

Analisis Kegagalan dan Metode Perbaikan Kebocoran pada Sistem *Foam Bladder Tank*: Studi Kasus Project SBI Plant Narogong

Deddy Junior Tambunan *, Djoko Setyanto

Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Sudirman 51 Jakarta 12930

| Article Info | Abstract |
|--|--|
| <i>Article history:</i> | <i>The reliability of foam suppression systems is critical for mitigating Class B fire risks in chemical industrial facilities. This case study investigates an incident involving the discharge of foam solution through the Pressure Safety Valve (PSV) on the water inlet line of a Bladder Tank at Plant Narogong, which coincided with an internal hydrant pillar test. The study aims to identify the root cause of the leakage and formulate corrective actions in compliance with NFPA & FM Global standards. The investigation methodology included visual inspection, flushing tests, leak testing, and physical examination of the internal membrane. Inspection results confirmed that the Bladder membrane was intact, refuting initial suspicions of rubber material failure. Root cause analysis identified the incident was caused by back pressure phenomena due to valve misconfiguration during hydrant testing and internal corrosion in Carbon Steel pipes caused by foam residue. Corrective actions implemented included a pressure-balanced refilling procedure, pipeline flushing, and system design modification by installing a Check Valve after the proportioner. These measures proved effective in preventing backflow and maintaining the integrity of the fire protection system.</i> |
| Received January 13, 2026 | |
| Accepted January 19, 2026 | |
| <i>Keywords:</i> Bladder Tank, Back Pressure, NFPA 25, Leak Investigation, Fire Protection | |

| Info Artikel | Abstrak |
|---|--|
| <i>Histori Artikel:</i> | |
| Diserahkan: 13 Januari 2026 | Keandalan sistem proteksi kebakaran berbasis busa (<i>foam suppression system</i>) merupakan komponen kritis dalam mitigasi risiko kebakaran Kelas B di fasilitas industri kimia. Studi kasus ini membahas investigasi insiden keluarnya cairan <i>foam solution</i> melalui <i>Pressure Safety Valve</i> (PSV) pada jalur <i>water inlet</i> sebuah <i>Bladder Tank</i> di Plant Narogong, yang terjadi bertepatan dengan uji internal pilar hidran. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi akar penyebab (<i>root cause</i>) kebocoran dan merumuskan metode perbaikan sesuai standar NFPA & FM Global. Metode investigasi meliputi inspeksi visual, uji pembilasan (<i>flushing</i>), uji kebocoran (<i>leak testing</i>), dan pemeriksaan fisik membran internal. Hasil inspeksi membuktikan bahwa membran <i>Bladder</i> dalam kondisi utuh, menyanggah dugaan awal kegagalan material karet. Analisis akar masalah menunjukkan insiden disebabkan oleh fenomena <i>back pressure</i> akibat kesalahan konfigurasi katup (<i>valve misconfiguration</i>) saat pengujian hidran dan korosi internal pada pipa <i>Carbon Steel</i> akibat residu <i>foam</i> . Sebagai tindakan korektif, diterapkan prosedur pengisian ulang (<i>refilling</i>) berbasis keseimbangan tekanan, pembersihan jalur pipa, dan modifikasi desain sistem melalui penambahan <i>Check Valve</i> setelah <i>proportioner</i> . Langkah ini terbukti efektif mencegah aliran balik dan menjaga integritas sistem pemadam kebakaran. |
| Diterima: 19 Januari 2026 | |
| Kata Kunci: Tangki Bladder, Tekanan Balik, NFPA 25, Investigasi Kebocoran, Proteksi Kebakaran | |

*Corresponding author. Deddy Junior Tambunan
Email address: juniortambunandeddy@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Pada fasilitas industri kimia dan manufaktur seperti Plant Narogong, risiko kebakaran kelas B (cairan mudah terbakar) menuntut keandalan sistem *foam suppression*. Komponen vital dari sistem ini adalah *Bladder Tank*, bejana tekan baja yang berisi kantung karet (*bladder*) penyimpan konsentrat busa.

