

Strategi Penanggulangan Kebakaran pada Gudang Industri: Penerapan Sistem *Sprinkler* Otomatis sesuai Standar NFPA 13

Miko Fuada Zaiyan¹, Moch. Luqman Ashari², dan Moch. Yusuf Santoso^{3*}

^{1,2,3}Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

*E-mail: yusuf.santoso@ppns.ac.id

Abstrak

Kebakaran pada gudang industri berpotensi menimbulkan kerugian yang cukup besar karena dampaknya terhadap berbagai pemangku kepentingan. Gudang pada umumnya menghadapi risiko kebakaran yang tinggi, karena desain penyimpanan di gudang industri biasanya memiliki material yang bertumpuk tinggi, sehingga pengendalian kebakaran menjadi sulit. Sistem *sprinkler* otomatis dapat memberikan proteksi kebakaran yang efektif untuk penyimpanan gudang. Penelitian ini mengkaji studi kasus rak penyimpanan pada gudang pengemasan pada perusahaan manufaktur makanan berbahan kelapa sawit di Surabaya. Sistem *sprinkler* otomatis yang akan dipasang di gudang harus terintegrasi dengan susunan rak, karena sifat dan karakteristik penyimpanan di gudang pengemasan tidak dapat ditangani secara memadai hanya dengan *sprinkler* atap. Penelitian ini menyajikan pendekatan desain penempatan *sprinkler* atap pada atap miring dan *sprinkler* rak pada rak penyimpanan di gudang pengemasan, sesuai dengan standar NFPA 13. Hasil perancangan menunjukkan perlunya modifikasi desain gudang pengemasan awal agar selaras dengan ketentuan yang dituangkan dalam NFPA 13. Desain gudang yang disesuaikan memungkinkan penempatan sistem rak *sprinkler* yang efektif, yang disusun dalam dua tingkat yang saling berhubungan secara vertikal. Peletakan *sprinkler* rak juga dilakukan pada persimpangan *transverse flue* dan *longitudinal flue* yang saling berkelok secara horizontal. Peletakan *sprinkler* atap dipasang secara tegak (*upright*) dengan deflektor mendatar. Cabang pipa yang menyuplai *sprinkler* atap dipasang sejajar dengan kemiringan atap. Penentuan *design density/area* sistem *sprinkler* otomatis menghasilkan analisis area desain untuk *sprinkler* atap yaitu 22 *sprinkler* paling ujung pada ruas A bangunan serta untuk *sprinkler* rak yaitu 10 *sprinkler* paling ujung pada blok rak D. Perhitungan kebutuhan debit minimal kedua area desain tersebut yaitu 3943.5 L/min.

Kata Kunci: Keamanan Kebakaran Gudang, Gudang Tipe Rak, Perhitungan Hidrolik, Sistem Deteksi dan Pemadaman Kebakaran, Sistem *Sprinkler* Otomatis, Standar NFPA 13

Abstract

Fires in industrial warehouses have the potential to result in significant losses due to their impact on various stakeholders. Warehouses generally face a high fire risk, as the storage designs in industrial warehouses typically feature high-stacked materials, making fire control challenging. An automatic sprinkler system can provide effective fire protection for warehouse storage. This research examines a case study of a storage rack in the packaging warehouse of a palm oil-based food manufacturing company in Surabaya. The automatic sprinkler system to be installed in the warehouse must be integrated with the rack arrangement, as the nature and characteristics of storage in the packaging warehouse cannot be adequately addressed solely by roof sprinklers. This study presents the design approach for the placement of sprinkler racks on the storage shelves in the packaging warehouse, in accordance with NFPA 13 standards. The design results indicate the need to modify the initial packaging warehouse design to align with the provisions outlined in NFPA 13. The adjusted warehouse design allows for the effective placement of in-rack sprinkler, which is arranged in two vertically interconnected levels and positioned at the intersection of the transverse and longitudinal flues. The ceiling sprinkler is positioned upright with a horizontal deflector, which the branch line parallel to the roof slope. The design density/area analysis for the automatic sprinkler system identified the design area as 22 end sprinklers at section A of the building for ceiling sprinkler and 10 end sprinklers at rack block D for rack sprinkler. The minimum flow rate necessary to serve both areas was calculated to be 3943.5 L/min.

Keywords: Warehouse Fire Safety, Rack-Type Warehouse, Hydraulic Calculation, Fire Detection and Suppression System, Automatic Sprinkler System, NFPA 13 Standards

1. PENDAHULUAN

Kebakaran merupakan bencana yang disebabkan munculnya api dan menimbulkan kerugian, terutama di Industri yang melibatkan kegiatan manufaktur dan penyimpanan. Kebakaran berpotensi menimbulkan kerugian bagi banyak pihak, antara lain bagi perusahaan, pekerja, maupun eksternal (Wardana, 2018). Berita terbaru mengenai kebakaran yaitu kebakaran gudang pabrik tisu di Mojokerto yang berdampak menjalar hingga 3 gudang lainnya serta korban meninggal 1 orang (Budianto, 2023). Di lain sisi, di Provinsi Jawa Timur saja setidaknya tercatat 39 kejadian kebakaran gudang sepanjang tahun 2023 (BPBD Jatim, 2023). Kebakaran pada gudang dapat menghambat proses produksi, merugikan lingkungan sekitar, pelanggan, dan juga perusahaan sendiri (Lysion *et al.*, 2022).

