

Evaluasi Kesesuaian Pompa *CR Vertical Multistage* sebagai *Jockey Pump* Berdasarkan Analisis *Head loss* pada Sistem *Hydrant* Gedung Perkantoran

Rachmat Firdaus¹⁾, Ali Akbar²⁾, Prantasi Harmi Tjahjanti³⁾, Mohamad Affan Rahmadin⁴⁾.

^{1,2,3,4)} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia
E-mail: firdausr@umsida.ac.id

Abstrak

Sistem *hydrant* merupakan salah satu komponen utama sistem proteksi kebakaran yang berfungsi menyediakan pasokan air bertekanan saat keadaan darurat. Untuk menjaga kestabilan tekanan pada jaringan perpipaan *hydrant* perlu digunakan *jockey pump* yang dapat menjaga tekanan sistem dalam kondisi *standby*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan penggunaan pompa *CR Vertical Multistage Centrifugal Pump* sebagai pompa penjaga tekanan pada sistem *hydrant* gedung Bank BUMN di Surabaya yang memiliki luas bangunan kurang lebih 55.000 m². Metode penelitian dilakukan dengan observasi lapangan, pengumpulan data spesifikasi pompa, pengukuran jaringan perpipaan, dan analisa hidrolis dengan menghitung *head loss* besar dan kecil pada sistem perpipaan *hydrant*. Hasil analisa menunjukkan bahwa kehilangan tekanan pada sistem dipengaruhi oleh panjang pipa, diameter pipa, dan jumlah *fitting* yang digunakan. *Head loss mayor* disebabkan oleh kondisi sepanjang pipa yang menjadi komponen dominan bila dibandingkan *Head loss minor* yang disebabkan oleh aksesoris perpipaan. Berdasarkan hasil evaluasi hidraulik dan karakteristik teknis pompa, pompa *CR Vertical Multistage* memiliki kemampuan yang memadai untuk mempertahankan tekanan sistem *hydrant* dalam kondisi operasi tipikal. Pompa *multistage* mampu menghasilkan tekanan tinggi dengan debit yang relatif kecil sehingga sesuai dengan fungsi *jockey pump*. Penelitian ini menunjukkan bahwa analisis *head loss* dapat dimanfaatkan sebagai dasar teknis dalam memilih pompa pengaman tekanan untuk sistem proteksi kebakaran di gedung tinggi guna meningkatkan keandalan dan kontinuitas operasi sistem *hydrant*.

Kata Kunci: *head loss*; *hydrant*; *jockey pump*; pompa vertikal *multistage*; proteksi kebakaran.

Abstract

Hydrant system is one of the main components of the fire protection system which is to provide a supply of pressurized water in an emergency. To maintain the stability of pressure in the hydrant piping network it is necessary to use jockey pumps that can maintain the pressure of the system in standby condition. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan penggunaan pompa CR Vertical Multistage Centrifugal Pump sebagai pompa penjaga tekanan pada sistem hydrant gedung Bank BUMN di Surabaya yang memiliki luas bangunan kurang lebih 55.000 m². The research method was performed by field observation, data collection of pump specifications, piping network measurement, and hydraulic analysis by calculating major and minor head loss on the hydrant piping system. Analysis results show that pressure loss in the system is influenced by pipe length, pipe diameter, and number of fittings used. Head loss mayor dikarenakan oleh gesekan sepanjang pipa menjadi komponen dominan bila dibandingkan Head loss minor yang disebabkan oleh aksesoris perpipaan. From the results of the hydraulic evaluation and technical characteristics of the pump, the CR

Vertical Multistage pump has adequate capability to maintain the hydrant system pressure in typical operating conditions. Pompa multistage mampu menghasilkan tekanan tinggi dengan debit yang relatif kecil sehingga sesuai dengan fungsi jockey pump. This research shows that the head loss analysis may be utilized as a technical basis in choosing a pressure guard pump for the fire protection system in the high-rise building to improve the reliability and continuity of the hydrant system operation.

Keywords: head loss; hydrant; jockey pump; vertical multistage pump; fire protection.

