjukkan bahwa implementasi K3 di Laboratorium Kualitas Air masih memerlukan perbaikan, baik dari segi kesadaran para pengguna laboratorium maupun dari aspek pengelolaan risiko. Kecelakaan di tempat kerja yang terjadi biasanya disebabkan oleh kesalahan manusia (*human error*). Menurut Iryaning Handayani & Purwanto (2014), sebagian besar kecelakaan kerja yakni sekitar 88% dipicu oleh tindakan tidak aman, sementara 10% lainnya disebabkan oleh kondisi kerja yang berbahaya, dan 2% sisanya berasal dari faktor yang belum dapat diidentifikasi. Karena itu, diperlukan penerapan analisis risiko untuk menekan potensi bahaya dan kecelakaan kerja, sehingga kesehatan serta produktivitas dapat tetap terjaga.

Penelitian terdahulu menggunakan metode *Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control* (HIRARC) yang berfokus pada identifikasi bahaya, penilaian risiko, serta pengendalian risiko secara umum. Hasil penelitian menunjukkan adanya berbagai tingkat risiko, namun pengendalian yang dilakukan belum sepenuhnya optimal. Hal ini dibuktikan dengan masih ditemukannya kejadian insiden maupun *near miss* di laboratorium. Selain itu, penelitian tersebut belum mengkaji secara mendalam akar

penyebab terjadinya risiko, belum menentukan prioritas pengendalian secara sistematis, serta belum mempertimbangkan aspek biaya dan manfaat dari alternatif pengendalian yang diusulkan.

Berdasarkan hasil observasi, penerapan K3 di Laboratorium Kualitas Air menunjukkan adanya penerapan prosedur keselamatan kerja serta didukung dengan akreditasi ISO 17025. Namun, dalam pelaksanaannya masih ditemukan beberapa kondisi yang berpotensi menimbulkan risiko kerja seperti, kejadian insiden maupun *near miss*, seperti pecahan alat laboratorium serta ketidakkonsistenan penggunaan APD oleh sebagian pengguna laboratorium. Kondisi ini menunjukkan bahwa penerapan K3 di laboratorium masih belum optimal, khususnya dalam aspek kepatuhan terhadap prosedur keselamatan kerja. Berdasarkan kondisi tersebut, masih terdapat potensi risiko yang belum sepenuhnya terkendali serta keterbatasan pada penelitian sebelumnya yang hanya berfokus pada metode HIRARC. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan yang tidak hanya berfokus pada identifikasi dan penilaian risiko, tetapi juga analisis akar penyebab, penentuan prioritas pengendalian risiko yang lebih jelas.

Evaluasi potensi bahaya dan penilaian risiko merupakan tahapan penting dalam penerapan sistem K3 yang efektif. Melalui proses ini, setiap aktivitas kerja dapat dianalisis dan dievaluasi secara menyeluruh untuk menemukan sumber bahaya yang berpotensi menimbulkan kecelakaan maupun gangguan kesehatan. Tahap evaluasi risiko dilakukan untuk menilai sejauh mana berbagai faktor penyebab, baik yang bersumber dari manusia, peralatan, bahan, lingkungan, maupun metode kerja, telah dilakukan secara efektif. Melalui evaluasi ini, dapat diketahui tingkat risiko yang masih ada serta efektivitas penerapan pengendalian yang telah dilakukan. Penilaian risiko berfungsi sebagai dasar untuk menentukan prioritas pengendalian yang harus dilakukan. Metode ini juga membantu dalam penyusunan strategi pencegahan yang lebih fokus, efektif, dan sesuai dengan tingkat risiko yang dihadapi. Monoarfa & Miolo (2022).

Penelitian ini menggunakan beberapa pendekatan utama, yaitu *Hazard Identification, Risk Assessment, and Determining Control* (HIRADC), *Fault Tree Analysis* (FTA), *Analytical Hierarchy Process* (AHP), serta *Cost Benefit Analysis*. Metode HIRADC digunakan untuk mengenali potensi bahaya yang mungkin muncul melalui proses operasional yang dianalisis secara sistematis. Pemilihan metode ini bertujuan untuk mengidentifikasi berbagai risiko yang dapat timbul dari setiap aktivitas

kerja, mengetahui tingkat keparahan dampaknya, serta menentukan langkah penanganan yang tepat untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kecelakaan. Rohmatillah et al. (2021). Selain itu, pemilihan metode HIRADC juga didasarkan pada hasil penelitian terdahulu yang telah dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada kajian ulang terhadap data kecelakaan kerja dan hasil identifikasi bahaya sebelumnya untuk memperoleh hasil penilaian risiko yang lebih terukur. Sukwika & Pranata (2022a). Metode *Fault Tree Analysis* (FTA), digunakan untuk mengidentifikasi faktor penyebab dari suatu potensi bahaya yang terbentuk dari kombinasi berbagai kejadian dan mencari akar penyebab yang berpengaruh terhadap terjadinya kecelakaan kerja. Nuryono et al. (2023). Metode AHP digunakan untuk menentukan prioritas kriteria, subkriteria, dan alternatif strategi berdasarkan penilaian para ahli SURYADI (2025). Selanjutnya, *Cost Benefit Analysis* (CBA) digunakan untuk menganalisis perbandingan antara manfaat dan biaya yang dikeluarkan, untuk menilai efektivitas serta efisiensi penerapan program K3 dalam aspek finansial Dwi et al. (2025). Sehingga hasil pengendalian risiko dalam penelitian ini menggabungkan data kuantitatif dari skoring HIRADC melalui penilaian *likelihood* dan *severity*, analisis penyebab menggunakan FTA, penentuan prioritas menggunakan AHP, serta evaluasi kelayakan secara finansial menggunakan CBA. Pendekatan ini juga didukung oleh data hasil wawancara dengan pihak terkait laboratorium, sehingga penilaian risiko tidak hanya bersifat numerik, tetapi juga mencerminkan kondisi aktual di lapangan.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan manajemen risiko dalam upaya meningkatkan sistem keselamatan kerja di laboratorium. Penerapan sistem K3 yang baik di laboratorium tidak hanya melindungi keselamatan pengguna, tetapi juga dapat mendukung terciptanya budaya keselamatan kerja di laboratorium.

1.2 Rumusan Masalah

Meskipun kegiatan praktikum di laboratorium kualitas air memiliki potensi bahaya yang dapat menimbulkan risiko keselamatan kerja, penilaian dan pengendalian risiko yang dilakukan masih perlu disusun dengan pendekatan yang lebih sistematis. Selain itu, klasifikasi tingkat risiko dan penentuan prioritas pengendalian masih perlu dilakukan dengan lebih komprehensif agar hasil rekomendasi yang diberikan lebih tepat dan sesuai

dengan kondisi secara nyata di laboratorium. Oleh karena itu, penelitian ini disusun untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut:

1. Bagaimana evaluasi potensi bahaya yang terdapat di laboratorium kualitas air yang dapat muncul selama kegiatan praktikum berlangsung?
2. Bagaimana tingkat dan kategori risiko dari setiap aktivitas kerja di laboratorium kualitas air berdasarkan hasil penilaian menggunakan metode HIRADC?
3. Bagaimana penentuan prioritas rekomendasi pengendalian risiko berdasarkan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) serta evaluasi kelayakan ekonomi menggunakan metode *Cost Benefit Analysis*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian menjawab rumusan masalah. Berikut adalah contoh tujuan penelitian:

1. Untuk mengevaluasi potensi bahaya yang terdapat di Laboratorium Kualitas Air Universitas Islam Indonesia selama pelaksanaan kegiatan praktikum.
2. Untuk mengetahui tingkat risiko dari setiap aktivitas kerja dengan menggunakan metode HIRADC.
3. Untuk menentukan prioritas rekomendasi pengendalian risiko menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dengan mempertimbangkan hasil analisis risiko berdasarkan HIRADC dan *Fault Tree Analysis* (FTA) serta mengevaluasi kelayakan ekonominya menggunakan metode *Cost Benefit Analysis*.

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut merupakan manfaat dari penelitian ini:

1.4.1 Bagi Peneliti

Berikut merupakan manfaat bagi peneliti:

1. Mahasiswa dapat memperdalam pemahaman mengenai penerapan metode Hazard Identification Risk Assessment and Determining Control (HIRADC) dalam mengidentifikasi bahaya, penilaian risiko, serta perumusan strategi pengendalian keselamatan kerja.

2. Mahasiswa mendapatkan pengalaman langsung dalam melakukan penelitian berbasis K3 secara analitis, terstruktur dan berbasis data lapangan, sehingga dapat menjadi bekal dalam melaksanakan penelitian yang serupa di masa mendatang.

1.4.2 Bagi Instansi

Berikut merupakan manfaat penelitian bagi Instansi:

1. Penelitian ini dapat berfungsi sebagai dasar evaluasi bagi pihak laboratorium dalam meningkatkan sistem keselamatan kerja.
2. Mendukung instansi dalam membangun budaya kerja yang aman dan patuh terhadap standar K3.

1.4.3 Bagi Universitas Islam Indonesia

Berikut merupakan manfaat bagi Universitas Islam Indonesia:

1. Dapat dijadikan referensi bagi penelitian selanjutnya di laboratorium kualitas Air maupun laboratorium lain di lingkungan Universitas Islam Indonesia.

1.5 Batasan Penelitian

Berikut merupakan batasan dalam penelitian ini:

1. Penelitian ini hanya dilakukan di laboratorium kualitas Air universitas islam Indonesia
2. Penelitian ini berfokus pada risiko kecelakaan kerja yang dialami oleh para pengguna laboratorium selama aktivitas praktikum.
3. Data yang digunakan dalam analisis risiko diperoleh dari observasi langsung dan wawancara dengan laboran.
4. Penelitian ini terbatas pada pemberian rekomendasi pengendalian risiko tanpa melibatkan tahap implementasi maupun evaluasi efektivitas dari rekomendasi yang diberikan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Literatur

Kajian literatur ini bertujuan untuk memberikan pemahaman terkait pentingnya penerapan K3 dalam menciptakan lingkungan kerja aman, sehat, dan terkendali, khususnya pada kegiatan laboratorium. Kajian literatur ini berfungsi untuk menjelaskan konsep-konsep dasar K3, identifikasi bahaya, penilaian risiko, serta pengendalian risiko yang dapat terjadi di lingkungan kerja laboratorium. Bagian ini juga mengulas penelitian-penelitian terdahulu yang relevan dengan menggunakan berbagai metode analisis risiko, dengan tujuan memberikan gambaran mengenai penerapan K3 di berbagai sektor, baik industri maupun laboratorium. Pembahasan dalam kajian literatur ini diharapkan dapat menjadi dasar dalam melakukan analisis risiko K3 pada lokasi penelitian, serta memberikan wawasan terkait upaya pengendalian yang tepat untuk meminimalkan risiko kecelakaan kerja dan meningkatkan keselamatan dan di lingkungan laboratorium.

Penelitian yang dilakukan oleh Afnella & Utami (2021), Sari et al. (2023), Yosepha Sindya Vionita (2024), Rahmawan et al. (2024), Nursabrina et al. (2021), Nur Syawal (2023), Hidayat & Hardono (2021), A Tanisri & Siregar (2022), Syabib et al. (2025), N. A. Pratama & Apsari (2024), serta Hamzah Alawi & Rahdiana (2025) menunjukkan bahwa di berbagai sektor, baik industri maupun laboratorium, masih ditemukan banyak potensi bahaya dan risiko kecelakaan kerja. Risiko tersebut memiliki tingkat yang bervariasi, mulai dari kategori rendah hingga tinggi, bahkan terdapat risiko yang tidak dapat ditoleransi. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas kerja di lingkungan tersebut masih memiliki potensi bahaya yang signifikan dan memerlukan pengelolaan yang lebih optimal.

Penelitian yang dilakukan oleh Yasmie et al. (2024), Nurraudah & Yuamita (2023), serta Ameiliawati (2022) mengungkapkan bahwa sumber bahaya yang paling dominan berasal dari faktor peralatan, mesin, fasilitas kerja, kondisi lingkungan, serta perilaku pekerja. Selain itu, hasil penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa sebagian besar risiko yang ditemukan berada pada kategori sedang hingga tinggi, yang berarti membutuhkan perhatian khusus dalam upaya pengendalian, kondisi ini menegaskan

bahwa selain faktor teknis, aspek manusia dan lingkungan kerja juga memiliki peran penting dalam terjadinya kecelakaan kerja.

Penelitian yang dilakukan oleh A Tanisri & Siregar (2022), dan H. Pratama et al. (2025), menunjukkan bahwa penggunaan metode kombinasi, seperti HIRARC dengan HAZOP atau JSA, mampu memberikan hasil analisis yang lebih rinci dan komprehensif terhadap potensi bahaya yang ada. Pendekatan ini tidak hanya membantu dalam mengidentifikasi bahaya, tetapi juga mampu menentukan akar penyebab serta merumuskan strategi pengendalian yang lebih efektif sehingga dapat menurunkan tingkat risiko kecelakaan kerja secara signifikan.

Namun demikian, tidak semua faktor yang diasumsikan berpengaruh terhadap risiko kecelakaan terbukti memiliki hubungan yang signifikan. Penelitian yang dilakukan oleh Nursabrina et al. (2021) menunjukkan bahwa pengetahuan K3 dan sikap kerja tidak memiliki hubungan yang signifikan dengan tingkat risiko kecelakaan kerja. Hal ini menunjukkan bahwa pengelolaan K3 tidak cukup hanya berfokus pada peningkatan pengetahuan dan sikap, tetapi juga perlu didukung oleh sistem manajemen yang terstruktur, pengawasan yang konsisten, serta penerapan prosedur kerja yang ketat.

Beberapa penelitian juga menekankan pentingnya penerapan strategi dalam meningkatkan efektivitas K3. Penelitian oleh SURYADI (2025), Pratiwi et al. (2024), Shadiq et al. (2023), serta Indrawan (2023) menunjukkan bahwa strategi yang paling berpengaruh dalam meningkatkan keselamatan kerja meliputi penguatan budaya K3, peningkatan partisipasi aktif pekerja, implementasi sistem manajemen K3 yang terintegrasi, serta pelaksanaan pelatihan dan pengawasan penggunaan APD. Strategi tersebut terbukti mampu mendukung penurunan angka kecelakaan kerja sekaligus meningkatkan produktivitas kerja.

Berikut merupakan kajian literatur berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu untuk mengkaji secara mendalam topik yang berkaitan dengan penelitian ini:

Tabel 2. 1 Kajian Literatur

No	Penulis, Tahun	Objek Penelitian	Metode				
			<i>Hazard identification Risk Assessment (HIRA)</i>	<i>Hazard identification Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC)</i>	<i>Hazard identification Risk Assessment, and Determining Control (HIRADC)</i>	AHP	Lainnya
1	Afnella & Utami (2021)	Pabrik pengolahan kelapa sawit	✓				
2	Yasmie et al. (2024)	Produksi industri furnitur	✓				✓

No	Penulis, Tahun	Objek Penelitian	Metode				
			<i>Hazard identification Risk Assessment (HIRA)</i>	<i>Hazard identification Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC)</i>	<i>Hazard identification Risk Assessment, and Determining Control (HIRADC)</i>	AHP	Lainnya
3	Sari et al. (2023)	Pabrik Tahu	✓				
4	Nursabrina et al. (2021)	Laboratorium nanomaterial	✓				
5	Yosepha Sindya Vionita (2024)	Laboratorium Teknik Sipil			✓		
6	Nurraudah & Yuamita (2023)	Produksi industri kulit			✓		

No	Penulis, Tahun	Objek Penelitian	Metode				
			<i>Hazard identification Risk Assessment (HIRA)</i>	<i>Hazard identification Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC)</i>	<i>Hazard identification Risk Assessment, and Determining Control (HIRADC)</i>	AHP	Lainnya
7	Ameiliawati (2022)	Pekerja di area pabrik-gudang			✓		
8	A Tanisri & Siregar (2022)	Pabrik kerupuk			✓		
9	Rahmawan et al. (2024)	laboratorium Departemen Teknik Sipil			✓		
10	Nur Syawal (2023)	PT. Indonesia Thai Summit Plastech (ITSP)			✓		

No	Penulis, Tahun	Objek Penelitian	Metode				
			<i>Hazard identification Risk Assessment (HIRA)</i>	<i>Hazard identification Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC)</i>	<i>Hazard identification Risk Assessment, and Determining Control (HIRADC)</i>	AHP	Lainnya
11	SURYADI (2025)	KPH Kuningan				✓	
12	Pratiwi et al. (2024)	Bidang Produksi				✓	
13	Shadiq et al. (2023)	Bidang produksi				✓	
14	Indrawan (2023)	PT.X Bidang pemantauan K3				✓	
15	H. Pratama et al. (2025)	Workhsop Pabrikasi		✓			✓

No	Penulis, Tahun	Objek Penelitian	Metode				
			<i>Hazard identification Risk Assessment (HIRA)</i>	<i>Hazard identification Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC)</i>	<i>Hazard identification Risk Assessment, and Determining Control (HIRADC)</i>	AHP	Lainnya
16	Syabib et al. (2025)	PT ABC		✓			✓
17	N. A. Pratama & Apsari (2024)	Pemotongan Ayam		✓			✓
18	Abdurrahman et al. (2025)	PT Wika Beton		✓			
19	Hamzah Alawi & Rahdiana (2025)	Industri pengolahan tahu Berkah Jaya		✓			

No	Penulis, Tahun	Objek Penelitian	Metode				
			<i>Hazard identification Risk Assessment (HIRA)</i>	<i>Hazard identification Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC)</i>	<i>Hazard identification Risk Assessment, and Determining Control (HIRADC)</i>	AHP	Lainnya
20	Hidayat & Hardono (2021)	PT. CA			✓		

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Laboratorium

Laboratorium merupakan sarana pendukung yang memegang peran sangat penting dalam proses pendidikan di perguruan tinggi. Fasilitas ini tidak hanya digunakan sebagai tempat praktik atau pengujian, tetapi juga menjadi ruang untuk mengaplikasikan teori secara langsung. Dengan adanya laboratorium, kegiatan belajar dapat berlangsung lebih mendalam karena mahasiswa mampu mengaitkan konsep-konsep yang diperoleh di kelas dengan pengalaman nyata di lapangan. Setiap aktivitas di laboratorium melibatkan tiga komponen utama, yaitu peralatan, bahan, dan penggunaannya. Sebagai ruang yang menampung berbagai jenis bahan kimia, termasuk bahan yang tidak digunakan dalam proses produksi berskala besar, pengelolaan laboratorium perguruan tinggi harus dilakukan secara profesional. Liswardani et al. (2022).

2.2.2 Laboratorium Kualitas Air

Laboratorium kualitas air berfungsi untuk memastikan bahwa proses penyediaan air bersih dapat memenuhi aspek kualitas, kuantitas, dan kontinuitas sebagaimana menjadi indikator keandalan sistem penyediaan air minum (SPAM), Parameter fisika seperti suhu, kekeruhan, dan total padatan tersuspensi; parameter kimia seperti pH, kadar logam berat, dan senyawa organik, serta parameter mikrobiologis seperti total *coliform* dan *Escherichia coli*, menjadi dasar penting dalam menentukan kualitas suatu sumber air. Melalui kegiatan pengujian yang sistematis, laboratorium memiliki tujuan untuk menilai apakah parameter air yang diolah telah sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan dalam regulasi, seperti Permenkes No. 2 Tahun 2023 tentang Baku Mutu Air Minum. Komala et al. (2024).

2.2.3 Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan aspek penting dalam dunia industri dan berbagai jenis lingkungan kerja. K3 berfokus pada upaya perlindungan tenaga kerja dari potensi bahaya, risiko kecelakaan, serta gangguan kesehatan yang dapat timbul selama aktivitas kerja berlangsung. Penerapan K3 tidak hanya bertujuan mencegah cedera atau penyakit akibat kerja, tetapi juga memastikan bahwa setiap aspek lingkungan kerja mulai dari peralatan, prosedur, hingga perilaku pekerja berjalan secara aman, terkendali, dan sesuai dengan standar yang berlaku. K3 juga berperan dalam meningkatkan kualitas

produktivitas dan efisiensi perusahaan. Lingkungan kerja yang aman memungkinkan pekerja untuk beroperasi dengan lebih nyaman, fokus, dan minim gangguan, sehingga meningkatkan kinerja dan mengurangi biaya yang timbul akibat kecelakaan atau *downtime*. Dengan kata lain, penerapan K3 yang optimal bukan hanya sebagai kewajiban regulasi, tetapi merupakan investasi penting untuk menciptakan tempat kerja yang sehat, produktif, dan berkelanjutan. Sarbiah (2023).

2.2.4 Sistem Manajemen K3 (SMK3)

Sistem Manajemen K3 adalah suatu pendekatan terstruktur yang dirancang untuk membantu organisasi dalam mengenali, menilai, dan mengendalikan berbagai risiko yang muncul selama proses kerja. Melalui kerangka kerja ini, perusahaan dapat memastikan bahwa potensi bahaya di tempat kerja dapat diminimalkan secara sistematis, baik melalui pengaturan prosedur, penggunaan peralatan yang aman, maupun peningkatan kompetensi pekerja. Selain berfungsi untuk mengurangi kecelakaan dan penyakit akibat kerja, Sistem Manajemen K3 juga berperan dalam menciptakan kondisi kerja yang lebih sehat, aman, dan efisien. Sarbiah (2023).

2.2.5 HIRA

Hazard Identification and Risk Assessment (HIRA) merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengenali berbagai potensi bahaya yang ada di lingkungan kerja dengan terlebih dahulu memahami karakteristik aktivitas, proses, maupun kondisi kerja yang dapat menimbulkan risiko. Melalui pendekatan ini, setiap potensi bahaya dianalisis untuk mengetahui seberapa besar kemungkinan terjadinya serta tingkat keparahan dampaknya. Evaluasi tersebut kemudian dilakukan menggunakan matriks risiko agar penilaian menjadi lebih objektif dan terstruktur. Dengan demikian, HIRA membantu organisasi dalam menentukan prioritas pengendalian risiko sehingga langkah keselamatan yang diterapkan dapat lebih efektif dan sesuai kebutuhan di lapangan. Albar et al. (2022a).