Desain penyimpanan material pada gudang biasanya ditumpuk dalam susunan yang tinggi. Desain tersebut menyebabkan gudang secara umum memiliki risiko kebakaran tinggi dan penanggulangan yang sulit (Dasgotra, Rangarajan and Tauseef, 2021). Perlu diketahui bahwa penyimpanan yang ditumpuk secara vertikal akan terbakar dengan cepat, hal tersebut merupakan fakta yang dapat dipahami bahkan tanpa analisa teknik kebakaran. Kondisi dimana risiko kebakaran tidak dapat diabaikan, diperlukan adanya sistem yang efektif untuk memadamkan api yang dengan cepat menyebar (Kim, 2020). Proteksi kebakaran yang dapat disediakan untuk penyimpanan pada gudang yaitu sistem *sprinkler* otomatis yang mampu memberikan pemadaman diantara tumpukan material. Sistem *sprinkler* otomatis menjamin tersedianya respon cepat terhadap kebakaran, bahkan sebelum hadirnya personel penanggulangan kebakaran (Silmiy *et al.*, 2023).

Perancangan peletakan *sprinkler* otomatis pada penelitian ini mengacu pada standar yang disusun oleh *National Fire Protection Association* (NFPA). NFPA merupakan organisasi sebuah organisasi yang menyusun standar terkait teknologi baru untuk mencegah atau menanggulangi kebakaran (Petersen, 2019). Perancangan peletakan *sprinkler* otomatis untuk hunian di Indonesia umumnya mengacu pada SNI 03-3989-2000 (Triwibowo, Mandagie and Bhirawa, 2018; Gizella, Ashari and Khairansyah, 2020; Fauzan and Pharmawati, 2023). Meskipun masih berlaku, namun relevansi standar tersebut dengan kondisi saat ini terlalu jauh dikarenakan belum diperbarui sejak tahun 2000. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan NFPA 13 yang secara berkala diperbarui. Standar NFPA 13 secara khusus berfokus pada pemasangan sistem *sprinkler* otomatis (Abdulrahman *et al.*, 2021).

Studi kasus pada penelitian ini yaitu rak penyimpanan pada gudang pengemasan salah satu perusahaan *refinery* minyak kelapa sawit di Surabaya. Rak penyimpanan pada gudang pengemasan tersebut diatur berbaris-baris dengan ketinggian hingga 10 meter. Desain penyimpanan tersebut termasuk dalam kategori *multiple-row rack* sehingga perlu adanya proteksi tambahan berupa *sprinkler* rak (Wass dan Fleming P.E., 2020). Nonsawat and Patvichaichod (2020) juga membuktikan melalui penelitiannya bahwa pemasangan *sprinkler* atap saja tidak mampu untuk memadamkan kebakaran pada tumpukan penyimpanan setinggi 6 meter. Pemasangan kombinasi *sprinkler* atap dan *sprinkler* rak diperlukan karena dapat mengurangi suhu dari kebakaran dan mencegah api semakin menyebar. Pemasangan *sprinkler* rak tidak dapat disamakan dengan pemasangan *sprinkler* atap seperti pada umumnya (Wolin, 2021). Bahkan ketentuan pemasangan *sprinkler* rak diatur pada bab tersendiri karena adanya penyesuaian-penyesuaian tertentu (NFPA 13, 2019).

Fleming (2016) menjelaskan, setelah perancangan peletakan sistem *sprinkler* otomatis telah dikaji sesuai dengan ketentuan yang berlaku, peneliti melakukan serangkaian perhitungan berdasarkan pendekatan *density/area* untuk mengetahui aliran minimal yang dibutuhkan. Perhitungan ini bertujuan untuk memastikan aliran air mencukupi untuk memadamkan kebakaran. Proses perhitungan dengan pendekatan ini dilakukan pada perwakilan *sprinkler* di area terpencil. Pada penelitian ini akan dipaparkan bagaimana perancangan peletakan *sprinkler* otomatis untuk rak penyimpanan pada gudang pengemasan produk olahan minyak sawit sesuai standar NFPA 13 serta penentuan *design density/area* untuk sistem *sprinkler* otomatis tersebut.