Pada hari selasa, 9 Agustus 2022, ada kejadian dimana pada *Pressure Safety Valve* yang ada di jalur *Water Inlet Bladder Tank*, keluar *Foam Solution (Water + Concentrate)* seperti yang terlihat pada gambar 1. Dan pada hari yang sama, bertepatan dengan *Client SBI* sedang melakukan *Internal Test* pada *Hydrant Pillar*.



Gambar 1.
Foam Solution keluar dari *Pressure Safety valve*.

Ditemukan indikasi kebocoran pada *trim set Foam Bladder Tank* tepatnya pada *Pressure Safety Valve* dan ketika dilakukan *flushing* pada *drain line Deluge Valve*, didapat air yang warnanya keruh seperti pada Gambar 2.



Gambar 2.
Air keluar dari *Drain Line Deluge Valve* berwarna keruh.

Masalah teknis yang perlu dijawab adalah:

1. Apa akar penyebab (*root cause*) kebocoran pada sistem *Bladder tank* tersebut?
2. Bagaimana metode perbaikan yang sesuai dengan standar internasional (NFPA/FM Global) ataupun rekomendasi dari manufaktur?

2. METODE PELAKSANAAN

2.1 Mekanisme Kerja Foam *Bladder Tank*

Sistem ini bekerja berdasarkan prinsip tekanan seimbang (*balanced pressure*). Air pemadam kebakaran masuk ke dalam ruang antara dinding tangki baja dan karet membran *bladder tank*, menekan karet membran sehingga konsentrat busa keluar menuju *proportioner*.

Bladder Tank adalah salah satu komponen dalam sistem proporsi busa bertekanan seimbang. Tangki ini tidak memerlukan sumber daya eksternal, selain tekanan air untuk memastikan operasi yang benar. *Bladder Tank* vertikal dan horizontal dirancang serta dibuat sesuai dengan revisi terbaru dari kode ASME, Bagian VIII untuk bejana tekan tanpa pembakaran, dengan tekanan kerja 175 psi dan diuji hingga 1,3 kali tekanan tersebut (ASME, 2021).

Cangkang tangki terbuat dari baja yang memenuhi spesifikasi ASME, dengan kekuatan tarik tidak kurang dari 70.000 psi. Jahitan melingkar maupun jahitan memanjang pada badan tangki dilas dengan mesin. Bagian dalam tangki, termasuk las dan tepiannya, digerinda hingga halus (ASME, 2021).

Pada Project ini, *Client* menggunakan *Bladder Tank* dengan *brand* FIRECHEM. Beberapa *brand* mempunyai perbedaan di detail *trim set*-nya tetapi memiliki fungsi yang sama yaitu menghasilkan *foam solution* sesuai dengan kadar persentase antara *foam concentrate* dan air.

Prinsip kerja FIRECHEM *Bladder Tank* adalah FIRECHEM *Bladder Tank* terdiri dari komponen utama berikut yaitu busa, tangki, perpipaan air, perpipaan busa, katup ventilasi & pembuangan dan level indikator / *pressure gauge* (NFPA, 2023).

Selama operasi, air diisikan ke dalam tangki di antara instalasi pipa air dan tangki dengan tekanan. Tangki akan men-transfer tekanan air ini ke konsentrat busa yang disimpan di dalam tangki sehingga menimbulkan tekanan pada konsentrat busa.

Line Proportioner (NFPA, 2021), (FM Global, 2023). adalah alat proporsi berjenis venturi yang dirancang untuk mencampurkan konsentrat busa ke dalam aliran air pada tingkat 3% atau 6%. *Line Proportioner* ini dipasang secara permanen dalam sistem perpipaan. *Line Proportioner* memiliki struktur di mana dapat mengirimkan air bertekanan melalui pembanding dan menghasilkan tekanan. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan dalam kecepatan aliran untuk mencampur air. Selain itu *line proportioner* strukturnya sederhana dan mudah digunakan.

Untuk material yang digunakan dalam konstruksi *bladder tank* harus dipilih dengan hati-hati agar mampu menahan kondisi berat yang akan dihadapi. Biasanya, tangki dibuat dari baja berkualitas tinggi yang memberikan kekuatan dan daya tahan yang diperlukan. Menurut Patel dan Shah (2019), penggunaan paduan baja tahan korosi dapat secara signifikan meningkatkan umur pakai tangki, mengurangi kebutuhan perawatan, serta meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan. Berdasarkan informasi dari datasheet FIRECHEM *Bladder Tank*, material yang digunakan adalah *stainless steel* dengan *Corrosion-Resistant Epoxy (Epoxy CR)*.