2.2.6 HIRARC

Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control (HIRARC) merupakan salah satu persyaratan penting dalam penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) sesuai standar OHSAS 18001:2007. Pada klausul 4.3.1, standar tersebut mewajibkan setiap organisasi untuk memiliki prosedur yang jelas dan terdokumentasi mengenai proses identifikasi bahaya, penilaian risiko, serta pengendalian risiko sebagai langkah sistematis dalam menciptakan lingkungan kerja yang aman

(Ramli, 2010). Berdasarkan penjelasan Department of Occupational Safety and Health Malaysia (2008), penerapan HIRARC bertujuan untuk mengidentifikasi seluruh faktor yang dapat menimbulkan kerusakan atau cedera terhadap pekerja, peralatan, maupun proses kerja. Selain itu, HIRARC juga mendorong perusahaan untuk merencanakan, menerapkan, dan memantau langkah-langkah pengendalian sehingga setiap risiko dapat diminimalkan dan berada pada tingkat yang dapat diterima. Dengan demikian, HIRARC berperan penting sebagai fondasi dalam upaya preventif perusahaan untuk memastikan keselamatan kerja secara menyeluruh dan berkelanjutan. Ferry et al. (2022).

2.2.7 HIRADC

HIRADC (*Hazard Identification, Risk Assessment, and Determine Control*) merupakan sebuah metode yang dilakukan secara sistematis, menyeluruh, dan terstruktur untuk mengidentifikasi berbagai potensi masalah yang dapat memengaruhi proses kerja serta risiko yang muncul dari penggunaan peralatan, aktivitas, atau kondisi tertentu. Pendekatan ini bertujuan untuk memahami sejauh mana bahaya dapat menimbulkan dampak terhadap pekerja, fasilitas, maupun sistem yang ada di tempat kerja. Sebagai bagian penting dari sistem manajemen K3, HIRADC berperan langsung dalam upaya pencegahan kecelakaan dan pengendalian bahaya. Proses ini membantu organisasi dalam menetapkan tujuan keselamatan yang jelas serta menyusun rencana K3 yang efektif. Dengan adanya HIRADC, perusahaan dapat memastikan bahwa risiko dapat diminimalkan melalui langkah pengendalian yang tepat, sehingga tercipta lingkungan kerja yang lebih aman dan produktif. Sukwika & Pranata (2022b).

2.2.8 Risiko

Menurut OHSAS 18001 (2007), risiko diartikan sebagai kombinasi antara kemungkinan terjadinya suatu peristiwa berbahaya atau paparan dengan tingkat keparahan cedera maupun penyakit yang dapat ditimbulkannya. Dengan kata lain, risiko tidak hanya dipengaruhi oleh peluang munculnya bahaya, tetapi juga oleh besarnya dampak yang dapat terjadi apabila bahaya tersebut benar-benar terealisasi. Pemahaman ini menegaskan bahwa penilaian risiko harus mempertimbangkan dua aspek sekaligus—frekuensi atau peluang kejadian dan konsekuensi yang ditimbulkan—sehingga tindakan pengendalian dapat direncanakan secara lebih tepat untuk mencegah kerugian pada pekerja, proses kerja, maupun lingkungan. Albar et al. (2022b).

2.2.9 Penilaian Risiko

Penilaian risiko (*Risk Assessment*) merupakan suatu proses sistematis yang digunakan untuk mengidentifikasi potensi bahaya serta menilai tingkat risiko yang mungkin timbul dari suatu aktivitas, proses, atau operasi kerja. Tujuan utama dari risk assessment adalah memastikan bahwa setiap risiko yang ada dapat dikendalikan hingga berada pada tingkat yang dapat diterima sehingga kegiatan operasional dapat berjalan aman dan efisien. Dalam proses ini, dua komponen utama yang dinilai adalah Likelihood (L) dan Severity atau Consequence (S/C). Likelihood menggambarkan seberapa besar kemungkinan suatu kejadian berbahaya terjadi, sedangkan Severity atau Consequence menilai tingkat keparahan dampak yang ditimbulkan apabila kejadian tersebut benar-benar terjadi. Kombinasi dari kedua nilai tersebut digunakan untuk menentukan Risk Rating atau Risk Level, yang kemudian menjadi dasar dalam menetapkan prioritas tindakan pengendalian risiko. Dengan demikian, risk assessment menjadi langkah penting untuk membantu organisasi dalam meminimalkan potensi kerugian dan meningkatkan keselamatan kerja secara keseluruhan. Albar et al. (2022b).

Tabel 2. 2 Penilaian Risiko

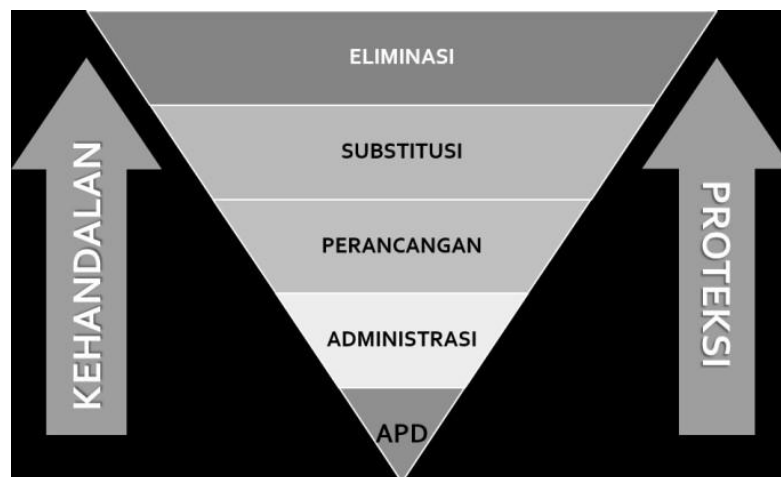
<i>Likelihood (kemungkinan)</i>		<i>Consequences (konsekuensi)</i>				
		<i>Insignificant</i> 1	<i>Minor</i> 2	<i>Moderate</i> 3	<i>Major</i> 4	<i>Catastrophic</i> 5
<i>Almost certain</i> (Hampir pasti)	5	H	H	E	E	E
<i>Likely</i> (sering terjadi)	4	M	H	H	E	E
<i>Moderate</i> (Dapat terjadi)	3	L	M	H	E	E
<i>Unlikely</i> (Kadang-kadang)	2	L	L	M	H	E
<i>Rare</i> (Jarang terjadi)	1	L	L 2,4,5	M 1,3	H	H

Keterangan Risk Matrix : Extreme (E) =Tingkat risiko ekstrim, High (H) = Tingkat risiko tinggi, Moderate (M) = Tingkat risiko Sedang, Low (L) = Tingkat risiko rendah.

2.2.10 Pengendalian Risiko

Pengendalian risiko merupakan upaya untuk menghilangkan atau menonaktifkan sumber bahaya sehingga tidak lagi menimbulkan risiko bagi pekerja yang berada di area kerja atau yang menggunakan peralatan tertentu. Proses ini mencakup langkah-langkah bijaksana yang bertujuan mengatasi, mengurangi, atau menghilangkan bahaya agar tidak berkembang menjadi risiko yang merugikan. Peran utama pengendalian risiko adalah memastikan potensi bahaya dapat dikurangi hingga berada pada tingkat yang dapat diterima. Dalam penerapannya, pengendalian risiko harus mengikuti prinsip *Hierarchy of*

Control sebagai panduan tahapan pengendalian. Hirarki ini mengurutkan prioritas pengendalian dari yang paling efektif hingga paling dasar, yaitu: Eliminasi, Substitusi, Rekayasa (Engineering Control), Administrasi, dan penggunaan APD. Dengan mengikuti tahapan ini, risiko dapat ditangani secara sistematis dan efektif. Ihsan et al. (2020).



(sumber: Ihsan et al., 2020)

Menurut Tarwaka (2014), hirarki pengendalian risiko terdiri dari lima tahapan utama. Pertama, Eliminasi, yaitu upaya menghilangkan sumber bahaya secara langsung sehingga potensi dampaknya menjadi nol. Kedua, Substitusi, yaitu mengganti bahan, peralatan, sistem, atau prosedur yang memiliki tingkat bahaya tinggi dengan alternatif yang lebih aman. Ketiga, Engineering Control, yaitu melakukan rekayasa teknis atau modifikasi desain untuk mengurangi atau meniadakan bahaya, misalnya memperbaiki sistem ventilasi, memasang pelindung mesin, atau menurunkan tingkat kebisingan. Keempat, Pengendalian Administratif, yang mencakup pembuatan aturan, prosedur, dan pengaturan kerja yang aman seperti pemasangan rambu keselamatan, pengaturan shift kerja, penyusunan SOP, inspeksi dan pemeliharaan peralatan, serta pemeriksaan kesehatan secara berkala. Kelima, APD, yaitu langkah terakhir dalam pengendalian risiko yang dilakukan dengan menyediakan dan menggunakan perlindungan pribadi seperti helm, pelindung wajah, sarung tangan, pelindung pendengaran, serta pelindung tubuh dan kaki.

2.2.11 Fault Tree Analysis (FTA)

Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) digunakan untuk menganalisis akar penyebab terjadinya suatu risiko atau kejadian. Melalui metode ini, sumber permasalahan dapat

diidentifikasi dengan menggambarkan hubungan sebab-akibat dalam bentuk pohon kesalahan (*Fault Tree*) yang disusun dari berbagai kombinasi kejadian. Analisis ini memungkinkan pencarian faktor penyebab hingga ke tingkat dasar, baik yang berasal dari tindakan tidak aman (*unsafe action*) maupun kondisi tidak aman (*unsafe condition*), sehingga dapat diketahui penyebab utama terjadinya kegagalan atau kecelakaan kerja. Nuryono et al. (2023). Berikut merupakan beberapa simbol yang digunakan dalam FTA Menurut Ebeling (2019) simbol-simbol tersebut sebagai berikut:

Tabel 2. 3 Simbol FTA

Simbol	Istilah	Keterangan
	<i>Basic Event</i>	Menyatakan kegagalan dasar atau merupakan batas akhir penyebab suatu kejadian.
	<i>Resultant Event</i>	Menunjukkan kegagalan/kesalahan yang akan diteliti lebih lanjut.
	<i>AND Gate</i>	Digunakan sebagai fungsi “and” untuk menunjukkan kejadian output yang akan muncul jika semua input terjadi
	<i>OR Gate</i>	Digunakan sebagai fungsi “or” untuk menunjukkan kegagalan output yang terjadi karena terdapat satu atau lebih kejadian kegagalan pada input.
	<i>Conditioning Event</i>	Kondisi khusus yang mungkin muncul pada <i>gate</i> bila memenuhi kondisi tertentu.

	<i>Incomplete Event</i>	Peristiwa yang tidak berkembang, atau tidak perlu dicari penyebabnya karena tidak cukup berhubungan dengan permasalahan.
	<i>Normal Event</i>	Menunjukkan kejadian yang mungkin muncul tetapi tidak termasuk dalam kegagalan kejadian.
	<i>Transferred Event</i>	Digunakan untuk menghubungkan bagian dari pohon kesalahan dengan kejadian lain.

2.2.12 Analytical Hierarchy Process (AHP)

Metode AHP merupakan pendekatan pengambilan keputusan yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty pada tahun 1970-an. Metode ini bekerja dengan memecah suatu permasalahan kompleks yang melibatkan banyak faktor atau kriteria ke dalam bentuk struktur yang bersifat hierarkis. Teknik ini digunakan dalam proses analisis kebijakan karena mampu menangani berbagai variabel secara bersamaan (*multivariate decision making*). Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) merupakan metode pengambilan keputusan multikriteria yang menggunakan pendekatan penilaian berbasis judgment dalam proses perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*). Dalam metode ini, pengambilan keputusan memberikan penilaian terhadap tingkat kepentingan relatif antar elemen berdasarkan persepsi, pengalaman, dan pemahaman terhadap permasalahan yang dianalisis. Saaty (2008). Pada dasarnya, AHP adalah model pengambilan keputusan yang komprehensif, karena dapat mengakomodasi penilaian secara kualitatif maupun kuantitatif sehingga keputusan yang dihasilkan lebih objektif, terukur, dan dapat dipertanggungjawabkan. Liga Mayola et al. (2023).

Tabel 2. 4 Skala Penilaian Perbandingan Berpasangan

Intensitas Kepentingan	Keterangan
1	Kedua elemen sama penting
3	Elemen yang satu sedikit lebih penting dari pada elemen lainnya
5	Elemen yang satu lebih penting dari pada elemen lainnya
7	Satu elemen jelas lebih mutlak penting dari pada elemen lainnya
9	Satu elemen mutlak penting dari pada elemen lainnya
2 4 6 8	Nilai – nilai antara dua nilai pertimbangan yang berdekatan

2.2.13 Cost Benefit Analysis (CBA)

Cost Benefit Analysis (CBA) merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis perbandingan antara manfaat yang diperoleh dengan biaya yang dikeluarkan, untuk menilai efektivitas serta efisiensi program K3 dalam perspektif ekonomi. Kelayakan program ditentukan berdasarkan nilai *Benefit Cost Rasio* (BCR), di mana $BCR > 1$ menunjukkan bahwa program layak dilaksanakan karena manfaat melebihi biaya, sedangkan $BCR < 1$ menunjukkan bahwa program tidak layak karena biaya lebih besar dibandingkan manfaat yang diperoleh. Dwi et al. (2025). Berikut merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung BCR:

$$BCR = \frac{Total\ benefit}{Total\ Cost} = \geq 1$$

2.2.14 Expert Judgment

Expert Judgment merupakan pendekatan yang digunakan dalam analisis risiko untuk menangani keterbatasan data empiris dan tingginya ketidakpastian. Menurut Terje Aven, analisis risiko tidak hanya bergantung pada data kuantitatif, tetapi juga pada *knowledge* yang mencerminkan pemahaman para ahli terhadap sistem yang dikaji. Dalam perspektif ini, risiko dipahami sebagai kombinasi antara konsekuensi dan ketidakpastian, sehingga pengetahuan menjadi elemen penting dalam proses penilainya Aven (2016). *Expert judgment* digunakan untuk merepresentasikan ketidakpastian pengetahuan (*knowledge uncertainty*), terutama dalam situasi di mana data historis tidak tersedia atau tidak

memadai. Oleh karena itu, penilaian ahli berperan dalam memperkirakan kemungkinan kejadian serta konsekuensi yang mungkin terjadi dalam suatu sistem Aven (2015).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Subjek Penelitian

Subjek dalam penelitian ini adalah praktikan yang melakukan kegiatan praktikum Pengujian Kualitas Air.

3.2 Objek Penelitian

Objek dalam penelitian ini adalah potensi bahaya dan tingkat risiko K3 pada aktivitas praktikum di Laboratorium Kualitas Air yang dievaluasi sebagai tindak lanjut dari hasil identifikasi risiko sebelumnya.

3.3 Jenis Data

Berikut merupakan data penelitian yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Data primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung melalui proses wawancara dengan pihak-pihak yang berkaitan dengan kegiatan laboratorium, yaitu Bapak Tasyono, S.T. selaku laboran Laboratorium Kualitas Air, serta asisten laboratorium. Laboran dipertimbangkan sebagai *expert* karena memiliki pengalaman kerja, pemahaman terhadap prosedur labortaorium, serta keterlibatan dalam penerapan K3. Selain itu, observasi dilakukan untuk mengamati kondisi nyata terkait kondisi, aktivitas kerja, serta potensi bahaya yang dapat terjadi.

2. Data sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari berbagai sumber yang sudah tersedia, seperti penelitian-penelitian terdahulu yang kemudian dijadikan sebagai referensi atau tambahan informasi.

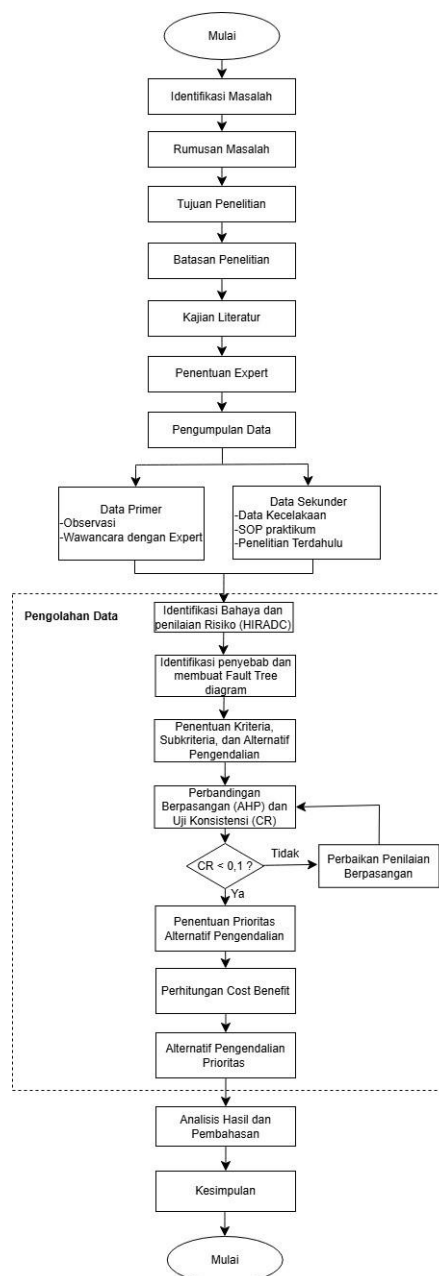
3.4 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui observasi dan wawancara. Observasi dilakukan secara langsung di Laboratorium Kualitas Air untuk mengidentifikasi aktivitas kerja, kondisi lingkungan, serta potensi bahaya yang ada. Wawancara dilakukan kepada Bapak Tasyono,S.T. selaku laboran sebagai responden

yang dianggap sebagai *expert*, dengan tujuan memperoleh informasi terkait kejadian kecelakaan kerja, *near miss*, serta dampak yang ditimbulkan selama proses praktikum. Selain itu, wawancara juga digunakan untuk mendukung proses penilaian risiko dan penentuan alternatif pengendalian yang sesuai.

3.5 Alur Penelitian

Berikut merupakan alur penelitian dalam penelitian ini:



Gambar 3. 1 Alur Penelitian

Berikut merupakan penjelasan alur penelitian dalam penelitian ini:

1. Mulai

Penelitian ini dimulai dengan menetapkan fokus dan cakupan penelitian, yaitu mengenai keselamatan kerja di Laboratorium Kualitas Air.

2. Identifikasi Masalah

Pada tahapan ini dilakukan pengamatan awal untuk menemukan permasalahan yang berkaitan dengan potensi bahaya, insiden kerja, serta prosedur keselamatan yang belum efektif.

3. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi yang telah dilakukan, masalah kemudian dirumuskan ke dalam pertanyaan penelitian yang mengarahkan fokus analisis, khususnya mengenai identifikasi bahaya, penilaian risiko, dan penentuan rekomendasi pengendalian risiko.

4. Tujuan Penelitian

Pada tahap ini, tujuan penelitian dibuat untuk menggambarkan hasil yang ingin di capai, seperti mengetahui jenis bahaya, menilai tingkat risikonya melalui HIRADC, serta menentukan prioritas pengendalian menggunakan AHP, serta mengevaluasi kelayakan biaya dan manfaat melalui CBA.

5. Batasan Penelitian

Batasan penelitian ini ditetapkan untuk menentukan fokus penelitian.

6. Kajian Literatur

Mengumpulkan dan mengkaji literatur berdasarkan jurnal-jurnal terdahulu yang sesuai dengan topik penelitian sebagai referensi.

7. Penentuan *Expert*

Menentukan pihak yang berpengalaman seperti laboran yang memahami kondisi laboratorium untuk memberikan penilaian pada HIRADC dan AHP serta validasi bahaya dan pengendalian risiko.

8. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung pada kegiatan praktikum pengujian kualitas air limbah serta wawancara dengan laboran sebagai expert. Data yang diperoleh berupa potensi bahaya, kondisi kerja, serta riwayat kecelakaan yang kemudian digunakan sebagai input dalam analisis HIRADC.

9. HIRADC

Mengidentifikasi potensi bahaya yang nyata serta menghasilkan alternatif pengendalian yang dapat diterapkan.

- a. Identifikasi bahaya
- b. Penilaian Risiko (*Risk Rating*)
 - Perhitungan skala *Likelihood* $\times$ *Consequence*
 - Perhitungan Risk Score = $L \times C$. Kategori contoh: 1– 4 = Rendah, 5 – 9 = Sedang, 10 – 16 = Tinggi.
 - Melengkapi tabel HIRADC (kolom: L, C, Risk Score, Kategori).
Output: tabel penilaian risiko berurut per proses dan bahaya.
- c. Menentukan pengendalian (*Determining Control*)
 - Menerapkan *Hierarchy of Controls*: Eliminasi $\rightarrow$ Substitusi $\rightarrow$ Rekayasa Teknologi $\rightarrow$ Administratif $\rightarrow$ APD.
 - Mengusulkan beberapa opsi untuk setiap bahaya

10. Analisis penyebab dengan *Fault Tree Analysis* (FTA)

Pada tahap ini dilakukan identifikasi akar penyebab dari nilai risiko yang tinggi dengan menggunakan diagram *fault tree* sehingga dapat diketahui hubungan sebab-akibat secara rinci:

- Menentukan kejadian puncak (*Top Event*)
- Mengidentifikasi *Event* dan *Basic Event*
- Menyusun diagram *fault tree* menggunakan gerbang logika AND/OR

11. AHP

Memilih prioritas solusi dari alternatif yang dihasilkan HIRADC berdasarkan kriteria yang relevan.

