

Perancangan APAR dan Hidran Halaman pada Gedung Laboratorium

Alfian Djafar^{1*}, Kholiq Deliasgarin Radhyantho², Gad Gunawan³, Ridhwan Haliq⁴,
Fajar Habib Syarifudin⁵, Ersamada Sinaga⁶

^{1,2,3,4,5,6}Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan Indonesia

*Koresponden email: alfian.djafar@lecturer.itk.ac.id

Diterima: 3 April 2024

Disetujui: 6 April 2024

Abstract

Fire protection can increase occupational safety and security factors from fire hazards. Therefore, this research aims to design a fire protection system in an integrated laboratory building. The fire protection design is active fire protection, namely yard hydrants and fire extinguishers. This research uses engineering research methods. The standards used are NFPA 14, NFPA 24, Regulation of PER.04/MEN/1980 and SNI 03-1375-2000. Fire extinguishers are designed by determining the minimum number of extinguishers required and the type of extinguishers to be used. The yard hydrant design is carried out by determining the minimum number of yard hydrants required. Based on the research results, 22 fire extinguishers are required on the 1st floor, while 12 fire extinguishers are required on each of the 2nd and 3rd floors. Based on the fire class, the recommended APAR is dry chemical powder and CO₂. The number of hydrants required is 9, the groundwater tank volume is 130 m³ and the obtained flow is 0.04 m³/s with a total head of 54,342 m. The appropriate pump specification is therefore the Ebara centrifugal pump type 150x125 FS4LA with a power of 54,342 kW.

Keywords: *fire extinguisher, yard hydrant, types of apar, fire, centrifugal pump*

Abstrak

Proteksi kebakaran dapat meningkatkan faktor keamanan dan keselamatan kerja dari bahaya kebakaran. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem proteksi kebakaran pada gedung laboratorium terpadu. Proteksi kebakaran yang dirancang adalah proteksi kebakaran aktif, yaitu hidran halaman dan APAR. Penelitian ini menggunakan metode penelitian teknikal yang mengacu pada standar sebagai landasan untuk mencari solusi dari proteksi kebakaran. Standar yang digunakan mengacu pada NFPA 14, NFPA 24, Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi PER.04/MEN/1980, dan SNI 03-1375-2000. Perancangan APAR dilakukan dengan tahapan penentuan jumlah kebutuhan minimum APAR beserta jenis kandungan APAR yang digunakan. Perancangan hidran halaman dilakukan dengan tahapan penentuan jumlah kebutuhan minimum hidran halaman yang ditentukan berdasarkan luas terbesar bangunan. Dari hasil penelitian, Perencanaan APAR di lantai 1 memiliki kebutuhan APAR sebanyak 22 buah, di lantai 2 dengan jumlah 12 APAR dan di lantai 3 dengan jumlah 12 APAR. Berdasarkan golongan kelas kebakaran, APAR yang direkomendasikan adalah jenis dry chemical powder dan CO₂. Jumlah hidran halaman yang dibutuhkan sebanyak 9 buah, volume tangki air tanah sebesar 130 m³, Debit yang diperoleh sebesar 0,04 m³/s dengan head total sebesar 54,342 m. Jadi, spesifikasi pompa yang sesuai adalah pompa sentrifugal merk Ebara Tipe 150x125 FS4LA dengan daya sebesar 54,342 kW.

Kata Kunci: *APAR, hidran halaman, jenis apar, kebakaran, pompa sentrifugal*

1. Pendahuluan

Kebakaran merupakan peristiwa tidak terkendali dari adanya api yang menyala dan memiliki pemicu di suatu tempat dan merambat ke daerah yang tidak diinginkan. Khusus pada bangunan, pemicu kebakaran biasanya disebabkan karena listrik, peralatan rumah tangga, bahan bangunan, perilaku dan kelalaian manusia, serta kejadian insidental [1]. Kebakaran listrik biasanya ditimbulkan karena ketidaksesuaian dalam penggunaan energi listrik, kurang baiknya pengaman dan instalasi listrik yang tidak menyesuaikan standar [2]. Selain instalasi listrik, peralatan elektronik dalam rumah bisa menjadi pemicu. Peralatan yang bisa menimbulkan kebakaran diantaranya adalah televisi, mesin cuci, mesin cuci piring, dan refrigerator-freezer [3]. Peralatan listrik ini bisa menyebabkan konsleting listrik [4]. Diantara banyaknya penyebab kebakaran, justru kecerobohan dalam penanganan api dan penggunaannya yang lebih banyak menimbulkan kebakaran [5]. Kecerobohan penggunaan alat memasak, kelalaian operasi alat kelistrikan dan penggunaan alat penerangan dengan tingkat panas tinggi dapat memicu terjadi kebakaran [6]

Kebakaran menjadi ancaman bagi bangunan dan mempengaruhi penghuninya [7] sehingga, kebakaran bisa menyebabkan terjadinya kerugian yang dialami, baik materiil dan juga moril [8]. Kerugian yang dialami berupa kerusakan pada bangunan, berhentinya aktivitas kerja, kerugian lingkungan, kerugian materi, kehilangan nyawa dan kesehatan mental [9]. Oleh karena itu, diperlukan upaya mencegah kebakaran dengan tetap waspada terhadap faktor penyebabnya dan menyiapkan langkah langkah pencegahan [10]. Salah satu upaya mencegah kebakaran adalah menyediakan sistem proteksi kebakaran. Sistem proteksi kebakaran yang andal bisa menjadi cara terbaik untuk memberikan jaminan keselamatan kebakaran [11].

Proteksi kebakaran pada bangunan gedung terdiri dari proteksi aktif dan juga proteksi pasif [12]. Sistem proteksi aktif memberikan perlindungan terhadap kebakaran menggunakan peralatan, baik penggunaannya manual maupun otomatis [13],[14]. Proteksi aktif terdiri dari Alat Pemadam Api Ringan (APAR), alarm kebakaran, sistem hidran, dan juga sistem sprinkler [15],[16]. Sistem proteksi pasif memberikan pencegahan kebakaran melalui material pada struktur bangunannya [17]. Proteksi pasif contohnya pintu dan jendela tahan api, penghalang api, sistem ventilasi, pintu darurat, bahan pelapis interior, partisi penghalang asap, dan tangga darurat [17], [18].

