

## OPTIMASI *FIRE WATER SYSTEM* (FWS) PADA PT XYZ DENGAN INTEGRASI *PRESSURE-TRIGGERED VALVE ACTUATION* DAN *VARIABLE FREQUENCY DRIVE* (VFD) UNTUK PENINGKATAN KEANDALAN DAN EFISIENSI ENERGI

Citra Maria Pitaloka<sup>1</sup>, Dewa Setyo Wibowo<sup>1</sup>, Fadhil Ihsanudin Masyhur<sup>1</sup>, Nori Nur Az Zukhrufi<sup>1</sup>, Tun Sriana<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Teknik Pengolahan Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jalan Gajah Mada No. 38 Cepu, Blora, Jawa Tengah 58315

\*E-mail: tun.sriana@gmail.com

### ABSTRAK

Industri minyak dan gas (migas) memiliki risiko kebakaran tinggi yang memerlukan sistem proteksi yang andal dan responsif. *Fire Water System* (FWS) konvensional pada PT XYZ masih bergantung pada kontrol manual, sehingga memiliki *response time* yang lambat (45 detik) dan konsumsi energi yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan FWS dengan mengintegrasikan teknologi *pressure-triggered valve actuation* dan *variable frequency drive* (VFD) guna meningkatkan keandalan dan efisiensi energi. Metode penelitian yang digunakan adalah *mixed-method*, yang menggabungkan analisis data histori, dan perhitungan ekonomi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi sistem otomatis berhasil mengurangi *response time* dari 45 detik menjadi 15 detik (peningkatan efisiensi 66,67%), sehingga memenuhi dan melampaui standar NFPA 20. Selain itu, penggunaan VFD pada pompa menurunkan konsumsi energi sebesar 30% atau setara dengan penghematan Rp 295,65 juta per tahun. Analisis *return on investment* (ROI) menunjukkan bahwa investasi sistem sebesar Rp 420 juta dapat kembali dalam waktu 15 hari. Simpulan dari penelitian ini adalah bahwa *integrasi pressure-triggered valve actuation* dan VFD terbukti efektif dalam meningkatkan keandalan operasional, keselamatan, dan efisiensi energi pada FWS PT XYZ.

**Kata kunci:** *Fire Water System, Pressure-Triggered Valve, VFD, Efisiensi Energi, NFPA*

### 1. PENDAHULUAN

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) menjadi elemen yang sangat penting dalam industri konstruksi, mengingat tingginya risiko kecelakaan yang dihadapi oleh para pekerja. Penerapan standar K3 bukan hanya merupakan kewajiban hukum, tetapi juga merupakan langkah strategis untuk melindungi tenaga kerja dan meningkatkan produktivitas perusahaan. Setiap pekerja berhak mendapatkan perlindungan saat menjalankan tugasnya, sebagaimana diatur dalam berbagai peraturan perundang-undangan, termasuk UUD NRI 1945 dan UU No. 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan [1]. Terdapat dua macam sistem proteksi pencegahan kebakaran, yaitu sistem proteksi aktif dan sistem proteksi pasif. Implementasi sistem proteksi kebakaran aktif dilakukan apabila sudah terdapat titik api yang berisiko terjadinya kebakaran, yang dilakukan baik secara manual ataupun otomatis, seperti sistem pemadam kebakaran berbasis air seperti *springkler*, pipa tegak (*hydrant*) dan selang kebakaran, serta sistem pemadam kebakaran berbasis bahan kimia, seperti APAR dan pemadam khusus. Sedangkan sistem proteksi kebakaran pasif terbentuk atau terbangun melalui pengaturan penggunaan bahan dan komponen struktur bangunan, kompartemenisasi atau pemisahan bangunan berdasarkan tingkat ketahanan terhadap api, serta perlindungan terhadap bukaan, contohnya adalah penggunaan material,

konstruksi, pintu serta jendela tahan api[2].