Membran, yang memisahkan air dan konsentrat busa, biasanya terbuat dari elastomer yang fleksibel namun tahan lama seperti karet nitril atau poliuretan. Material ini dipilih karena memiliki ketahanan kimia yang sangat baik serta fleksibilitas tinggi, sehingga memastikan masa pakai yang panjang meskipun berada di bawah tekanan yang bervariasi.

2.2 Referensi Standar

Selain menggunakan panduan dari manufaktur, ada beberapa standar yang digunakan sebagai panduan dalam melakukan investigasi kasus ini, seperti:

1. NFPA 11 (*Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam*): Mengatur desain instalasi dan spesifikasi *proportioning* (NFPA, 2021).
2. NFPA 25 (*Standard for the Inspection, Testing, and Maintenance of Water-Based Fire Protection Systems*): Bab 11 secara spesifik mengatur inspeksi komponen busa, termasuk kewajiban inspeksi visual rutin dan *operational test* (NFPA, 2023).
3. FM Global Property Loss Prevention Data Sheet 4-12 (*Foam-Water Sprinkler Systems*): Memberikan panduan mitigasi risiko kegagalan material dan prosedur instalasi untuk mencegah *water hammer* (FM Global, 2023).

2.3 Metode Investigasi

Proses investigasi kasus ini dilakukan selama 3 kali *visit*, dikarenakan waktu yang diajukan harus disesuaikan dengan ketersediaan pihak *Client* untuk melakukan pendampingan. Analisis dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

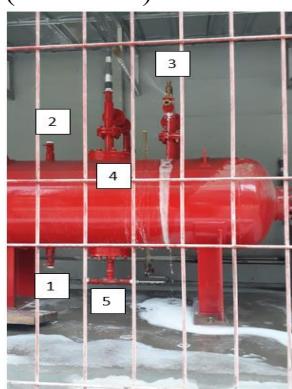
1. Inspeksi Visual (*Visual Assessment*): Pengecekan fisik eksternal tangki, *piping trim*, dan *valves*.
2. Uji Kebocoran (*Leak Testing*): Isolasi sistem untuk menentukan titik rembesan spesifik [2][6][7].
3. Analisis Material: Pemeriksaan kondisi karet *Bladder* (jika terjadi *ruptur*) dan ketebalan dinding tangki (*shell*).
4. Analisis Akar Masalah (RCA): Menggunakan diagram *Fishbone* untuk memetakan faktor Manusia, Metode, Material, dan Lingkungan .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Inspeksi

Beberapa langkah inspeksi dan hasil inspeksi yang didapat ketika melakukan investigasi terhadap kasus kebocoran berikut adalah:

1. Langkah pertama adalah membuka *drain valve* (no. 1 pada Gambar 3). Tujuannya adalah untuk melihat apakah masih ada *foam solution* yang ada di dalam *Bladder Tank*. Karena dengan ada *Foam Solution* mengendap di dalam tangki akan menyebabkan *body* dalam tangki akan korosif. Hasilnya adalah masih banyak *Foam Solution* (Gambar 4).



Gambar 3.

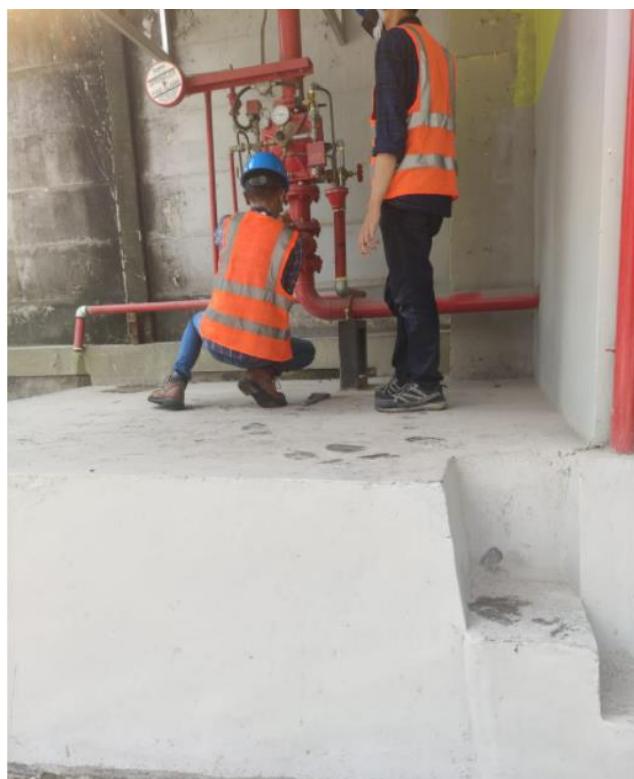
Detail *Bladder Tank* ketika terjadi kebocoran.