2. METODE

Proses perancangan diawali dengan klasifikasi bahaya untuk mengetahui tingkat bahaya kebakaran area yang akan dipasang *sprinkler*. Proses selanjutnya yaitu dilakukan dengan menganalisa kondisi yang ada di perusahaan saat ini, kemudian dibandingkan dengan ketentuan yang terdapat pada NFPA 13. Apabila terdapat ketidaksesuaian dengan ketentuan, maka akan dilakukan perbaikan sehingga rancangan peletakan *sprinkler* memenuhi ketentuan dari standar. Ketentuan peletakan *sprinkler* otomatis telah dispesifikasikan pada klausul-klausul tertentu standar tersebut. Tahapan yang dilakukan dalam merancang peletakan *sprinkler* otomatis, yaitu:

1. Penentuan kelas proteksi/kelas komoditas (klausul 20.3)
2. Pemenuhan ketentuan desain penyimpanan (klausul 20.5 dan klausul 25.4)
3. Penentuan peletakan *sprinkler* rak (klausul 25.4, klausul 25.5, dan klausul 25.9)
4. Penentuan peletakan *sprinkler* atap (klausul 10.2)

Penentuan *design density/area* dilakukan setelah peletakan sistem *sprinkler* otomatis dilakukan. Penentuan *design density/area* meliputi penentuan kepadatan/area dan luas area desain, lokasi dan jumlah *sprinkler* pada area

desain, serta perhitungan debit minimal yang diprasyarkan. Penentuan tersebut harus sesuai dengan klasifikasi komoditas pada NFPA 13.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan sistem *sprinkler* otomatis untuk gudang pengemasan pada penelitian ini mengacu standar NFPA 13 (2019). Tahap awal yang dilakukan untuk merancang sistem *sprinkler* otomatis yaitu menentukan kelas komoditas. Produk yang disimpan pada gudang pengemasan adalah minyak goreng, margarin, dan shortening. Produk tersebut dikemas dalam dua kategori: (1) kemasan plastik yang dimasukkan kardus dan (2) kemasan ember(*pile*). Penyimpanan pada gudang pengemasan dimuat pada palet kayu yang sebagian muatan dienkapsulasi dan sebagian lainnya tidak. Berdasarkan deskripsi tersebut, komoditas pada gudang pengemasan dikategorikan sebagai komoditas kelas III sesuai NFPA 13 (2019) klausul 20.4.3.2.

Gudang pengemasan menerapkan sistem rak penyimpanan (*rack storage*). NFPA 13 klausul 20 telah menjelaskan prasyarat untuk rak penyimpanan agar proteksi kebakaran oleh *sprinkler* otomatis semaksimal mungkin. Rak penyimpanan tersebut masuk dalam kategori rak terbuka, ketinggian melebihi 7.6 meter, dan disusun oleh barisan rak. Desain penyimpanan tersebut termasuk dalam kategori penyimpanan bertumpuk tinggi *multiple-row rack* yang memerlukan *sprinkler* rak sebagai proteksi tambahan sesuai klausul 21.4.2.1.

3.1 Perubahan Desain Penyimpanan Gudang Pengemasan

Gudang pengemasan memiliki desain rak penyimpanan, yaitu: jarak antara baris penyimpanan kurang dari 150 mm dan jarak bebas vertikal penyimpanan sebesar 150 mm. Desain tersebut tidak memenuhi ketentuan desain rak penyimpanan NFPA 13 sehingga perlu dilakukan perubahan desain. Perubahan desain rak penyimpanan agar memenuhi prasyarat NFPA 13 adalah sebagai berikut:

1. *Longitudinal Flue Space*

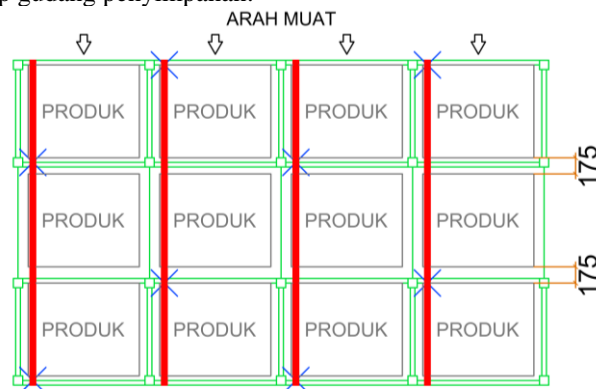
Klausul 20.5.3.3.1.2 menyebutkan bahwa untuk rak penyimpanan dengan ketinggian melebihi 7.6 meter harus disediakan *longitudinal flue space* (jarak antara baris penyimpanan yang tegak lurus terhadap arah muatan) minimal 150 mm. Berdasarkan klausul tersebut, blok rak A, B, dan C yang disusun dalam 18 baris muatan dan blok rak D dan E disusun dalam 7 baris muatan. Jarak antara baris muatan didesain sebesar 175 mm seperti pada Gambar 1.

2. Tinggi Tingkat dan Kolom Rak

Gudang pengemasan diperuntukkan untuk memuat penyimpanan hingga kapasitas 3300 palet. Penyesuaian tinggi tingkat dan kolom rak dilakukan untuk mempertahankan kapasitas muatan pada gudang pengemasan akibat perubahan desain blok rak A, B, dan C menjadi 18 baris. Penyesuaian tersebut, yaitu: blok rak A dan D memiliki 9 kolom tersusun 5 tingkat dan 2 kolom tersusun 4 tingkat, blok rak B memiliki 9 kolom tersusun 5 tingkat dan 4 kolom tersusun 4 tingkat, dan blok rak C dan E memiliki 6 kolom tersusun 5 tingkat dan 2 kolom tersusun 4 tingkat.