Penerapan proteksi kebakaran pada penelitian ini, akan ditujukan untuk sebuah laboratorium di perguruan tinggi yang masih dalam tahap perencanaan. Proteksi kebakaran yang merupakan bagian dari Mekanikal Elektrikal Plumbing (MEP), perlu perencanaan untuk memenuhi kriteria laik fungsi [19]. Proteksi kebakaran yang direncanakan berupa proteksi kebakaran aktif berupa hidran halaman dan APAR. sprinkler dikesampingkan menyesuaikan dari beberapa ruangan di laboratorium yang sensitif terhadap air dan menyebabkan komponen di dalamnya korosi. Harapannya, adanya proteksi kebakaran meningkatkan faktor keamanan dan keselamatan kerja dari civitas akademika dari bahaya kebakaran.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian teknik atau teknikal, dengan melakukan pendekatan pada standar sebagai landasan untuk mencari solusi dari proteksi kebakaran dalam sebuah gedung. Standar yang digunakan mengacu pada NFPA 14, NFPA 24, Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi PER.04/MEN/1980, dan SNI 03-1375-2000. Perencanaan APAR dilakukan dengan tahapan penentuan jumlah kebutuhan minimum APAR beserta jenis kandungan APAR yang digunakan. Perencanaan hidran halaman dilakukan dengan tahapan penentuan jumlah kebutuhan minimum hidran halaman yang ditentukan berdasarkan luas terbesar bangunan. Tahapan perencanaan APAR dan hidran halaman dapat dilihat sebagai berikut:

A. Perencanaan APAR

1) Tahapan Perhitungan Jumlah Kebutuhan APAR

Jumlah kebutuhan APAR pada gedung Laboratorium direncanakan berdasarkan luas bangunan dan radius jangkauan efektif APAR. Jumlah minimum kebutuhan APAR adalah hasil perhitungan antara luas lantai bangunan (A) dibagi dengan luas perlindungan APAR [20]. Luas perlindungannya berdasarkan perhitungan luas lingkaran, $\pi \times r^2$. dimana r adalah radius perlindungan. Adapun perhitungan jumlah APAR dapat dilihat pada persamaan (1)

$$\Sigma \text{ APAR} = \frac{A}{\pi \times r^2} \quad (1)$$

2) Tahapan Pemilihan Jenis APAR

Pemilihan jenis APAR dilakukan berdasarkan klasifikasi bahan mudah terbakar dan kelas APAR. APAR sebagai sistem proteksi aktif kebakaran diklasifikasikan berdasarkan golongan kebakaran. Potensi bahaya kebakaran dapat ditimbulkan oleh benda padat non logam menjadi golongan kelas A, kelas B untuk jenis bahan cair atau gas, kelas C pada instalasi listrik, dan kelas D benda dengan unsur logam [21]. APAR memiliki bahan yang berbeda dan menyesuaikan dari kondisi yang akan ditangani. APAR jenis cair hanya cocok untuk kebakaran Kelas A. Jenis tepung atau powder bisa mengatasi masalah kebakaran untuk semua jenis golongan. Jenis lain berupa busa, diperuntukkan untuk kelas A atau B. jenis APAR yang terakhir berupa bahan kimia CO₂, yang bekerja pada kondisi kebakaran kelas B atau C [21], [22]. Pemilihan jenis APAR dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui APAR yang tepat dalam memadamkan api kebakaran.

B. Perencanaan hidran halaman

1) Tahapan Penaksiran Jumlah hidran

Kebutuhan jumlah hidran pilar ditentukan berdasarkan luas bangunan gedung Laboratorium. Jumlah kebutuhan hidran halaman dapat ditentukan dengan perhitungan luas bangunan seperti pada persamaan (2) [23].

$$\Sigma \text{ Hidran halaman} = \frac{A}{1000} \tag{2}$$

2) Perhitungan Volume Kebutuhan Air

Sumber air sebagai pemasok kebutuhan sistem kebakaran dapat bersumber dari PDAM, sumur artesis, danau dan *reservoir* [23]. Volume air (V_{air}) dapat ditentukan dengan persamaan (3), dimana Q adalah debit dan t adalah waktu . Berdasarkan SNI 03-1735, 2000 debit minimum air hidran halaman 2400 liter/menit dengan lama waktu pemakaian 45 menit.

$$V_{air} = Q \cdot t \tag{3}$$

3) Tahapan Perhitungan Kapasitas Air

Pada perhitungan kapasitas air, kapasitas yang dicari adalah kapasitas tangki penampungan bawah (*ground water tank*). Volume *ground water tank* $V(GWT)$ sebagai tempat penampungan air hidran halaman dapat ditentukan dengan persamaan (4) dimana V_{air} merupakan volume air [24].Volume air yang dibutuhkan oleh hidran halaman sebesar 108 m^3 , sedangkan *Safety Factor* yang digunakan adalah 1,2.

$$V(GWT) = V_{air} \cdot \text{safety factor} \tag{4}$$

4) Tahapan Perhitungan Dimensi Pipa Hidran

Perhitungan diameter pipa dilakukan untuk mengetahui diameter yang tepat pada sisi *discharge* dan *suction*. Pipa utama dan pipa distribusi adalah jaringan pipa pada *discharge*, pipa utama merupakan pipa yang menghubungkan antara outlet pompa menuju pipa cabang atau pipa distribusi dan pipa distribusi adalah pipa yang menghubungkan antara pipa utama dengan hidran halaman. Pipa *suction* adalah pipa yang menghubungkan antara *ground water tank* menuju inlet pompa.

Pada penelitian ini pipa yang digunakan adalah *black steel pipe*, sesuai rekomendasi pada instalasi kebakaran sesuai dengan NFPA 14, 2007. *Black steel pipe* adalah pipa baja karbon dengan ketahanan panas, korosi dan sambungan yang baik (ASTM A53, 2010). Diameter pipa hidran halaman dapat diselesaikan menggunakan persamaan (5). Dari persamaan (5), Q adalah debit aliran, dan v adalah kecepatan aliran.

$$d = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times v}} \tag{5}$$

$$v = \frac{4 \times Q}{\pi \times d^2} \tag{6}$$

5) Tahapan Pemilihan Pompa Hidran

Pemilihan pompa hidran dilakukan dengan melihat nilai hasil perhitungan head pompa yang diperlukan.

Perhitungan Bilangan Reynolds

Perhitungan bilangan Reynolds dilakukan untuk mengetahui bentuk aliran fluida dalam pipa dan koefisien gesek material pipa. Bilangan *reynolds* merupakan bilangan tidak berdimensi yang dapat mengklasifikasikan jenis suatu aliran berupa aliran laminar, aliran transisi atau aliran turbulen [25].Persamaan bilangan *reynolds* dapat dilihat pada persamaan (7), dimana ρ adalah massa jenis fluida, D adalah Diameter dalam pipa, dan μ adalah Viskositas dinamik zat cair. Air pada suhu 28°C memiliki massa jenis (ρ) sebesar $997,4 \text{ kg/m}^3$ dan viskositas dinamik (μ) $0,835 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}$.

$$R_e = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} \tag{7}$$

Perhitungan Friction Factor

Friction factor atau koefisien gesek pada pipa dapat dapat dicari secara langsung dengan menggunakan persamaan *colebrook* seperti yang terlihat pada persamaan (8). Dimana diketahui f adalah Koefisien gesek pipa, ϵ adalah nilai kekasaran material pipa

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3,7D} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right) \tag{8}$$

Perhitungan Head Pompa

Dalam menentukan kebutuhan serta pemilihan pompa yang tepat untuk perencanaan instalasi sistem hidran pilar dilakukan perhitungan beberapa variabel yang dibutuhkan.