- a. Menetapkan Kriteria, Sub-Kriteria, dan Alternatif
- b. Perbandingan Berpasangan & Pengisian Kuesioner
 - Menggunakan skala Saaty 1 – 9 untuk perbandingan berpasangan antar-kriteria dan antar-alternatif terhadap setiap kriteria.
 - Melakukan wawancara dengan *expert*
Output: matriks perbandingan berpasangan (kriteria $\times$ kriteria, dan untuk setiap kriteria: alternatif $\times$ alternatif).
- c. Pembobotan & Uji Konsistensi

- Menghitung *Eigen vector* / rata-rata untuk memperoleh bobot tiap kriteria dan bobot tiap alternatif terhadap kriteria.
- Menghitung *Consistency Index* (CI) dan *Consistency Ratio* (CR)
- Menggunakan nilai RI standar.
- Keputusan: jika $CR \leq 0.10$, konsisten $\rightarrow$ lanjut. Jika $CR > 0.10$.
- *Output*: bobot kriteria, bobot alternatif, nilai CR, laporan uji konsistensi.

d. Perhitungan Prioritas & Rangking Alternatif

- Menghitung skor tiap alternatif (bobot subkriteria $\times$ bobot alternatif).
- Mengurutkan alternatif berdasarkan skor global $\rightarrow$ prioritas solusi.
Output: daftar prioritas solusi (dapat ditampilkan sebagai tabel dengan skor & rekomendasi implementasi).
- Mekanisme *feedback* / pengambilan data ulang terjadi apabila AHP menghasilkan $CR > 0.1$.
- Melakukan revisi perbandingan.

12. *Cost benefit Analysis*

Melakukan perhitungan CBA untuk membandingkan total biaya dan manfaat untuk menentukan kelayakan alternatif pengendalian melalui nilai BCR.

- Mengidentifikasi seluruh biaya (*cost*) yang diperlukan untuk setiap alternatif pengendalian.
- Mengidentifikasi manfaat (*benefit*) yang diperoleh.
- Menghitung Benefit Cost Rasio (BCR) dengan membandingkan total manfaat terhadap total biaya.
- Melakukan intepretasi hasil:
 - Jika $BCR > 1$, maka alternatif layak diterapkan
 - Jika $BCR \leq 1$, maka alternatif tidak layak

Output: nilai BCR dan rekomendasi kelayakan alternatifid pengendalian.

13. Analisis Hasil Dan Pembahasan

Melakukan analisis hasil dan pembahasan terkait hasil dari penelitian dan pengolahan data yang telah dilakukan.

14. Kesimpulan

Kesimpulan dibuat untuk menjawab rumusan masalah, serta merangkum hasil penelitian berdasarkan kombinasi metode HIRADC, FTA, AHP dan CBA dalam menilai serta memprioritaskan pengendalian risiko.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Profil Laboratorium

Laboratorium kualitas air teknik lingkungan universitas islam Indonesia merupakan fasilitas penunjang akademik yang berfungsi sebagai sarana pendidikan. Laboratorium Kualitas Air mempelajari karakteristik serta tingkat pencemaran air melalui pemeriksaan dan analisis laboratorium terhadap sampel air dari berbagai sumber lingkungan. Bidang kajian ini mencakup analisis parameter fisik, kimia, dan biologi air, seperti kekeruhan, pH, BOD, COD, nutrien, serta mikroorganisme indikator pencemaran. Laboratorium Kualitas Air merupakan salah satu laboratorium di bawah Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia (UII) yang berperan dalam mendukung visi dan misi Program Studi serta Fakultas dalam pengembangan keilmuan dan penerapan teknologi lingkungan yang berkelanjutan.

4.2 Proses Praktikum

Kegiatan praktikum dilaksanakan sebagai bagian dari proses pengumpulan data guna memperoleh pemahaman langsung terkait potensi bahaya dan risiko yang dapat muncul selama aktivitas di laboratorium. Praktikum ini bertujuan untuk mengidentifikasi setiap tahapan kerja yang memiliki tingkat risiko tinggi sehingga dapat dilakukan penilaian risiko menggunakan metode HIRADC dan AHP. Melalui pengamatan langsung terhadap alur kerja dan kondisi aktual di laboratorium, diharapkan kegiatan ini mampu memberikan gambaran nyata mengenai proses identifikasi bahaya serta penentuan upaya pengendalian risiko yang sesuai. Selama pelaksanaan praktikum, proses identifikasi tahapan kerja didampingi oleh laboran Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan UII, Tasyono, S.T. Berikut merupakan tahapan praktikum analisis kualitas air di Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan UII:

1. Sampel 10 mL dimasukkan kedalam erlenmeyer A, kemudia tambahkan 10 mL HCL 0,1 N dan mengamati reaksi yang terjadi. Pada langkah ini, alat yang digunakan yaitu, pipet, labu erlenmeyer, dan pompa pipet.
2. Menambahkan H₂O 30 mL kemudian dipanaskan sampai mendidih selama 10 menit, lalu bagi larutan menjadi dua.

3. Larutan dalam erlenmeyer A yang telah dibagi dua disaring menggunakan kertas saring, lalu filtrat yang diperoleh kumpulkan dan disimpan dalam erlenmeyer B.
4. Erlenmeyer B dibagi dua, kemudian dituang dalam tabung reaksi A dan tabung reaksi B masing-masing 5 sampai 10 mL.
5. Tabung reaksi A tambahkan $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0,1 M tetes, setiap tetesnya amati perubahannya sehingga jika terjadi endapan kuning maka hasil menunjukkan positif Pb.
6. Tabung reaksi B ditambahkan H_2SO_4 0,1 M beberapa tetes, dan amati reaksi yang terjadi.
7. Kertas saring diberikan beberapa tetes KOH dan MnSO_4 sehingga akan terbentuk noda coklat dari Mn_2O_3 yang dikelilingi warna hitam dari endapan Ag.

4.3 Pengumpulan Data

Pada tahap pengumpulan data ini diuraikan tahapan serta mekanisme pengolahan data yang diperoleh dari hasil identifikasi bahaya yang telah dilakukan sebelumnya. Pengolahan data difokuskan pada kegiatan penilaian risiko ulang terhadap potensi bahaya yang terdapat di lingkungan laboratorium Kualitas Air, serta menentukan tingkat risikonya berdasarkan parameter yang telah ditetapkan. Dalam proses penilaian risiko, penulis mendapatkan pendampingan dari Laboran Kualitas Air, Bapak Tasyono, S.T.

4.3.1 Data Kecelakaan

Kecelakaan kerja di Laboratorium Kualitas Air sebagian besar dipicu oleh faktor manusia (*human error*), yang umumnya berkaitan dengan kurangnya kewaspadaan selama pelaksanaan kegiatan praktikum serta kelalaian dalam penggunaan APD. Kondisi ini menunjukkan bahwa penerapan prosedur keselamatan kerja belum sepenuhnya konsisten, sehingga masih berpotensi menimbulkan kecelakaan kerja. Berikut ini merupakan data kecelakaan kerja di Laboratorium Kualitas Air.

Tabel 4. 1 Data Kecelakaan

Klasifikasi	Tipe Insiden	Orang Terlibat	Lokasi Kejadian	Data Peralatan	Penyebab			
					Langsung		Dasar	
					Tindakan tidak aman	Kondisi tidak aman	Faktor pribadi	Faktor pekerjaan
Kecelakaan Minor	Terkena pecahan gelas	Mahasiswa	Lab. Kualitas Air	Gelas Reaksi	Kurang Hati-Hati	-	Tidak Fokus	-
Kecelakaan Kimia	Terkena Larutan Asam	Mahasiswa	Lab. Kualitas Air	Gelas Larutan	Kurang Hati-Hati	-	Tidak Fokus	-

Berdasarkan data kecelakaan kerja di Laboratorium Kualitas Air Program Studi Teknik Lingkungan, terdapat dua jenis kecelakaan yang terjadi dan keduanya dipicu oleh faktor kesalahan manusia. Salah satu kecelakaan yang ditemukan adalah cedera akibat pecahan alat gelas yang digunakan dalam kegiatan pengujian kualitas air. Kejadian tersebut umumnya disebabkan oleh kurangnya kehati-hatian serta ketidakpatuhan dalam penggunaan APD, khususnya sarung tangan, sehingga menimbulkan dampak berupa luka gores dan potensi terjadinya infeksi.

Selain itu, kecelakaan lain yang tergolong lebih serius adalah paparan larutan asam pada saat mahasiswa melakukan proses pemindahan larutan dalam kegiatan pengujian air. Kecelakaan ini terjadi akibat kurangnya fokus saat bekerja serta tidak digunakannya APD secara lengkap, seperti sarung tangan, kacamata pelindung, dan masker. Paparan larutan asam tersebut berpotensi menyebabkan iritasi hingga kerusakan jaringan apabila tidak ditangani dengan baik.

4.3.2 Hazard Identification Risk Assessment and Risk Control (HIRARC)

Hazard Identification Risk Assessment and Risk Control (HIRARC) merupakan metode sistematis yang digunakan untuk mengidentifikasi potensi bahaya serta menilai tingkat risiko yang mungkin timbul dari aktivitas pekerjaan. Tujuan utama penerapan metode ini

adalah untuk menilai potensi risiko kecelakaan kerja (Zein & Jufriyanto, 2022). Berikut merupakan penilaian risiko bahaya pada laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan:

Tabel 4. 2 *Hazard Identification Risk Assesment and Risk Control (HIRARC)*

No.	Proses	Identifikasi Bahaya	Risiko
Air terciprat saat			
1	Pengambilan dan pemasukan air	pengambilan sampel di area yang terkontaminasi zat berbahaya	Infeksi bakteri atau virus biologis
Terkena larutan kimia saat			
2	Pengukuran PH	menuangkan larutan ke gelas ukur	Iritasi kulit dan mata
Penggunaan alat yang			
3	Penggunaan alat analisis kimia	kurang tepat menyebabkan gelas ukur pecah	Luka akibat pecahan gelas ukur
Terhirup uap bahan kimia saat memasukkan ke dalam wadah			
4	Pemasukan bahan kimia (misal amonia dan nitrat)		Iritasi saluran pernapasan, iritasi kulit, hingga luka bakar ringan atau serius
5	Pengujian mikrobiologi air	Terpapar bakteri patogen saat memproses sampel air	Infeksi bakteri patogen
Menatap layar komputer atau mikroskop			
6	Meneliti bakteri		Kelelahan mata, sakit kepala, nyeri leher dan bahu, serta penurunan konsentrasi kerja
Terpapar limbah kimia atau biologis saat pengumpulan limbah			
7	Pengumpulan limbah laboratorium		Iritasi kulit dan gangguan kesehatan akibat paparan limbah

4.4 Pengolahan Data

4.4.1 Penentuan Tindakan Pencegahan Menggunakan Metode HIRADC

Tabel 4. 3 *Hazard Identification and Determining Control* (HIRADC)

No	Potensi Bahaya	Risiko	Likelihood	Consequence	Risk	Risk Control
1	Air terciprat saat pengambilan sampel di area yang terkontaminasi zat berbahaya	Infeksi bakteri atau virus biologis	1	1	Rendah	a. Eliminasi: Menghilangkan proses pengambilan sampel manual. b. Substitusi: Melakukan pengambilan sampel menggunakan peralatan tertutup untuk membatasi kontak langsung dengan sumber paparan biologis. Al et al. (2025). c. Rekayasa teknologi: Menerapkan sistem ventilasi dan <i>exhaust</i> yang memadai serta penggunaan

No	Potensi Bahaya	Risiko	Likelihood	Consequence	Risk	Risk Control
						alat sampling tertutup untuk mencegah terbentuknya aerosol biologis. Ernada et al. (2023). d. Administratif: Menerapkan SOP pengambilan sampel serta pelatihan K3. e. Alat Pelindung Diri (APD): Menggunakan sarung tangan, masker, dan jas laboratorium sesuai standar operasional.
2	Terkena larutan kimia saat menuangkan larutan ke gelas ukur	Iritasi kulit dan mata	1	1	Rendah	a. Eliminasi: Menghilangkan metode pengukuran menuangkan larutan kimia secara manual dengan

No	Potensi Bahaya	Risiko	Likelihood	Consequence	Risk	Risk Control
						penggunaan pH meter digital untuk mengurangi kontak langsung dengan larutan asam dan basa. b. Substitusi: Mengganti penggunaan bahan kimia kuat dengan memanfaatkan larutan preparat siap pakai yang relatif lebih aman. Fakhruddin (2025). c. Rekayasa teknologi: Menyediakan ventilasi lokal dan lemari asam (<i>fume hood</i>) pada area kerja kimia untuk mengendalikan

No	Potensi Bahaya	Risiko	Likelihood	Consequence	Risk	Risk Control
						paparan uap kimia. Aldio et al. (2022). d. Administratif: Melakukan proses pencampuran bahan secara perlahan sesuai SOP. e. Alat Pelindung Diri (APD): Kewajiban penggunaan kaca mata pelindung (<i>goggles</i>), sarung tangan tahan kimia, dan jas laboratorium selama kegiatan pengukuran pH. Kiara Ayu Listiani (2025) .
3	Penggunaan alat yang kurang tepat menyebabkan	Luka akibat pecahan gelas ukur	3	2	Sedang	a. Eliminasi: Mengeluarkan peralatan yang rusak atau retak

No	Potensi Bahaya	Risiko	Likelihood	Consequence	Risk	Risk Control
	gelas ukur pecah					dari inventaris laboratorium sebagai upaya menghilangkan sumber bahaya fisik. F. Pratama et al. (2022). b. Substitusi: Menggunakan alat ukur berbahan plastik tahan panas sebagai pengganti gelas ukur. Nur et al. (2023). c. Rekayasa teknologi: Mengatur tata letak rak dan meja kerja secara ergonomis untuk mencegah jatuh atau terbenturnya peralatan laboratorium.

No	Potensi Bahaya	Risiko	Likelihood	Consequence	Risk	Risk Control
						d. Administratif: Melaksanakan inspeksi alat secara berkala serta pelatihan penggunaan alat yang aman bagi pengguna laboratorium. e. Alat Pelindung Diri (APD): Menggunakan sarung tangan kerja dan sepatu tertutup sebagai perlindungan dari risiko luka akibat pecahan alat. F. Pratama et al. (2022).
4	Terhirup uap bahan kimia saat memasukkan ke dalam wadah	Iritasi saluran pernapasan, iritasi kulit, hingga luka bakar ringan atau serius	3	2	Sedang	a. Eliminasi: Membebaskan area kerja melalui pembatasan akses area kerja. Suryana et al. (2025).

No	Potensi Bahaya	Risiko	Likelihood	Consequence	Risk	Risk Control
						b. Substitusi: Mengganti bahan kimia yang lebih aman. Suryana et al. (2025). c. Rekayasa teknologi: Menggunakan lemari asam (<i>fume hood</i>) untuk mengendalikan paparan uap bahan kimia. Herliana (2024). d. Administratif: Memahami karakteristik bahan kimia melalui SOP Herliana (2024). e. Alat Pelindung Diri (APD): Menggunakan APD lengkap selama praktikum

No	Potensi Bahaya	Risiko	Likelihood	Consequence	Risk	Risk Control
						Herliana (2024).
5	Paparan bakteri patogen saat memproses sampel air	Infeksi bakteri patogen	1	1	Rendah	a. Eliminasi: Menghilangkan kontak langsung dengan sampel air dengan menggunakan data hasil uji sebelumnya. b. Substitusi: Menggunakan bakteri non-patogen untuk aktivitas praktikum. Rakhman & Nasri (2021). c. Rekayasa teknologi: Pemanfaatan <i>biosafety</i> cabinet saat menangani sampel. Rakhman & Nasri (2021). d. Administratif: Membatasi

No	Potensi Bahaya	Risiko	Likelihood	Consequence	Risk	Risk Control
						akses area kerja sesuai tingkat biosafety level. Rakhman & Nasri (2021). e. Alat Pelindung Diri (APD): Penggunaan sarung tangan, masker atau respirator, <i>goggles</i>, dan jas laboratorium.
6	Menatap layar komputer dan lensa mikroskop dalam waktu lama	Kelelahan mata, sakit kepala, nyeri leher dan bahu, serta penurunan konsentrasi kerja	3	3	Tinggi	a. Eliminasi: Menghilangkan paparan berlebih terhadap aktivitas pengamatan. Pucker et al. (2024). b. Substitusi: Mengganti sistem pengamatan ke mikroskop digital. Merlina et al. (2021).

No	Potensi Bahaya	Risiko	Likelihood	Consequence	Risk	Risk Control
						c. Rekayasa teknologi: Menata kursi, meja, dan pencahayaan laboratorium secara ergonomis serta menggunakan peralatan <i>adjustable</i>. Hakim et al. (2023). d. Administratif: Mengatur jadwal istirahat berkala serta pelatihan ergonomi kerja bagi pengguna laboratorium. e. Alat Pelindung Diri (APD): Menggunakan APD seperti <i>safety Glasses</i> untuk melindungi mata.

No	Potensi Bahaya	Risiko	Likelihood	Consequence	Risk	Risk Control
7	Paparan limbah kimia atau biologis saat pengumpulan limbah	Gangguan kesehatan (iritasi kulit, gangguan pernapasan)	4	2	Tinggi	a. Eliminasi: Menghilangkan kontak langsung melalui sistem pengaliran limbah otomatis atau tertutup. Maulidiya et al. (2026). b. Substitusi: Mengganti bahan kimia yang lebih aman. Suryana et al. (2025). c. Rekayasa teknologi: Menyediakan sistem penampungan limbah tertutup, ventilasi area khusus, serta pelabelan bahaya yang Jelas.

No	Potensi Bahaya	Risiko	Likelihood	Consequence	Risk	Risk Control
						Nurulasyrof et al. (2023). d. Administratif: Menerapkan SOP pengelolaan limbah, penjadwalan pengambilan limbah, dan pelatihan. e. Alat Pelindung Diri (APD): Menggunakan sarung tangan tahan bahan berbahaya, goggles, dan masker.

4.4.2 Fault Tree Analysis (FTA)

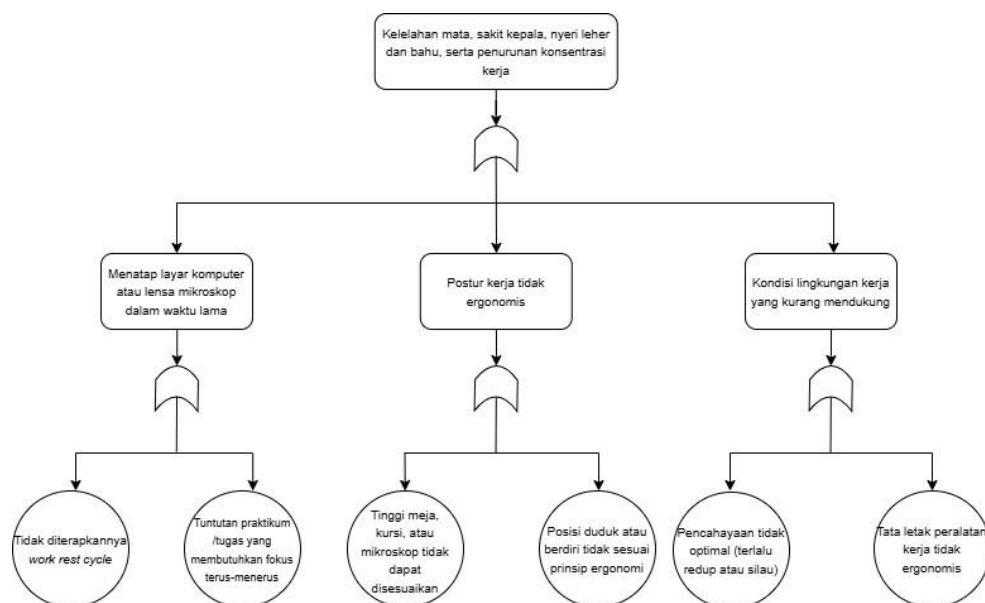
Berdasarkan penilaian dan pengendalian risiko yang telah dilakukan menggunakan metode HIRADC pada setiap tahapan aktivitas kerja diperoleh tingkat risiko untuk masing-masing potensi bahaya yang ada. Potensi bahaya dengan tingkat risiko tertinggi, khususnya yang termasuk dalam kategori *high*, selanjutnya dianalisis lebih lanjut menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). *Fault Tree Analysis* (FTA) digunakan untuk menggambarkan keterkaitan antara berbagai faktor penyebab yang disusun dalam bentuk struktur pohon kesalahan. Metode analisis pohon kesalahan ini merupakan salah satu pendekatan yang efektif untuk mengidentifikasi dan menganalisis akar penyebab

terjadinya kecelakaan kerja maupun kegagalan dalam suatu aktivitas kerja. Wicaksono et al. (2022).

Berdasarkan tabel 4.3 diketahui bahwa hasil penilaian risiko yang didapatkan yaitu terdapat 2 potensi bahaya pada aktivitas praktikum yang memiliki tingkat risiko pada tingkatan *high* yaitu 1) Menatap layar komputer atau lensa mikroskop dalam waktu lama, 2) Terpapar limbah kimia atau biologis saat pengumpulan limbah. Berikut merupakan analisis 2 potensi bahaya dengan tingkatan *high* menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA).

