

Penggunaan *Gravity Location Model* Dalam Menentukan Lokasi Optimal Hydrant Pada PT PG Rejo Agung Baru

Yoga Adhitya Pradana¹, Chatarina Dian Indrawati^{2*}

¹Program Studi Rekayasa Industri, Fakultas Teknik

²Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya (Kampus Kota Madiun), Jalan Manggis No. 15-17
Madiun

Email Correspondent*: chdian.indrawati@ukwms.ac.id

Abstract

Occupational Health and Safety (K3) is an important aspect in industrial operations that have a high risk of fire. This research aims to determine the optimal location for hydrant placement using the Gravity Location Model (GLM). Inefficient hydrant placement is a major problem for a company. Through field observations and collecting data on coordinates and activity levels for each sector, the optimal center point was calculated based on distance and risk costs of movement. The analysis results show that the optimal coordinates for hydrant placement are at points $X = 16,6$ and $Y = 17,9$. GLM is an effective method for planning work safety systems, in industrial environments that have a high risk of fire. It is hoped that this research can become a reference in restructuring the fire protection system to be more strategic and efficient. This research also refers to international standards such as NFPA 14 and global risk data from the Allianz Risk Barometer 2025. In conclusion, the application of GLM is able to produce a more effective and efficient fire protection system, supports the implementation of K3 and increases preparedness in emergency conditions in industrial environments.

Keywords: Fire hydrant placement, Gravity location model, Occupational health dan safety

Abstrak

Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) merupakan aspek penting dalam operasional industri yang memiliki resiko tinggi terjadinya kebakaran. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan lokasi optimal penempatan hydrant dengan menggunakan Gravity Location Model (GLM). Penempatan hydrant yang kurang efisien menjadi masalah utama pada sebuah perusahaan. Melalui observasi lapangan dan pengumpulan data koordinat serta tingkat aktivitas tiap sektor, dilakukan perhitungan titik pusat optimal berdasarkan jarak dan biaya risiko perpindahan. Hasil analisis menunjukkan bahwa koordinat optimal untuk penempatan hydrant berada di titik $X = 16,6$ dan $Y = 17,9$. GLM merupakan metode yang efektif dalam perencanaan sistem keselamatan kerja, pada lingkungan industri yang memiliki risiko kebakaran tinggi. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan dalam penataan ulang sistem proteksi kebakaran yang lebih strategis dan efisien. Penelitian ini juga mengacu pada standar internasional seperti NFPA 14 dan data risiko global dari Allianz Risk Barometer 2025. Kesimpulannya, penerapan GLM mampu menghasilkan sistem proteksi kebakaran yang lebih efektif dan efisien, mendukung penerapan K3 dan meningkatkan kesiapsiagaan dalam kondisi darurat di lingkungan industri.

Kata Kunci: Gravity location model, Kesehatan dan keselamatan kerja, Penempatan hydrant kebakaran

PENDAHULUAN

Kesehatan dan keselamatan kerja (K3) merupakan aspek krusial dalam industri manufaktur, terutama pada sektor pengolahan seperti pabrik gula yang rentan terhadap risiko kebakaran. Hal ini disebabkan oleh

keberadaan material mudah terbakar seperti ampas, tetes tebu, serta debu dari proses produksi. Menurut Prastawa et al. (2023), identifikasi dan pengendalian risiko kerja melalui pendekatan HIRARC (Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk

Control) dapat mengurangi potensi kecelakaan kerja secara signifikan. Studi ini menunjukkan bahwa penerapan HIRARC di perusahaan manufaktur elektronik di Indonesia berhasil mengidentifikasi dan mengendalikan enam potensi risiko kecelakaan kerja utama, termasuk cedera kepala dan tertimpa kabinet. Selain itu, Siraj et al. (2023) menekankan pentingnya penilaian risiko kebakaran di industri manufaktur. Penelitian mereka mengembangkan kerangka kerja pengambilan Keputusan multi-kriteria untuk mengidentifikasi dan memitigasi risiko kebakaran di industri garmen, yang dapat diadaptasi untuk sektor lain seperti pabrik gula. Sejalan dengan temuan tersebut, laporan dari Allianz Risk Barometer 2025 menegaskan bahwa kebakaran dan ledakan menjadi risiko signifikan bagi bisnis global, termasuk industri manufaktur. Kebakaran merupakan penyebab paling umum dari klaim gangguan bisnis, menyumbang lebih dari sepertiga dari total nilai klaim.