Gambar 4.

Cairan *Foam Solution* yang keluar dari *Trim Set Bladder Tank*.

2. Langkah kedua adalah *flushing jalur foam pipe*. Dengan cara, pertama menutup *water inlet valve* dan *foam concentrate valve*. Kemudian membuka *Gate Valve* yang berada sebelum *Deluge valve* (Gambar 5) dan membuka *drain valve* yang ada di *trim set Deluge Valve* (Gambar 2). Pada jalur *drainage deluge valve* banyak *foam solution* yang keluar dan air yang berwarna kecoklatan atau keruh (Gambar 2).



Gambar 5.

Gate Valve dibuka agar *flushing* dilakukan melalui *drain line Deluge Valve*.

3. Langkah ketiga adalah membuka *flange* jalur *foam concentrate* pada *Bladder Tank* (no 4 pada Gambar 6). Tujuannya adalah untuk mengecek kondisi karet membran pada *Bladder Tank*. Hasilnya adalah tidak ada kebocoran pada membran (Gambar 7). Kondisi *Foam Filling Pipe* yang ada di dalam *Bladder* sudah berkarat (Gambar 8).

**Gambar 6.**

Kondisi bagian dalam *Bladder Tank* ketika *flange* dibuka.

**Gambar 7.**

Kondisi membran di dalam *Bladder Tank* tidak menunjukkan kerusakan atau kebocoran.



Gambar 8.

Kondisi *Foam Filling Pipe* menunjukkan adanya terjadi korosi.

4. Langkah keempat *Bladder Tank* diisi dengan *foam concentrate* sebanyak 20 Ltr melalui jalur yang telah dibuka sebelumnya (no 4 pada Gambar 3). Kemudian *drain valve Bladder Tank* (no. 1 pada Gambar 3) dibuka. Hasil nya tidak ada *foam concentrate* yang keluar.

3.2 Analisis Akar Masalah (Root Cause Analysis)

Kegagalan ^{[3][4]} *Bladder tank* pada project ini yang mengakibatkan beberapa kejadian seperti yang diuraikan sebelumnya disebabkan oleh:

1. Prosedur Pengisian Salah (*Improper Filling*): Pengisian konsentrat dilakukan terlalu cepat tanpa diimbangi pengisian air pada sisi *shell*, menyebabkan karet membran *Bladder Tank* meregang berlebihan dan sobek karena gaya gravitasi. Dan prosedur pengisian tidak sesuai dengan anjuran dari manufaktur (FM Global, 2023).
2. *Water Hammer*: Lonjakan tekanan mendadak saat pompa *fire hydrant* aktif, yang menghantam *Bladder Tank* karena tidak adanya *surge arrestor* yang memadai. Hal ini menyebabkan *foam liquid* tercampur ke jaringan pipa hidran. Semakin parah dikarenakan pipa yang digunakan setelah *foam proportioner* adalah *Carbon Steel A53* dan bukan *Galvanized pipe* atau *Stainless steel pipe*. Sehingga terjadi korosi pada bagian dalam pipa. Ditunjukkan dengan air yang berwarna coklat keruh ketika dilakukan *flushing*.