4.4.2.1 FTA Potensi Bahaya Menatap Layar Komputer Atau Lensa Mikroskop Dalam Waktu Lama

Berikut merupakan diagram *Fault Tree Analysis* untuk potensi bahaya menatap layar komputer atau lensa mikroskop dalam waktu lama:



Gambar 4. 1 *Fault Tree Analysis* Potensi Bahaya menatap layar komputer atau lensa mikroskop dalam waktu lama

Berdasarkan diagram *Fault Tree Analysis* (FTA) pada Gambar 4.1, terdapat beberapa event beserta penjelasannya dalam tabel berikut ini:

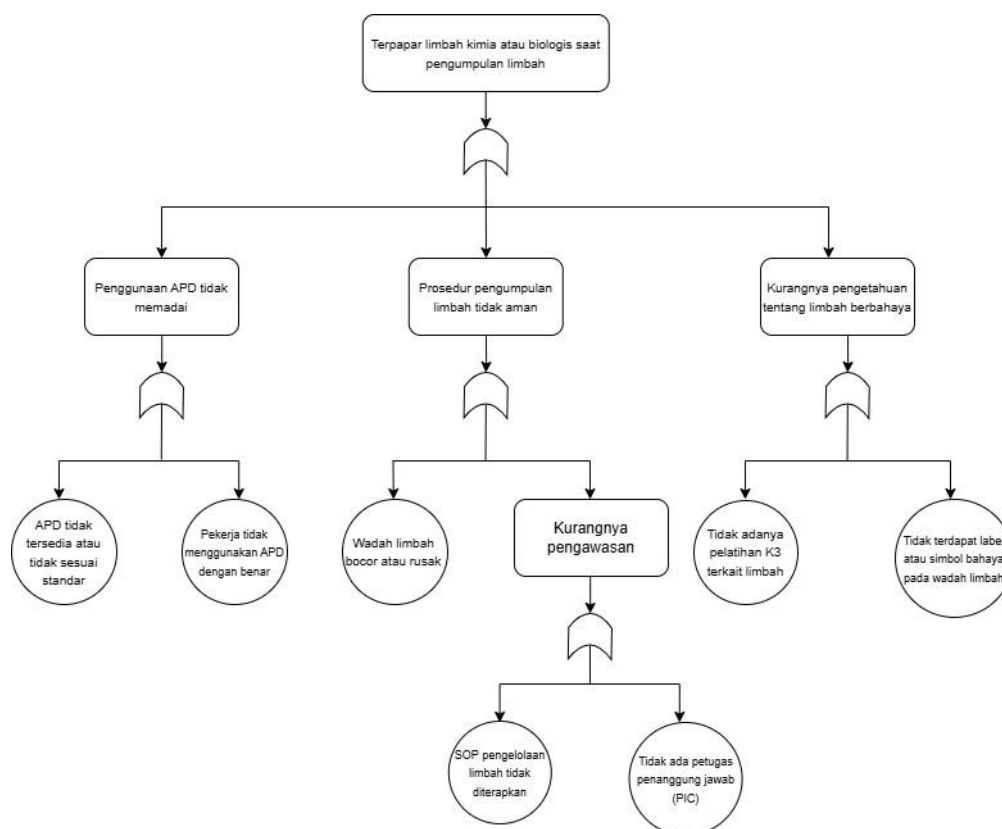
Tabel 4. 4 Penjelasan *event* FTA menatap layar komputer atau lensa mikroskop dalam waktu lama

No	<i>Event 1</i>	<i>Basic Event</i>
1.	Menatap layar komputer atau lensa mikroskop dalam waktu lama	Tidak diterapkannya <i>work rest cycle</i>
		Tuntutan praktikum/tugas yang membutuhkan fokus terus-menerus
2.	Postur kerja tidak ergonomis	Tinggi meja, kursi, atau mikroskop tidak dapat disesuaikan
		Posisi duduk atau berdiri tidak sesuai prinsip ergonomi
3.	Kondisi lingkungan kerja yang kurang mendukung	Pencahayaan tidak optimal (terlalu redup atau silau)
		Tata letak peralatan kerja tidak ergonomis

Berdasarkan tabel FTA tersebut, diketahui terdapat beberapa basic event yang menyebabkan top event kelelahan mata, sakit kepala, nyeri leher dan bahu pada aktivitas praktikum. Basic event tersebut meliputi durasi penggunaan layar komputer atau lensa mikroskop yang terlalu lama tanpa jeda istirahat, posisi kerja yang tidak ergonomis, pencahayaan yang tidak optimal, tata letak peralatan kerja yang kurang ergonomis, serta tidak diterapkannya pengaturan *work rest cycle*. Kombinasi dari *basic event* tersebut dapat meningkatkan risiko terjadinya gangguan kesehatan bagi mahasiswa selama aktivitas praktikum.

4.4.2.2 FTA Potensi Bahaya Terpapar Limbah Kimia Atau Biologis Saat Pengumpulan Limbah

Berikut merupakan diagram *Fault Tree Analysis* untuk potensi bahaya terpapar limbah kimia atau biologis saat pengumpulan limbah:



Gambar 4. 2 *Fault Tree Analysis* Terpapar limbah kimia atau biologi saat pengumpulan limbah

Berdasarkan diagram *Fault Tree Analysis* (FTA) pada Gambar 4.2, terdapat beberapa event beserta penjelasannya dalam tabel berikut ini:

Tabel 4. 5 Penjelasan *event* FTA Terpapar limbah kimia atau biologi saat pengumpulan limbah

No	Event 1	Event 2	Basic Event
1.	Penggunaan APD tidak memadai	-	APD tidak tersedia atau tidak sesuai standar Pekerja tidak menggunakan APD dengan benar
2.	Prosedur pengumpulan limbah tidak aman	-	Wadah limbah bocor atau rusak
	-	Kurangnya pengawasan	SOP pengelolaan limbah tidak diterapkan

No	Event 1	Event 2	Basic Event
			Tidak ada petugas penanggung jawab (PIC)
	Kurangnya	-	Tidak adanya pelatihan K3 terkait limbah
3.	pengetahuan tentang limbah berbahaya	-	Tidak terdapat label atau simbol bahaya pada wadah limbah

Berdasarkan tabel FTA, diketahui terdapat beberapa *basic event* yang menyebabkan top event terpapar limbah kimia atau biologis saat pengumpulan limbah. Basic event yang teridentifikasi antara lain tidak menggunakan APD secara lengkap, prosedur pengumpulan limbah yang tidak sesuai SOP, kurangnya pengetahuan terkait bahaya limbah kimia dan biologis, wadah limbah yang tidak tertutup rapat atau bocor, serta tidak adanya pengawasan saat proses pengumpulan limbah. Basic event tersebut saling berkaitan dan berpotensi menyebabkan terjadinya paparan limbah yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan.

4.4.3 Rekomendasi Pengendalian Risiko

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) diperoleh beberapa akar penyebab (*root cause*) yang berperan terhadap terjadinya risiko kelelahan kerja pada aktivitas menatap layar komputer dan mikroskop, serta risiko paparan limbah kimia maupun biologis saat proses pengumpulan limbah. Akar penyebab tersebut meliputi faktor teknis, perilaku kerja, hingga aspek manajerial yang saling berkaitan dalam meningkatkan kemungkinan terjadinya risiko. Berdasarkan pada hasil analisis tersebut, pengendalian risiko disusun berdasarkan prinsip hierarki pengendalian yang bersifat paling efektif. Berikut merupakan rincian pengendalian risiko pada Tabel 4.6 berikut:

Tabel 4. 6 Pengendalian Risiko

No	Potensi Bahaya	Eliminasi	Substitusi	Engineering Control	Administratif	Alat Pelindung (Diri)
1	Menatap layar komputer atau lensa mikroskop dalam waktu lama		Mengganti sistem pengamatan ke mikroskop Digital. Merlina et al. (2021).	Menata kursi, meja, dan pencahayaan laboratorium secara ergonomis serta peralatan yang <i>Adjustable</i> . Hakim et al. (2023).	-	-
2	Terpapar limbah kimia atau biologi saat pengumpulan limbah	Menghilangkan kontak langsung melalui sistem pengaliran limbah otomatis atau Tertutup. Maulidiya et al. (2026).	-	Menyediakan sistem penampungan limbah tertutup, ventilasi area khusus, serta pelabelan bahaya yang Jelas. Nurulasyrof et al. (2023).	-	-

4.5 AHP

Pengambilan Keputusan dilakukan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Metode AHP digunakan untuk menentukan bobot pada setiap kriteria. Metode ini

mampu memberikan hasil yang lebih konsisten serta menghasilkan output berupa urutan ranking dari setiap alternatif yang ada. Rahmadani et al. (2023).

4.5.1 Pengumpulan Data Awal AHP

Pengambilan keputusan dalam penelitian ini didasarkan pada data yang diperoleh melalui proses wawancara dengan kegiatan *Focus Group Discussion* (FGD) yang dilakukan bersama Laboran sebagai sumber utama dalam penilaian AHP. Data tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam menentukan prioritas dan pembobotan setiap kriteria serta alternatif. Berikut merupakan tahapan pengambilan keputusan untuk solusi alternatif penelitian ini:

1. Kuesioner Perbandingan antar-kriteria

Berikut merupakan kuesioner yang diisi berdasarkan wawancara dan *focus Group Discussion* di Laboratorium Kualitas Air Teknik Lingkungan:

PERBANDINGAN ANTAR KRITERIA																		
No	Kriteria	Skala										Kriteria						
1	Tingkat Efektivitas	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Tingkat Efektivitas	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Tingkat Efektivitas	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	Tingkat Efektivitas	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Biaya Implementasi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	Biaya Implementasi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	Biaya Implementasi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	Kemudahan Implementasi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
9	Kemudahan Implementasi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	Manajemen/Pic	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PERBANDINGAN ANTAR SUB KRITERIA																		
No	Sub Kriteria (Biaya Implementasi)	Skala										Sub Kriteria (Biaya Implementasi)						
1	Biaya Awal	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Biaya Awal	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Biaya Pemeliharaan dan Perawatan	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PERBANDINGAN ANTAR SUB KRITERIA																		
No	Sub Kriteria (Kemudahan Implementasi)	Skala										Sub Kriteria (Kemudahan Implementasi)						
1	Ketersediaan Sumber Daya	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Ketersediaan Sumber Daya	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Waktu yang Dibutuhkan	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PERBANDINGAN ANTAR SUB KRITERIA																		
No	Sub Kriteria (Manajemen/PIC)	Skala										Sub Kriteria (Manajemen/PIC)						
1	Kelajelasan PIC	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Kelajelasan PIC	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Monitoring	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PERBANDINGAN ANTAR SUB KRITERIA																		
No	Sub Kriteria (Tingkat Efektivitas)	Skala										Sub Kriteria (Tingkat Efektivitas)						
1	Pengaruh Kecepatan Kerja	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Pengaruh Kecepatan Kerja	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Pengaruh Akurasi dan Hasil Kerja	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PERBANDINGAN ALTERNATIF TERHADAP KRITERIA																		
No	Sub Kriteria (Kesesuaian dengan Regulasi)	Skala										Sub Kriteria (Kesesuaian dengan Regulasi)						
1	Penggunaan APD Lengkap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Penggunaan APD Lengkap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Pelatihan K3 Berkala	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PERBANDINGAN ALTERNATIF TERHADAP SUB KRITERIA																		
No	Sub Kriteria (Biaya Awal)	Skala										Sub Kriteria (Biaya Awal)						
1	Penggunaan APD Lengkap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Penggunaan APD Lengkap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Pelatihan K3 Berkala	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PERBANDINGAN ALTERNATIF TERHADAP SUB KRITERIA																		
No	Sub Kriteria (Biaya Pemeliharaan dan Perawatan)	Skala										Sub Kriteria (Biaya Pemeliharaan dan Perawatan)						
1	Penggunaan APD Lengkap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Penggunaan APD Lengkap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Pelatihan K3 Berkala	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PERBANDINGAN ALTERNATIF TERHADAP SUB KRITERIA																		
No	Sub Kriteria (Biaya Pelatihan dan Edukasi)	Skala										Sub Kriteria (Biaya Pelatihan dan Edukasi)						
1	Penggunaan APD Lengkap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Penggunaan APD Lengkap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Pelatihan K3 Berkala	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PERBANDINGAN ALTERNATIF TERHADAP SUB KRITERIA																		
No	Sub Kriteria (Ketersediaan Sumber Daya)	Skala										Sub Kriteria (Ketersediaan Sumber Daya)						
1	Penggunaan APD Lengkap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Penggunaan APD Lengkap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Pelatihan K3 Berkala	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PERBANDINGAN ALTERNATIF TERHADAP SUB KRITERIA																		
No	Sub Kriteria (Waktu yang Dibutuhkan)	Skala										Sub Kriteria (Waktu yang Dibutuhkan)						
1	Penggunaan APD Lengkap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Penggunaan APD Lengkap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Pelatihan K3 Berkala	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
PERBANDINGAN ALTERNATIF TERHADAP SUB KRITERIA																		
No	Sub Kriteria (Kemampuan Pekerja)	Skala										Sub Kriteria (Kemampuan Pekerja)						
1	Penggunaan APD Lengkap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Penggunaan APD Lengkap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Pelatihan K3 Berkala	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9

		PERBANDINGAN ALTERNATIF TERHADAP SUB KRITERIA																	
No	Sub Kriteria (Kajelasan PIC)	Skala																Sub Kriteria (Kajelasan PIC)	
1	Penggunaan APD Lengkap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pelatihan K3 Berkala
2	Penggunaan APD Lengkap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pencarian Alternatif Bahan Kimia Yang Lebih Aman
3	Pelatihan K3 Berkala	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pencarian Alternatif Bahan Kimia Yang Lebih Aman

		PERBANDINGAN ALTERNATIF TERHADAP SUB KRITERIA																	
No	Sub Kriteria (Monitoring)	Skala																Sub Kriteria (Monitoring)	
1	Penggunaan APD Lengkap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pelatihan K3 Berkala
2	Penggunaan APD Lengkap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pencarian Alternatif Bahan Kimia Yang Lebih Aman
3	Pelatihan K3 Berkala	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pencarian Alternatif Bahan Kimia Yang Lebih Aman

		PERBANDINGAN ALTERNATIF TERHADAP SUB KRITERIA																	
No	Sub Kriteria (Dukungan Manajemen)	Skala																Sub Kriteria (Dukungan Manajemen)	
1	Penggunaan APD Lengkap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pelatihan K3 Berkala
2	Penggunaan APD Lengkap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pencarian Alternatif Bahan Kimia Yang Lebih Aman
3	Pelatihan K3 Berkala	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pencarian Alternatif Bahan Kimia Yang Lebih Aman

		PERBANDINGAN ALTERNATIF TERHADAP SUB KRITERIA																	
No	Sub Kriteria (Pengaruh Kecepatan Kerja)	Skala																Sub Kriteria (Pengaruh Kecepatan Kerja)	
1	Penggunaan APD Lengkap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pelatihan K3 Berkala
2	Penggunaan APD Lengkap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pencarian Alternatif Bahan Kimia Yang Lebih Aman
3	Pelatihan K3 Berkala	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pencarian Alternatif Bahan Kimia Yang Lebih Aman

		PERBANDINGAN ALTERNATIF TERHADAP SUB KRITERIA																	
No	Sub Kriteria (Pengaruh Akurasi dan Hasil Kerja)	Skala																Sub Kriteria (Pengaruh Akurasi dan Hasil Kerja)	
1	Penggunaan APD Lengkap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pelatihan K3 Berkala
2	Penggunaan APD Lengkap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pencarian Alternatif Bahan Kimia Yang Lebih Aman
3	Pelatihan K3 Berkala	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pencarian Alternatif Bahan Kimia Yang Lebih Aman

		PERBANDINGAN ALTERNATIF TERHADAP SUB KRITERIA																	
No	Sub Kriteria (Pengaruh Kenyamanan dan Keselamatan Kerja)	Skala																Sub Kriteria (Pengaruh Kenyamanan dan Keselamatan Kerja)	
1	Penggunaan APD Lengkap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pelatihan K3 Berkala
2	Penggunaan APD Lengkap	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pencarian Alternatif Bahan Kimia Yang Lebih Aman
3	Pelatihan K3 Berkala	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Pencarian Alternatif Bahan Kimia Yang Lebih Aman

Gambar 4. 3 Kuesioner Pembobotan AHP

4.5.2 Pembobotan dan Uji Konsistensi

Setelah kuesioner pembobotan antar kriteria, subkriteria, dan alternatif selesai diisi, tahap berikutnya adalah melakukan pengujian konsistensi terhadap matriks perbandingan yang ditampilkan pada Gambar 4.4. suatu hasil perhitungan dinyatakan konsisten apabila nilai *consistency ratio* (CR) yang diperoleh < 0.1 atau 10%. Berikut merupakan hasil perhitungan uji konsistensi yang telah dilakukan:

Matriks dan Uji Konsistensi Kriteria															
Kriteria	Tingkat Efektivitas	Biaya Implementasi	Keandalan Implementasi	Manajemen PIC	Keandalan dengan Replasi	Tingkat Efektivitas	Biaya Implementasi	Keandalan Implementasi	Manajemen PIC	Keandalan dengan Replasi	Tingkat Efektivitas	Biaya Implementasi	Keandalan Implementasi	Manajemen PIC	Keandalan dengan Replasi
Tingkat Efektivitas	1	1/3	1/2	1/3	1	0.1081	0.0100	0.1875	0.0800	0.2020	0.1544	0.1113	0.4702	0.1000	0.1000
Biaya Implementasi	3	1	1/3	1/3	3	0.2243	0.1100	0.1250	0.2000	0.2500	0.4501	0.1900	0.0443	0.4800	0.4800
Keandalan Implementasi	2	3	1	1	2	0.1462	0.4500	0.1750	0.2000	0.2500	0.1520	0.2504	0.2410	0.4702	0.4702
Manajemen PIC	3	3	3	1	3	0.2243	0.3000	0.1875	0.2000	0.2500	0.2828	0.2181	0.4210	0.5389	0.5389
Keandalan dengan Replasi	1	1	1	1	1	0.0770	0.0100	0.1250	0.0800	0.0700	0.1300	0.0718	0.2703	0.2703	0.2703
Total	0.25	0.06666667	0.06666667	0.06666667	0.25	0.0770	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.34718	0.26703	0.26703	0.26703

Matriks dan Uji Konsistensi Kriteria Terhadap Kriteria															
Biaya Implementasi	Biaya Awal	Biaya Pemeliharaan	Biaya Pemeliharaan dan Edukasi	Biaya Awal	Biaya Pemeliharaan	Biaya Pemeliharaan dan Edukasi	Tingkat Efektivitas	Biaya Implementasi	Keandalan Implementasi	Manajemen PIC	Keandalan dengan Replasi	Tingkat Efektivitas	Biaya Implementasi	Keandalan Implementasi	Manajemen PIC
Biaya Awal	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	0.1081	0.0100	0.1875	0.0800	0.2020	0.1544	0.1113	0.4702	0.1000
Biaya Pemeliharaan	3	1	1/3	3	1	1/3	0.2243	0.1100	0.1250	0.2000	0.2500	0.4501	0.1900	0.0443	0.4800
Biaya Pemeliharaan dan Edukasi	3	3	1	3	3	1	0.2243	0.3000	0.1875	0.2000	0.2500	0.2828	0.2181	0.4210	0.5389
Total	0.25	0.06666667	0.06666667	0.25	0.06666667	0.06666667	0.0770	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.34718	0.26703	0.26703

Matriks dan Uji Konsistensi Kriteria Terhadap Kriteria															
Keandalan Implementasi	Keandalan Standar Daya	Waktu yang Dibutuhkan	Kemampuan Pemakai	Keandalan Standar Daya	Waktu yang Dibutuhkan	Kemampuan Pemakai	Tingkat Efektivitas	Biaya Implementasi	Keandalan Implementasi	Manajemen PIC	Keandalan dengan Replasi	Tingkat Efektivitas	Biaya Implementasi	Keandalan Implementasi	Manajemen PIC
Keandalan Standar Daya	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	0.1081	0.0100	0.1875	0.0800	0.2020	0.1544	0.1113	0.4702	0.1000
Waktu yang Dibutuhkan	3	1	1/3	3	1	1/3	0.2243	0.1100	0.1250	0.2000	0.2500	0.4501	0.1900	0.0443	0.4800
Kemampuan Pemakai	3	3	1	3	3	1	0.2243	0.3000	0.1875	0.2000	0.2500	0.2828	0.2181	0.4210	0.5389
Total	0.25	0.06666667	0.06666667	0.25	0.06666667	0.06666667	0.0770	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.34718	0.26703	0.26703

Matriks dan Uji Konsistensi Kriteria Terhadap Kriteria															
Manajemen PIC	Kepuasan PIC	Monitoring	Dukungan Manajemen	Kepuasan PIC	Monitoring	Dukungan Manajemen	Tingkat Efektivitas	Biaya Implementasi	Keandalan Implementasi	Manajemen PIC	Keandalan dengan Replasi	Tingkat Efektivitas	Biaya Implementasi	Keandalan Implementasi	Manajemen PIC
Kepuasan PIC	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	0.1081	0.0100	0.1875	0.0800	0.2020	0.1544	0.1113	0.4702	0.1000
Monitoring	3	1	1/3	3	1	1/3	0.2243	0.1100	0.1250	0.2000	0.2500	0.4501	0.1900	0.0443	0.4800
Dukungan Manajemen	3	3	1	3	3	1	0.2243	0.3000	0.1875	0.2000	0.2500	0.2828	0.2181	0.4210	0.5389
Total	0.25	0.06666667	0.06666667	0.25	0.06666667	0.06666667	0.0770	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.34718	0.26703	0.26703

Matriks dan Uji Konsistensi Kriteria Terhadap Kriteria															
Tingkat Efektivitas	Pengaruh Kecepatan Kerja	Pengaruh Akurasi dan Hasil Kerja	Pengaruh Kenyamanan dan Keselamatan Kerja	Pengaruh Kecepatan Kerja	Pengaruh Akurasi dan Hasil Kerja	Pengaruh Kenyamanan dan Keselamatan Kerja	Tingkat Efektivitas	Biaya Implementasi	Keandalan Implementasi	Manajemen PIC	Keandalan dengan Replasi	Tingkat Efektivitas	Biaya Implementasi	Keandalan Implementasi	Manajemen PIC
Pengaruh Kecepatan Kerja	1	1/3	1/3	1	1/3	1/3	0.1081	0.0100	0.1875	0.0800	0.2020	0.1544	0.1113	0.4702	0.1000
Pengaruh Akurasi dan Hasil Kerja	3	1	1/3	3	1	1/3	0.2243	0.1100	0.1250	0.2000	0.2500	0.4501	0.1900	0.0443	0.4800
Pengaruh Kenyamanan dan Keselamatan Kerja	3	3	1	3	3	1	0.2243	0.3000	0.1875	0.2000	0.2500	0.2828	0.2181	0.4210	0.5389
Total	0.25	0.06666667	0.06666667	0.25	0.06666667	0.06666667	0.0770	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.34718	0.26703	0.26703

Gambar 4. 4 Nilai Consistency Ratio (CR)

4.5.3 Uji Konsistensi Alternatif

Uji konsistensi alternatif dilakukan dengan tujuan yang sama dengan uji konsistensi pada tahap pembobotan, namun pengujian ini secara khusus difokuskan pada penilaian terhadap masing-masing alternatif yang digunakan. Suatu perhitungan dinyatakan konsisten apabila nilai *consistency ratio* (CR) < 0.1 atau 10%. Berikut ini merupakan hasil perhitungan uji konsistensi pada tingkat alternatif:

4.6 Cost Benefit Analysis

4.6.1 Estimasi Kerugian Aktual Laboratorium

Berikut ini merupakan tabel estimasi kerugian aktual dalam waktu 1 tahun terakhir yang terdapat di laboratorium kualitas air berdasarkan hasil wawancara dengan laboran kualitas air:

Tabel 4. 7 Estimasi Kerugian

No	Jenis Kerusakan	Estimasi Biaya (RP)
1	Servis Spektrofotometer UV-Vis	5.000.000
2	Alat gelas pecah	1.000.000
3	Tutup neraca pecah	5.000.000
Total Kerugian Tahunan		11.000.000

4.6.2 Estimasi Manfaat Berdasarkan Alternatif

Estimasi manfaat berdasarkan alternatif untuk menurunkan risiko akibat kerugian yang terjadi merupakan perhitungan nilai keuntungan atau penghematan biaya yang diperoleh dari setiap alternatif yang diusulkan. Ayu et al. (2020). Persentase penurunan risiko disesuaikan dengan kondisi aktual laboratorium dan data kerugian yang terjadi. Berikut merupakan estimasi perhitungan manfaat berdasarkan alternatif yang ada sesuai dengan AHP.