Perhitungan Head Loss

Head loss mayor adalah kerugian dalam pipa yang disebabkan oleh gesekan antara fluida dengan jaringan pipa yang digunakan. *Head loss minor* adalah kerugian aliran akibat adanya aksesoris tambahan pada rangkaian pipa seperti *elbow*, *tee*, *valve* dan *reducer* [25]. h_{lf} merupakan *Head loss mayor*, sedangkan h_{lm} adalah *Head loss minor*, sedangkan L adalah panjang pipa, serta k adalah koefisien *minor loss*

$$hlt = hlf + hlm \quad (9)$$

$$hlt = \left(f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \right) + \left(k \times \frac{v^2}{2g} \right) \quad (10)$$

Head Statis

Head statis atau *head* elevasi adalah perbedaan ketinggian antar permukaan fluida pada sisi buang dan hisap [26]. *Head* elevasi dapat dicari dengan Persamaan (11) sebagai berikut. Dimana, Z_2 adalah Tinggi permukaan air pada sisi tekan/*discharge*, dan Z_1 adalah tinggi permukaan air pada sisi hisap/*suction* (m)

$$H_a = Z_2 + Z_1 \quad (11)$$

Head Tekan (ΔH_P)

Head tekan pompa yaitu selisih tekanan pada sisi pipa *discharge* (P_d) dan pada sisi pipa *suction* (P_s) dan dibagi dengan berat jenis fluida dapat dicari dengan persamaan (12) [26]. Diketahui bahwa P_2 adalah tekanan saat fluida masuk ke pompa, P_1 adalah tekanan saat fluida keluar dari pompa, dan ρ adalah massa jenis air.

$$\Delta h_p = \frac{P_2 - P_1}{\rho \times g} \quad (12)$$

Head Kecepatan

Head kecepatan merupakan perbedaan kecepatan aliran air pada sisi pipa *discharge* dengan sisi pipa *suction* [26]. *Head* kecepatan dapat dicari dengan persamaan (13) sebagai berikut. Diketahui V_2 adalah kecepatan saat fluida keluar dari pompa, V_1 adalah kecepatan saat fluida masuk ke pompa.

$$\Delta h_v = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \quad (13)$$

Head total pompa (H) adalah *head* yang harus disediakan untuk mengalirkan jumlah air seperti yang direncanakan, *head* pompa dapat ditentukan dari kondisi instalasi yang akan dilayani oleh pompa.

$$H = H_a + \Delta h_p + \Delta h_v + hlt \quad (14)$$

$$H = (Z_2 + Z_1) + \frac{(P_2 - P_1)}{\rho \times g} + \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2g} + \left(\left(f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \right) + \left(k \times \frac{v^2}{2g} \right) \right) \quad (15)$$

Efisiensi Pompa

Pompa yang digunakan pada perencanaan sistem hidran halaman adalah pompa sentrifugal, pompa sentrifugal memiliki keunggulan harga relatif murah, pemasangan dan perawatan yang tidak rumit, konstruksi pompa sederhana dan memiliki nilai head yang tinggi [27]. Nilai efisiensi pompa diperoleh dari manual book pompa yang digunakan. Data efisiensi pompa diambil berdasarkan Technical Data Book Ebara [28].

Perhitungan Daya

Daya pompa merupakan daya yang harus tersedia dan akan digunakan oleh pompa untuk menggerakkan fluida pompa. Pada persamaan (16), Q adalah debit pompa, dan η_p adalah efisiensi pompa.

$$P = \frac{\rho \times g \times H \times Q}{\eta} \quad (16)$$

Perhitungan NPSHa

NPSH yang tersedia merupakan ukuran keamanan pompa agar tidak mengalami kavitasi pada instalasi pompa. Tekanan di atas permukaan fluida pada sisi hisap dikurangi dengan tekanan uap jenuh fluida, pompa mengisap fluida cair dari tempat terbuka dengan tekanan atmosfer pada permukaan fluida [26]. Dari persamaan (17), P_a diketahui sebagai tekanan di atas permukaan fluida, P_v adalah tekanan fluida pada temperatur pemompaan, h_s adalah *Head* hisap statis pada sisi *suction* instalasi pipa, h_{ls} adalah *Head* loss pada sisi *suction* instalasi pipa.

$$NPSHa = \frac{P_a}{\rho \times g} - \frac{P_v}{\rho \times g} - h_s - h_{ls} \quad (17)$$

3. Hasil dan Pembahasan

A. Perencanaan APAR

1) Perhitungan Jumlah Kebutuhan APAR

Gedung Laboratorium yang direncanakan terdiri dari dua bangunan, bangunan pertama memiliki satu lantai dan bangunan kedua memiliki 3 lantai. Jarak pemasangan APAR tidak lebih dari 15 meter sehingga satu buah APAR dapat memberi area perlindungan sebesar 176,625 m² sesuai dengan Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi No 04 Tahun 1980. Perhitungan jumlah APAR pada bangunan

menggunakan persamaan (1), dimana hasil perhitungannya dapat dilihat pada **Tabel 1**. Berdasarkan **Tabel 1**, didapatkan jumlah kebutuhan minimal APAR pada lantai 1 dengan jumlah 21 buah, lantai 2 dengan jumlah 12 buah dan lantai 3 dengan jumlah 12 buah.

Tabel 1. Jumlah Kebutuhan Minimum APAR Tiap Lantai

Lantai	Luas Lantai (m ²)	Luas Perlindungan APAR	Jumlah Kebutuhan Minimum APAR (Buah)
1	3.666	176,625 m ²	21
2	2.100	176,625 m ²	12
3	2.100	176,625 m ²	12

Sumber : Data Penelitian (2023)

2) Pemilihan Jenis APAR

a. APAR Lantai 1

Pemilihan jenis APAR pada lantai 1 dapat dilihat pada **Tabel 2** sebagai berikut:

Tabel 2. Pemilihan Jenis APAR Lantai 1

No.	Nama Ruangan	Inventaris Ruangan	Golongan Kebakaran	Jenis APAR
1.	Lab Beton	<i>Oven, Hammer Test, Marshall Impact, Fly Ash</i>	C	<i>Chemical Powder, CO2</i>
2.	Lab Tanah	<i>Direct Shear Test, Triaxial Test, CBR Test</i>	C	<i>Chemical Powder, CO2</i>
3.	<i>Workshop Assembly</i>	<i>Tool Kit</i>	A,B,C	<i>Chemical Powder</i>
4.	Lab Kontruksi Bangunan Laut	<i>Mesin Las, PC, Grinding</i>	C	<i>Chemical Powder, CO2</i>
5.	Lab Komputasi	<i>LED TV Monitor, PC, Printer, Keyboard</i>	C	<i>Chemical Powder, CO2</i>
6.	Lab Permesinan	<i>CNC Milling, Grinding.</i>	C	<i>Chemical Powder, CO2</i>
7.	Lab Produksi Permesinan	<i>Hardness Testing</i>	C	<i>Chemical Powder, CO2</i>
8.	Lab Rekayasa Keselamatan	<i>Fume Hood, Lemari Bahan Korosif, Lemari Bahan Asam</i>	B,C	<i>Chemical Powder, CO2</i>
9.	Lab Rekayasa Industri dan Ergonomi	<i>Sound Level Meter, 3D Printing, PC, Conveyour Test</i>	C	<i>Chemical Powder, CO2</i>
10.	Gudang Bersama	<i>Chairs, Table, Machine Tools, PC</i>	A,B,C	<i>Chemical Powder</i>
11.	Lab Rekayasa Lingkungan	<i>BOD Incubator, BOD Meter, Colony Counter</i>	B,C	<i>Chemical Powder, CO2</i>
12.	Lab Teknologi Proses	<i>Heat Exchanger, Flow Fluid Tester</i>	C	<i>Chemical Powder, CO2</i>
13.	Lab Material	<i>Furnance, Oven, Analytical Balance</i>	B,C	<i>Chemical Powder, CO2</i>