3. Jarak Vertikal Ruang Penyimpanan

Desain rak penyimpanan mengakibatkan harus menyediakan proteksi tambahan *sprinkler* rak. Klausul 25.4.2 menyebutkan bahwa jarak vertikal antara deflektor *sprinkler* rak dan bagian atas penyimpanan di bawahnya harus dijaga minimal 150 mm. Oleh karena itu dengan mempertahankan tinggi muatan penyimpanan, jarak vertikal ruang penyimpanan pada tingkat 2, 3, dan 4 yang desain awalnya sebesar 1700 mm diubah menjadi sebesar 1850 mm seperti pada Gambar 2. Hal ini berdampak pada penambahan tinggi atap gudang penyimpanan.



Gambar 1. Peletakan *Sprinkler* Rak (Tampak Atas)

3.2 Desain Peletakan *Sprinkler* Rak

Standar peletakan *sprinkler* rak diatur secara khusus pada klausul 25. Klausul tersebut membahas peletakan vertikal dan horizontal *sprinkler* rak. Detail peletakan *sprinkler* rak untuk rak penyimpanan pada gudang pengemasan adalah sebagai berikut:

1. Peletakan Sepanjang Cabang Pipa

Desain perpipaan yang menyuplai *sprinkler* rak menggunakan pipa ukuran 2 inci, 4 inci, dan 6 inci. Cabang pipa yang terhubung langsung dengan *sprinkler* rak merupakan pipa ukuran 2 inci. Pipa 2 inci dihubungkan dengan pipa 4 inci sebagai pipa horizontal, penghubung dengan pipa utama berukuran 6 inci di sisi dinding. Desain peletakan *sprinkler* sepanjang cabang pipa secara rinci sebagai berikut:

- Klausul 25.4.2 memprasyaratkan *sprinkler* rak diletakkan dimana terdapat jarak bebas vertikal minimal 150 mm dari penyimpanan. Pada gudang pengemasan, *sprinkler* rak diletakkan berjarak 158 mm dari penyimpanan sesuai Gambar 2.
- Klausul 25.5.1.2 memprasyaratkan *sprinkler* rak diletakkan pada persimpangan *transverse flue* (jarak antara baris penyimpanan yang sejajar dengan arah muatan) dan *longitudinal flue* seperti pada Gambar 1. Pada gudang pengemasan, peletakan dimulai pada sisi kiri muatan penyimpanan paling ujung kiri.
- Klausul 25.5.1.6 memprasyaratkan *sprinkler* rak harus memiliki jarak minimal 75 mm secara radial dari sisi tegak rak. Pada gudang pengemasan, *sprinkler* rak pada persimpangan *transverse flue* dan *longitudinal flue* diletakkan sedikit berjarak dari sisi tegak rak sejauh 80 mm seperti pada Gambar 2.
- Klausul 25.9.2.3.1 (b) memprasyaratkan *sprinkler* rak pada gudang pengemasan didesain untuk 2 level tingkatan seperti pada Gambar 2. Ketentuan tersebut dikarenakan jarak maksimum *sprinkler* rak dengan lantai sebesar 4.6-meter dan jarak maksimum *sprinkler* rak dengan bagian paling atas penyimpanan sebesar 3 meter sehingga dibutuhkan 2 level tingkatan *sprinkler* rak.

2. Peletakan Antara Cabang Pipa

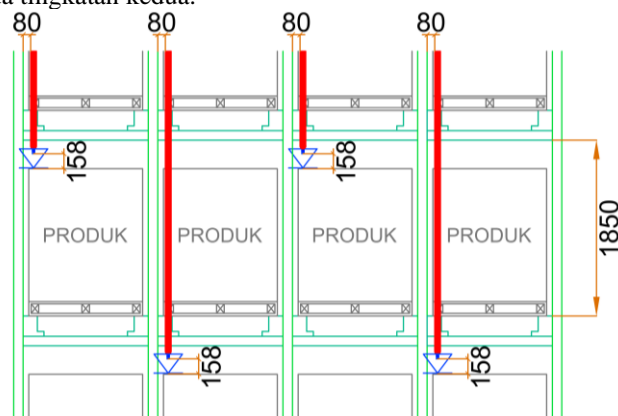
Desain peletakan *sprinkler* rak diletakkan pada koordinat yang berbeda dari percabangan pipa di sebelahnya. Hal ini dikarenakan *sprinkler* rak menerapkan peletakan berkelok (*staggering*). Detail peletakan berkelok secara rinci sebagai berikut:

a. Peletakan berkelok secara horizontal

Klausul 25.5.1.9 memprasyaratkan *sprinkler* rak diletakkan berkelok secara horizontal seperti pada Gambar 1. Sudut pandang yang digunakan yaitu tampak atas dengan posisi pintu keluar berada di bawah serta perhitungan ganjil-genap yang dimulai dari kolom paling kiri blok rak. Peletakan *sprinkler* pada kolom ganjil dimulai pada *longitudinal flue* pertama dari belakang kemudian dilanjutkan berjarak terpisah 1 *longitudinal flue* hingga baris rak paling depan. Sedangkan peletakan *sprinkler* pada kolom genap dimulai pada sisi terluar dari belakang kemudian dilanjutkan berjarak terpisah 1 *longitudinal flue* hingga baris rak paling depan.