Tabel 4. 8 Estimasi Manfaat berdasarkan alternatif

No	Alternatif	Persentase penurunan Risiko	Perhitungan	Benefit per Tahun (Rp)
1	Penggunaan APD	40%	$40\% \times 11.000.000$	4.400.000
2	Pelatihan K3 Berkala	70%	$70\% \times 11.000.000$	7.700.000
3	Pencarian Bahan Kimia yang Lebih aman	50%	$50\% \times 11.000.000$	5.500.000

Benefit yang diperoleh pada masing-masing alternatif dihitung dalam satuan per tahun berdasarkan persentase penurunan risiko.

4.6.1 Rincian Biaya Alternatif

Berikut ini merupakan tabel rincian biaya masing-masing alternatif.

a. Tabel Biaya Alternatif APD

Tabel 4. 9 Rincian Biaya APD

No	Komponen	Volume	Harga satuan (Rp)	Total (Rp)
1	Masker Respirator	20 unit	130.000	2.600.000
2	Cartridge/Filter respirator	20 unit	150.000	6.200.000
3	Masker medis (box 100 pcs)	5 box	60.000	300.000
4	Sarung tangan (box 100 pcs)	6 box	100.000	600.000
5	Kacamata Safety	20 unit	55.000	1.100.000
6	Jas Laboratorium	20 unit	160.000	3.200.000
Total				14.000.000

b. Tabel Biaya Alternatif Pelatihan K3 Berkala

Tabel 4. 10 Rincian Biaya pelatihan K3

No	Komponen	Volume	Harga satuan (Rp)	Total (Rp)
1	Narasumber	1 orang	1.500.000	1.500.000
2	Konsumsi	30 orang	35.000	1.050.000
3	Modul/Materi pelatihan	30 orang	15.000	450.000
4	ATK & Perlengkapan	-	-	400.000
5	Sertifikat pelatihan	-	-	400.000
6	Transport narasumber	-	-	1.200.000
Total				5.000.000

c. Pencarian Bahan Kimia yang Lebih Aman

Tabel 4. 11 Rincian Biaya Pencarian Bahan kimia

No	Komponen	Volume	Harga satuan (Rp)	Total (Rp)
1	Penggantian Bahan kimia lebih aman	-	-	6.000.000
2	Uji coba & Validasi bahan	-	-	2.000.000

3	Wadah penyimpanan	20 unit	100.000	2.000.000
4	Labeling &MSDS	-	-	1.000.000
5	Pelatihan penggunaan bahan	-	-	1.500.000
6	Pengelolaan limbah lama	-	-	1.500.000
7	Monitoring & evaluasi	-	-	1.000.000
Total				15.000.000

4.6.4 Hasil perhitungan *Cost benefit analysis*

Hasil perhitungan *cost benefit analysis* diperoleh dengan membandingkan total manfaat dan total masing-masing alternatif pengendalian. Berikut merupakan perhitungan *cost benefit analysis* dalam periode 3 Tahun.

$$BCR = \frac{\text{Total benefit}}{\text{Total Cost}} = \geq 1$$

Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan *Cost Benefit Analysis*

No	Alternatif	Total Cost (Rp)	Total benefit 3 Tahun (Rp)	BCR (benefit cost ratio)	Keterangan
1	Penggunaan APD	14.000.000	13.200.000	0,94	Hampir Layak
2	Pelatihan K3	5.000.000	23.100.000	4,62	Layak
3	Pencarian Bahan Kimia yang Lebih aman	15.000.000	16.500.000	1,10	Layak

Total cost tersebut merupakan total biaya masing masing alternatif dan total benefit 3 tahun berdasarkan perhitungan awal dalam satuan benefit per tahun, kemudian di kalikan 3 menyesuaikan dengan periode analisis cost benefit selama 3 tahun. Pemilihan periode analisis selama 3 tahun didasarkan pada konsep *cost benefit analysis* yang umumnya menggunakan periode *multi-year* untuk melihat manfaat dalam jangka menengah. Hansjürgens (2004)

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Praktikum dan Lingkungan Laboratorium

Berdasarkan hasil identifikasi bahaya pada proses praktikum pengujian kualitas air limbah, data diperoleh melalui wawancara dan diskusi bersama Bapak Tasyono, S.T. selaku laboran atau *expert*. Identifikasi ini dilakukan dengan menganalisis potensi risiko kecelakaan kerja selama kegiatan praktikum berdasarkan tingkat kemungkinan dan dampak yang ditimbulkan.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa implementasi K3 di laboratorium Kualitas Air masih belum sepenuhnya berjalan secara optimal. Hal ini ditunjukkan dari masih ditemukannya insiden kerja maupun kejadian *near miss*, seperti adanya pecahan alat laboratorium serta ketidakonsistenan penggunaan APD oleh pengguna laboratorium. Selain itu, adanya kesenjangan waktu dalam implementasi pengendalian risiko jika dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya yang menggunakan metode HIRARC. Beberapa rekomendasi pengendalian yang telah dirancang sejak akhir tahun 2024 seharusnya telah diimplementasikan secara optimal, namun hingga akhir November 2025 masih belum sepenuhnya terlaksana. Kondisi ini yang menunjukkan perlunya dilakukan evaluasi lebih lanjut terhadap sistem manajemen K3 yang diterapkan, khususnya dalam aspek pengawasan, kepatuhan pengguna, serta efektivitas pelaksanaan program pengendalian risiko.

5.2 Identifikasi Pengendalian Risiko Dengan Menggunakan Metode HIRADC

5.2.1 Identifikasi bahaya pada proses pengambilan dan pemasukan air

Potensi bahaya yang diidentifikasi adalah proses pengambilan sampel di area yang terkontaminasi zat berbahaya, terdapat potensi bahaya berupa percikan air yang dapat menyebabkan paparan agen biologis seperti bakteri atau virus. Berdasarkan hasil penilaian risiko menggunakan metode HIRADC, potensi bahaya tersebut memiliki nilai *Likelihood* (L) sebesar 1 dan *Consequence* (C) sebesar 1 sehingga tingkat risikonya termasuk dalam kategori rendah. Risiko ini dinilai rendah karena proses pengambilan sampel dilakukan sesuai prosedur serta frekuensi paparan yang relatif kecil. Akan tetapi, pengendalian risiko tetap diperlukan sebagai langkah pencegahan. Pengendalian risiko

dilakukan dengan tahapan eliminasi dengan mengurasi proses pengambilan sampel secara manual. Substitusi menggunakan peralatan sampling tertutup untuk membatasi kontak langsung dengan sumber paparan. Al et al. (2025). serta menerapkan sistem ventilasi dan *exhaust* yang memadai untuk mencegah terbentuknya aerosol biologis. Penerapan *Engineering Control* tersebut didukung oleh penelitian Ernada et al. (2023) yang menyebutkan bahwa sistem ventilasi dan penggunaan alat kerja tertutup dapat menurunkan risiko paparan aerosol biologis di lingkungan kerja. Selain itu, administratif seperti penerapan SOP pengambilan sampel dan pelatihan K3 secara berkala juga dapat dilakukan untuk memastikan prosedur kerja dilakukan dengan benar. Penggunaan APD seperti sarung tangan, masker dan jas laboratorium tetap digunakan sebagai perlindungan tambahan selama proses praktikum.

5.2.2 Identifikasi bahaya pada proses pengukuran PH

Potensi bahaya yang diidentifikasi adalah proses pemindahan larutan ke gelas ukur, terdapat potensi bahaya berupa terkena larutan kimia yang dapat menyebabkan iritasi kulit dan mata. Berdasarkan hasil penilaian risiko menggunakan metode HIRADC, potensi bahaya tersebut memiliki nilai *Likelihood* (L) sebesar 1 dan *Consequence* (C) sebesar 1 sehingga tingkat risikonya termasuk dalam kategori rendah. Risiko ini dinilai rendah karena penggunaan larutan kimia dilakukan sesuai prosedur serta potensi paparan langsung terhadap kulit dan mata relatif rendah. Akan tetapi, pengendalian risiko tetap diperlukan sebagai langkah pencegahan. Eliminasi Menghilangkan metode pengukuran menuangkan larutan kimia secara manual dengan penggunaan pH meter digital untuk mengurangi kontak langsung dengan larutan asam dan basa. Berdasarkan penelitian Fakhruddin (2025) Substitusi dengan mengganti penggunaan bahan kimia kuat dengan memanfaatkan larutan preparat siap pakai yang relatif lebih aman. Berdasarkan penelitian Aldio et al. (2022) *Engineering Control* dengan menyediakan ventilasi lokal dan lemari asam (*fume hood*) pada area kerja kimia untuk mengendalikan paparan uap kimia. Administratif dengan melakukan proses pencampuran bahan secara perlahan sesuai SOP. Berdasarkan penelitian Kiara Ayu Listiani (2025) Alat Pelindung Diri, seperti kewajiban penggunaan kacamata pelindung (*goggles*), sarung tangan tahan kimia, dan jas laboratorium selama kegiatan pengukuran pH.

5.2.3 Identifikasi bahaya pada proses penggunaan alat analisis kimia

Potensi bahaya yang diidentifikasi adalah pecahnya gelas ukur akibat penggunaan alat yang kurang tepat, yang dapat menyebabkan luka akibat terkena pecahan kaca. Berdasarkan hasil penilaian risiko menggunakan metode HIRADC, potensi bahaya tersebut memiliki nilai *Likelihood* (L) sebesar 3 dan *Consequence* (C) sebesar 2 sehingga tingkat risikonya termasuk dalam kategori sedang. Risiko ini dikategorikan rendah karena terjadinya kesalahan dalam penggunaan alat masih dapat terjadi, meskipun dampak yang ditimbulkan umumnya berupa luka ringan hingga sedang. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengendalian risiko untuk menurunkan tingkat risiko tersebut. Berdasarkan penelitian F. Pratama et al. (2022) eliminasi dapat mengeluarkan peralatan yang rusak atau retak dari inventaris laboratorium sebagai upata menghilangkan sumber bahaya fisik. Substitusi dengan menggunakan alat ukur berbahan plastik tahan pecah sebagai pengganti gelas ukur. Nur et al. (2023). *Engineering Control* dengan mengatur tata letak rak dan meja kerja secara ergonomis untuk mencegah jatuh atau terbenturnya peralatan laboratorium. Administratif dengan melaksanakan inspeksi alat secara berkala serta pelatihan penggunaan alat yang aman bagi pengguna laboratorium. APD berdasarkan penelitian F. Pratama et al. (2022) dengan Menggunakan sarung tangan kerja dan sepatu tertutup sebagai perlindungan dari risiko luka akibat pecahan alat.

5.2.4 Identifikasi bahaya pada proses pemasukan bahan kimia

Potensi bahaya yang diidentifikasi adalah terhirupnya uap bahan kimia saat proses memasukkan bahan kimia ke dalam wadah, yang dapat menyebabkan iritasi saluran pernapasan, iritasi kulit, hingga luka bakar ringan maupun serius. Berdasarkan hasil penilaian risiko menggunakan metode HIRADC, potensi bahaya tersebut memiliki nilai *Likelihood* (L) sebesar 3 dan *Consequence* (C) sebesar 2 sehingga tingkat risikonya termasuk dalam kategori sedang. Risiko ini dikategorikan rendah karena terjadinya paparan uap bahan kimia masih dapat terjadi selama proses kerja, meskipun dampak yang ditimbulkan umumnya dapat dikendalikan apabila penanganan dilakukan sesuai prosedur. Oleh karena itu, diperlukan upaya pengendalian risiko untuk menurunkan tingkat risiko tersebut. Berdasarkan penelitian Suryana et al. (2025) eliminasi dengan membebaskan area kerja melalui pembatasan akses area kerja. Selanjutnya, berdasarkan penelitian Suryana et al. (2025) substitusi dengan mengganti bahan kimia yang lebih aman. Kemudian, berdasarkan penelitian Herliana (2024) *Engineering Control* dengan

menggunakan lemari asam (*fume hood*) untuk mengendalikan paparan uap bahan kimia dan Administratif dengan memahami karakteristik bahan kimia melalui SOP, Serta penggunaan APD lengkap selama proses praktikum.

5.2.5 Identifikasi bahaya pada proses pengujian mikrobiologi air

Potensi bahaya yang diidentifikasi adalah paparan bakteri patogen saat proses pengolahan dan penanganan sampel air yang dapat menyebabkan infeksi bakteri patogen pada pengguna laboratorium. Berdasarkan hasil penilaian risiko menggunakan metode HIRADC, potensi bahaya tersebut memiliki nilai *Likelihood* (L) sebesar 1 dan *Consequence* (C) sebesar 1 sehingga tingkat risikonya termasuk dalam kategori rendah. Risiko ini dinilai rendah karena proses penanganan sampel air dilakukan sesuai prosedur yang telah ditetapkan serta potensi kontak langsung dengan bakteri patogen relatif rendah. Akan tetapi, pengendalian risiko tetap diperlukan sebagai langkah pencegahan. Eliminasi dengan menghilangkan kontak langsung dengan sampel air dengan menggunakan data hasil uji sebelumnya. Berdasarkan penelitian Rakhman & Nasri (2021) substitusi dengan Menggunakan bakteri non-patogen untuk aktivitas praktikum. Kemudian, *Engineering Control* dengan memanfaatkan *biosafety* cabinet saat menangani sampel dan administratif dengan membatasi akses area kerja sesuai tingkat *biosafety* level. Terakhir penggunaan APD seperti sarung tangan, masker atau respirator, *goggles*, dan jas laboratorium.

5.2.6 Identifikasi bahaya pada proses meneliti bakteri

Potensi bahaya yang diidentifikasi adalah aktivitas menatap layar komputer atau lensa mikroskop dalam waktu lama yang dapat menyebabkan kelelahan mata, sakit kepala, nyeri pada leher dan bahu, serta penurunan konsentrasi kerja. Berdasarkan hasil penilaian risiko menggunakan metode HIRADC, potensi bahaya tersebut memiliki nilai *Likelihood* (L) sebesar 3 dan *Consequence* (C) sebesar 3 sehingga tingkat risikonya termasuk dalam kategori tinggi karena aktivitas tersebut dilakukan secara berulang dengan durasi yang cukup lama dan dampak yang ditimbulkan dapat memengaruhi kondisi fisik dan menurunkan efektivitas. Oleh karena itu diperlukan upaya pengendalian risiko untuk menurunkan tingkat risiko tersebut. Berdasarkan penelitian Pucker et al. (2024) menghilangkan paparan berlebih terhadap aktivitas pengamatan. Substitusi dengan mengganti sistem pengamatan ke mikroskop digital Merlina et al. (2021). Kemudian, berdasarkan penelitian Hakim et al. (2023) *Engineering Control* dengan menata kursi, meja, dan pencahayaan laboratorium secara ergonomis serta menggunakan peralatan

adjustable. Selanjutnya, administratif dengan mengatur jadwal istirahat berkala serta pelatihan ergonomi kerja bagi pengguna laboratorium. Terakhir penggunaan APD menggunakan APD seperti *safety Glasses* untuk melindungi mata.

5.2.7 Identifikasi bahaya pada proses pengumpulan limbah laboratorium

Potensi bahaya yang diidentifikasi adalah paparan limbah kimia atau biologis saat proses pengumpulan limbah laboratorium yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan seperti iritasi kulit dan gangguan pada sistem pernapasan. Berdasarkan hasil penilaian risiko menggunakan metode HIRADC, potensi bahaya tersebut memiliki nilai *Likelihood* (L) sebesar 4 dan *Consequence* (C) sebesar 2 sehingga tingkat risikonya termasuk dalam kategori tinggi. Risiko ini dikategorikan tinggi karena aktivitas pengumpulan limbah dilakukan secara rutin dan melibatkan kontak dengan sisa bahan kimia maupun biologis yang berpotensi berbahaya. Oleh karena itu diperlukan upaya pengendalian risiko untuk menurunkan tingkat risiko tersebut. Eliminasi dilakukan dengan menghilangkan kontak langsung melalui sistem pengaliran limbah otomatis atau tertutup. Maulidiya et al. (2026). Substitusi dengan mengganti bahan kimia yang lebih aman. Suryana et al. (2025). Kemudian, berdasarkan penelitian Nurulasyrof et al. (2023) *Engineering Control* dengan menyediakan sistem penampungan limbah tertutup, ventilasi area khusus, serta pelabelan bahaya yang jelas. Selanjutnya, administratif dengan menerapkan SOP pengelolaan limbah, penjadwalan pengambilan limbah, dan pelatihan. Terakhir penggunaan APD seperti Menggunakan sarung tangan tahan bahan berbahaya, *goggles*, dan masker.

5.3 Analisis *Fault Tree Analysis* (FTA)

pada tahap ini dilakukan analisis metode *Fault Tree Analysis* (FTA). Metode ini digunakan untuk menganalisis potensi bahaya dengan tingkat risiko tinggi. Berdasarkan hasil penilaian risiko menggunakan HIRADC, terdapat dua potensi bahaya pada aktivitas praktikum yang memiliki tingkat risiko tinggi.

5.3.1 Analisis FTA risiko kelelahan mata, sakit kepala, serta nyeri pada leher dan bahu

Berdasarkan hasil analisis *Fault Tree Analysis* (FTA), risiko kelelahan mata, sakit kepala, nyeri leher dan bahu, serta penurunan konsentrasi kerja akibat aktivitas menatap layar komputer atau lensa mikroskop dalam waktu lama ditetapkan sebagai top event. Top event ini dipengaruhi oleh tiga kejadian utama, yaitu menatap layar atau lensa mikroskop dalam waktu lama, postur kerja yang tidak ergonomis, serta kondisi lingkungan kerja

yang kurang mendukung. Ketiga kejadian tersebut dihubungkan menggunakan OR gate, karena masing-masing kejadian secara langsung dapat menyebabkan terjadinya top event.

Kejadian menatap layar komputer atau lensa mikroskop dalam waktu lama dipengaruhi oleh basic event berupa tidak diterapkannya *work rest cycle* serta tuntutan praktikum atau tugas yang membutuhkan fokus terus-menerus. Kedua kejadian ini dikategorikan sebagai basic event karena merupakan penyebab langsung dan dihubungkan dengan OR gate, dimana salah satu kondisi saja sudah dapat menyebabkan durasi kerja menjadi berlebihan.

Kejadian postur kerja yang tidak ergonomis diturunkan menjadi basic event berupa tinggi meja, kursi, atau mikroskop yang tidak dapat disesuaikan serta posisi duduk atau berdiri yang tidak sesuai prinsip ergonomi. Kedua basic event tersebut dihubungkan dengan OR gate karena masing-masing dapat menyebabkan postur kerja yang tidak nyaman.

Kejadian kondisi lingkungan kerja yang kurang mendukung dipengaruhi oleh basic event berupa pencahayaan yang tidak optimal serta tata letak peralatan kerja yang tidak ergonomis. Hubungan kejadian ini menggunakan OR gate, karena salah satu kondisi tersebut sudah dapat meningkatkan beban kerja mata dan menurunkan konsentrasi kerja.