Sumber : Data Penelitian (2023)

Berdasarkan **Tabel 2** Lantai 1 Gedung Laboratorium memiliki 13 ruangan yang terdiri dari 12 laboratorium dan 1 gudang bersama. Laboratorium beton, laboratorium tanah, workshop *assembly*, laboratorium kontruksi bangunan laut, laboratorium komputasi, laboratorium permesinan, laboratorium produksi permesinan, laboratorium teknologi proses, laboratorium rekayasa industri dan ergonomi merupakan ruangan dengan bahaya kebakaran golongan C. Laboratorium rekayasa keselamatan, laboratorium rekayasa lingkungan, dan laboratorium karakterisasi material merupakan ruangan dengan bahaya kebakaran kelas B dan C. Gudang bersama merupakan ruangan dengan bahaya kebakaran golongan A, B dan C.

b. APAR Lantai 2

Pemilihan jenis APAR pada lantai 2 Gedung laboratorium berdasarkan klasifikasi golongan kebakaran dapat dilihat pada **Tabel 3** sebagai berikut:

Tabel 3. Pemilihan Jenis APAR Lantai 2

No.	Nama Ruangan	Inventaris Ruangan	Golongan Kebakaran	Jenis APAR
1.	Lab Logistik	<i>Conveyor Test, PC</i>	C	<i>Chemical Powder, CO2</i>
2.	Lab Pengolahan Pangan	<i>Gas Stove Oven, Meat Grinder, Blender</i>	B,C	<i>Chemical Powder, CO2</i>
3.	Lab Mikrobiologi Pangan	<i>Refrigerator, Chillers 2 Doors</i>	B,C	<i>Chemical Powder, CO2</i>
4.	Lab Biokimia Pangan	<i>Vacum Frying, Refraktometer</i>	B,C	<i>Chemical Powder, CO2</i>
5.	Lab Sensori dan Rak Penyimpanan	<i>Exhauster, Timbangan Analitik, Refrigerator</i>	C	<i>Chemical Powder, CO2</i>
6.	Lab Sintesa Pangan	<i>Cabinet Dryer, Food Sealer</i>	B,C	<i>Chemical Powder, CO2</i>
7.	Lab Riset dan Pangan	<i>Food Processor, Extrude</i>	B,C	<i>Chemical Powder, CO2</i>
8.	Lab Riset Pertanian	<i>PC, Scanner</i>	C	<i>Chemical Powder, CO2</i>
9.	Lab Pusat Energi	<i>X Ray Energy Spectroscopy, Refrigerator</i>	C	<i>Chemical Powder, CO2</i>

Sumber : Data Penelitian (2023)

Berdasarkan **Tabel 3**, Gedung Laboratorium memiliki 9 ruangan yang terdiri dari 9 laboratorium yang terdapat pada lantai 2. Laboratorium logistik, laboratorium sensori dan rak penyimpanan, laboratorium riset pertanian dan laboratorium pusat energi merupakan ruangan dengan bahaya kebakaran kelas C. Laboratorium pengolahan pangan, laboratorium mikrobiologi pangan, laboratorium biokimia pangan, laboratorium sintesa pangan, laboratorium riset dan analisis pangan merupakan ruangan dengan bahaya kebakaran kelas B dan C.

c. APAR Lantai 3

Pemilihan jenis APAR pada lantai 3 Gedung laboratorium berdasarkan klasifikasi golongan kebakaran dapat dilihat pada **Tabel 4** sebagai berikut:

Tabel 4. Pemilihan Jenis APAR Lantai 3

No.	Nama Ruangan	Inventaris Ruangan	Golongan Kebakaran	Jenis APAR
1.	Lab Riset Smart City	<i>Webcam, PC, Headset, Keyboard</i>	C	<i>Chemical Powder, CO2</i>
2.	Studio Perancangan	<i>Monitor PC, CPU, Keyboard, LED TV</i>	C	<i>Chemical Powder, CO2</i>
3.	Studio Tugas Akhir, Ruang Maket	<i>Miniaturnya, Prototype, Pinery Smart Visual</i>	A	<i>Chemical Powder</i>
4.	Studio Perencanaan dan Tata Ruang	<i>LCD Monitor, PC, CPU, Proyektor</i>	C	<i>Chemical Powder</i>
5.	Studio Akhir, Ruang Kerja sama	<i>Panel Pameran R8, Meja Gambar, Camera Proyektor</i>	A	<i>Chemical Powder</i>
6.	Lab Komputer	<i>Monitor PC, CPU, Keyboard, LED TV</i>	C	<i>Chemical Powder, CO2</i>
7.	Lab Jaringan	<i>Monitor PC, CPU, Keyboard, LED TV</i>	C	<i>Chemical Powder, CO2</i>
8.	Lab Software	<i>Monitor PC, CPU, Keyboard, LED TV</i>	C	<i>Chemical Powder, CO2</i>
9.	Lab Robotika	<i>Sensor Elektronik, Wire, Meja Kerja</i>	C	<i>Chemical Powder, CO2</i>
10.	Lab Mikrobiologi	<i>Mikroskop, Oven, Centrifuge</i>	B,C	<i>Chemical Powder, CO2</i>

Sumber : Data Penelitian (2023)

Berdasarkan **Tabel 4**, Gedung Laboratorium memiliki 8 ruangan yang terdiri dari 6 laboratorium dan 4 studio yang terdapat pada lantai 3. Laboratorium riset *smart city*, studio perancangan, laboratorium

komputer, laboratorium jaringan, laboratorium *software* dan laboratorium robotika merupakan ruangan dengan bahaya kebakaran kelas C. Studio tugas akhir dan ruang maket, studio akhir dan ruang kerjasama, studio perencanaan dan tata ruang merupakan ruangan dengan bahaya kebakaran kelas A. Laboratorium mikrobiologi merupakan ruangan dengan bahaya kebakaran kelas B dan C.