Kebakaran adalah munculnya api yang tidak diinginkan yang disebabkan oleh banyak faktor dan dapat menyebabkan kerugian besar. Kebakaran di lingkungan industri memiliki tingkat kerugian yang tinggi, dan bahaya kebakaran di lingkungan industri berbeda dari kebakaran di lingkungan publik [3]. Industri di bidang minyak dan gas membawa risiko yang signifikan, yang mencakup kecelakaan, kebakaran, ledakan, serta pencemaran lingkungan. Situasi ini mengharuskan setiap perusahaan untuk benar-benar siap menghadapi situasi darurat, terutama kebakaran [4]. Emisi dan ledakan yang disebabkan oleh kebakaran minyak dan gas dapat menyebabkan dampak lingkungan yang serius. Oleh karena itu, keberadaan *fire water system* turut berperan penting dalam aspek keberlanjutan dan perlindungan lingkungan [5]. Keberhasilan sistem ini sangat bergantung pada ketersediaan pasokan air yang cukup, tekanan operasi yang tetap stabil, dan pemeliharaan rutin agar dapat berfungsi dengan baik saat diperlukan [6]. Air yang dialirkan melalui sistem bertekanan tinggi memutus salah satu sisi segitiga api, yaitu dengan cara menurunkan suhu bahan bakar di bawah titik nyalanya [7]. Secara hidraulika, rancangan *fire water system* harus memastikan debit aliran (*flow rate*) dan tekanan (*pressure*) mencukupi sesuai dengan luas area proteksi serta potensi kebakaran yang mungkin terjadi [8].

*Water system* pada dasarnya adalah sebuah jaringan yang dirancang dengan prinsip hidrologi dan hidrolika, terdiri dari berbagai komponen yang saling terhubung. Setiap komponen memiliki peran penting, namun juga memiliki kemungkinan mengalami kegagalan dengan tingkat yang berbeda-beda [9]. Beberapa studi menunjukkan bahwa penerapan sistem distribusi air dengan pompa berkecepatan variabel mampu menurunkan konsumsi energi sebesar 20–40% tanpa mengurangi performa sistem proteksi kebakaran [10]. Namun, penelitian lain juga menekankan pentingnya analisis keandalan jaringan pipa dan katup, karena kegagalan satu komponen dapat berdampak pada penurunan signifikan kinerja sistem secara keseluruhan [11].

Dalam praktiknya, sistem penyediaan air di industri minyak dan gas harus dirancang agar dapat memasok air dengan tekanan dan volume yang memadai untuk menanggulangi berbagai skenario kebakaran yang mungkin terjadi. Untuk memenuhi fungsi krusial tersebut, sistem ini umumnya terdiri atas beberapa komponen utama, seperti pompa pemadam, jaringan perpipaan, hydrant, serta sprinkler yang dilengkapi dengan katup pengendali [12]. Tantangan utama *fire water system* di lapangan adalah memastikan keandalan pasokan air meskipun terdapat potensi kegagalan komponen, penurunan tekanan, maupun kerusakan akibat korosi dan *fouling* [13].

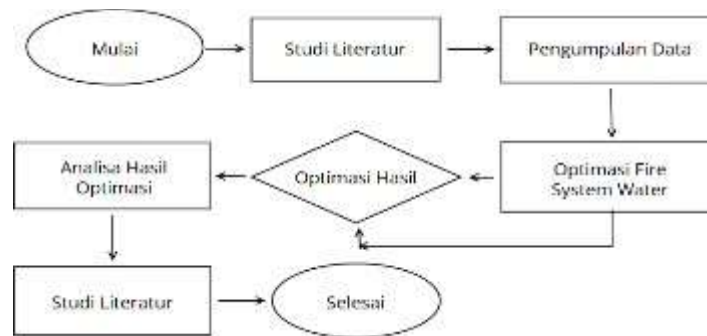
Berdasarkan kondisi tersebut, optimasi *fire water system* pada industri migas menjadi kebutuhan mendesak. Penerapan teknologi integratif seperti VFD dan *pressure-triggered valve actuation* diharapkan mampu meningkatkan keandalan sistem sekaligus menurunkan konsumsi energi. Penelitian ini mencoba mengkaji secara komprehensif potensi penerapan teknologi tersebut di fasilitas migas sebagai kontribusi nyata terhadap peningkatan keselamatan kerja, efisiensi energi, dan keberlanjutan lingkungan.