5.3.2 Analisis FTA risiko paparan limbah kimia atau biologis

Berdasarkan hasil analisis fault tree analysis (FTA), risiko paparan limbah kimia atau biologis saat pengumpulan limbah ditetapkan sebagai top event karena merupakan kejadian yang tidak diinginkan dan berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan. Top event ini dianalisis dengan menguraikan faktor-faktor penyebabnya secara bertahap sehingga diperoleh kejadian dasar (basic event). Pada tingkatan pertama, top event dipengaruhi oleh tiga kejadian utama (event), yaitu penggunaan APD yang tidak memadai, prosedur pengumpulan limbah yang tidak aman, kurangnya pengetahuan tentang limbah berbahaya. Ketiga kejadian ini dihubungkan menggunakan OR gate, karena masing-masing kejadian secara langsung sudah cukup untuk menyebabkan terjadinya paparan limbah kimia atau biologis, artinya, meskipun hanya salah satu dari kejadian tersebut terjadi, top event tetap dapat muncul.

Kejadian penggunaan APD yang tidak memadai diturunkan menjadi *basic event* berupa APD tidak tersedia atau tidak sesuai standar serta pekerja tidak menggunakan APD dengan benar. Kedua kejadian ini dikategorikan sebagai *basic event* dan

dihubungkan dengan OR gate karena salah satu kondisi saja dapat meningkatkan risiko paparan limbah.

Kejadian prosedur pengumpulan limbah yang tidak aman dipengaruhi oleh basic event berupa wadah limbah yang bocor atau rusak, serta kurangnya pengawasan. Kejadian kurangnya pengawasan diturunkan menjadi basic event berupa SOP pengelolaan limbah yang tidak diterapkan dan tidak adanya PIC yang melakukan pengawasan langsung saat kegiatan pengumpulan limbah berlangsung. Kedua kejadian tersebut dihubungkan dengan OR gate karena salah satu kondisi saja sudah menyebabkan kurangnya pengawasan.

Kejadian kurangnya pengetahuan tentang limbah berbahaya dipengaruhi oleh basic event berupa tidak adanya pelatihan K3 terkait limbah serta tidak terdapat label atau simbol bahaya pada wadah limbah yang jelas. Kedua basic event tersebut dihubungkan dengan OR gate, karena salah satu kondisi saja sudah dapat menyebabkan rendahnya pemahaman terhadap bahaya limbah.

5.4 Analisis Pengendalian Risiko

Pada tahapan ini merupakan analisis pengendalian risiko menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). untuk mengetahui rekomendasi pengendalian yang tepat, metode ini berperan menganalisis 2 risiko bahaya dengan tingkatan tinggi dengan cara menggambarkan berbagai kemungkinan kejadian berdasarkan sebab dan akibat. Terdapat dua potensi bahaya yang termasuk dalam kategori tinggi yaitu, 1) kelelahan mata, sakit kepala, serta nyeri pada leher dan bahu 2) paparan limbah kimia atau biologis saat pengumpulan limbah. Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode FTA, data tersebut dijadikan sebagai acuan untuk rekomendasi pengendalian risiko sebagai berikut:

1. Kelelahan mata, sakit kepala, serta nyeri pada leher dan bahu

Rekomendasi pengendalian risiko pada risiko bahaya Kelelahan mata, sakit kepala, serta nyeri pada leher dan bahu yaitu hirarki Eliminasi dengan mengganti sistem pengamatan ke tampilan mikroskop digital. Merlina et al. (2021). *Engineering Control* berupa Menata kursi, meja, dan pencahayaan laboratorium secara ergonomis. Hakim et al. (2023).

2. Paparan limbah kimia atau biologis saat pengumpulan limbah

Rekomendasi pengendalian risiko pada risiko bahaya Paparan limbah kimia atau biologis saat pengumpulan limbah yaitu hirarki Eliminasi dengan menghilangkan poses pengumpulan limbah secara manual. Maulidiya et al. (2026). *Engineering Control* berupa menyediakan sistem penampungan limbah tertutup, ventilasi area khusus, serta pelabelan bahaya yang jelas. Nurulasyrof et al. (2023).

5.5 Analisis pengambilan keputusan AHP

5.5.1 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Antar-Kriteria

5	6	7	8
λ_{maks}	CI	IR	CR
5,3513	0,0878	1,12	0,0784

Gambar 5. 1 Uji Konsistensi Antar-Kriteria

Berdasarkan proses pembobotan dan pengujian konsistensi antar kriteria dilakukan menggunakan metode AHP. Penilaian melibatkan lima kriteria, yaitu tingkat efektivitas, biaya implementasi, kemudahan implementasi, Manajemen/PIC, dan kesesuaian regulasi. Masing-masing kriteria dibandingkan secara berpasangan dalam matriks perbandingan berpasangan untuk menentukan tingkat kepentingan relatif antar kriteria.

Hasil perhitungan menunjukkan nilai λ maks (*lambda max*) sebesar 5,3513, yang digunakan untuk menghitung *Consistency Index* (CI) sebesar 0,089. Nilai CI ini dibagi dengan *Indeks Random* (IR) sebesar 1,12 (sesuai jumlah kriteria = 5), menghasilkan *Consistency Ratio* (CR) sebesar 0,0784. Karena $CR < 0,1$, matriks perbandingan dinyatakan konsisten. Hal ini menunjukkan bahwa penilaian *expert* terhadap tingkat kepentingan antar kriteria telah logis dan dapat diterima. Oleh karena itu, hasil pembobotan ini layak digunakan untuk menentukan prioritas alternatif solusi pada tahap berikutnya.

5.5.2 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Antar Sub-Kriteria Biaya Implementasi

5	6	7	8
λ_{maks}	CI	IR	CR
3,086690971	0,043345485	0,58	0,074733595

Gambar 5. 2 Uji Konsistensi Antar Sub-Kriteria Biaya Implementasi

Tabel tersebut menunjukkan proses pembobotan dan uji konsistensi pada sub-kriteria biaya implementasi (biaya awal, biaya pemeliharaan dan perawatan, serta biaya pelatihan dan edukasi) menggunakan metode AHP melalui perbandingan berpasangan.

Hasil perhitungan diperoleh CI sebesar 0,04334 dan IR sebesar 0,58 ($n = 3$), sehingga menghasilkan CR sebesar 0,07473. Karena $CR < 0,1$, matriks dinyatakan konsisten. Hal ini menunjukkan bobot sub-kriteria yang diperoleh valid dan dapat digunakan untuk menentukan prioritas pengendalian risiko berdasarkan aspek biaya implementasi.

5.5.3 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Antar Sub-Kriteria Kemudahan Implementasi

5	6	7	8
λ maks	CI	IR	CR
3,053741833	0,026870917	0,58	0,046329166

Gambar 5. 3 dan Uji Konsistensi Antar Sub-Kriteria Kemudahan Implementasi

Tabel tersebut menunjukkan proses pembobotan dan uji konsistensi pada sub-kriteria kemudahan implementasi (ketersediaan sumber daya, waktu yang dibutuhkan, kemampuan pekerja) menggunakan metode AHP melalui perbandingan berpasangan.

Hasil perhitungan diperoleh CI sebesar 0,02687 dan IR sebesar 0,58 ($n = 3$), sehingga menghasilkan CR sebesar 0,04632. Karena $CR < 0,1$, matriks dinyatakan konsisten. Hal ini menunjukkan bobot sub-kriteria yang diperoleh valid dan dapat digunakan untuk menentukan prioritas pengendalian risiko berdasarkan aspek kemudahan implementasi.

5.5.4 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Antar Sub-Kriteria Manajemen/PIC

5	6	7	8
λ maks	CI	IR	CR
3,053656072	0,026828036	0,58	0,046255235

Gambar 5. 4 Uji Konsistensi Antar Sub-Kriteria Manajemen/PIC

Tabel tersebut menunjukkan proses pembobotan dan uji konsistensi pada sub-kriteria Manajemen/PIC (kejelasan PIC, monitoring, dan dukungan manajemen) menggunakan metode AHP melalui perbandingan berpasangan.

Hasil perhitungan diperoleh CI sebesar 0,02682 dan IR sebesar 0,58 ($n = 3$), sehingga menghasilkan CR sebesar 0,04625. Karena $CR < 0,1$, matriks dinyatakan konsisten. Hal ini menunjukkan bobot sub-kriteria yang diperoleh valid dan dapat digunakan untuk menentukan prioritas pengendalian risiko berdasarkan aspek manajemen/PIC.

5.5.6 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Antar Sub-Kriteria Tingkat Efektivitas

5	6	7	8
λ_{maks}	CI	IR	CR
3,009208667	0,004604333	0,58	0,007938506

Gambar 5. 5 Uji Konsistensi Antar Sub-Kriteria Tingkat Efektivitas

Tabel tersebut menunjukkan proses pembobotan dan uji konsistensi pada sub-kriteria Tingkat Efektivitas (Pengaruh kecepatan kerja, pengaruh akurasi dan hasil kerja, pengaruh kenyamanan dan keselamatan) menggunakan metode AHP melalui perbandingan berpasangan.

Hasil perhitungan diperoleh CI sebesar 0,00460 dan IR sebesar 0,58 ($n = 3$), sehingga menghasilkan CR sebesar 0,00793. Karena $CR < 0,1$, matriks dinyatakan konsisten. Hal ini menunjukkan bobot sub-kriteria yang diperoleh valid dan dapat digunakan untuk menentukan prioritas pengendalian risiko berdasarkan aspek tingkat efektivitas.

5.5.7 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Alternatif Kesesuaian Regulasi

5	6	7	8
λ_{maks}	CI	IR	CR
3,018309068	0,009154534	0,58	0,015783679

Gambar 5. 6 Uji Konsistensi Alternatif Kesesuaian Regulasi

Gambar tersebut merupakan hasil perbandingan antar alternatif berdasarkan kriteria Kesesuaian Regulasi dengan menggunakan metode AHP. Tiga alternatif yang dianalisis meliputi penggunaan APD lengkap, pelatihan K3 berkala, dan pencarian alternatif bahan

kimia. Hasil pengujian konsistensi menunjukkan nilai Consistency Rasio (CR) sebesar 0,01579, yang berada dibawah batas toleransi 0,1. yang menunjukkan bahwa penilaian antar alternatif dilakukan secara konsisten. Hal ini menunjukkan bahwa bobot prioritas yang dihasilkan dapat dinilai valid dan layak digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan.

5.5.8 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Alternatif Biaya Awal

5	6	7	8
λ maks	CI	IR	CR
3,003696088	0,001848044	0,58	0,003186283

Gambar 5. 7 Uji Konsistensi Alternatif Biaya Awal

Gambar tersebut merupakan hasil perbandingan antar alternatif berdasarkan sub kriteria Biaya awal dengan menggunakan metode AHP. Tiga alternatif yang dianalisis meliputi penggunaan APD lengkap, pelatihan K3 berkala, dan pencarian alternatif bahan kimia. Hasil pengujian konsistensi menunjukkan nilai Consistency Rasio (CR) sebesar 0,00318, yang berada dibawah batas toleransi 0,1. yang menunjukkan bahwa penilaian antar alternatif dilakukan secara konsisten. Hal ini menunjukkan bahwa bobot prioritas yang dihasilkan dapat dinilai valid dan layak digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan.

5.5.9 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Alternatif Biaya Pemeliharaan dan perawatan

5	6	7	8
λ maks	CI	IR	CR
3,038714681	0,01935734	0,58	0,033374725

Gambar 5. 8 Uji Konsistensi Alternatif Biaya Awal

Gambar tersebut merupakan hasil perbandingan antar alternatif berdasarkan sub kriteria Biaya Pemeliharaan dan perawatan dengan menggunakan metode AHP. Tiga alternatif yang dianalisis meliputi penggunaan APD lengkap, pelatihan K3 berkala, dan pencarian alternatif bahan kimia. Hasil pengujian konsistensi menunjukkan nilai Consistency Rasio (CR) sebesar 0,03337, yang berada dibawah batas toleransi 0,1. Dengan bobot tertinggi

0,63334 berada pada alternatif pelatihan k3 secara berkala dalam hal biaya pemeliharaan dan perawatan

5.5.10 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Alternatif Biaya Pelatihan dan Edukasi

5	6	7	8
λ maks	CI	IR	CR
3,053818552	0,026909276	0,58	0,046395303

Gambar 5. 9 Uji Konsistensi Alternatif Biaya Pelatihan dan Edukasi

Gambar tersebut merupakan hasil perbandingan antar alternatif berdasarkan sub kriteria Biaya pelatihan dan edukasi dengan menggunakan metode AHP. Tiga alternatif yang dianalisis meliputi penggunaan APD lengkap, pelatihan K3 berkala, dan pencarian alternatif bahan kimia. Hasil pengujian konsistensi menunjukkan nilai Consistency Rasio (CR) sebesar 0,04639, yang berada dibawah batas toleransi 0,1. Dengan bobot tertinggi 0, 52467 berada pada penggunaan APD lengkap dalam hal biaya pelatihan dan edukasi.

5.5.11 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Alternatif Biaya Ketersediaan Sumber Daya

5	6	7	8
λ maks	CI	IR	CR
3,018337257	0,009168629	0,58	0,01580798

Gambar 5. 10 Uji Konsistensi Alternatif Biaya Ketersediaan Sumber Daya

Gambar tersebut merupakan hasil perbandingan antar alternatif berdasarkan sub kriteria ketersediaan sumber daya dengan menggunakan metode AHP. Tiga alternatif yang dianalisis meliputi penggunaan APD lengkap, pelatihan K3 berkala, dan pencarian alternatif bahan kimia. Hasil pengujian konsistensi menunjukkan nilai Consistency Rasio (CR) sebesar 0,01580, yang berada dibawah batas toleransi 0,1. Dengan bobot tertinggi 0,62322 berada pada penggunaan APD lengkap dalam hal ketersediaan sumber daya.

5.5.12 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Alternatif Waktu Yang Dibutuhkan

5	6	7	8
λ maks	CI	IR	CR
3,054144176	0,027072088	0,58	0,046676014

Gambar 5. 11 Uji Konsistensi Alternatif Waktu Yang Dibutuhkan

Gambar tersebut merupakan hasil perbandingan antar alternatif berdasarkan sub kriteria waktu yang dibutuhkan dengan menggunakan metode AHP. Tiga alternatif yang dianalisis meliputi penggunaan APD lengkap, pelatihan K3 berkala, dan pencarian alternatif bahan kimia. Hasil pengujian konsistensi menunjukkan nilai Consistency Rasio (CR) sebesar 0,04667, yang berada dibawah batas toleransi 0,1. Dengan bobot tertinggi 0,68529 berada pada penggunaan APD lengkap dalam hal waktu yang dibutuhkan.

5.5.13 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Alternatif Kemampuan Pekerja

5	6	7	8
λ_{maks}	CI	IR	CR
3,018337257	0,009168629	0,58	0,01580798

Gambar 5. 12 Uji Konsistensi Alternatif Kemampuan Pekerja

Gambar tersebut merupakan hasil perbandingan antar alternatif berdasarkan sub kriteria kemampuan pekerja dengan menggunakan metode AHP. Tiga alternatif yang dianalisis meliputi penggunaan APD lengkap, pelatihan K3 berkala, dan pencarian alternatif bahan kimia. Hasil pengujian konsistensi menunjukkan nilai Consistency Rasio (CR) sebesar 0,01580, yang berada dibawah batas toleransi 0,1. Dengan bobot tertinggi 0,62322 berada pada pelatihan K3 berkala dalam hal kemampuan pekerja.

5.5.14 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Alternatif kejelasan PIC

5	6	7	8
λ_{maks}	CI	IR	CR
3,053741833	0,026870917	0,58	0,046329166

Gambar 5. 13 Uji Konsistensi Alternatif kejelasan PIC

Gambar tersebut merupakan hasil perbandingan antar alternatif berdasarkan sub kriteria kejelasan PIC dengan menggunakan metode AHP. Tiga alternatif yang dianalisis meliputi penggunaan APD lengkap, pelatihan K3 berkala, dan pencarian alternatif bahan kimia. Hasil pengujian konsistensi menunjukkan nilai Consistency Rasio (CR) sebesar 0,04632, yang berada dibawah batas toleransi 0,1. Dengan bobot tertinggi 0,49047 berada pada penggunaan APD lengkap dalam hal kejelasan PIC.

5.5.15 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Alternatif Monitoring

5	6	7	8
λ_{maks}	CI	IR	CR
3,053818552	0,026909276	0,58	0,046395303

Gambar 5. 14 Uji Konsistensi Alternatif Monitoring

Gambar tersebut merupakan hasil perbandingan antar alternatif berdasarkan sub kriteria monitoring dengan menggunakan metode AHP. Tiga alternatif yang dianalisis meliputi penggunaan APD lengkap, pelatihan K3 berkala, dan pencarian alternatif bahan kimia. Hasil pengujian konsistensi menunjukkan nilai Consistency Rasio (CR) sebesar 0,04639, yang berada dibawah batas toleransi 0,1. Dengan bobot tertinggi 0,52467 berada pada penggunaan APD lengkap dalam hal monitoring.

5.5.16 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Alternatif Dukungan Manajemen

5	6	7	8
λ_{maks}	CI	IR	CR
3,009208667	0,004604333	0,58	0,007938506

Gambar 5. 15 Uji Konsistensi Alternatif Dukungan Manajemen

Gambar tersebut merupakan hasil perbandingan antar alternatif berdasarkan sub kriteria dukungan manajemen dengan menggunakan metode AHP. Tiga alternatif yang dianalisis meliputi penggunaan APD lengkap, pelatihan K3 berkala, dan pencarian alternatif bahan kimia. Hasil pengujian konsistensi menunjukkan nilai Consistency Rasio (CR) sebesar 0,00793, yang berada dibawah batas toleransi 0,1. Dengan bobot tertinggi 0,53896 berada pada pelatihan K3 berkala dalam hal dukungan manajemen.

5.5.17 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Alternatif Pengaruh kecepatan kerja

5	6	7	8
λ_{maks}	CI	IR	CR
3,038714681	0,01935734	0,58	0,033374725

Gambar 5. 16 Uji Konsistensi Alternatif Pengaruh kecepatan kerja

Gambar tersebut merupakan hasil perbandingan antar alternatif berdasarkan sub kriteria pengaruh kecepatan kerja dengan menggunakan metode AHP. Tiga alternatif yang

dianalisis meliputi penggunaan APD lengkap, pelatihan K3 berkala, dan pencarian alternatif bahan kimia. Hasil pengujian konsistensi menunjukkan nilai Consistency Rasio (CR) sebesar 0,033338, yang berada dibawah batas toleransi 0,1. Dengan bobot tertinggi 0,63334 berada pada penggunaan APD lengkap dalam hal pengaruh kecepatan kerja.

5.5.15 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Alternatif Pengaruh akurasi dan hasil kerja

5	6	7	8
λ_{maks}	<i>CI</i>	<i>IR</i>	<i>CR</i>
3,018337257	0,009168629	0,58	0,01580798

Gambar 5. 17 Uji Konsistensi Alternatif Pengaruh akurasi dan hasil kerja

Gambar tersebut merupakan hasil perbandingan antar alternatif berdasarkan sub kriteria Pengaruh akurasi dan hasil kerja dengan menggunakan metode AHP. Tiga alternatif yang dianalisis meliputi penggunaan APD lengkap, pelatihan K3 berkala, dan pencarian alternatif bahan kimia. Hasil pengujian konsistensi menunjukkan nilai Consistency Rasio (CR) sebesar 0,01580, yang berada dibawah batas toleransi 0,1. Dengan bobot tertinggi 0,62322 berada pada pelatihan K3 berkala dalam hal Pengaruh akurasi dan hasil kerja.

5.5.16 Analisis Pembobotan dan Uji Konsistensi Alternatif Kenyamanan dan Kesehatan kerja

5	6	7	8
λ_{maks}	<i>CI</i>	<i>IR</i>	<i>CR</i>
3,009208667	0,004604333	0,58	0,007938506

Gambar 5. 18 Uji Konsistensi Alternatif Kenyamanan dan Kesehatan kerja

Gambar tersebut merupakan hasil perbandingan antar alternatif berdasarkan sub kriteria Kenyamanan dan Kesehatan kerja dengan menggunakan metode AHP. Tiga alternatif yang dianalisis meliputi penggunaan APD lengkap, pelatihan K3 berkala, dan pencarian alternatif bahan kimia. Hasil pengujian konsistensi menunjukkan nilai *Consistency Rasio* (CR) sebesar 0,00793, yang berada dibawah batas toleransi 0,1. Dengan bobot tertinggi 0,53896 berada pada penggunaan APD lengkap dalam hal Kenyamanan dan Kesehatan kerja.

5.6 Analisis Cost Benefit

Berdasarkan hasil perhitungan *benefit cost ratio* (BCR), alternatif pelatihan K3 menunjukkan nilai tertinggi yaitu 4,62. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan pengetahuan dan pemahaman keselamatan kerja memiliki dampak yang besar dalam menurunkan risiko kesalahan kerja maupun kerusakan alat di laboratorium. Selain mengurangi potensi kerugian material, pelatihan juga dapat membentuk perilaku kerja yang lebih sadar dengan keselamatan dan bersifat jangka panjang. Alternatif pencarian bahan kimia yang lebih aman memiliki nilai BCR sebesar 1,10 yang berarti masih layak secara ekonomi karena manfaatnya sedikit lebih besar daripada biayanya. Namun, jika dibandingkan dengan pelatihan K3, dampak penghematan yang dihasilkan belum terlalu signifikan. Hal ini dapat disebabkan oleh biaya awal yang cukup besar untuk mencari, menguji, dan menyesuaikan bahan kimia yang lebih aman. Sementara itu, Pada penggunaan APD memperoleh nilai BCR sebesar 0,94 yang berarti secara perhitungan ekonomi belum sepenuhnya menguntungkan. Akan tetapi, APD tetap penting karena merupakan bentuk pengendalian terakhir dalam hirarki pengendalian risiko. Secara keseluruhan, jika dilihat dari sisi efisiensi biaya, pelatihan K3 menjadi alternatif yang paling direkomendasikan untuk diterapkan terlebih dahulu di laboratorium kualitas air.