1. PENDAHULUAN

Sistem proteksi kebakaran merupakan salah satu fasilitas keselamatan yang wajib tersedia di gedung-gedung tinggi, gedung perkantoran, pusat perbelanjaan, dan fasilitas umum lainnya. Sistem proteksi kebakaran dipasang untuk meminimalkan potensi kehilangan nyawa dan kerusakan aset akibat kebakaran. Sistem *hydrant* merupakan salah satu komponen utama dalam sistem proteksi kebakaran aktif yang berfungsi untuk mendistribusikan air bertekanan ke titik pemadaman ketika terjadi keadaan darurat. Keandalan sistem *hydrant* sangat bergantung pada kemampuan sistem perpipaan dan pompa untuk mempertahankan tekanan operasi sesuai standar yang dibutuhkan[1], [2].

Dalam sistem *hydrant*, tekanan udara harus dalam keadaan siaga (*standby*) sehingga sistem dapat bekerja dengan cepat ketika terjadi kebakaran. Kebocoran kecil, perubahan suhu, atau penurunan tekanan pada jaringan perpipaan dapat menyebabkan penurunan tekanan yang mencegah sistem beroperasi secara optimal. Oleh karena itu, *jockey pump* diterapkan sebagai pompa pengaman tekanan yang beroperasi secara otomatis untuk mempertahankan tekanan jaringan *hydrant* dalam kisaran tekanan yang telah ditentukan. Menurut NFPA 20, *jockey pump* digunakan untuk menjaga tekanan sistem ketika pompa utama (pompa pemadam kebakaran listrik atau pompa pemadam kebakaran diesel) tidak banyak bekerja karena perubahan tekanan kecil pada jaringan[3], [4].

Analisis sistem perpipaan dan pemilihan pompa dalam sistem distribusi fluida telah dibahas dalam beberapa studi sebelumnya. Perhitungan *head loss* merupakan elemen terpenting untuk menentukan kebutuhan *head* pompa dalam sistem perpipaan bertekanan. Pemilihan pompa *multistage* dapat meningkatkan efisiensi sistem dalam aplikasi yang membutuhkan tekanan tinggi dengan laju aliran yang relatif kecil. Pompa *vertikal multistage* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan pompa *sentrifugal single-stage*, yaitu efisiensi tinggi, dimensi lebih kompak, dan dapat menghasilkan tekanan stabil dalam kondisi operasi yang sama[5]–[7].

Banyak penelitian telah membahas karakteristik pompa multistage dan analisis kehilangan tekanan pada sistem perpipaan[8], [9], tetapi penelitian yang secara khusus mengevaluasi kesesuaian pompa CR *Vertical Multistage* sebagai pompa bantu (*jockey pump*) pada sistem *hydrant* gedung bertingkat dengan jaringan perpipaan yang kompleks masih relatif terbatas. Sebagian besar penelitian sebelumnya hanya memperhatikan kinerja hidrolis pompa atau analisis kehilangan tekanan secara umum tanpa menghubungkannya dengan kebutuhan sistem proteksi kebakaran sesuai standar NFPA 20 dan kondisi bangunan sebenarnya.

Berdasarkan kondisi di atas, diperlukan penelitian yang mampu menilai kesesuaian pilihan pompa bantu berdasarkan karakteristik jaringan perpipaan,

persyaratan tekanan sistem, dan kehilangan tekanan yang terjadi pada instalasi *hydrant*. Analisis ini penting untuk memastikan bahwa pompa yang dipilih mampu mempertahankan tekanan sistem secara terus menerus dan memenuhi persyaratan operasional sistem proteksi kebakaran.

Kebaruan penelitian ini adalah evaluasi teknis pemilihan pompa CR *Vertical Multistage* sebagai *jockey pump* berdasarkan analisis kehilangan tekanan (*head loss*) pada jaringan *hydrant* gedung perkantoran dengan luas 55.000 m². Analisis dilakukan dengan data nyata instalasi perpipaan, aksesoris pipa, dan spesifikasi pompa yang terpasang untuk mendapatkan dasar teknis dalam menentukan kesesuaian kapasitas dan tekanan pompa dengan kebutuhan sistem *hydrant*.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis kesesuaian pompa CR *Vertical Multistage* sebagai *jockey pump* pada sistem *hydrant* gedung Bank BUMN di Surabaya dengan menghitung kehilangan tekanan (*head loss*), mengevaluasi kebutuhan tekanan sistem, dan menganalisis kesesuaian karakteristik pompa dengan kebutuhan operasional sistem proteksi kebakaran.