b. Peletakan berkelok secara vertikal

Klausul 25.4.7 memprasyaratkan *sprinkler* rak diletakkan berkelok secara vertikal seperti pada Gambar 2. Sudut pandang yang digunakan yaitu tampak depan bangunan/rak penyimpanan serta perhitungan ganjil-genap yang dimulai dari sisi kolom paling kiri blok rak. Peletakan pada kolom ganjil dilakukan pada posisi vertikal tingkat 2. Sedangkan peletakan pada kolom genap dilakukan pada posisi vertikal tingkat 1. Peletakan vertikal tingkat 2 untuk kolom rak dengan tinggi 5 tumpukan berada pada tingkatan keempat, sedangkan untuk kolom rak dengan tinggi 4 tumpukan berada pada tingkatan ketiga. Peletakan vertikal tingkat 1 untuk kolom rak dengan tinggi 5 tumpukan dan 4 tumpukan berada pada tingkatan kedua.



Gambar 2. Peletakan *Sprinkler* Rak (Tampak Depan)

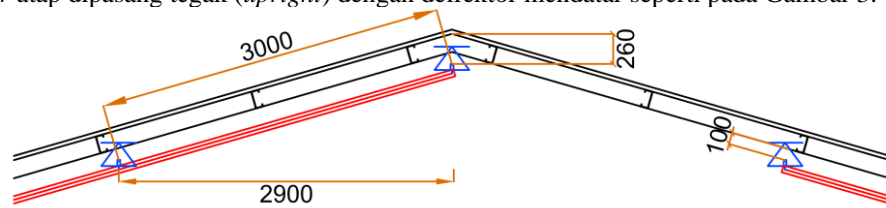
3.3 Desain Peletakan *Sprinkler* Atap

Standar peletakan *sprinkler* atap diatur pada klausul 10. Klausul tersebut membahas peletakan *sprinkler* terhadap atap yang miring dan terhalang konstruksi (*obstruction*). Detail peletakan *sprinkler* atap pada gudang pengemasan adalah sebagai berikut:

1. Peletakan Sepanjang Cabang Pipa

Peletakan *sprinkler* atap sepanjang cabang pipa mengacu standar NFPA 13 (2019) klausul 10.2.6.1.3.1 (a) yaitu *sprinkler* pada atap miring dengan *sprinkler* diletakkan tepat di bawah puncaknya, peletakan cabang pipa diatur sejajar dengan kemiringan atap seperti pada Gambar 3. *Sprinkler* atap dihubungkan dengan cabang pipa yang sejajar dengan kemiringan atap menggunakan pipa berukuran 2 inci. Pipa 2 inci dihubungkan dengan pipa 4 inci sebagai pipa tegak, penghubung dengan pipa utama berukuran 6 inci di sisi dinding. Desain peletakan *sprinkler* atap sepanjang cabang pipa secara rinci sebagai berikut:

- Klausul 10.2.4.2.1 memprasyaratkan jarak maksimal antara *sprinkler* atap satu dengan yang lain pada penyimpanan bertumpuk tinggi sebesar 3.7 meter. Pada gudang pengemasan, *sprinkler* atap diletakkan berjarak 3 meter sepanjang cabang pipa (pipa 2 inci) seperti pada Gambar 3.
- Klausul 10.2.6.1.2 memprasyaratkan *sprinkler* atap dipasang dengan deflektor mendatar antara 25 – 150 mm di bawah struktur penghalang dan jarak maksimum 550 mm di bawah dek atap. Pada gudang pengemasan, *sprinkler* atap diletakkan secara tegak (*upright*) dengan deflektor berada pada jarak 100 mm dari profil C penyangga atap seperti pada Gambar 3. Profil C termasuk sebagai konstruksi penghalang (*obstruction*) pancaran air *sprinkler* atap gudang pengemasan.
- Klausul 10.2.6.1.3 memprasyaratkan *sprinkler* atap di bawah puncak atap harus memiliki deflektor yang terletak tidak lebih dari 900 mm diukur secara vertikal ke bawah puncak tersebut. Pada gudang pengemasan, deflektor dari *sprinkler* atap yang berada tepat di bawah puncak atap diletakkan berjarak 260 mm dari puncak atap seperti pada Gambar 3.
- Klausul 10.2.6.2.3 memprasyaratkan atap yang kemiringannya tidak melebihi 16.7 persen maka *sprinkler* atap diizinkan untuk dipasang dengan deflektor mendatar. Pada gudang pengemasan, *sprinkler* atap dipasang tegak (*upright*) dengan deflektor mendatar seperti pada Gambar 3.