Kegagalan *Bladder* menyebabkan ketidakakuratan pencampuran. Persamaan keseimbangan tekanan ideal Adalah:

$$P_{\text{water}} \approx P_{\text{Concentrate}}$$

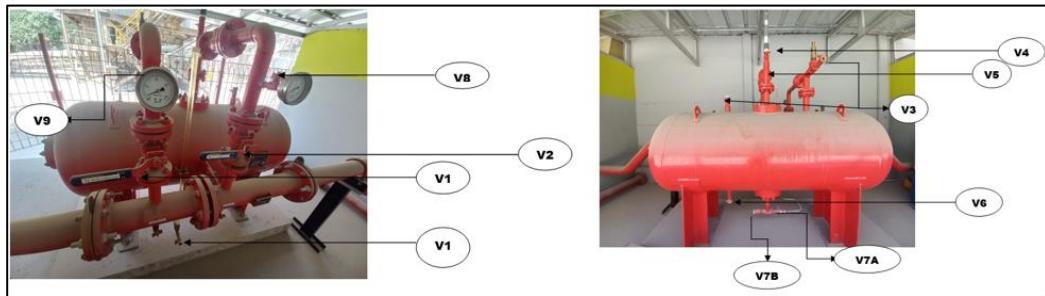
Jika *Bladder* bocor, maka *foam concentrate* akan terkontaminasi oleh volume air, mengubah viskositas dan *Specific Gravity (SG)* larutan. Akibatnya rasio pencampuran air

dan konsentrat menjadi tidak sesuai standar, sehingga busa yang dihasilkan tidak memenuhi kriteria pemadaman (misalnya tidak stabil, cepat pecah, atau tidak mampu menutup permukaan bahan bakar).

3.3 Metode Investigasi

Langkah perbaikan berikut disusun berdasarkan *Best Practice* manufaktur dan NFPA 25^[2]:

1. Persiapan dan Isolasi (LOTO)
 - Tutup *Water Supply Valve* dan *Concentrate Outlet Valve*.
 - Lakukan *Lock-Out Tag-Out* (LOTO) pada panel pompa kebakaran untuk mencegah aktivasi tidak sengaja.
2. Pengosongan (Draining)
 - Kuras sisa konsentrat busa. **Catatan Penting:** Konsentrat busa (terutama tipe AFFF) mengandung PFAS dan harus dibuang sesuai regulasi limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) yang berlaku di Indonesia.
 - Bilas tangki dengan air bersih.
3. Prosedur Pengisian Kembali (*Refilling Strategy*)
 - Pastikan semua katup pada tangki kandung kemih dalam posisi tertutup. Seluruh katup (*valve*) dan *nozzle* akan menggunakan Gambar 9.
 - Buka Katup V4 (*valve* ventilasi tangki) & V3 (*valve* ventilasi).
 - Hubungkan suplai air ke *valve* V6 (*drain valve*).
 - Buka katup V6 (*vessel drain valve*) untuk mengisi air di bagian luar.
 - Mengisi air sampai debit air diamati melalui *valve* V3.
 - Tutup *valve* V6 (*drain valve*) & putuskan pasokan air dari *valve* V6
 - Hubungkan pipa pembuangan pompa pengisian busa ke *valve* V7B (*valve* pembuangan tangki).
 - Buka Katup V7A & V7B (*valve* pembuangan tangki) untuk mengisi konsentrat busa dalam *Bladder tank*.
 - Selama operasi pengisian jika pelepasan konsentrat busa diamati melalui katup V4 (*valve* ventilasi *Bladder tank*), buka sebagian katup V6 (*valve* saluran pembuangan) untuk mengalirkan air dari tangki *Bladder* selama operasi pengisian.
 - Lanjutkan operasi pengisian sampai jumlah konsentrat busa yang dibutuhkan ke dalam tangki *Bladder tank*.
 - Setelah pengisian, tutup *valve* V7A, V7B, V3 & V4.
 - Putuskan sambungan pasokan pompa busa dari *valve* V7B (*valve* pembuangan tangki).
 - Hubungkan suplai air ke *valve* V6 & buka *Valve* V6 (*drain valve*) pada saat mengisi air di tangki *Bladder tank*.
 - Buka *valve* V4 (*valve* ventilasi *Bladder*) untuk mengalirkan udara dari kandung kemih. Menutup *valve* V4 pada pelepasan konsentrat busa dari *Valve* V4 (*valve* ventilasi).
 - Tutup *Valve* V6 (*drain valve*) & putuskan sambungan suplai air dari *valve* V6.
 - Buka *Valve* V3 (*vent valve*) untuk menurunkan tekanan tangki *Bladder tank*.