2. METODE PENELITIAN

Bagian metode penelitian menjelaskan secara rinci prosedur penelitian yang dilakukan sehingga dapat direplikasi oleh peneliti lain. Uraian metode harus mencakup bahan atau objek penelitian, peralatan yang digunakan, rancangan penelitian atau desain eksperimen, variabel penelitian, prosedur pengambilan data, serta metode analisis data yang diterapkan.

Metode penelitian disusun secara sistematis dan dapat dibagi ke dalam beberapa subbab sesuai kebutuhan, seperti:

a. Material dan Peralatan

Fokus penelitian ini adalah sistem *hydrant* di gedung Bank BUMN di Surabaya dengan luas ± 55.000 m². Sistem *hydrant* tersebut terdiri dari jaringan pipa utama (*header*), pipa distribusi, aksesoris pipa, dan pompa *hydrant* termasuk pompa diesel, pompa listrik, dan *jockey pump*. Pemilihan *jockey pump* tipe CR *Vertical Multistage Centrifugal Pump* sebagai pompa pemeliharaan tekanan merupakan pokok penelitian ini.

Data instalasi sistem *hydrant* yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Data spesifikasi CR *Vertical Multistage Centrifugal Pump*.
- Data dimensi jaringan pipa *hydrant*.
- Data jumlah dan jenis aksesoris pipa, yaitu elbow, tee, reducer, dan gate valve.
- Data fungsi tekanan sistem *hydrant*.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

- Meter untuk mengukur panjang pipa.
- Kamera digital untuk dokumentasi lapangan.
- Laptop dengan perangkat lunak Microsoft Excel untuk pengolahan data dan perhitungan hidrolis.

b. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Variabel bebas
- Panjang tabung (L)
- Diameter pipa (D)

- Jumlah perlengkapan
- Jenis perlengkapan
- Kekasaran permukaan pipa (ϵ)

Variabel terikat

- Kehilangan kepala besar (H_m)
- Kehilangan kepala ringan (H_{mn})
- Total *head loss* (H_t)

Variabel Terkendali

- Fluida yang digunakan adalah air bersih.
- Pompa 3 m³/jam.
- Kondisi operasional sistem *hydrant* sudah sesuai dengan kondisi gedung yang ada.

c. Teknik Pengambilan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan metode observasi langsung pada instalasi *hydrant* bangunan. Data yang dikumpulkan adalah:

- Panjang dan diameter setiap segmen pipa.
- Jumlah dan jenis *fitting* dan katup.
- Spesifikasi teknis *jockey pump* berdasarkan plat nama pompa.
- Tata letak jaringan pipa *hydrant* kebakaran internal dan eksternal.

Selanjutnya, data hasil observasi digunakan sebagai dasar perhitungan kehilangan tekanan (*head loss*) pada sistem.

d. Perhitungan *Head loss*

Analisis hidrolis dilakukan untuk mengetahui besarnya kehilangan tekanan pada jaringan perpipaan *hydrant*. Kehilangan tekanan total dihitung dengan menggunakan Persamaan (1)[3], [5], [10].

$$H_t = H_m + H_{mn}$$

di mana:

H_t = total *head loss* (m)

H_m = *head loss mayor* (m)

H_{mn} = *head loss mayor* (m)

Head loss Mayor

Kehilangan tekanan dihitung dari persamaan Darcy-Weisbach:

$$h_m = \frac{f(L.V^2)}{D.2g}$$

di mana:

f = koefisien gesekan

L = panjang pipa (m)

D = diameter pipa (m)

V = kecepatan aliran (meter/detik)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²)

Head loss Minor

Kehilangan tekanan minor dihitung menggunakan persamaan:

$$m = \rho \cdot v \cdot A$$

di mana:

K = koefisien kehilangan lokal

V = kecepatan aliran (m/s)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

A = luas penampang (m²)

Nilai koefisien kehilangan lokal diperoleh dari literatur sesuai dengan jenis fitting yang digunakan pada sistem perpipaan.

e. Penentuan Koefisien Gesekan

Faktor gesekan aliran dihitung menggunakan persamaan Colebrook-White sebagai berikut:

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

Bilangan Reynolds dihitung dengan Persamaan:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$

Di mana:

bilangan Re Reynolds

ρ = massa jenis zat cair (kg/m³)

V = kecepatan aliran (m/detik)

D = diameter pipa (m)

μ = viskositas dinamis fluida (Pa.s)

f. Analisis pemilihan pompa

Pemilihan *jockey pump* didasarkan pada perhitungan kehilangan tekanan secara keseluruhan pada jaringan *hydrant*. Parameter kesesuaian suatu pompa adalah:

- Aliran pompa (Q).
- *Head pump* maksimum (Hmax).
- Tekanan sistem *hydrant*.
- Kemampuan pompa untuk mengkompensasi kehilangan tekanan jaringan.
- Kepatuhan terhadap persyaratan NFPA 20 dan sistem proteksi kebakaran gedung.