5.7 Pengambilan Keputusan

5.7.1 Hasil Berdasarkan Penelitian Terdahulu

Berikut ini merupakan risk rating setelah penerapan tindakan pengendalian risiko. Penilaian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana tindakan pengendalian risiko dapat menurunkan tingkat risiko. Tabel dibawah ini menampilkan perbandingan tingkat risiko sebelum dan sesudah tindakan pengendalian dilakukan.

Tabel 5. 1 Hasil Jurnal Terdahulu

Daftar Risiko	Risk Score Before Mitigation			Deskripsi Tindakan Pengendalian risiko	Risk Score After Mitigation		
	L	C	R		L	C	R
Infeksi bakteri atau	1	1	Rendah	Rekayasa teknologi: Menerapkan sistem	1	1	Rendah

Daftar Risiko	Risk Score Before Mitigation			Deskripsi Tindakan Pengendalian risiko	Risk Score After Mitigation		
	L	C	R		L	C	R
virus biologis				ventilasi dan <i>exhaust</i> yang memadai serta penggunaan alat sampling tertutup untuk mencegah terbentuknya aerosol biologis Ernada et al. (2023).			
Iritasi kulit dan mata	1	1	Rendah	Substitusi: Mengganti penggunaan bahan kimia kuat dengan memanfaatkan larutan preparat siap pakai yang relatif lebih aman. Fakhruddin (2025).	1	1	Rendah
Luka akibat pecahan gelas ukur	3	2	Sedang	Eliminasi: Mengeluarkan peralatan yang rusak atau retak dari inventaris laboratorium sebagai upaya menghilangkan sumber bahaya fisik. F. Pratama et al. (2022).	2	1	Rendah
Iritasi saluran pernapasan, iritasi kulit, hingga luka	3	2	Sedang	Rekayasa teknologi: Menggunakan lemari asam (<i>fume hood</i>) untuk mengendalikan paparan uap bahan	2	1	Rendah

Daftar Risiko	Risk Score Before Mitigation			Deskripsi Tindakan Pengendalian risiko	Risk Score After Mitigation		
	L	C	R		L	C	R
bakar ringan atau serius				kimia. Herliana (2024).			
Infeksi bakteri patogen	1	1	Rendah	Rekayasa teknologi: Pemanfaatan <i>biosafety</i> cabinet saat menangani sampel Rakhman & Nasri (2021).	1	1	Rendah
Kelelahan mata, sakit kepala, nyeri leher dan bahu, serta penurunan konsentrasi kerja	3	3	Tinggi	Substitusi: Mengganti sistem pengamatan ke tampilan mikroskop digital Merlina et al. (2021).	2	2	Rendah
Gangguan kesehatan (iritasi kulit, gangguan pernapasan,	4	2	Tinggi	Eliminasi: Menghilangkan kontak langsung melalui sistem pengaliran limbah otomatis atau tertutup. Maulidiya et al. (2026)	3	1	Rendah

Berdasarkan hasil wawancara dengan Bapak Tasyono selaku laboran, diperoleh informasi mengenai bentuk pengendalian yang dapat diterapkan dengan mengacu pada rekomendasi berdasarkan penelitian terdahulu sebagai berikut:

1. Berdasarkan penelitian Fakhruddin (2025), F. Pratama et al. (2022), Merlina et al. (2021), & Maulidiya et al. (2026). Rekomendasi yang dapat diberikan adalah Mengganti penggunaan bahan kimia kuat dengan memanfaatkan larutan preparat siap pakai yang relatif lebih aman, Mengeluarkan peralatan yang rusak atau retak dari inventaris laboratorium sebagai upaya menghilangkan sumber bahaya fisik, Mengganti sistem pengamatan ke tampilan mikroskop digital, dan menghilangkan kontak langsung melalui sistem pengaliran limbah otomatis atau tertutup.
2. Berdasarkan penelitian Ernada et al. (2023), Herliana (2024), & Rakhman & Nasri (2021). Rekomendasi yang dapat diberikan adalah Menerapkan sistem ventilasi dan *exhaust* yang memadai serta penggunaan alat sampling tertutup untuk mencegah terbentuknya aerosol biologis, Menggunakan lemari asam (*fume hood*) untuk mengendalikan paparan uap bahan kimia, dan Pemanfaatan *biosafety* cabinet saat menangani sampel.

5.7.2 Hasil Berdasarkan AHP

Tabel 5. 2 Pengambilan Keputusan AHP

Attribute Weight	Attribute												Alt. Weight Evaluation	
	Tingkat Efektivitas			Biaya Implementasi			Kemudahan Implementasi			Manajemen PIC				Kesesuaian Regulasi
	Pengaruh Kecelakaan Kerja	Pengaruh Pengaruh Alat dan Hasil Kerja	Pengaruh Keselamatan dan Kesehatan Kerja	Biaya Awal	Biaya Pemeliharaan dan Perawatan	Biaya Pelatihan dan Edukasi	Ketersediaan Sumber Daya	Waktu yang Dibutuhkan	Kemampuan Pekerja	Kepuasan PIC	Monitoring	Delapan Managemen		
	0,07072363	0,03902722	0,02150083	0,018321497	0,117688486	0,054008728	0,17186143	0,069245139	0,109290231	0,066979886	0,084081133	0,105457692		
	Alternative													
Penggunaan APD lengkap	0,63334572	0,239487608	0,18961039	0,581263617	0,260497956	0,514677539	0,623224728	0,65294118	0,239487608	0,49047819	0,224675325	0,207258297	0,442573149	
Pelatihan K3 Berkala	0,260497956	0,623224728	0,297258297	0,309150327	0,63334572	0,333786234	0,239487608	0,223323239	0,623224728	0,311904762	0,333786234	0,389861039	0,4057563405	
Pencarian Alternatif Bahan Kimia yang Lebih Aman	0,106156324	0,137287664	0,163780664	0,109586057	0,106156324	0,141558442	0,137287664	0,093382353	0,137287664	0,107619048	0,141558442	0,163780664	0,133264748	

Tabel tersebut menunjukkan hasil akhir pengambilan keputusan menggunakan metode AHP dalam mengevaluasi tiga alternatif strategi dalam K3 yaitu, penggunaan APD lengkap, pelatihan K3 berkala, dan pencarian alternatif bahan kimia yang lebih aman. Proses evaluasi dilakukan berdasarkan 5 kriteria utama yaitu, Tingkat Efektivitas (0,1312), Biaya Implementasi (0,1900), Kemudahan Implementasi (0,3503), Manajemen/PIC (0,2565), dan Kesesuaian Regulasi (0,0717), masing-masing dengan sub-kriteria. Berdasarkan hasil perhitungan AHP pada tabel tersebut, diperoleh nilai akhir (*Alternative weight evaluation*) untuk masing-masing alternatif. Penggunaan APD lengkap memperoleh skor tertinggi sebesar 0,4562, Pelatihan K3 Berkala sebesar 0,4055, dan Pencarian Alternatif Bahan Kimia yang Lebih Aman sebesar 0,1382. Hasil ini menunjukkan bahwa Penggunaan APD Lengkap menjadi alternatif yang paling diprioritaskan berdasarkan penilaian keseluruhan berdasarkan kombinasi seluruh kriteria yang digunakan. Keunggulan alternatif ini memberikan keseimbangan yang baik antara aspek biaya, pengaruh terhadap kualitas kerja, serta kemudahan implementasi. Selain itu,

penggunaan APD dinilai lebih mudah diterapkan secara langsung dan sesuai dengan standar keselamatan yang berlaku.

Pelatihan K3 berkala berada di posisi kedua dengan selisih nilai yang tidak terlalu jauh dari APD. Hal ini menunjukkan bahwa pelatihan juga merupakan alternatif yang kuat, terutama dalam peningkatan pemahaman, kenyamanan kerja, serta pengurangan kesalahan dalam melakukan aktivitas praktikum. Sementara itu, pencarian alternatif bahan kimia yang lebih aman memperoleh skor paling rendah. Meskipun alternatif ini memiliki kelebihan pada aspek-aspek tertentu, total nilai yang diperoleh masih lebih rendah dibandingkan dua alternatif lainnya, sehingga belum menjadi prioritas utama.

Oleh karena itu, berdasarkan metode AHP, Penggunaan APD Lengkap direkomendasikan sebagai alternatif utama dalam strategi peningkatan K3 di laboratorium kualitas air. Namun, pelatihan K3 berkala tetap dapat dipertimbangkan sebagai strategi pendukung untuk memperkuat efektivitas implementasi pengendalian risiko.

5.7.3 Hasil berdasarkan *Cost Benefit Analysis*

Tabel 5. 3 Hasil *Cost Benefit Analysis*

No	Alternatif	Total Cost (Rp)	Total benefit 3 Tahun (Rp)	BCR (benefit cost ratio)	Keterangan
1	Penggunaan APD	14.000.000	13.200.000	0,94	Hampir Layak
2	Pelatihan K3 Berkala	5.000.000	23.100.000	4,62	Layak
3	Pencarian Bahan Kimia yang Lebih aman	15.000.000	16.500.000	1,10	Layak

Pengambilan keputusan menggunakan metode *Cost Benefit Analysis* dilakukan dengan membandingkan total biaya yang dikeluarkan dengan total manfaat yang diperoleh selama periode 3 tahun. metode ini berfokus pada kelayakan ekonomi dari setiap alternatif yang diusulkan. Berdasarkan hasil perhitungan, pelatihan K3 berkala memiliki nilai *Benefit Cost Ratio* (BCR) tertinggi yaitu 4,62. Artinya setiap *Cost* yang dikeluarkan

untuk pelatihan mampu memberikan manfaat sebesar Rp 4,62 dalam bentuk pengurangan kerugian laboratorium. Nilai ini menunjukkan bahwa pelatihan K3 merupakan alternatif yang paling menguntungkan secara finansial. Pencarian bahan kimia yang lebih aman memiliki nilai BCR sebesar 1,10. Nilai ini masih menunjukkan bahwa alternatif tersebut layak diterapkan karena manfaat yang diperoleh lebih besar daripada biaya yang dikeluarkan. Namun, tingkat keuntungannya tidak sebesar pelatihan dikarenakan biaya awal yang cukup tinggi. Sementara itu, penggunaan APD memiliki nilai BCR sebesar 0,94. Nilai ini menunjukkan bahwa manfaat yang diperoleh hampir sama dengan biaya yang dikeluarkan, sehingga secara ekonomi belum sepenuhnya memberikan keuntungan. Akan tetapi, alternatif ini tetap penting dalam sisi perlindungan dan kepatuhan terhadap standar keselamatan.

Berdasarkan sudut pandang ekonomi, Pelatihan K3 menjadi alternatif yang paling direkomendasikan karena memberikan rasio manfaat terhadap biaya yang paling besar. Hal ini juga didasarkan pada kondisi laboratorium dimana sebagian besar kerugian disebabkan oleh kesalahan penggunaan atau *human error*, sehingga peningkatan kemampuan dan pemahaman sumber daya manusia menjadi langkah yang paling efektif dalam mengurangi kerugian yang terjadi di laboratorium.

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berikut merupakan kesimpulan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan:

1. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan di Laboratorium Kualitas Air, dapat disimpulkan bahwa selama kegiatan praktikum berlangsung terdapat berbagai potensi bahaya yang berisiko terhadap keselamatan praktikan. Potensi bahaya ini meliputi potensi bahaya biologis, kimia, fisik, dan ergonomi. Pada proses pengambilan dan pengujian sampel, terdapat risiko percikan air terkontaminasi dan paparan bakteri patogen yang dapat menyebabkan infeksi. Aktivitas penggunaan dan pemindahan larutan kimia berpotensi menimbulkan iritasi, kulit, mata, saluran pernapasan, hingga luka bakar ringan maupun serius. Penggunaan alat yang kurang tepat juga dapat menyebabkan pecahnya gelas ukur dan menimbulkan luka fisik. Selain itu, penggunaan mikroskop dan komputer dalam waktu lama dapat menyebabkan kelelahan mata, sakit kepala, serta nyeri leher dan bahu. Pada tahap pengelolaan limbah, terdapat risiko iritasi kulit dan gangguan kesehatan akibat paparan limbah kimia maupun biologis. Secara keseluruhan, potensi bahaya sebagian besar berasal dari bahaya kimia dan biologis yang memiliki dampak langsung terhadap kesehatan praktikan.
2. Berdasarkan hasil penilaian risiko terhadap aktivitas kerja di Laboratorium Kualitas Air menunjukkan adanya perbedaan tingkat risiko dari rendah, sedang, dan tinggi berdasarkan nilai *Likelihood* (L) dan *Consequence* (C). Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode HIRADC, diperoleh bahwa risiko tertinggi terdapat pada aktivitas menatap layar komputer atau lensa mikroskop dalam waktu lama dengan skor 9 yang termasuk dalam kategori risiko tinggi, serta aktivitas pengumpulan limbah laboratorium dengan skor 8 yang juga termasuk dalam kategori risiko tinggi. Risiko ini dipengaruhi oleh potensi kelelahan mata, sakit kepala, nyeri leher dan bahu, serta penurunan konsentrasi kerja serta gangguan kesehatan seperti iritasi kulit hingga gangguan pernapasan. Selain itu beberapa aktivitas lain seperti terciprat saat pengambilan sampel, terkena larutan kimia pada saat menuangkan ke dalam gelas ukur, serta penggunaan alat yang kurang tepat hingga menyebabkan gelas ukur pecah, serta aktivitas pemindahan zat dan saat memproses sampel air yang termasuk dalam

kategori risiko rendah sampai sedang dengan rentang skor 1-6. Risiko tersebut berkaitan dengan potensi iritasi saluran pernapasan serta dapat terjadinya infeksi, namun masih dapat diminimalkan melalui penerapan proses kerja yang benar dan penggunaan APD secara konsisten. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan meskipun tidak terdapat risiko dengan kategori sangat tinggi, pengendalian tetap diperlukan untuk mencegah peningkatan tingkat risiko yang dapat terjadi.

3. Berdasarkan hasil penentuan prioritas pengendalian risiko dilakukan menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk memilih alternatif yang paling efektif berdasarkan kombinasi beberapa kriteria yaitu biaya implementasi, tingkat efektivitas, kemudahan implementasi, manajemen/PIC, dan kesesuaian regulasi. Hasil perhitungan menunjukkan nilai *Consistency Ratio* (CR) $< 0,1$ sehingga proses pembobotan dinyatakan konsisten dan dapat diterima. Berdasarkan nilai *Alternative Weight Evaluation*, alternatif penggunaan APD lengkap memperoleh bobot tertinggi yaitu sebesar 0,4562, sehingga menjadi alternatif yang paling diprioritaskan. Nilai tersebut bahwa penggunaan APD lengkap dinilai paling unggul secara keseluruhan berdasarkan kombinasi seluruh kriteria yang digunakan. Menurut Andwina Andwina et al. (2025) mengenai efektivitas penggunaan APD menunjukkan bahwa penggunaan APD mampu menurunkan angka kecelakaan kerja secara signifikan, bahkan dapat mengurangi risiko hingga 60-80%.

Selanjutnya, berdasarkan evaluasi kelayakan ekonomi dilakukan menggunakan metode *Cost-Benefit Analysis*. Berdasarkan hasil perhitungan, alternatif pelatihan K3 berkala memiliki nilai *Benefit Cost Ratio* (BCR) > 1 tertinggi yaitu 4,62 dinyatakan layak. Dimana, setiap Rp1 yang dikeluarkan untuk pelatihan mampu memberikan manfaat sebesar Rp 4,62 dalam bentuk pengurangan kerugian laboratorium kualitas air. Hal ini juga didukung oleh penelitian sebelumnya menurut Jaya et al. (2025) yang menunjukkan bahwa tindakan pencegahan dalam keselamatan dan kesehatan kerja memiliki BCR > 1 sehingga layak diterapkan secara ekonomi. Nilai ini menunjukkan bahwa pelatihan K3 merupakan alternatif yang paling menguntungkan secara finansial dan memberikan rasio manfaat terhadap biaya paling besar dibandingkan alternatif lainnya. Hal ini juga mengacu dengan kondisi laboratorium, dimana sebagian besar kerugian disebabkan oleh kesalahan penggunaan alat atau *human error*.

Perbedaan hasil antara metode AHP dan CBA dalam menentukan prioritas pengendalian menunjukkan bahwa kedua metode ini memiliki fokus penilaian yang berbeda. Metode AHP menilai alternatif berdasarkan berbagai pertimbangan, beberapa kriteria. Sementara itu, metode CBA berfokus pada keuntungan finansial, sehingga pelatihan K3 berkala menjadi alternatif paling layak secara ekonomi. Maka dari itu, berdasarkan sudut pandang peneliti, hasil kedua metode ini saling melengkapi untuk pengendalian risiko. Pelatihan K3 secara berkala dapat menjadi dasar untuk meningkatkan pengetahuan dan pemahaman praktikan terkait prosedur keselamatan kerja. Dengan pemahaman tersebut, praktikan diharapkan lebih tepat dan konsisten dalam menggunakan APD saat melakukan aktivitas di laboratorium. Oleh karena itu, penggunaan APD lengkap sebagai pengendalian utama dari sisi teknis, sedangkan pelatihan k3 berkala menjadi strategi pendukung yang paling direkomendasikan dari sudut pandang ekonomi untuk mengurangi risiko akibat *human error*.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, berikut saran yang dapat dijadikan sebagai masukan bagi instansi dan peneliti selanjutnya:

1. Bagi Instansi

Bagi instansi sebagai pengelola laboratorium disarankan untuk melakukan monitoring dan evaluasi sistem keselamatan kerja secara berkala, terutama terhadap kepatuhan dalam penggunaan APD, kondisi peralatan praktikum, serta penerapan SOP yang berlaku. Selain itu, perlu dilakukan pemeliharaan dan penggantian alat-alat laboratorium yang sudah tidak layak pakai untuk mencegah risiko cedera maupun gangguan selama proses praktikum. Instansi juga disarankan untuk menyelenggarakan pelatihan K3 secara berkala, karena sebagian besar potensi kerugian disebabkan oleh penggunaan alat atau *human error*, maka pelatihan dan pengawasan perlu benar-benar diperhatikan untuk meminimalisir terjadinya kecelakaan kerja.

2. Bagi Peneliti Selanjutnya

Penelitian ini masih memiliki keterbatasan dalam cakupan aktivitas dan periode observasi. Oleh karena itu, peneliti selanjutnya disarankan untuk memperluas ruang

lingkup dengan melibatkan lebih banyak jenis praktikum agar memperoleh gambaran risiko yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- A Tanisri, R. H., & Siregar, D. (2022). Pengendalian Bahaya dan Risiko K3 Menggunakan Metode HIRADC dan FTA Pada Industri Kerupuk. In *Journal of Industrial and Engineering System* (Vol. 3, Number 2).
- Abdurrahman, H., Rahdiana, N., Astuti Widi Rahayu, A., Suhara, A., Fadli Perdana, M., Ronggo Waluyo Sirnabaya, J., Timur, T., & Barat, J. (2025). Analisis Kesehatan Dan Keselamatan Kerja (K3) Dengan Metode Hirarc Pada Bidang Konstruksi (Studi Kasus: Unit Operasi 2 PT. Wijaya Karya Beton). *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)*, 4(3), 908–919.
- Afnella, W., & Utami, T. N. (2021). Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Metode HIRA (Hazard Identification and Risk Assessment) di PT. X. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 5(2), 1004–1012.
- Al, I., Amri, J., Yanti, P., Fikri, M. J., Keselamatan, S., Kerja, K., Kesehatan, F., Pejuang, U., Indonesia, R., & Masyarakat, K. (2025). *MANAJEMEN K3 TERHADAP BAHAYA KERJA RISIKO TINGGI PADA LABORATORIUM KIMIA “X” POLITEKNIK MAKASSAR*.
- Albar, M. E., Parinduri, L., & Sibuea, S. R. (2022a). Analisis Potensi Kecelakaan Menggunakan Metode Hazard Identification and Risk Assessment (HIRA). *Buletin Utama Teknik*, 17(3), 241–245.
- Albar, M. E., Parinduri, L., & Sibuea, S. R. (2022b). ANALISIS POTENSI KECELAKAAN MENGGUNAKAN METODE HAZARD IDENTIFICATION AND RISK ASSESSMENT (HIRA). In *Cetak) Buletin Utama Teknik* (Vol. 17, Number 3). Online.
- Aldio, R. Z., Panuh, D., & Zaki, A. K. (2022). Pengembangan Lemari Asam dengan Variasi Kecepatan Putaran Exhaust Fan Menggunakan Sistem Otomatis. *Semesta Teknika*, 25(2), 161–169. <https://doi.org/10.18196/st.v25i2.14139>
- Ameiliawati, R. (2022). *Penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja dengan Metode HIRADC (Hazard Identification, Risk Assessment and Determining Control) di Area Plant-Warehouse Implementation of Occupational Safety and Health with The HIRADC (Hazard Identification, Risk Assessment, and Determining Control) Method in The Plant Area-Warehouse*.
- Andwina Andwina, Susilawati Susilawati, Rahmah Dwi Asti, & Nurul Zahra. (2025). Literatur Riview :Efektivitas Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) dalam Menurunkan Risiko Kecelakaan Kerja. *Jurnal Ilmiah Kedokteran Dan Kesehatan*, 5(1), 01–06. <https://doi.org/10.55606/klinik.v5i1.5284>
- Aven, T. (2015). *Risk analysis*. John Wiley & Sons.
- Aven, T. (2016). Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research*, 253(1), 1–13.