**Gambar 9.**

Panduan untuk prosedur pengisian *Foam Concentrate* ke dalam *Bladder Tank* yang sesuai dengan anjuran dari manufaktur.

4. Testing & Commissioning

- Melakukan uji hidrostatik pada tekanan kerja

$$1.5 \times P_{kerja}$$

- Melakukan uji kualitas busa (*foam quality test*) dengan mengambil sampel dan mengukur *expansion ratio* serta *drain time* sesuai NFPA 11.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang didapatkan adalah:

1. Tidak ada kebocoran pada *Membran Concentrate* pada *Bladder Tank*.
2. Penyebab *Foam Solution* yang keluar dari *Pressure Safety Valve (PSV)* adalah karena pada saat *Client* melakukan *Internal Test* pada *Hydrant Pillar*, *Water Inlet* dan *foam Concentrate valve* kondisinya terbuka dan *Gate Valve* sebelum *Deluge Valve* terbuka tetapi *Drain* pada *Trim Set Deluge Valve* tertutup, sehingga terjadi *back pressure*. *Foam Solution* yang mengendap pada jalur pipa sisa *performance test* keluar dari *Pressure Safety Valve (PSV)*. Dan juga air yang masih mengendap di *water channel Bladder tank* menyebabkan air dan *foam solution* pada pipa keluar dari *Pressure Safety Valve (PSV)*.

4.2 Saran

Beberapa saran sebagai hasil evaluasi yang diberikan kepada *Client* dan sudah dilakukan juga sebagai langkah *Corrective Action* adalah:

1. Memperbaiki Prosedur Pengisian *Foam Concentrate* pada *Bladder Tank* dengan mengikuti SOP yang seharusnya. Bertujuan agar *Foam Concentrate* yang diisi ke dalam membran efektif sesuai dengan volume aktual.
2. Melakukan *Flushing* pada Jalur Pipa *Foam System* agar tidak ada sisa *foam solution* yang mengendap di dalam pipa yang dapat menyebabkan korosif pada pipa.
3. Menyarankan pembuatan SOP kepada tim Internal *Client* ketika akan menggunakan *Hydrant Pillar* pada jalur *fire fighting* sehingga tidak menyebabkan kejadian yang sama terjadi. Karena *valve* yang ada pada jalur *Foam System* harus *Normally Open*.
4. Memodifikasi instalasi *Foam System*, salah satunya dengan menambahkan *Check Valve* setelah *Proportioner*. Hal ini berguna untuk menghindari adanya *foam solution* yang akan *back pressure* ke jaringan pipa hidran.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih manajemen PT. Haskoning Indonesia yang telah memberikan kesempatan pada penulis untuk mengikuti Program Profesi Insinyur di Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya pada saat bersamaan penulis juga tetap menjalankan tanggung jawab sebagai *Senior Mechanical Building Services Engineer*. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepala Orang Tua, Istri, rekan kerja serta seluruh pihak yang berkontribusi baik secara langsung maupun tidak langsung dalam pelaksanaan praktik keinsinyuran ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. American Society of Mechanical Engineers (ASME). (2021). *ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII: Rules for construction of pressure vessels, Division 1*. New York: ASME.
2. National Fire Protection Association (NFPA). (2023). *NFPA 25: Standard for the inspection, testing, and maintenance of water-based fire protection systems*. Quincy, MA: NFPA, pp 48-60.
3. [National Fire Protection Association (NFPA). (2021). *NFPA 11: Standard for low-, medium-, and high-expansion foam*. Quincy, MA: NFPA, pp 50-61.
4. FM Global. (2023). *Data sheet 4-12: Foam-water sprinkler systems*. Johnston, RI: FM Global, pp 37-44.
5. A. Patel, R. Shah. (2019). Enhancing the Durability of Fire Protection Equipment through Material Innovation, *Materials Science Journal*, 34(2), 45-58.
6. FM Global. (2023). *Data sheet 2-81: Fire protection systems inspections, testing and maintenance*. Johnston, RI: FM Global, pp 27-29.