Pompa dikatakan layak apabila mampu mempertahankan tekanan sistem *hydrant* pada kondisi *standby* dan mampu mengatasi kehilangan tekanan yang terjadi pada jaringan perpipaan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Perhitungan *Head loss* Sistem *Hydrant*

Hasil observasi lapangan menunjukkan bahwa sistem *hydrant* pada gedung Bank BUMN Surabaya terdiri dari jaringan perpipaan utama berdiameter 10 inci, pipa distribusi berdiameter 6 inci, 4 inci, 3 inci, dan 1,5 inci, serta berbagai aksesoris perpipaan seperti *elbow*, *tee*, *reducer*, dan *gate valve*. Data instalasi perpipaan digunakan sebagai dasar perhitungan kehilangan tekanan (*head loss*) pada sistem.

Perhitungan dilakukan dengan mempertimbangkan kehilangan tekanan besar akibat gesekan sepanjang pipa dan kehilangan tekanan kecil akibat fitting dan aksesoris perpipaan.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rute pipa yang berbeda mempunyai nilai kehilangan tekanan yang berbeda pula. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh panjang pipa, diameter pipa, jumlah *fitting* dan konfigurasi jaringan yang digunakan pada setiap jalur distribusi. Jalur dengan panjang perpipaan yang lebih besar dan jumlah *fitting* yang lebih cenderung memiliki kehilangan tekanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan jalur lainnya. Kondisi ini sesuai dengan teori aliran fluida pada sistem perpipaan dimana penambahan panjang pipa dan hambatan lokal akan meningkatkan kehilangan energi selama proses aliran [11], [12].

b. Analisis Pengaruh Penataan Pipa terhadap *Head loss*

Head loss mayor dan *head loss minor* merupakan dua komponen utama yang mempengaruhi hilangnya tekanan pada sistem *Hydrant*. *Head loss* yang besar disebabkan oleh gesekan fluida terhadap dinding pipa dan *head loss* yang kecil disebabkan oleh perubahan arah aliran dan perubahan penampang akibat penggunaan *fitting*.

Kontributor terbesar terhadap kehilangan tekanan secara keseluruhan adalah komponen *head loss* utama dalam sistem yang diselidiki. Hal ini dikarenakan jaringan pipa yang cukup besar dapat melayani bangunan dengan luas mencapai 55.000 m². Semakin panjang pipa yang dilalui fluida maka semakin besar pula kehilangan energi akibat gesekan.

Selain itu, peran siku, peredam tee, dan katup gerbang dalam meningkatkan kehilangan head kecil juga dibahas. Meskipun kontribusinya lebih kecil dibandingkan kehilangan head yang besar, kuantitas fitting dapat mengakibatkan akumulasi kehilangan tekanan yang cukup besar. Oleh karena itu perancangan jaringan pipa *hydrant* perlu mempertimbangkan efisiensi jalur distribusi untuk meminimalkan kehilangan tekanan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi perpipaan berpengaruh langsung terhadap kebutuhan tekanan pompa. Semakin tinggi tekanan yang hilang, semakin tinggi pula head pompa yang dibutuhkan untuk mempertahankan tekanan agar sistem *hydrant* dapat beroperasi [13], [14].

c. Analisis kompatibilitas pompa CR *multistage vertikal*

Pompa yang digunakan pada sistem *hydrant* gedung ini adalah *jockey pump* tipe CR *Vertical Multistage Centrifugal Pump* dengan kapasitas nominal 3 m³/jam dan head maksimum 107 m. Karakteristik ini menunjukkan bahwa pompa tersebut didesain untuk menghasilkan tekanan tinggi dengan laju aliran yang relatif kecil. Hal ini sesuai dengan fungsi utama *jockey pump* yaitu untuk mempertahankan sistem tekanan.