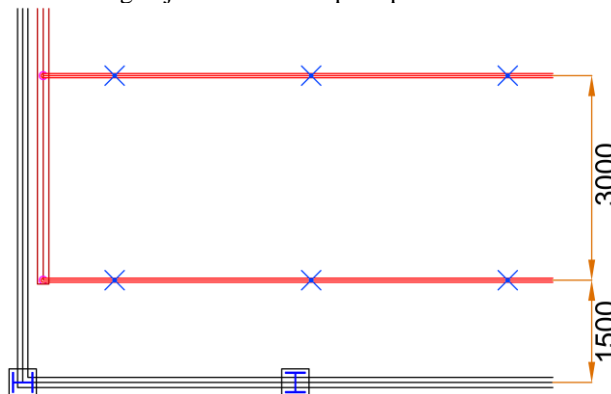


Gambar 3. Peletakan *Sprinkler* Atap (Tampak Depan)

2. Peletakan Antara Cabang Pipa

Cabang pipa yang dimaksud yaitu pipa sejajar atap berukuran 2 inci dan pipa tegak berukuran 4 inci. Pipa tersebut bercabang pada pipa utama berukuran 6 inci pada sisi dinding. Desain percabangan pipa yang menyuplai *sprinkler* atap adalah sebagai berikut:

- Klausul 10.2.4.2.1 memprasyaratkan jarak maksimal antara *sprinkler* atap satu dengan yang lain pada penyimpanan bertumpuk tinggi sebesar 3.7 meter. Pada gudang pengemasan, cabang pipa satu dengan yang lain diletakkan dengan jarak 3 meter seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Peletakan *Sprinkler* Atap (Tampak Atas)

- Klausul 10.2.5.2.1 memprasyaratkan jarak antara *sprinkler* atap ke dinding tidak diizinkan melebihi setengah dari jarak yang diizinkan antar *sprinkler* atap. Pada gudang pengemasan, cabang pipa paling ujung yang dekat dengan dinding diletakkan berjarak 1.5 meter dari dinding seperti pada Gambar 4.

3.4 Penentuan *Design Density/Area*

Penentuan parameter hidrolis *design density/area* mengacu klausul 25 karena melibatkan proteksi *sprinkler* rak. Parameter hidrolis *sprinkler* atap mengacu klausul 25.2.3.3.2, dimana untuk komoditas kelas III dan muatan penyimpanannya dibungkus (*encapsulated*) maka *sprinkler* harus memiliki kepadatan/area sebesar 15.1 (L/min)/m² dan area desain seluas 185 m². Sedangkan parameter hidrolis *sprinkler* rak mengacu klausul 25.12, dimana untuk komoditas kelas III, tipe rak terbuka (*open rack*), *sprinkler* atap menggunakan tipe CMDA, dan tinggi penyimpanan melebihi 7.6 meter maka *sprinkler*-nya harus memiliki debit minimal sebesar 115 L/min dan area desain berupa 10 buah *sprinkler* (5 buah setiap 2 tingkatan teratas).

Penentuan selanjutnya yaitu area desain *sprinkler*. Area desain *sprinkler* atap dipilih mulai percabangan paling ujung yang berisi 4 *sprinkler* pada ruas A (ruas kiri) bangunan gudang pengemasan. Penentuan jumlah *sprinkler* pada area desain diawali dengan menghitung luas area operasi per *sprinkler*. Jarak antar *sprinkler* sepanjang cabang pipa yaitu 2.9 meter dan jarak antar *sprinkler* antara cabang pipa yaitu 3 meter, sehingga didapatkan luas area operasi per *sprinkler* seperti pada Perhitungan 1.

$$As = S \times L = 2.9 \times 3 = 8.7 \text{ m}^2 \quad (1)$$

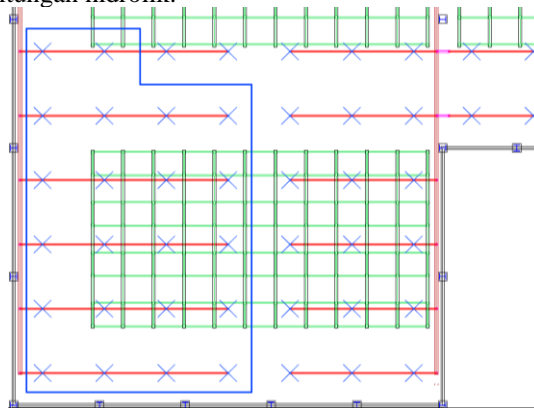
Menentukan jumlah *sprinkler* yang beroperasi dengan cara membagi luas area desain dengan luas area operasi per *sprinkler* seperti pada Perhitungan 2.

$$\frac{185 \text{ m}^2}{8.7 \text{ m}^2} = 21.2 \approx 22 \text{ sprinkler} \quad (2)$$