B. Perencanaan hidran halaman

1) Penaksiran Jumlah hidran

Jumlah kebutuhan hidran halaman dapat ditentukan dengan perhitungan luas bangunan sesuai dengan persamaan (2). Data luas lantai berdasarkan data awal adalah 3.666 m^2 , dimana luas perlindungan hidran halaman adalah 1.000 m^2 . Sehingga, jumlah kebutuhan minimal hidran halaman pada gedung Laboratorium adalah 4 buah.

2) Perhitungan Volume Kebutuhan Air

Volume kebutuhan air menggunakan persamaan (3). Berdasarkan SNI 03-1735, 2000 debit minimum air hidran halaman 2400 liter/menit dengan lama waktu pemakaian 45 menit. Dari perhitungan didapatkan volume kebutuhan air hidran halaman sebesar 108 m^3 .

3) Tahapan Perhitungan Kapasitas Air

Dengan menggunakan persamaan (4), volume air yang dibutuhkan oleh hidran halaman sebesar 108 m^3 , sehingga dari perhitungan diatas dengan *safety factor* 1,2 didapatkan volume *ground water tank* sebesar 130 m^3 .

4) Perhitungan Diameter Pipa Hidran

Diameter pipa halaman diselesaikan menggunakan persamaan (5). Besar debit aliran air yang direncanakan adalah 2400 liter/menit, kecepatan aliran asumsi awalnya sebesar 2,5 m/s. Dengan menggunakan persamaan (5), diameter pipa sekitar 5 inch. Sedangkan kecepatan aliran berdasarkan persamaan (6) didapatkan nilai sebesar 3,26 m/s.

Kecepatan aliran maksimal perencanaan hidran halaman menurut NFPA 24 adalah 3 m/s. Sehingga, pipa 5 inch tidak memenuhi syarat. Perhitungan ulang dilakukan dengan menggunakan pipa 6 inch atau diameter dalamnya 0,150 m. berdasarkan perhitungan ulang menggunakan persamaan (6), kecepatan alirannya sebesar 2,26 m/s. Oleh karena itu, pipa dengan diameter 6 inch (0,150 m) dapat digunakan dalam perencanaan pipa *suction* dan pipa utama *discharge*.

Selain pipa utama, pipa distribusi juga direncanakan. Pada perencanaan pipa distribusi *discharge*, pipa memiliki 2 cabang. Besar debit dibagi dua sehingga energi yang masuk sama dengan energi yang keluar. Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan (5), pipa distribusi memiliki diameter 4 inch (0,1 m). Adapun kecepatan alirannya sebesar 2,55 m/s dengan merujuk persamaan (6).

5) Pemilihan Pompa Hidran

a. Perhitungan Bilangan Reynolds

Air pada suhu 28°C memiliki massa jenis $997,4 \text{ kg/m}^3$ dan viskositas dinamik $0,835 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}$. Instalasi pipa *suction* dan *discharge* utama memiliki diameter sebesar 0,150 m sehingga nilai bilangan reynolds yang didapatkan sebesar 404.932. Pipa *discharge* distribusi memiliki diameter pipa 0,100 m. dengan menggunakan persamaan (7), nilai bilangan reynolds yang didapatkan sebesar 304.595.

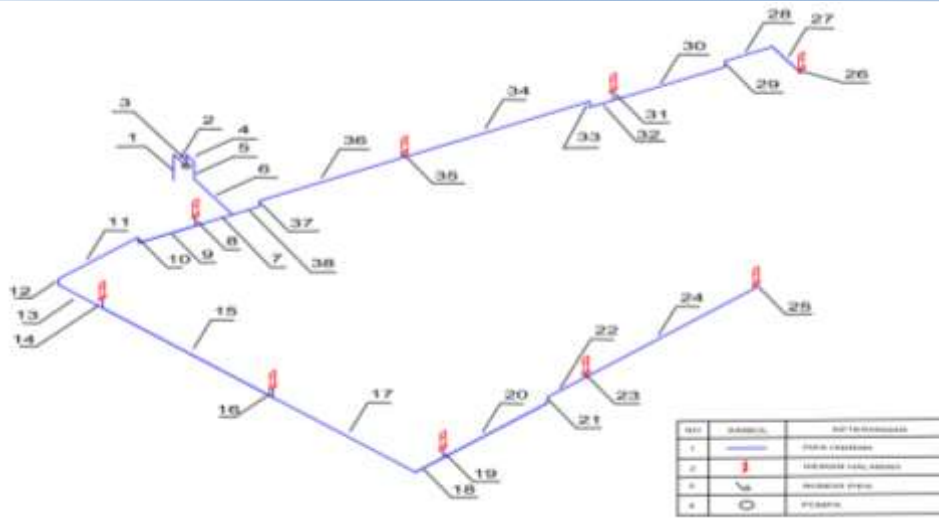
b. Perhitungan Friction Factor

Friction factor atau koefisien gesek pada pipa dapat dicari secara langsung dengan menggunakan persamaan (8). Perhitungan dilakukan dengan dengan metode menggunakan metode LHS dan RHS, pipa dengan diameter 0,150 m memiliki nilai *friction factor* sebesar 0,017 dan untuk pipa dengan diameter 0,100 m memiliki nilai *friction factor* sebesar 0,018.

c. Perhitungan Head Pompa

Perhitungan Head Loss

Perhitungan *head loss* dilakukan dengan membagi pipa *suction* dan *discharge*. Untuk melakukan perhitungan, terlebih dahulu meninjau instalasi pipa hidran halaman yang direncanakan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Isometri Instalasi Pipa Hidran Halaman
Sumber : Data Penelitian (2023)

Head loss Pipa Suction

Head loss pada pipa suction, kerugian yang terjadi pada rangkaian pipa yang ditinjau dari ground water tank menuju ke pompa. Pipa suction dengan diameter 0,150 m memiliki kecepatan aliran 2,26 m/s friction factor 0,017 dan panjang pipa sebesar 6,5 m. Head loss mayor (hlf(suction)) dapat diperoleh menggunakan persamaan (9), dimana besarnya 0,177 m.

Tabel 6. Koefisien Loss Pipa Suction

Jenis Aksesoris	Nilai Koefisien Loss (K)	Jumlah	Nilai Total Koefisien Loss (K)
Elbow 90	0,9	1	0,9
Flexible Joint	1,7	1	1,7
Σ K Total			2,6

Sumber : Data Penelitian (2023)

Nilai head loss minor dipengaruhi oleh jumlah dan nilai koefisien loss tergantung jenis aksesoris yang digunakan. Data koefisien loss pada pipa suction sebesar 2,6 yang diperoleh pada Tabel 6. Pipa suction yang digunakan dengan diameter 0,150 m, sehingga besar head loss minor (hlm(suction)) adalah 0,677 m.

Head loss Pipa discharge

Head loss pada pipa discharge yang terjadi pada rangkaian pipa dari outlet pompa menuju hidran halaman seperti yang terlihat pada Gambar 1. Pipa utama discharge dengan diameter 0,150 m memiliki kecepatan aliran 2,26 m/s, friction factor 0,017 dan panjang pipa diperoleh dengan nilai sebesar 17 m. dari persamaan (9), besar head loss mayor (hlf1(discharge)) adalah 0,502 m. Pipa distribusi discharge dengan diameter 0,100 m memiliki kecepatan aliran 2,5 (hlf2(discharge)) adalah 15,456 m.