## 2. METODE

### A. Metode Penelitian

Pendekatan *mixed-method* yang diadopsi dalam penelitian ini dirancang untuk memberikan landasan yang komprehensif, rigor, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah maupun praktis. Integrasi antara analisis data historis dan perhitungan ekonomi memungkinkan evaluasi yang holistik terhadap performa sistem *existing* serta validasi solusi yang diusulkan. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk mengukur *response time*, efisiensi energi, dan kelayakan investasi, sementara pendekatan kualitatif melalui wawancara semi-terstruktur dengan operator dan kepa-

la HSE dilakukan untuk mengidentifikasi kendala sistem lama dan memvalidasi kebutuhan sistem otomatisasi. Blok diagram penelitian dapat diamati pada Gambar 1.



**Gambar 1 Blok Diagram Metode Penelitian yang Digunakan**

## B. Pengumpulan Data

### a. Data Kuantitatif

- Data historis dari log operasional FWS PT XYZ periode 2021–2023, meliputi response time, konsumsi energi dan frekuensi *false alarm*.
- Data teknis pompa: 3 unit pompa sentrifugal (kapasitas 5000 L/menit, head 85 m, daya 75 kW).
- Data tekanan dan debit dari 8 sensor tekanan pada jaringan pipa 8 inci.
- Data energi: tagihan listrik 12 bulan terakhir dan kurva beban operasional pompa.

### b. Data Kualitatif

Wawancara semi-terstruktur dengan:

- 2 operator FWS (pengalaman 5–8 tahun)
- 1 Head of HSE (pengalaman 12 tahun)

## C. Perhitungan *Response Time*

*Response time* sistem FWS dihitung berdasarkan total waktu yang dibutuhkan sejak terdeteksinya tekanan rendah hingga air mencapai *nozzle*. Secara matematis dirumuskan sebagai:

$$T_{respon} = T_{deteksi} + T_{verifikasi} + T_{aktivasi} + T_{aliran} \quad (1)$$

Dengan: -  $T_{deteksi}$  = waktu sensor mendeteksi penurunan tekanan (detik) -  $T_{verifikasi}$  = waktu yang dibutuhkan sistem/ operator untuk memverifikasi sinyal (detik) -  $T_{aktivasi}$  = waktu untuk membuka *valve* hingga penuh (detik) -  $T_{aliran}$  = waktu air mencapai *nozzle* (detik).

Efisiensi peningkatan *response time* dihitung dengan:

$$\eta_{respon} = \frac{T_{sebelum} - T_{sesudah}}{T_{sebelum}} \times 100\% \quad (2)$$

Dengan: -  $T_{sebelum}$  = waktu respon sebelum optimasi (detik) -  $T_{sesudah}$  = waktu respon setelah optimasi (detik).

## D. Perhitungan Efisiensi Energi Pompa (VFD)

Penggunaan *variable frequency* (VFD) mempengaruhi konsumsi daya pompa berdasarkan hukum affinities:

$$P_2 = P_1 \times \left(\frac{N}{N_1}\right)^3 \quad (3)$$

Efisiensi penghematan energi dihitung dengan persamaan berikut:

$$\eta_{energi} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100\% \quad (4)$$

#### E. Perhitungan Biaya Energi Tahunan

Biaya energi tahunan dihitung berdasarkan konsumsi daya total dan tarif listrik:

$$C_{energi} = P_{rata} \times t_{operasi} \times h_{tahun} \times T_{listrik} \quad (5)$$

Dengan: -  $P_{rata}$  = daya rata-rata pompa (kW) -  $t_{operasi}$  = lama operasi pompa per hari (jam/hari) -  $h_{tahun}$  = jumlah hari operasi per tahun (hari) -  $T_{listrik}$  = tarif listrik (Rp/kWh).