- Ayu, I., Lestari, I. D., Lestari, F., & Tejamaya, M. (2020). Cost and Benefit Analysis of Laboratory Health and Safety Management System. In *Indian Journal of Public Health Research & Development* (Vol. 11, Number 03).
- Cahyaningrum, D., Sari, H. T. M., & Iswandari, D. (2019). Faktor-faktor yang berhubungan dengan kejadian kecelakaan kerja di laboratorium pendidikan. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 1(2), 41–47.
- Dwi, A., Saputra, A., Supratman, J., & Turseno, A. (2025). Analisis Cost Benefit Program K3 Menggunakan Metode Job Safety Analysis di PT. Jawa Sinergi Indonesia Cost-Benefit Analysis of the K3 Program Using the Job Safety Analysis Method at PT. Jawa Sinergi Indonesia. In *Prosiding Semnastek FT-UBJ* (Vol. 1, Number 1). <https://safetyfirstindonesia.co.id>
- Ebeling, C. E. (2019). *An introduction to reliability and maintainability engineering*. Waveland Press.
- Ernada, S., Ibrahim, S. M., Hidayat, E. Y., Rohmadhani, M., & Radianto, D. O. (2023). Pengukuran dan Evaluasi Ventilasi Udara Berdasarkan SNI pada Laboratorium Motor Bakar Instansi Pendidikan di Surabaya. *Journal of Student Research*, 1(4), 90–103.
- Fakhrudin. (2025). Klasifikasi Penggunaan Bahan Kimia Praktikum Berdasarkan Tingkat Bahaya/Risiko Kesehatan di Laboratorium Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Lampung. *JURNAL PENGELOLAAN LABORATORIUM SAINS DAN TEKNOLOGI*, 5(1), 38–46. <https://doi.org/10.33369/pelastek.v5i1.42243>
- Ferry, R., Andesta, D., & Waiusr, A. (2022). IDENTIFIKASI BAHAYA KECELAKAAN KERJA DI PT.TOSHIN PRIMA FINE BLANKING MENGGUNAKAN METODE JOB SAFETY ANALYSIS DAN HAZARD IDENTIFICATION, RISK ASSESMENT AND RISK CONTROL. *JUSTI*, 2(2).
- Gunawan, K. (2022). Optimalisasi Penerapan Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) di Laboratorium Manufaktur. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 10(1), 40–47. <https://doi.org/10.23887/jptm.v10i1.44104>
- Hakim, T. L., Suriyani, M. Y., Paramita, A., & Harliyanti, W. (2023). Identifikasi Bahaya Dan Penilaian Risiko Untuk Mengendalikan Potensi Kecelakaan Kerja di Laboratorium Kimia. *Science and Physics Education Journal (SPEJ)*, 7 (1), 8–19.
- Hamzah Alawi, M., & Rahdiana, N. (2025). Analisis Potensi Kecelakaan Kerja Pada Pabrik Tahu Dengan Menggunakan Metode HIRARC (Studi Kasus: Pabrik Tahu BJ). *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)*, 4(3), 1007–1013.
- Hansjürgens, B. (2004). Economic valuation through cost-benefit analysis – possibilities and limitations. *Toxicology*, 205(3), 241–252. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tox.2004.06.054>
- Herliana, E. (2024). IDENTIFIKASI BAHAYA DAN PENILAIAN RISIKO

- LABORATORIUM KIMIA UKRI DENGAN METODE HIRADC* (Vol. 7, Number 1). Hidayat, D. F., & Hardono, J. (2021). Penerapan Metode HIRADC pada Bagian Proses Penerimaan di PT. CA Application of the HIRADC Method in the Receiving Process Section at PT. CA. *Journal Industrial Manufacturing*, 6(2).
- Ihsan, T., Hamidi, S. A., & Putri, F. A. (2020). Penilaian Risiko dengan Metode HIRADC Pada Pekerjaan Konstruksi Gedung Kebudayaan Sumatera Barat. *Jurnal Civronlit Unbari*, 5(2), 67. <https://doi.org/10.33087/civronlit.v5i2.67>
- Indrawan, S. (2023). *Penerapan Penentuan Prioritas Strategi Penerapan K3 Dengan Pendekatan Analytical Hierarchy Proces*.
- Iryaning Handayani, D., & Purwanto, A. (2014). *Assessment on Work Safety and Health Risks*.
- Jaya, R., Amelia Pawitra, T., Widada, D., No, J., Gunung Kelua, K., Sempaja Selatan, K., & Smarinda Utara, K. (2025). Analisis Risiko Keselamatan Kerja pada Proses Perbaikan Kapal dengan Metode Hazard Identification Risk Assessment and Determining Control (HIRADC). *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)*, 4(4), 2035–2044.
- Kiara Ayu Listiani, S. M. N. (2025). Risiko Bahaya pada Pekerja Surveyor dalam Proses Pengambilan Sampel Uji Lingkungan Berdasarkan Metode HIRADC (Hazard Identification, Risk Assessment, and Determining Control). *Jurnal Penelitian Kesehatan "SUARA FORIKES" (Journal of Health Research "Forikes Voice")*. <https://doi.org/10.33846/sf16123>
- Komala, P. S., Nur, A., & Fitria, I. R. (2024). Evaluasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Minum (IPA) Universitas Andalas. *Dampak*, 21(2), 7–17. <https://doi.org/10.25077/dampak.21.2.7-17.2024>
- Liga Mayola, Afdhal, M., & Rita. (2023). Analytical Hierarchy Process (AHP) dalam Seleksi Penerimaan Mahasiswa Baru. *Jurnal KomtekInfo*, 81–86. <https://doi.org/10.35134/komtekinfo.v10i2.371>
- Liswardani, S., Sulisty, S., & Anam, C. (2022). Efektivitas Pelatihan Workshop Laboratorium Terhadap Asisten Laboratorium di Fakultas Pertanian UNS. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 4(2), 42–47.
- Maulidiya, N., Heidar, M., Nurhalizah, Y., Kusuma, M. R., Ishak, B. S., Wiwin, W., & Rani, D. P. (2026). Manajemen Risiko, Keselamatan, dan Kesehatan Kerja pada Pengelolaan Limbah Aluminium di PT. Buan Mukim Mandiri. *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, 4(4), 14558–14564. <https://doi.org/10.31004/riggs.v4i4.5300>
- Merlina, D., Muda, P.-A., Lingkungan dan Budidaya Perairan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Mulawarman Samarinda, L., & Timur, K. (2021). Pengembangan Kinerja Mikroskop Binokular Menjadi Mikroskop Berkamera untuk Alat Praktikum dan Penelitian. In *JOURNAL OF LABORATORY ISSN* (Vol. 4, Number 1). Online.

- Monoarfa, V., & Miolo, R. N. B. (2022). Penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Menggunakan Metode HIRARC Pada UMKM Pabrik Tahu. *Mopolayio: Jurnal Pengabdian Ekonomi*, 2(1), 1–6.
- Nur, M., Valentino, V., Sari, R. K., & Karim, A. A. (2023). Analisa Potensi Bahaya Kecelakaan Kerja Terhadap Pekerja Menggunakan Metode Hazard Identification, Risk Assesment And Risk Control (HIRARC) Pada Perusahaan Aspal Beton. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan*, 2(3), 150–158.
- Nur Syawal, S. (2023). *Analisis Potensi Bahaya dengan Metode HIRADC untuk Mencegah Terjadinya Kecelakaan Kerja di Departemen Injection PT. Indonesia Thai Summit Plastech. VIII(1)*.
- Nurraudah, R., & Yuamita, F. (2023). Analisis Risiko Potensi Kecelakaan Kerja Pada Pekerja Departemen Persiapan Produksi Menggunakan Metode HIRADC (Hazard Identification, Risk Assesment And Determining Control) (Studi Kasus : PT Mandiri Jogja International). *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)*, 2(3), 159–167.
- Nursabrina, A., Djoko Kustono, I., Pd, M., Al-Irsyad, D. M., Km, S., Ph, M., Masyarakat, J. K., Keolahragaan, I., & Malang, U. N. (2021). *ANALISIS RISIKO KECELAKAAN KERJA DI LABORATORIUM NANOMATERIAL MENGGUNAKAN METODE HIRA*. 40–47.
- Nurulasyrof, A. S., Faza, A., & Novia, F. (2023). IDENTIFIKASI KARAKTERISTIK DAN PENGELOLAAN LIMBAH B3 LABORATORIUM KONTROL DI INDUSTRI FARMASI. In *Anggita Faza* (Vol. 6, Number 1).
- Nuryono, A., Kurnia, H., Tambunan, E. B., & Wiyatno, T. N. (2023). ANALISIS KINERJA KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA (K3) PADA PROSES PRODUKSI SAUS DENGAN METODE FAULT TREE ANALYSIS. In *Jurnal Ilmiah Teknik Industri* (Vol. 11, Number 2).
- Pratama, F., Ismiyah, E., & Rizqi, A. W. (2022). Analisis Risiko (K3) Metode Hazard Identification Risk Assesment And Risk Control (HIRARC) di Departemen Laboratorium PT. ABC. *Jurnal Ilmiah GIGA*, 25(2), 88–95. <http://dx.doi.org/10.47313jig.v25i2.1922>
- Pratama, H., Andesta, D., Dahda, S. S., & Industri, J. T. (2025). Analisis Potensi Bahaya Kerja Dengan Metode JSA Dan HIRARC Di Workshop Fabrikasi. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)*, 4(4), 1654–1663.
- Pratama, N. A., & Apsari, A. E. (2024). Analisis K3 Pada Aktivitas Pemotongan Ayam Dengan Menggunakan Metode JSA dan HIRARC. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)*, 3(2), 115–124.
- Pratiwi, D., Sukwika, T., & Gusdini, N. (2024). *JAMBURA JOURNAL OF HEALTH SCIENCE AND RESEARCH STRATEGI IMPLEMENTASI PROGRAM K3 DALAM PENINGKATAN PRODUKTIVITAS KARYAWAN PADA BAGIAN PRODUKSI MENGGUNAKAN: METODE ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS STRATEGY*

FOR IMPLEMENTING THE OSH PROGRAM IN INCREASING EMPLOYEE PRODUCTIVITY IN THE PRODUCTION SECTION: USING ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS METHOD. <https://ejurnal.ung.ac.id/index.php/jjhsr/index>

Pucker, A. D., Kerr, A. M., Sanderson, J., & Lievens, C. (2024). Digital eye strain: updated perspectives. *Clinical Optometry*, 233–246.

Rahmadani, S., Utami, R., & Artikel, I. (2023). Penerapan Metode AHP Dan Metode WP Dalam Sistem Pendukung Keputusan Penentuan Siswa Berprestasi Pada SMA Negeri 20 Medan Application of the AHP Method and the WP Method in the Decision Support System for Determining Outstanding Students at SMA Negeri 20 Medan. In *Jurnal Rekayasa Sistem* (Vol. 1, Number 1). <http://kti.potensi-utama.ac.id/index.php/JUREKSI/index>

Rahmawan, B. Y., Revantoro, N. B., Mustofa, D. M., & Ansyorie, A. (2024). *Prosiding National Seminar and Call for Paper Civil Days 2024 (EnviroCivil-2024) Diselenggarakan di Malang, 28 Agustus 2024 e-ISSN (2964-772X) ANALISIS POTENSI BAHAYA KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA PADA PENGGUNA LABORATORIUM DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS NEGERI MALANG MENGGUNAKAN METODE HIRA.*

Rakhman, A. J., & Nasri, S. M. (2021). *BIOSAFETY LEVEL DI LABORATORIUM MIKROBIOLOGI PT SCI.* 5(2).

Redjeki, S. (2016). *Keselamatan dan Kesehatan Kerja.*

Rohmatillah, W., Sari, D., Yuniastuti, T., Widyagama, S., Malang, H., & Rohmatillah, W. (2021). ANALISA STRATEGI PROAKTIF DALAM MENCEGAH RISIKO BAHAYA DENGAN METODE HIRADC DI CV X PAKIS. In *Media Husada Journal of Environmental Health* (Vol. 1, Number 1).

Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98.

Safitri, A., Mafulla, D., Nichlah, M. W., Roykhan, R. M., Devi, S., & Absor, U. (2024). Analisis Identifikasi Risiko, Penilaian Risiko Dan Pengendalian Risiko Pada CV Sinar Jaya Mandiri. *Jurnal Ilmiah Keuangan Akuntansi Bisnis*, 3(2), 513–518. <https://doi.org/10.53088/jikab.v3i2.160>

Sarbiah, A. (2023). Penerapan pelaksanaan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) pada karyawan. *Health Information: Jurnal Penelitian*, e1210–e1210.

Sari, S., Hayati, H., Dzaki, A., Juliansyah, W., & Safaat, A. R. (2023). Analisis risiko kesehatan dan keselamatan kerja pada pabrik tahu bapak paimin dengan metode HIRA. *JISI: Jurnal Integrasi Sistem Industri*, 10(1), 1–8.

Shadiq, J., Sukwika, T., Basriman, I., Manajemen, M., Penerapan, A., & Kesehatan Kerja, K. (2023). *JAMBURA JOURNAL OF HEALTH SCIENCE AND RESEARCH STRATEGI PENERAPAN KESELAMATAN KESEHATAN KERJA PADA CABANG*

PERUSAHAAN PERGUDANGAN: MENGGUNAKAN METODE ANALISIS SWOT DAN AHP STRATEGY FOR IMPLEMENTING OCCUPATIONAL HEALTH SAFETY IN BRANCHES OF WAREHOUSING COMPANIES: USING SWOT AND AHP ANALYSIS METHODS. <https://ejurnal.ung.ac.id/index.php/jjhsr/index>

- Sukwika, T., & Pranata, H. D. (2022a). Analisis Keselamatan dan Kesehatan Kerja Bidang Freight Forwarder Menggunakan Metode HIRADC. *Jurnal Teknik*, 20(1), 1–13.
- Sukwika, T., & Pranata, H. D. (2022b). Analisis Keselamatan dan Kesehatan Kerja Bidang Freight Forwarder Menggunakan Metode HIRADC. *Jurnal Teknik*, 20(1), 1–13.
- SURYADI, R. T. (2025). *Strategi Perlindungan K3 dalam Perolehan Penghargaan Zero Accident: Studi Kasus KPH Kuningan menggunakan Pendekatan AHP.*
- Suryana, H., Moektiwibowo, H., Waspada, D., & Bhirawa, T. (2025). *EVALUASI RISIKO KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA DI SEKTOR INDUSTRI PENGENDALIAN HAMA MENGGUNAKAN METODE HIRADC.*
- Syabib, M., Newazali, R., & Jufriyanto, M. (2025). Penerapan Metode HIRARC Dan HAZOP Dalam Mengidentifikasi Potensi Bahaya Di Area Fabrikasi. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)*, 4(4), 2085–2091.
- Wicaksono, A., Yuamita Fakultas sains dan teknologi, F., Teknik Industri, J., Teknologi Yogyakarta Jl Siliwangi Jl Ring Road Utara, U., Lor, J., Mlati, K., & Sleman, K. (2022). Pengendalian Kualitas Produksi Sarden Menggunakan Metode Failure Mode And Effect Analysis (FMEA) Dan Fault Tree Analysis (FTA) Untuk Meminimalkan Cacat Kaleng Di PT XYZ. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)*, 1(3), 145–154.
- Yasmie, M. R., RianZeva, R., & Amrullah, E. (2024). Implementasi Metode Hira Dan Hazop Untuk Meminimalisir Potensi Bahaya Kesehatan Dan Keselamatan Kerja Pada Industri Furnitur. *J@ Ti Undip: Jurnal Teknik Industri*, 19(1), 14–25.
- Yosepha Sindya Vionita¹, S. A. K. A. U. , V. H. P. (2024). *Analisis Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja pada Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.*
- Zein, R. M., & Jufriyanto, M. (2022). Manajemen Risiko Pada Proses Produksi Tanki Air: Metode Hazard Identification Risk Assessment Risk Control (HIRARC). *SITEKIN: Jurnal Sains, Teknologi Dan Industri*, 19(2), 301–306.

LAMPIRAN

AutoSave Off Perhitungan AHP TA DITAA Search PRADITA NUR MAULIDINA

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help Nitro Pro

Comments Share

Undo Clipboard Font Alignment Number Styles Cells Editing

K103 2

No	Kriteria	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Tingkat Efektivitas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Tingkat Efektivitas	1/2	1	2	3	4	5	6	7	8
3	Tingkat Efektivitas	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	7
4	Tingkat Efektivitas	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6
5	Tingkat Efektivitas	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5
6	Tingkat Efektivitas	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4
7	Tingkat Efektivitas	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3
8	Tingkat Efektivitas	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2
9	Tingkat Efektivitas	1/9	1/8	1/7	1/6	1/5	1/4	1/3	1/2	1

PEMBOBOTAN Uji konsistensi KRITERIA Uji konsistensi SUB KRITERIA Konsistensi

Lampiran 1. Kuesioner AHP

AutoSave Off Perhitungan AHP TA DITAA Search PRADITA NUR MAULIDINA

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help Nitro Pro

Comments Share

Undo Clipboard Font Alignment Number Styles Cells Editing

K20

Kriteria	Tingkat Efektivitas	Biaya Implementasi	Kemudahan Implementasi	Manajemen/PIC	Kesesuaian dengan Regulasi
Tingkat Efektivitas	1	1/3	1/2	1/3	3
Biaya Implementasi	3	1	1/3	1/2	3
Kemudahan Implementasi	2	3	1	2	3
Manajemen/PIC	3	2	1/2	1	3
Kesesuaian dengan Regulasi	1/3	1/3	1/3	1/3	1
Total	9,25	6,66666667	2,66666667	4,16666667	13

PEMBOBOTAN Uji konsistensi KRITERIA Uji konsistensi SUB KRITERIA Konsistensi

Lampiran 2. Pengolahan Data AHP

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help Nitro Pro

AutoSave On Perhitungan AHP TA DITAA Search

Comments Share

Undo Clipboard Font Alignment Number Styles

Times New Roman 11 A⁺ Text

B I U Bold Italic Underline Font Color Background Color

Conditional Formatting Format as Table Cell Styles

Insert Delete Format Cells

Σ Sort & Filter Find & Select

123 =H23/SH517

Lampiran 3. Pengolahan Data AHP

[illegible]

Lampiran 4. Pengolahan Data AHP

AutoSave Off Perhitungan AHP TA DITAA Search PRADITA NUR MAULIDINA

File Home Insert Page Layout Formulas Data Review View Help Nitro Pro

Undo Paste Font Alignment Number Styles Cells Editing

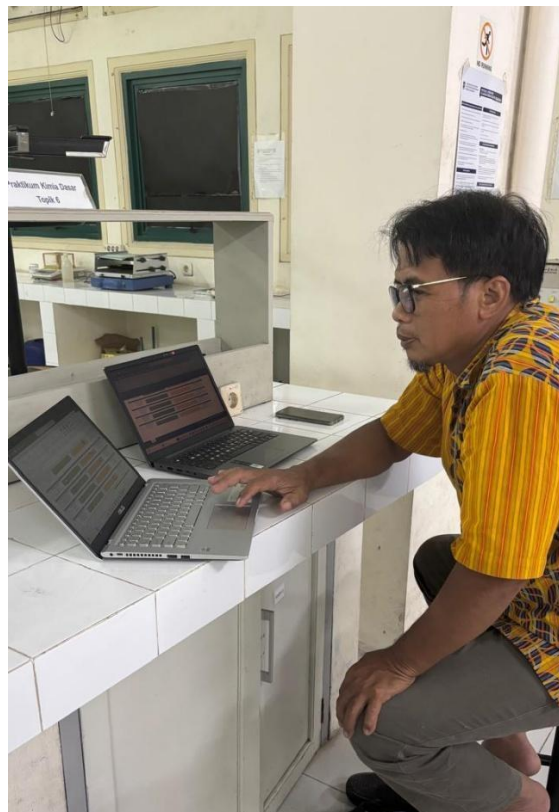
AA25

	PENGAMBILAN KEPUTUSAN											
	Tingkat Efektivitas			Biaya Implementasi		Kemudahan Implementasi		Manajemen PIC		Ketersediaan Regulasi		AHP Weight Evaluation
	Pengaruh Keputusan Kerja	Pengaruh Adanya dan Tidak Kerja	Pengaruh Ketersediaan dan Ketersediaan Kerja	Biaya Awal	Biaya Pemeliharaan dan Perawatan	Biaya Pelatihan dan Edukasi	Ketersediaan Sumber Daya	Waktu yang Dibutuhkan	Kemampuan Pemakai	Kepuasan PIC	Monitoring	
Amirah Wajidi	0.07075343	0.03902722	0.01150083	0.018321497	0.117888486	0.054008728	0.17386143	0.089245139	0.109280521	0.068979886	0.084081133	0.071790021
Penggunaan APD (sengaja)	0.61114572	0.23948768	0.18961039	0.18120461	0.366497958	0.32407322	0.623224728	0.651294118	0.28487808	0.49027619	0.32407322	0.44287743
Pelatihan K3 Berbasis	0.366497958	0.623224728	0.32407322	0.18120461	0.366497958	0.32407322	0.623224728	0.651294118	0.28487808	0.49027619	0.32407322	0.44287743
Pencatatan Absensi (Bahan Keras yang Lebih Aman)	0.106156324	0.137287864	0.16780664	0.109080057	0.106156324	0.141258442	0.137287864	0.093382353	0.137287864	0.197618068	0.141258442	0.16780664
Total												1
Bobot Global	0.07075343	0.03902722	0.01150083	0.018321497	0.117888486	0.054008728	0.17386143	0.089245139	0.109280521	0.068979886	0.084081133	0.071790021

Uji konsistensi SUB KRITERIA Konsistensi Alternatif Pengambilan Keputusan

Ready Accessibility: Investigate

Lampiran 5. Pengolahan Data AHP



Lampiran 6. Pengisian Kuesioner Expert



Lampiran 7. Kondisi Lemari Peralatan Laboratorium



Lampiran 8. Ruangan Praktikum



Lampiran 9. Proses Praktikum



Lampiran 10. Proses Praktikum



Lampiran 11. Proses Praktikum