Di Indonesia, kewajiban untuk menerapkan sistem pencegahan dan penanggulangan kebakaran telah ditulis dalam Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja. Tujuannya adalah untuk melindungi tenaga kerja, aset perusahaan, dan lingkungan sekitar dari bahaya kebakaran. Penerapan budaya kerja yang mengedepankan keselamatan tidak hanya menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman, tetapi juga meningkatkan efisiensi dan produktivitas perusahaan dalam jangka panjang. Kondisi tersebut semakin relevan ketika mempertimbangkan definisi kebakaran menurut *National Fire Protection Association* (NFPA), yakni sebagai suatu peristiwa oksidasi yang melibatkan tiga unsur elemen yang harus ada, yaitu bahan yang

mudah terbakar, oksigen dalam suatu udara dan sumber energi atau panas yang menimbulkan kerugian harta benda, cedera bahkan kematian. Evaluasi rutin terhadap sistem keselamatan dan pelatihan berkelanjutan bagi karyawan menjadi kunci dalam menjaga efektivitas program K3. Salah satu komponen penting dalam sistem proteksi kebakaran aktif adalah instalasi fire hydrant. Instalasi ini berfungsi sebagai sumber air bertekanan yang diperlukan dalam proses pemadaman awal saat terjadinya kebakaran. Tingginya potensi kebakaran di lingkungan pabrik gula yang tersebar di berbagai titik produksi, menuntut sistem hydrant dirancang secara strategis dan efisien.

Berdasarkan hasil observasi selama pelaksanaan praktik kerja nyata (PKN) di Divisi K3 Pabrik Gula Rejo Agung, ditemukan bahwa belum ada sistem fire hydrant. Beberapa area kerja belum dilengkapi dengan sistem hydrant yang melebihi ketentuan standar. Kondisi ini menimbulkan potensi bahaya kebakaran yang serius karena keterlambatan dalam proses pemadaman awal. Ketidaksiapan fasilitas ini tidak hanya mengancam keselamatan tenaga kerja dan kelangsungan proses operasional pabrik, tetapi juga berisiko menyebabkan kerugian material dalam skala besar apabila terjadi kebakaran yang tidak tertangani dengan cepat dan tepat. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi menyeluruh terhadap sistem penempatan hydrant yang ada, serta perencanaan ulang berdasarkan analisis risiko guna memastikan seluruh area kerja terjangkau secara efektif dan sesuai dengan standar keselamatan kerja.

Menurut standar NFPA 14, jarak maksimum antara hydrant yang

direkomendasikan adalah 30 meter, dengan panjang selang pemadam kebakaran sekitar 30 meter dan jangkauan semprotan air mencapai 47,82 meter. Hal ini memastikan bahwa setiap area dalam fasilitas industri dapat dijangkau dengan efektif saat terjadi kebakaran. Sejalan dengan hal tersebut, Studi oleh Malik et al. (2024) menekankan pentingnya perencanaan sistem hydrant yang sesuai dengan standar NFPA 14 dan NFPA 20. Dalam penelitian tersebut, perancangan sistem hydrant pada gudang PT. Indaco Warna Dunia mempertimbangkan kebutuhan air selama 1,5 jam pemadaman, tekanan hidrostatis, dan kerugian gesekan dalam sistem pipa.

Selain itu, Fauzi et al. (2024) dalam penelitiannya mengenai perencanaan titik hydrant pada gudang PT. Putraduta Buanasentosa menggunakan pendekatan standar NFPA 14 untuk menentukan lokasi optimal penempatan hydrant, dengan mempertimbangkan distribusi risiko dan efisiensi jangkauan. Implementasi sistem hydrant yang efektif tidak hanya bergantung pada kualitas teknis peralatannya, tetapi juga pada penempatan lokasi yang strategis dan perencanaan distribusi yang tepat. Hal ini penting untuk memastikan bahwa dalam kondisi darurat, tim pemadam kebakaran dapat menjangkau seluruh area yang berisiko dengan cepat dan efisien. Selain itu, pelatihan berkala bagi karyawan mengenai penggunaan alat pemadam dan prosedur evakuasi sangat penting untuk meningkatkan kesiapsiagaan dan respons terhadap kondisi darurat. Dengan pendekatan ini, perusahaan dapat membentuk sistem yang tidak hanya reaktif, tetapi juga proaktif dalam mengelola risiko kebakaran. Sebagai bentuk upaya lanjutan dalam menciptakan sistem proteksi