Menentukan jumlah *sprinkler* sepanjang cabang pipa melalui pengalian 1.2 dengan akar kuadrat luas area desain kemudian membaginya dengan besar jarak antar *sprinkler* sepanjang cabang pipa seperti pada Perhitungan 3.

$$\frac{1.2(185)^{1/2}}{2.9} = \frac{1.2(13.6)}{2.9} = 5.6 \text{ buah} \approx 6 \text{ buah} \quad (3)$$

Jumlah *sprinkler* atap sepanjang cabang pipa hanya ada 4 buah, sehingga perlu memperluas area desain dengan penambahan cabang pipa yang disuplai oleh cabang utama yang sama (Wass dan Fleming P.E., 2020). Hasil area desain *sprinkler* atap yaitu sejumlah *sprinkler* yang dibatasi garis biru pada Gambar 5. Pada area desain terdapat 22 *sprinkler* yang paling membutuhkan secara hidrolis dan harus memancarkan air sebesar 15.1 (L/min)/m² dalam perhitungan hidrolis.



Gambar 5. Area Desain *Sprinkler* Atap

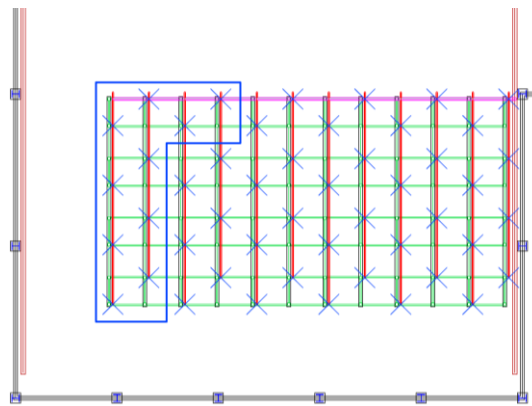
Penentuan area desain *sprinkler* rak berbeda dengan *sprinkler* atap, karena standar penentuannya langsung menunjukkan jumlah *sprinkler* yang terlibat pada area yang paling membutuhkan secara hidrolis. Area desain yang dipilih yaitu percabangan *sprinkler* rak paling ujung pada blok rak D yang ditandai garis biru pada Gambar 6. Pada area desain terdapat 5 *sprinkler* rak setiap 2 tingkatan teratas yang paling membutuhkan secara hidrolis dan harus memancarkan air sebesar 115 L/min dalam perhitungan hidrolis.

Penentuan *design density/area* juga terdapat perhitungan debit minimal yang dibutuhkan. Perhitungan debit minimal yang dibutuhkan dilakukan dengan mengalikan kepadatan/area yang diperlukan. Perhitungan ini mengacu pada klausul 27.2.4.2.5 yang belum termasuk penambahan debit aliran selang (hidran). Hasil perhitungan debit minimal yang dibutuhkan sistem *sprinkler* seperti pada Perhitungan 4 dan Perhitungan 5. Total debit minimal yang dibutuhkan merupakan penjumlahan debit *sprinkler* atap dan debit *sprinkler* rak seperti pada Perhitungan 6.

$$\text{debit sprinkler atap} = 15.1 \text{ (L/min)/m}^2 \times 185 \text{ m}^2 = 2793.5 \text{ L/min} \quad (4)$$

$$\text{debit sprinkler rak} = 115 \text{ L/min} \times 10 \text{ buah} = 1150 \text{ L/min} \quad (5)$$

$$Q_{\text{Total}} = 2793.5 + 1150 = 3943.5 \text{ L/min} \quad (6)$$



Gambar 6. Area Desain Sprinkler Rak

KESIMPULAN

Hasil perancangan peletakan sistem *sprinkler* otomatis menyebabkan adanya perubahan terhadap desain awal gudang pengemasan karena perlunya penyesuaian dengan ketentuan yang tertera pada NFPA 13 (2019). Ketentuan yang dimaksud yaitu klausul 20.5.3.3.1.2 yang memprasyaratkan rak penyimpanan dengan ketinggian melebihi 7.6 meter harus disediakan *longitudinal flue space* (jarak antara baris penyimpanan yang tegak lurus terhadap arah muatan) sebesar 150 mm. Perubahan desain gudang pengemasan disebabkan penyesuaian *longitudinal flue space* terletak pada: *longitudinal flue space* penyimpanan, tinggi tingkat serta kolom rak penyimpanan, dan jarak vertikal ruang penyimpanan.

Desain bangunan dan penyimpanan yang telah disesuaikan dapat dilaksanakan peletakan *sprinkler*. Peletakan *sprinkler* rak disusun menjadi dua tingkat yang saling berkelok secara horizontal maupun vertikal. *Sprinkler* rak diletakkan pada persimpangan *transverse flue* dan *longitudinal flue* dengan tetap memenuhi ketentuan berjarak 75 mm dari sisi tegak rak. Peletakan *sprinkler* atap diatur dengan pipa penyuplai yang sejajar kemiringan atap, diletakkan dibawah profil C penyangga atap, dan dipasang tegak (*upright*) dengan deflektor mendatar. *Sprinkler* atap satu dengan yang lain diletakkan dengan jarak sebesar 3 meter.