#### F. Perhitungan Penghematan Energi

Penghematan energi tahunan dihitung dari selisih biaya sebelum dan sesudah penerapan sistem VFD:

$$H_{energi} = C_{sebelum} - C_{sesudah} \quad (6)$$

Dengan: -  $C_{sebelum}$  = biaya energi tahunan sebelum VFD (Rp/tahun) -  $C_{sesudah}$  = biaya energi tahunan setelah VFD (Rp/tahun).

#### G. Perhitungan Total Penghematan Tahunan

Total penghematan tahunan merupakan kombinasi dari penghematan energi dan efisiensi operasional lainnya yang dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$H_{total} = H_{energi} + H_{operasional} \quad (7)$$

Dengan: -  $H_{operasional}$  = penghematan biaya dari penurunan downtime, perawatan, dan risiko kebakaran (Rp/tahun).

#### H. Perhitungan ROI (Return on Investment)

Analisis ekonomi sistem otomatis dihitung menggunakan rumus:

$$ROI = \frac{H_{total}}{C_{investasi}} \times 100\% \quad (8)$$

Dan periode pengembalian modal (*Payback Period*) dihitung dengan:

$$T_{payback} = \frac{C_{investasi}}{H_{total}} \quad (9)$$

Dengan: -  $C_{investasi}$  = total biaya investasi sistem otomatis (Rp) -  $H_{total}$  = total penghematan tahunan (Rp/ tahun)

### 3. PEMBAHASAN

Implementasi sistem *pressure-triggered valve actuation* dan *Variable Frequency Drive* (VFD) pada *Fire Water System* (FWS) PT XYZ menghasilkan peningkatan kinerja yang signifikan dalam aspek teknis, operasional, dan ekonomis. Transformasi dari sistem konvensional berbasis kontrol manual menuju sistem otomatis terintegrasi berhasil mengatasi berbagai keterbatasan yang selama ini menjadi tantangan dalam menjaga keandalan sistem proteksi kebakaran. Sistem otomatis berbasis PLC ini berhasil menekan *response time* dari 45 detik menjadi 15 detik, sebuah pencapaian yang tidak hanya memenuhi tetapi melampaui standar NFPA 20 yang mensyaratkan waktu respons maksimal 20 detik untuk fasilitas industri berisiko tinggi. Peningkatan kecepatan respon ini memiliki implikasi kritis dalam menekan perkembangan api pada fase awal, dimana setiap detik yang terselamatkan dapat mencegah eskalasi kebakaran yang berpotensi menimbulkan kerugian lebih besar.

**Tabel 1. Analisis Data Kualitatif Berdasarkan Wawancara**

| Aspek yang Dinilai              | Temuan / Kendala                                                                               | Rekomendasi                                                               |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Respons terhadap Alarm          | Waktu verifikasi alarm 3-5 menit; koordinasi tim lambat                                        | Perlunya sistem verifikasi otomatis dan pelatihan respons darurat berkala |
| False Alarm                     | Terjadi 4-5 kali/tahun; disebabkan sensor sensitif dan gangguan listrik                        | Kalibrasi sensor rutin dan peningkatan spesifikasi sensor                 |
| Kepatuhan terhadap Standar NFPA | Sistem kesulitan memenuhi NFPA 20 untuk response time; dokumentasi pemeliharaan kurang lengkap | Implementasi sistem monitoring real-time dan digitalisasi dokumentasi     |
| Efisiensi Energi                | Pompa beroperasi terus pada kecepatan penuh; tagihan listrik tinggi (Rp 985 juta/tahun)        | Pemasangan VFD dan sistem kontrol tekanan otomatis                        |