Head loss minor dipengaruhi oleh jumlah dan nilai koefisien kerugian aksesoris yang digunakan. Nilai Koefisien Kerugian pipa utama discharge dapat dilihat pada Tabel 7 sebagai berikut:

Tabel 7. Koefisien Kerugian Minor Pipa Utama discharge

Jenis Aksesoris	Nilai Koefisien Loss (K)	Jumlah	Nilai Total Koefisien Loss (K)
Elbow 90	0,9	4	3,6
Flexible Joint	1,7	1	1,7
Gate Valve	0,2	1	0,2
Check Valve	7,3	1	7,3
Tee	1	1	1
Reducer 6" To 4"	0,3	2	0,6
Σ K Total			14,4

Sumber : Data Penelitian (2023)

Pipa utama dengan diameter 0,150 m memiliki kecepatan aliran 2,26 m/s, nilai koefisien kerugian *minor* 14,4. Besar *head loss minor* ($h_{lm1}(\text{discharge})$) dapat diperoleh menggunakan persamaan (9) adalah 3,75 m.

Head loss minor dipengaruhi oleh jumlah dan nilai koefisien kerugian aksesoris yang digunakan. Nilai *Koefisien Kerugian* pipa utama *discharge* dapat dilihat pada **Tabel 8** sebagai berikut:

Tabel 8. Koefisien Kerugian *Minor* Pipa Distribusi *discharge*

Jenis Aksesoris	Nilai Koefisien Loss (K)	Jumlah	Nilai Total Koefisien Loss (K)
Elbow 90	0,9	14	12,6
Tee	1	7	9
Σ K Total			21,4

Sumber : Data Penelitian (2023)

Pipa distribusi dengan diameter 0,100 m memiliki kecepatan aliran 2,55 m/s, koefisien kerugian *minor* 21,4. Besar *head loss minor* ($h_{lm1}(\text{discharge})$) dapat diperoleh menggunakan persamaan adalah 7,095 m.

Perhitungan total head loss

Setelah diperoleh nilai *head loss mayor* dan *head loss minor* pada sisi *suction* dan *discharge*, maka *head loss total* dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$h_{lt} = h_{lf} + h_{lm}$$

$$= [h_{lf}(\text{suction}) + h_{lf1}(\text{discharge}) + h_{lf2}(\text{discharge})] + [h_{lm}(\text{suction}) + h_{lm1}(\text{discharge}) + h_{lm2}(\text{discharge})]$$

$$h_{lt} = 27,657 \text{ m}$$

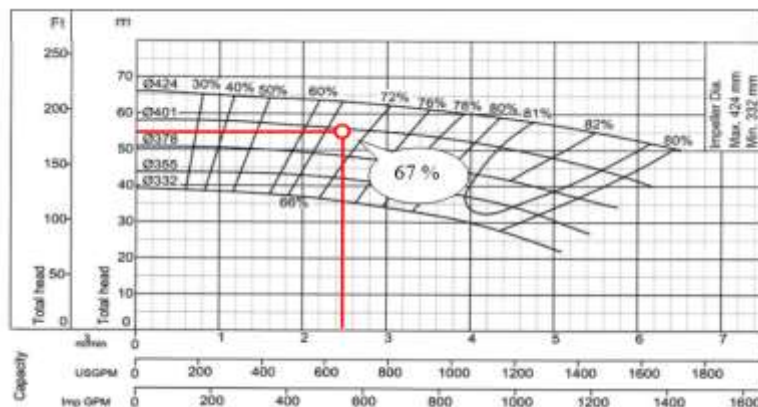
Sehingga diperoleh nilai *head loss total* pada instalasi pipa hidran halaman sebesar 27,657 m.

Perhitungan Head Total Pompa

Head total pompa diselesaikan menggunakan persamaan (14) dan (15). Nilai P1 diasumsikan pada tekanan atmosfer dengan nilai $1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$, P2 memiliki nilai sebesar $3,5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$. Massa jenis air pada suhu 28°C memiliki nilai $997,4 \text{ kg/m}^3$, nilai gravitasi bumi $9,807 \text{ m/s}^2$. Nilai V1 diasumsikan sebesar 0 dan nilai V2 sebesar 2,26 m/s. Nilai Z2 sebesar 0,5 m dan nilai Z1 sebesar 0,5 m serta nilai *head loss total* sebesar 27,656 m. dari data yang diketahui, nilai *head* pompa diperoleh sebesar 54,342 m.

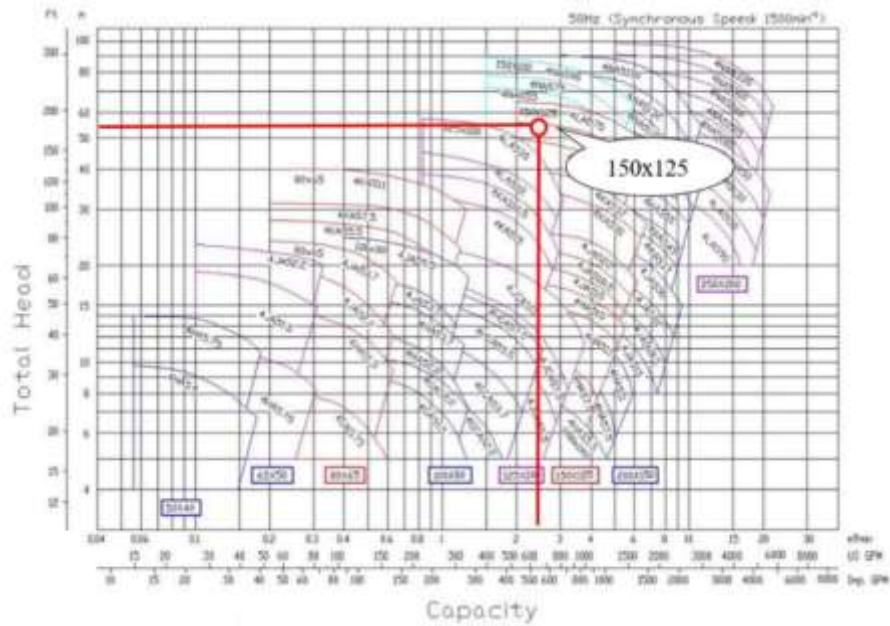
d. Efisiensi Pompa

Pemilihan Jenis pompa memiliki tujuan untuk mengetahui jenis pompa yang sesuai dengan kebutuhan perencanaan. Pada penelitian ini pompa yang dipilih adalah pompa Ebara. Mengacu pada **Gambar 3**, perencanaan untuk debit $2,4 \text{ m}^3/\text{menit}$ dan *head* pompa sebesar 54,342 m, diperoleh pompa dengan tipe 150x125 FS4LA. Sedangkan pada **Gambar 3**, merujuk pada nilai debit dan *head* pompa, didapatkan nilai efisiensi pompa sebesar 67%.