Penentuan *design density/area* sistem *sprinkler* otomatis pada gudang pengemasan menghasilkan dua analisis, yaitu area desain dan debit minimal yang dibutuhkan. Area desain *sprinkler* atap meliputi 22 *sprinkler* paling ujung yang tiap cabang pipanya memiliki 4 buah *sprinkler* pada ruas A bangunan, sedangkan area desain *sprinkler* rak meliputi 10 *sprinkler* (5 buah setiap tingkat) paling ujung pada blok rak D. Sesuai ketentuan klausul 27.2.4.2.5, sistem *sprinkler* otomatis pada gudang pengemasan memerlukan debit minimal sebesar 3943.5 L/min. Penelitian dapat dikembangkan dengan menganalisis kebutuhan pompa untuk rancangan sistem *sprinkler* yang diusulkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulrahman, S.A. *et al.* (2021) 'A review on fire suppression by fire sprinklers', *Journal of Fire Sciences*, 39(6), pp. 512–551. Available at: <https://doi.org/10.1177/07349041211013698>.
- BPBD Jatim (2023) *Log Kejadian Bencana Daerah Jawa Timur*.
- Budianto, E.E. (2023) *Penyebab Kebakaran Pabrik Tisu Mojokerto Diduga Korsleting Mesin Produksi*, *detikJatim*. Available at: <https://www.detik.com/jatim/berita/d-6980401/penyebab-kebakaran-pabrik-tisu-mojokerto-diduga-korsleting-mesin-produksi>.
- Dasgotra, A., Rangarajan, G. and Tauseef, S.M. (2021) 'CFD-based study and analysis on the effectiveness of water mist in interacting pool fire suppression', *Process Safety and Environmental Protection*, 152, pp. 614–629. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.06.033>.
- Fauzan, M.Z. and Pharmawati, K. (2023) 'Perencanaan Sistem Sprinkler Untuk Pencegahan Kebakaran Pada Gedung Kantor Pemerintahan X', in *The 6th State of the Art Science and Technology dalam Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia*. Bandung: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITENAS.
- Fleming, R.P. (2016) 'Automatic Sprinkler System Calculations', in *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. New York, NY: Springer New York, pp. 1423–1449. Available at: https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0_42.
- Gizella, B.A., Ashari, M.L. and Khairansyah, M.D. (2020) 'Analisis Sistem Proteksi Kebakaran Menggunakan Fire Risk Assessment dengan Metode Kualitatif (Studi Kasus Perusahaan Niaga Minyak Dan Gas)', in *4th Conference on Piping Engineering and Its Application*. Surabaya: Program Studi D4 Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja PPNS.

- Kim, J.-H. (2020) 'Design of Integrated Smart Fire Protection System for Rack Storage', *Fire Science and Engineering*, 34(1), pp. 26–36. Available at: <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2020.34.1.026>.
- Lysion, O. *et al.* (2022) 'Analisis Penerapan Manajemen Risiko dan Mitigasinya (Studi Kasus Kebakaran Gudang JNE)', *Jurnal Mirai Management*, 7(3).
- NFPA 13 (2019) 'Standard for the Installation of Sprinkler Systems'.
- Nonsawat, P. and Patvichaichod, S. (2020) 'Performance analysis of automatic sprinkler systems in warehouses using fire dynamic simulation', *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 715(1), p. 012005. Available at: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/715/1/012005>.
- Petersen, J.A. (2019) 'National Fire Protection Association Standards in Fire Litigation', in *Engineering Standards for Forensic Application*. Elsevier, pp. 155–168. Available at: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813240-1.00011-X>.
- Silmiy, H.H. *et al.* (2023) 'Perancangan Automatic Sprinkler System Pada Gudang Batu Bara Perusahaan Produksi Susu', *JURNAL ILMIAH TEKNIK INDUSTRI DAN INOVASI*, 1(3), pp. 19–25.
- Triwibowo, A., Mandagie, K.L. and Bhirawa, W.T. (2018) 'PERANCANGAN PEMASANGAN ALARM DETECTOR DAN SPRINKLER PADA GEDUNG SUDIRMAN DI KEMHAN RI', *Jurnal Teknik Industri*, 7(1).
- Wardana, R.P. (2018) 'EVALUASI PEMASANGAN DAN PEMELIHARAAN ALAT PEMADAM API RINGAN DI GRESIK EVALUATION OF INSTALLATION AND MAINTENANCE OF PORTABLE FIRE EXTINGUISHER IN GRESIK', *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, 7(3), pp. 261–272.
- Wass, H.S. and Fleming P.E., R.P. (2020) *Sprinkler Hydraulics*. Cham: Springer International Publishing. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-02595-3>.
- Wolin, S. (2021) *The Return of the In-Rack Sprinkler*, *Fire Protection Engineering*. Available at: <https://www.sfpe.org/publications/fpemagazine/fpearchives/2015q3/fpe2015q31>.