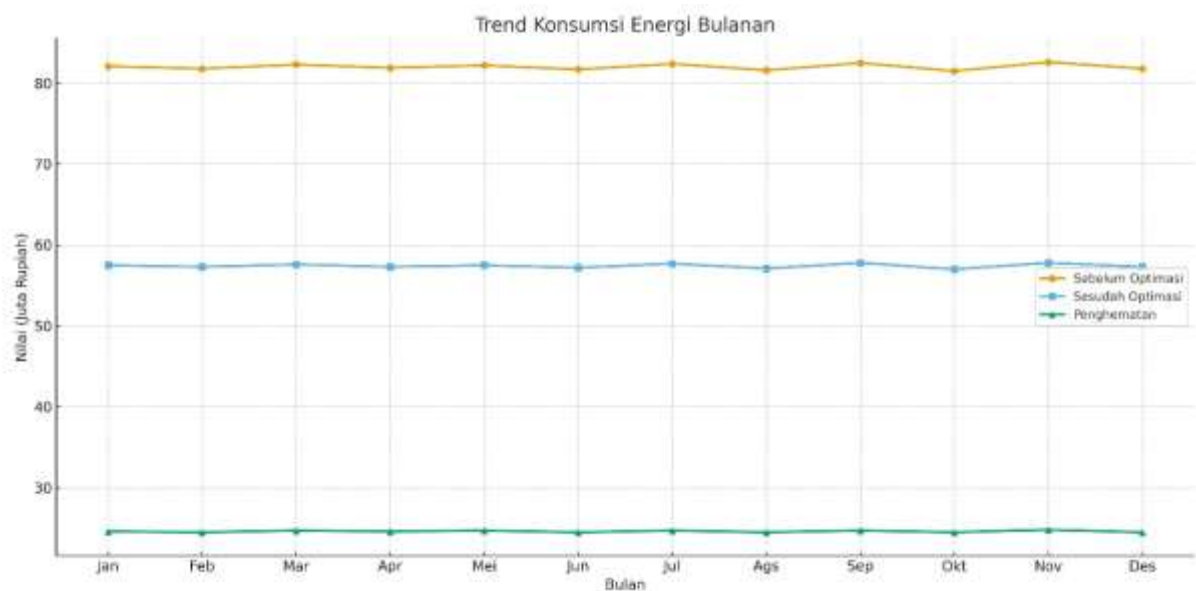
Berdasarkan analisis kualitatif yang diperoleh melalui wawancara dengan operator dan kepala HSE, sistem FWS konvensional menghadapi empat tantangan utama. Respons terhadap alarm yang lambat (3-5 menit) dan koordinasi tim yang tidak optimal memperlambat penanganan darurat. *False alarm* yang terjadi 4-5 kali perahun akibat sensitivitas sensor dan gangguan listrik mengurangi kredibilitas sistem. Kepatuhan terhadap standar NFPA 20 belum terpenuhi, terutama dalam hal *response time* dan kelengkapan dokumentasi pemeliharaan. Di sisi lain, efisiensi energi yang rendah ditunjukkan dengan operasi pompa terus-menerus pada kecepatan penuh yang mengakibatkan tagihan listrik mencapai Rp 985 juta per tahun. Oleh karena itu, optimasi sistem melalui integrasi teknologi otomasi, peningkatan spesifikasi sensor, pemasangan VFD, dan digitalisasi dokumentasi menjadi solusi kritis yang tidak hanya meningkatkan keandalan sistem tetapi juga efisiensi operasional secara keseluruhan.

Dari aspek efisiensi energi, implementasi VFD pada pompa fire water berhasil menurunkan konsumsi listrik sebesar 30%. Penghematan ini tercapai melalui pengaturan kecepatan motor pompa yang disesuaikan dengan kebutuhan tekanan sistem secara real-time, menghilangkan operasi pada kecepatan konstan yang tidak efisien. Analisis data operasional menunjukkan konsistensi penghematan energi selama periode evaluasi 12 bulan, dengan total penghematan

biaya energi mencapai Rp 295,65 juta per tahun. Mekanisme kerja VFD yang mengatur putaran motor pompa sesuai dengan kurva kebutuhan aktual sistem terbukti tidak hanya mengurangi beban listrik tetapi juga menekan rugi-rugi energi pada saat operasi standby. Selain itu, pendekatan ini juga berkontribusi dalam mengurangi emisi karbon operasional perusahaan sebesar 125 ton CO<sub>2</sub> per tahun, sejalan dengan komitmen *sustainability* PT XYZ.