Gambar 2. Grafik Efisiensi Pompa

Sumber : Data Penelitian (2023)



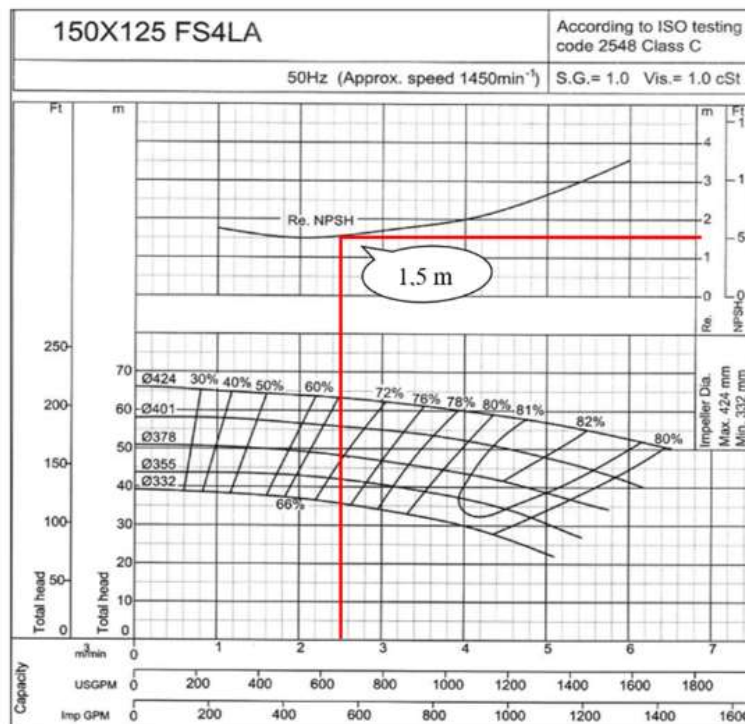
Gambar 3. Grafik Hubungan Debit dengan Kapasitas Pompa Ebara
Sumber : Data Penelitian (2023)

e. Perhitungan Daya

Air pada suhu 28°C memiliki massa jenis 997,4 kg/m³, nilai gravitasi bumi sebesar 9,807 m/s², head total pompa dengan nilai 54,342 m, nilai Q sebesar 0,04 m³/s dan efisiensi pompa sebesar 67 %. Dari persamaan (16), diperoleh daya pompa sebesar 31,734 kW.

f. Perhitungan NPSHa

Besarnya NPSHa diselesaikan menggunakan persamaan (17). Air dengan suhu 28°C memiliki P3 sebesar 3,815x10³ N/m² dan massa jenis sebesar 997,4 kg/m³. P1 diasumsikan bernilai pada tekanan atmosfer dengan nilai 1,013x10⁵ N/m², gravitasi bumi dengan nilai 9,807 m/s², hs dengan nilai 0,5 m dan hls dengan nilai 0,846 m. Diperoleh nilai NPSHa sebesar 8,612. Dari Gambar 4, besar nilai untuk debit aliran sebesar 2,4 m³/menit, diperoleh NPSHr sebesar 1,5 m. Nilai NPSHa > NPSHr sebesar 8,612 > 1,5, maka dapat disimpulkan kavitasi tidak terjadi pada saat pompa bekerja.



Gambar 4. Grafik Nilai NPSH Yang Tersedia Pada Pompa
Sumber : Data Penelitian (2023)

4. Kesimpulan

Berdasarkan perencanaan yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan bahwa APAR pada lantai 1 berjumlah 22 APAR, pada lantai 2 dengan jumlah 12 APAR dan pada lantai 3 dengan jumlah 12 APAR. Golongan kelas kebakaran APAR yang direkomendasikan adalah jenis *dry chemical powder dan CO₂*. Jumlah hidran halaman adalah sebanyak 9 hidran dan *volume ground water tank* sebesar 130 m³. Debit perencanaan diperoleh sebesar 0,04 m³/s dengan *head* total sebesar 54,342 m. Jadi, jenis Pompa yang sesuai dengan kebutuhan adalah pompa sentrifugal merk Ebara Tipe 150x125 FS4LA dengan daya sebesar 31.734 kW.

5. Daftar Pustaka

- [1] M. Paulino and L. M. Paulino, "Causes of Household Fires in Rural Areas: an Exploratory Research," *Asian J. Community Serv.*, vol. 2, no. 5, Art. no. 5, May 2023, doi: 10.55927/ajcs.v2i5.4036.
- [2] A. Subagyo, "Antisipasi yang Diperlukan Terhadap Kebakaran Listrik pada Bangunan Gedung," *JTET J. Tek. Elektro Terap.*, vol. 1, no. 2, Art. no. 2, Aug. 2012, doi: 10.32497/jtet.v1i2.9.
- [3] J. Hietaniemi, J. Mangs, and T. Hakkarainen, "Burning of Electrical Household Appliances : An Experimental Study," in *Burning of Electrical Household Appliances: An Experimental Study*, Kivimiehentie: Julkaisija – Utgivare – Publisher, 2001. [Online]. Available: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>
- [4] A. R. Buyung, "Analisis Penyebab Kebakaran Di Lembaga Pemasarakatan Kelas I Tangerang," *J. Komun. Huk. JKH*, vol. 8, no. 1, Art. no. 1, Feb. 2022, doi: 10.23887/jkh.v8i1.45851.
- [5] N. Rauza and T. Tambovceva, "Analysis Of Fire Risk Impact On Real Estate In Latvia," *Proc. 2018 Int. Conf. Econ. Sci. RURAL Dev.*, pp. 212–219, May 2018, doi: DOI 10.22616/ESRD.2018.087.
- [6] U. Mustofa, L. Fitria, and D. T. Sitaresmi, "Analisis Spasial Sebaran dan Tingkat Risiko Kebakaran di Kelurahan Klandasan Ilir, Kota Balikpapan," *COMPACT Spat. Dev. J.*, vol. 1, no. 1, Art. no. 1, Aug. 2022, doi: 10.35718/compact.v1i1.738.
- [7] S. A. Ahmed, "A Study Of Methods For Protection & Prevention Of The Effects Of Fires In Buildings," *J. Al-Azhar Univ. Eng. Sect.*, vol. 17, no. 65, pp. 1415–1430, Oct. 2022, doi: 10.21608/aeuj.2022.266228.
- [8] M. Hafiz and O. Candra, "Perancangan Sistem Pendeteksi Kebakaran Berbasis Mikrokontroler dan Aplikasi Map dengan Menggunakan IoT," *JTEV J. Tek. Elektro Dan Vokasional*, vol. 7, no. 1, Art. no. 1, Mar. 2021, doi: 10.24036/jtev.v7i1.111420.
- [9] M. Reza, A. Sasmita, and E. L. Sadewo, "Analisis Sistem Proteksi Kebakaran Gedung Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Riau," *J. Kaji. Tek. MESIN*, vol. 5, no. 1, Art. no. 1, Apr. 2020, doi: 10.52447/jktm.v5i1.2427.
- [10] D. Pontan and A. Maxsi, "Identifikasi Tingkat Keandalan Elemen-Elemen Penanggulangan Bencana Kebakaran Gedung Pd Pasar Jaya Di Dki Jakarta," *Pros. Semin. Nas. Cendekiawan*, pp. 57–62, Oct. 2017, doi: 10.25105/semnas.v0i0.2162.
- [11] A. A. Sari, F. K. Rafrita, T. Rahayuningsih, and I. Alfianto, "The role of the fire safety management in providing a guarantee of a fire protection: The case of Graha Rektorat building of State University of Malang," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 669, no. 1, p. 012058, Nov. 2019, doi: 10.1088/1757-899X/669/1/012058.
- [12] F. K. Setiawan, "Analisis Sistem Proteksi Kebakaran Ditinjau Berdasarkan Sistem Proteksi Aktif Di Gedung Admisi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta," Jan. 2018, Accessed: Jul. 30, 2023. [Online]. Available: <http://repository.umy.ac.id/handle/123456789/20178>
- [13] F. O. Muslim, T. Jayati, and R. Sarifatunnisa, "Analisis Penempatan Sistem Proteksi Aktif Dalam Penanggulangan Kebakaran Di Bagian Ruang Teknik Informatika PT. Telkom Kota Pekanbaru," *J. Kesehat. Lentera Aisyiyah*, vol. 3, no. 2, Art. no. 2, 2020.
- [14] N. A. Putri, M. Martono, M. Mawardi, K. J. Setyono, and S. Sukoyo, "Analisis Sistem Proteksi Kebakaran Sebagai Upaya Pencegahan Kebakaran," *Bangun Rekaprima Maj. Ilm. Pengemb. Rekayasa Sos. Dan Hum.*, vol. 5, no. 2, Oktober, Art. no. 2, Oktober, Oct. 2019, doi: 10.32497/bangunrekaprima.v5i2,Oktober.1576.
- [15] K. R. Ratnayanti, N. L. Hajati, and Y. Trianisa, "Evaluasi Sistem Proteksi Aktif dan Pasif sebagai Upaya Penanggulangan Bahaya Kebakaran pada Gedung Sekolah X Bandung," *Rekayasa Hijau J. Teknol. Ramah Lingkung.*, vol. 3, no. 3, Art. no. 3, 2019, doi: 10.26760/jrh.v3i3.3429.
- [16] B. Romadhon, "Analisis Proteksi Kebakaran Pada Perusahaan Produksi Gas Dan Pembangkit Listrik," *Indones. J. Occup. Saf. Health*, vol. 7, no. 2, Art. no. 2, Dec. 2018, doi: 10.20473/ijosh.v7i2.2018.142-151.