Hasil perhitungan kehilangan tekanan pada jaringan *hydrant* menunjukkan bahwa pompa CR *Vertical Multistage* masih mempunyai kemampuan untuk mengkompensasi kehilangan tekanan yang terjadi pada kondisi operasi normal. Hal ini dimungkinkan karena pompa mempunyai kemampuan menghasilkan *head* yang tinggi. Artinya pompa dapat mempertahankan tekanan sistem pada kondisi *standby* tanpa harus mengoperasikan pompa utama.

Pompa CR *Vertical Multistage* juga memiliki keunggulan konstruksi

multistage. Artinya mempunyai sejumlah impeler yang disusun secara seri, memungkinkan peningkatan tekanan secara bertahap. Ini memiliki efisiensi tekanan yang lebih baik daripada pompa sentrifugal satu tahap dengan kapasitas aliran yang sama.

Selain itu, desain vertikal memiliki keunggulan karena membutuhkan ruang pemasangan yang lebih sedikit sehingga cocok untuk ruang pompa pada gedung bertingkat. Hal ini merupakan salah satu pertimbangan penting dalam pemilihan pompa pada sistem proteksi kebakaran modern. Berdasarkan analisa hidrolis dan spesifikasi teknis pompa, pompa CR *Vertical Multistage* dinilai memenuhi persyaratan operasional sebagai *jockey pump* untuk menjaga tekanan sistem *hydrant* di gedung Bank BUMN Surabaya[7], [12], [15].

d. Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya

Hasil penelitian ini sejalan dengan Shamsuddeen et al. (2021) yang melaporkan bahwa konfigurasi multistage mampu meningkatkan head secara bertahap melalui susunan impeller seri sehingga menghasilkan distribusi tekanan yang lebih stabil pada aplikasi bertekanan tinggi [7]. Selain itu, Zhang et al. (2022) menunjukkan bahwa pompa sentrifugal multistage memiliki karakteristik hidraulik dan efisiensi yang lebih baik dibandingkan pompa single-stage pada kondisi operasi yang membutuhkan head tinggi[16]. Namun demikian, kedua penelitian tersebut berfokus pada analisis karakteristik hidraulik pompa, sedangkan penelitian ini mengevaluasi kesesuaian pompa CR Vertical Multistage sebagai jockey pump berdasarkan kondisi aktual jaringan perpipaan *hydrant* pada gedung bertingkat. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi praktis dalam proses pemilihan jockey pump yang sesuai untuk sistem proteksi kebakaran berdasarkan hasil analisis head loss dan kebutuhan tekanan sistem[9].

4. SIMPULAN

Penelitian ini telah menganalisis kelayakan penggunaan *Centrifugal Multistage Vertikal pump* sebagai pompa pengaman tekanan (*jockey pump*) untuk sistem *hydrant* di gedung Bank BUMN di Surabaya dengan luas sekitar 55.000 m². Analisis ini didasarkan pada data nyata instalasi perpipaan, jumlah aksesoris perpipaan, dan spesifikasi teknis pompa yang terpasang pada sistem.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kehilangan tekanan pada sistem *hydrant* dipengaruhi oleh panjang jaringan pipa, diameter pipa, dan jumlah *fitting* yang digunakan pada setiap saluran distribusi. *Head Loss* mayor yang disebabkan oleh pengikisan sepanjang pipa menjadi penyumbang terbesar dari total kehilangan tekanan dibandingkan dengan *Head Loss* minor yang berasal dari *fitting* dan aksesoris perpipaan.

Hasil evaluasi hidrolis dan karakteristik pompa mengkonfirmasi bahwa pompa *Multistage Vertikal CR* memiliki kemampuan yang cukup untuk mempertahankan tekanan sistem *hydrant* dalam kondisi siaga. Desain *Multistage* memungkinkan pompa menghasilkan tekanan tinggi pada laju aliran yang relatif rendah, yang sesuai dengan fungsi utama pompa bantu untuk menjaga stabilitas tekanan sistem tanpa perlu mengoperasikan pompa utama secara berulang.