Tabel 1. Perbandingan Kinerja Sistem Sebelum dan Sesudah Optimasi

| Parameter                 | Sebelum Optimasi | Sesudah Optimasi | Peningkatan |
|---------------------------|------------------|------------------|-------------|
| Response Time             | 45 detik         | 15 detik         | 66.67%      |
| Konsumsi Energi Tahunan   | Rp 985,5 juta    | Rp 689,85 juta   | 30%         |
| MTBF                      | 1.000 jam        | 5.000 jam        | 400%        |
| Biaya Operasional Tahunan | Rp 1,25 Miliar   | Rp 854,35 juta   | 31,65%      |
| Jumlah False Alarm/Tahun  | 4 kali           | 0 kali           | 100%        |



Tabel 2. Trend Konsumsi Energi Bulanan (dalam Juta Rupiah)

Keandalan sistem mengalami peningkatan signifikan dengan kenaikan MTBF dari 1.000 jam menjadi 5.000 jam. Peningkatan ini dicapai melalui reduksi beban mekanis pada valve dan pompa, implementasi kontrol yang lebih halus melalui algoritma PID, serta minimasi intervensi manual. Sistem yang teroptimasi juga berhasil mengeliminasi *false alarm* yang sebelumnya terjadi rata-rata 4 kali per tahun. Peningkatan keandalan ini berdampak langsung pada pengurangan downtime tak terencana sebesar 80%, yang selama ini sering mengganggu kontinuitas operasional fasilitas produksi. Desain sistem yang mengintegrasikan *redundant sensor* dan *fail-safe mechanism* memastikan ketersediaan sistem proteksi kebakaran tetap optimal meskipun terjadi gangguan pada salah satu komponen.

Dari perspektif ekonomi, investasi sistem senilai Rp 1,2 miliar menunjukkan kelayakan finansial yang baik dengan ROI 3,2 dan payback period 4,5 bulan. Analisis kelayakan investasi mempertimbangkan seluruh komponen sistem termasuk biaya engineering, instalasi, dan *commissioning*. Penghematan operasional tidak hanya berasal dari efisiensi energi, tetapi juga dari pengurangan biaya pemeliharaan dan peningkatan produktivitas. Nilai tambah ekonomis

juga diperoleh dari penurunan premi asuransi kebakaran sebesar 15% akibat peningkatan rating keselamatan, serta penghindaran potensi denda regulasi sebesar Rp 500 juta per tahun karena kini telah memenuhi seluruh standar NFPA yang berlaku.

**Tabel 3. Analisis Kelayakan Investasi**

| Komponen Investasi              | Nilai (Juta Rupiah) |
|---------------------------------|---------------------|
| Pressure Sensor & Instrumentasi | 150                 |
| PLC dan Control System          | 350                 |
| Motorized Valve dan Aktuator    | 450                 |
| VFD dan Panel Listrik           | 150                 |
| Engineering & Commissioning     | 100                 |
| <b>Total Investasi</b>          | <b>1.200</b>        |
| Penghematan Energi/Tahun        | 295,65              |
| Penghematan Operasional/Tahun   | 158,35              |
| ROI                             | 3,2                 |
| Payback Period                  | 4,5 bulan           |

Keberhasilan implementasi sistem ini didukung oleh desain yang mempertimbangkan aspek keberlanjutan dan kemudahan pemeliharaan. Sistem dirancang dengan redundansi yang memadai, termasuk UPS untuk *back-up power* dan *bypass* manual untuk *maintenance*. Program pemeliharaan preventif yang terencana menjadi kunci dalam mempertahankan kinerja sistem optimal, dengan kalibrasi sensor secara berkala dan monitoring kondisi peralatan secara rutin. Faktor kritis kesuksesan implementasi terletak pada pendekatan *phase deployment* yang matang, dimulai dari pilot project pada satu area sebelum diimplementasikan secara menyeluruh, serta pelatihan intensif bagi operator dan *maintenance crew* untuk memastikan *ownership* dan kemampuan troubleshooting yang memadai.