- [17] K. L. Zulfardi and A. F. V. Roy, "Penilaian Sistem Proteksi dan Kesesuaian Jalur Evakuasi Kebakaran pada Gedung PPAG 2 Universitas Katolik Parahyangan," *J. Sustain. Constr.*, vol. 2, no. 2, Art. no. 2, Apr. 2023, doi: 10.26593/josc.v2i2.6556.
- [18] G. Gogendra and A. Andriyani, "Analisis Penerapan Sistem Proteksi Kebakaran Pasif dan Sarana Penyelamatan dalam Upaya Program Emergency Response Plan di Jakarta Eye Center Kedoya Tahun 2020," *Environ. Occup. Health Saf. J.*, vol. 1, no. 2, Art. no. 2, Apr. 2021, doi: 10.24853/eohjs.1.2.129-142.
- [19] A. Djafar, G. Gunawan, D. Suanggana, and H. Aprilia, "Perancangan Sistem Sprinkler Pada Gedung Perkuliahan E,F,G," *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 6, no. 1, pp. 59–67, Apr. 2022, doi: 10.33379/gtech.v6i1.1248.
- [20] R. Febriana, L. D. Fathimahhayati, and T. A. Pawitra, "Penentuan Jumlah Alat Pemadam Api Ringan (Apar) Optimal (Studi Kasus: Gedung Fakultas Teknik Universitas Mulawarman)," *J. Rekavasi*, vol. 10, no. 2, Art. no. 2, Dec. 2022, doi: 10.34151/rekavasi.v10i2.3890.
- [21] A. Setiawan, "Klasifikasi Alat Pemadam Kebakaran Ringan (Apar) Sebagai Proteksi Awal Kebakaran Pada Ruangan Perguruan Tinggi Menggunakan Metode Naive Bayes," *Simetris J. Tek. Mesin Elektro Dan Ilmu Komput.*, vol. 10, no. 2, Art. no. 2, Nov. 2019, doi: 10.24176/simet.v10i2.3149.
- [22] R. Rosmalia, T. Rakhmadi, and D. Atmoko, "Pelatihan Penggunaan Alat Pemadam Api Ringan (APAR) Pada UPTD Laboratorium Perindustrian Kabupaten Tegal," *JABI J. Abdimas Bhakti Indones.*, vol. 2, no. 2, Art. no. 2, Dec. 2021, doi: 10.36308/jabi.v2i2.355.
- [23] A. I. Suyuthi, S. Sufiyanto, and B. T. Widada, "Application of hydrant piping system design in boiler plants for fire safety systems in paper producing companies," *J. Penelit.*, vol. 19, no. 1, Art. no. 1, Aug. 2022, doi: 10.26905/jp.v19i1.7942.
- [24] M. S. M. Gani, A. N. Prabowo, and L. A. S, "Perencanaan Sistem Plambing Air Bersih Gedung Dinas Lingkungan Hidup Propinsi Jawa Barat.," *J. Reka Lingkung.*, vol. 9, no. 2, Art. no. 2, Oct. 2021, doi: 10.26760/rekalingkungan.v9i2.95-106.
- [25] F. T. Achmad, P. A. Setiawan, and P. Sidi, "Desain Sistem Hydrant pada Proyek Amura II di PT. Petrokimia Gresik," *Proc. Natl. Conf. Pip. Eng. Its Appl.*, vol. 2, no. 1, Art. no. 1, Sep. 2017.
- [26] U. Ubaedilah, "Analisa Kebutuhan Jenis Dan Spesifikasi Pompa Untuk Suplai Air Bersih Di Gedung Kantin Berlantai 3 Pt Astra Daihatsu Motor," *J. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 3, Art. no. 3, Nov. 2016, doi: 10.22441/jtm.v5i3.1215.
- [27] I. N. Gusniar, "Optimalisasi Sistem Perawatan Pompa Sentrifugal Di Unit Utility PT.ABC.," *Maj. Ilm. SOLUSI*, vol. 1, no. 01, Art. no. 01, 2014, doi: 10.35706/solusi.v1i01.40.
- [28] Ebara, "Technical Data Book Ebara End Suction Volute Pump, Model Fsa Suction Size 50 ~ 250 MM." Jun. 2019. [Online]. Available: <https://www.ebara.co.th/wp-content/uploads/2019/06/Model-FSA.pdf>