Studi ini menunjukkan bahwa analisis kehilangan tekanan dapat digunakan sebagai dasar teknis dalam proses pemilihan pompa bantu pada sistem proteksi kebakaran gedung bertingkat. Hasil studi ini memberikan kontribusi praktis, yaitu

metode evaluasi kesesuaian pompa dengan kebutuhan tekanan sistem *hydrant* berdasarkan kondisi aktual jaringan pipa sehingga dapat meningkatkan keandalan sistem proteksi kebakaran gedung. Untuk penelitian lebih lanjut, disarankan untuk melakukan analisis kurva sistem, kurva kinerja pompa, dan simulasi kondisi operasi darurat untuk mendapatkan penilaian yang lebih komprehensif terhadap kinerja sistem *hydrant*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Djunaidi, N. A. A. Tuah, and G. Rafifa, "Analysis of the Active and Passive Fire Protection Systems in the Government Building , Depok City , Indonesia," vol. 2018, pp. 384–398, 2018, doi: 10.18502/kl.v4i5.2569.
- [2] A. F. Rosyidiin, A. Hannabel, A. Puteri, D. Z. Priyangga, D. D. Ivander, and M. I. Liwaq, "Design of Active Fire Protection System for Warehouse Buildings Using NFPA and Indonesian National Standard (SNI)," vol. 05, no. 02, pp. 215–230, 2024.
- [3] www.fire-gas.com.
- [4] K. Publikasi *et al.*, "Perancangan Sistem Hydrant Menurut Standart NFPA 14 Dan 20 Pada Gudang PT . Indaco Warna Dunia Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya NFPA (National Fire Protection Association) . NFPA adalah organisasi teknik dan pendidikan," vol. 2, no. 2, 2024.
- [5] B. Journal, A. Electrical, S. Technology, P. Adi, B. Surabaya, and B. Tarakan, "Major and Minor Head Losses Analysis on The Piping System in Pondok Pesantren Tahfizhul Qur ' an Ibnu Abbas Tarakan," *J. Appl. Electr. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 1, 2021.
- [6] A. Head, L. Dua, P. Sentrifugal, P. Laboratorium, and U. Fluida, "Comparative Analysis of the Head Loss of Two Centrifugal Pumps in a Fluid Test Laboratory," vol. 5, no. 1, doi: 10.21070/r.e.m.v5i1.409.
- [7] M. M. Shamsuddeen *et al.*, "applied sciences Flow Field Analysis and Feasibility Study of a Multistage Centrifugal Pump Designed for Low-Viscous Fluids," 2021.
- [8] J. T. Mesin, F. Teknik, and U. M. Malang, "ANALISA PERFORMANSI FIRE PUMP DEP-0131-A DENGAN STANDAR NFPA 20 PADA LAPANGAN SOUTH PROCESSING UNIT PENDAHULUAN Latar Belakang Rumusan Masalah Batasan Masalah Manfaat Penelitian Tinjauan lapangan Tujuan Penelitian Studi Literatur Perhitungan dan Analisis Alat dan Bahan Penelitian," pp. 236–243, 2018.
- [9] O. Nathanael and D. Of, "DESIGN OF A BUILDING FIRE PUMP SYSTEM WITH INTEGRATED PARALLEL PUMP," no. 92, 2021.
- [10] Z. H. Muhammad *et al.*, "ANALISA HEAD POMPA WATER INTAKE TERHADAP SELF CLEANING FILTER PADA PT . XY," vol. 08, no. 2, 2019.
- [11] B. E. Larock, R. W. Jeppson, and G. Z. Watters, *of Pipeline Systems*.
- [12] "(1) , (2) , (3)," no. 1, pp. 10–16, 2000.
- [13] I. Kumakiri, J. Hokstad, T. A. Peters, A. G. Melbye, and H. Ræder, "Journal of Petroleum Science and Engineering Oxidation of aromatic components in water and seawater by a catalytic membrane process," *J. Pet. Sci. Eng.*, vol. 79, no. 1–2, pp. 37–44, 2011, doi:

- 10.1016/j.petrol.2011.09.003.
- [14] D. Ruixi *et al.*, “Optical method for flow patterns discrimination, slug and pig detection in horizontal gas liquid pipe,” *Flow Meas. Instrum.*, vol. 32, pp. 96–102, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2013.03.001>.
- [15] B. S. Dani and C. Gunawan, “Evaluasi Sifat Kekerasan Kampas Rem Biokomposit Sebagai Alternatif Non-Asbestos,” *ARMATUR Artik. Tek. Mesin Manufaktur*, vol. 6, no. 2, pp. 43–49, 2025.
- [16] Y. Yang, F. Hu, L. Ding, and X. Wu, “Coupling Coordination Analysis of Regional IEE System :,” *Processes*, vol. 10, no. 2268, 2022.