Meskipun optimasi sistem memberikan peningkatan signifikan dalam respons waktu dan efisiensi energi, implementasi sistem terintegrasi *pressure-triggered valve actuation* dan VFD menghadapi beberapa tantangan teknis dan operasional. Ketergantungan sistem pada pasokan listrik yang stabil menjadi titik kritis, mengingat gangguan daya dapat menonaktifkan seluruh sistem otomatisasi tanpa adanya UPS atau *generator backup* yang memadai. Aspek perawatan juga menjadi perhatian utama, di mana sistem yang lebih kompleks memerlukan teknisi dengan kompetensi khusus dan ketersediaan *spare part* yang memadai. Dari sisi keamanan, integrasi PLC dan sistem kontrol membuka potensi kerentanan terhadap serangan siber jika tidak dilindungi dengan *firewall* dan *network segregation* yang tepat. Kendala finansial berupa biaya investasi awal yang signifikan dapat menjadi penghambat, terutama bagi perusahaan dengan likuiditas terbatas. Keakuratan sistem juga sangat bergantung pada kalibrasi sensor tekanan secara berkala, di mana deviasi kalibrasi dapat mengganggu kinerja seluruh sistem. Selain aspek teknis, transformasi dari sistem manual ke otomatis memerlukan adaptasi personel melalui program *change management* dan pelatihan berkelanjutan. Dengan mengenali berbagai tantangan ini sejak perencanaan, PT XYZ dapat mengembangkan strategi mitigasi yang komprehensif untuk memastikan sustainability sistem yang dioptimalkan dalam jangka panjang.

#### 4. SIMPULAN

Hasil analisis terhadap proyek optimasi *Fire Water System (FWS)* di PT XYZ menunjukkan bahwa integrasi *pressure-triggered valve actuation* dan sistem kendali berbasis *Programmable Logic Controller (PLC)* memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan keandalan sistem

proteksi kebakaran. Dengan implementasi otomatisasi ini, *response time* berhasil ditekan dari 45 detik menjadi hanya 15 detik, menandakan peningkatan efisiensi sebesar 66,67%. Capaian ini tidak hanya memenuhi, tetapi juga melampaui ketentuan *NFPA 20: Standard for the Installation of Stationary Pumps for Fire Protection*, yang menetapkan batas waktu maksimum 20 detik untuk industri berisiko tinggi. Kecepatan respon tersebut berimplikasi langsung terhadap efektivitas sistem dalam mencegah perluasan kebakaran pada tahap awal, sekaligus memperkecil potensi kerugian material dan risiko keselamatan personel. Secara sistemik, hasil ini mencerminkan keberhasilan PT XYZ dalam membangun sistem proteksi kebakaran yang tidak hanya reaktif, tetapi juga proaktif dan adaptif terhadap dinamika tekanan dan kondisi darurat di lapangan.

Selain peningkatan keandalan teknis, penerapan *Variable Frequency Drive (VFD)* pada pompa *fire water* juga memberikan keuntungan operasional yang signifikan. Teknologi VFD memungkinkan pengaturan kecepatan putaran motor sesuai kebutuhan tekanan sistem, sehingga konsumsi energi listrik dapat dioptimalkan tanpa mengurangi kinerja sistem proteksi. Berdasarkan hasil evaluasi, penggunaan VFD menurunkan konsumsi energi hingga 30% per tahun, yang secara finansial setara dengan penghematan sekitar Rp 295,65 juta per tahun. Penghematan energi ini tidak hanya menekan biaya operasional, tetapi juga mendukung inisiatif efisiensi energi dan keberlanjutan lingkungan yang kini menjadi fokus penting di sektor industri. Lebih dari itu, penerapan teknologi ini memperpanjang umur peralatan karena mengurangi beban mekanis akibat operasi konstan pada kecepatan tinggi.

Dari sisi ekonomi, investasi modernisasi sistem senilai Rp 420 juta menunjukkan kelayakan finansial yang sangat tinggi. Dengan *Return on Investment (ROI)* mencapai 23,8 dan periode pengembalian modal (*payback period*) hanya 15 hari, proyek ini terbukti sangat menguntungkan. Angka tersebut tidak hanya merepresentasikan efisiensi biaya, tetapi juga mencerminkan nilai strategis dari investasi di bidang keselamatan. Penghematan biaya operasional yang signifikan, dikombinasikan dengan penurunan risiko finansial akibat potensi kebakaran, menjadikan proyek ini sebagai contoh nyata bagaimana pendekatan *technological upgrading* dan *risk-based decision making* dapat berjalan seiring dalam mendukung keberlanjutan operasional industri. Dengan demikian, modernisasi FWS PT XYZ bukan sekadar proyek teknis, melainkan langkah strategis menuju sistem proteksi kebakaran yang efisien, tangguh, dan berorientasi pada keselamatan serta kinerja ekonomi jangka panjang.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alega and dkk, "Implementasi Standar K3 (Keselamatan dan Kesehatan Kerja) Dalam Rangka Perlindungan Pekerja Di Industri Konstruksi," vol. Vol.2, Feb. 2025.
- [2] Cahyalla Trizadi Hars, "ANALISIS IMPLEMENTASI SISTEM MANAJEMEN KEBAKARAN PADA PROSES PENGOLAHAN GETAH PINUS DI PT. PERHUTANI PINE CHEMICAL INDUSTRY PEMALANG TAHUN 2023," *Scientica*, 2024.
- [3] P. A. Lesmana, "Risk Factors Identification of Fire Incidents in 2017-2018," *IJOSH*, vol. 9, Apr. 2020.
- [4] A. N. Habibah and I. Cahyaningrum, "The Implementation of Fire Emergency Response in the Central Java Oil and Gas Company," *Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, vol. 11, no. 1, pp. 21–32, Mar. 2022, doi: 10.20473/ijosh.v11i1.2022.21-32.
- [5] S. Ejaz and N. Siddiqui, "DESIGN OF FIREWATER NETWORK FOR A TYPICAL ONSHORE GAS PROCESSING PLANT," 2018.
- [6] I. Alimohammadi, F. Nourai, M. J. Daryalaal, and A. M. Ghasemi, "A novel method to design water spray cooling system to protect floating roof atmospheric storage tanks against fires," 2016. [Online]. Available: <https://cabidigitallibrary.org>
- [7] A. H. Muhammad, R. Effend, and F. Irianto, "PERANCANGAN SISTEM PEMADAM

- KEBAKARAN PADA PERKANTORAN DAN PABRIK LABEL MAKANAN PT XYZ DENGAN LUAS BANGUNAN 1125 M2,” *Jurnal Mesin Teknologi (SINTEK Jurnal)*, 2017.
- [8] A. A. Orranius, P. Patarru<sup>1</sup>, J. Waluyo<sup>2</sup>, and N. A. Masrurroh<sup>3</sup>, “SIMULATION MODEL DEVELOPMENT FOR FIRE WATER PIPING NETWORK WITH NEWTON-RAPHSON ITERATION,” 2021. [Online]. Available: <http://journal.ugm.ac.id/index.php/ajse>
  - [9] J. Razeen, V. Venkata Krishnakanth, and S. Ejaz, “Design and Analysis of Firewater Network for a Typical Onshore Gas Processing Plant,” 2018, pp. 207–218. doi: 10.1007/978-981-10-7281-9\_17.
  - [10] D. Bordeasu, O. Prostean, I. Filip, and C. Vasar, “Adaptive Control Strategy for a Pumping System Using a Variable Frequency Drive,” *Machines*, vol. 11, no. 7, Jul. 2023, doi: 10.3390/machines11070688.
  - [11] J. Liu *et al.*, “Optimization of isolation valve placement to improve reliability and resilience of water distribution systems,” *Reliab Eng Syst Saf*, vol. 252, p. 110423, Dec. 2024, doi: 10.1016/J.RESS.2024.110423.
  - [12] National Fire Protection Association (NFPA), “Fire Pump Systems in NFPA 20 Standard ETN YN Series,” 2020. [Online]. Available: [www.etna.com.tr](http://www.etna.com.tr)
  - [13] L. Hadidi, A. Mohammed, A. Ghaithan, and F. Tuffaha, “A holistic reliability system approach of a water distribution network in Saudi Arabia,” *Water Supply*, vol. 21, no. 7, pp. 3875–3886, Nov. 2021, doi: 10.2166/ws.2021.149.