kebakaran menyeluruh, perencanaan strategis penempatan sarana pemadam kebakaran sangat penting. Penempatan yang optimal dapat mendukung kecepatan respons pemadaman dan meminimalisasi potensi kerugian akibat kebakaran.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menentukan lokasi optimal hydrant pada PG. Rejo Agung. Model yang digunakan adalah Gravity Location Model (GLM), yaitu suatu pendekatan matematis yang mempertimbangkan jarak, biaya, dan tingkat risiko untuk memperoleh titik lokasi fasilitas yang paling efektif dan efisien. Berbagai penelitian sebelumnya telah menerapkan Gravity Location Model dalam penentuan lokasi optimal untuk berbagai fasilitas. Penelitian yang dilakukan oleh (Nafisah Riskya Hasna1, 2018), menunjukkan bahwa model tersebut mampu memberikan hasil yang efektif dalam pemilihan lokasi dengan mempertimbangkan faktor jarak dan bobot kebutuhan. Meskipun Gravity Location Model telah banyak digunakan di sektor komersial, penerapannya dalam bidang keselamatan kerja, khususnya pada sistem proteksi kebakaran seperti hydrant di lingkungan industri, masih sangat terbatas. Hingga saat ini, belum banyak penelitian yang secara langsung mengintegrasikan model ini untuk menentukan lokasi strategis hydrant pada area industri pengolahan yang memiliki potensi tinggi terhadap risiko kebakaran. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menjembatani kekosongan studi tersebut dengan menerapkan Gravity Location Model dalam penentuan posisi optimal hydrant di PT PG Rejoagung Baru, guna meningkatkan efisiensi sistem proteksi kebakaran serta mendukung penerapan program Kesehatan

dan Keselamatan Kerja (K3) secara menyeluruh.

METODE

Gravity Location Model (GLM) merupakan pendekatan matematis yang digunakan untuk menentukan lokasi fasilitas optimal dengan mempertimbangkan faktor jarak dan permintaan. Model ini didasarkan pada prinsip gaya tarik gravitasi, di mana lokasi fasilitas yang efisien ditentukan berdasarkan kombinasi antara jarak dan volume kebutuhan dari setiap titik permintaan. Menurut penelitian oleh Hanifha, Ridwan, dan Suksessanno (2020), GLM telah diterapkan dalam pemilihan lokasi fasilitas baru pada perusahaan logistik dengan mempertimbangkan data permintaan dari berbagai desa. Model ini membantu dalam menentukan lokasi yang optimal untuk fasilitas distribusi dengan meminimalkan biaya operasional dan jarak tempuh. Selain itu, studi oleh Aboolian, Berman, dan Krass (2021) mengembangkan kerangka kerja umum untuk mengoptimalkan lokasi dan desain fasilitas secara simultan. Kerangka ini mencakup mekanisme alokasi permintaan yang fleksibel, termasuk model alokasi proporsional seperti GLM, yang memungkinkan perancang untuk mempertimbangkan berbagai faktor dalam pengambilan keputusan lokasi fasilitas. Dengan demikian, GLM menjadi alat bantu yang strategis dalam mendukung pengambilan keputusan berbasis spasial dan kebutuhan aktual di lapangan, khususnya dalam perencanaan sistem proteksi kebakaran di lingkungan industri. Meskipun GLM telah digunakan secara luas dalam bidang logistik dan distribusi, penggunaannya dalam sistem proteksi

kebakaran sangat terbatas, khususnya pada lingkungan industry pengolahan

Beberapa penelitian terkini telah mengembangkan berbagai model untuk penempatan fasilitas pemadam kebakaran, seperti yang dilakukan oleh Li et al. (2024), Han et al. (2021a), He et al. (2024a), dan Bayotas (2024). Penelitian-penelitian tersebut, meskipun memberikan kontribusi penting dalam bidang ini, lebih banyak berfokus pada penempatan stasiun pemadam kebakaran, seperti yang dilakukan oleh Li et al. (2024), dan He et al. (2024), atau pada analisis penempatan hydrant di lingkungan yang sangat berbeda, seperti di kapal (Tze Bayotas, 2024) atau di kawasan perkotaan besar (Han et al., 2021b). Namun, tidak ada satupun dari penelitian-penelitian ini yang secara spesifik membahas penerapan model penempatan hydrant kebakaran di lingkungan industri pengolahan, khususnya di pabrik gula. Pabrik gula memiliki karakteristik dan tantangan yang berbeda jika dibandingkan dengan lingkungan lainnya, terutama terkait dengan distribusi material mudah terbakar yang tersebar di berbagai titik dan tantangan aksesibilitas dalam situasi darurat. Oleh karena itu, meskipun terdapat banyak studi yang mengembangkan model penempatan fasilitas pemadam kebakaran, masih terdapat celah yang signifikan dalam penelitian mengenai penempatan hydrant di industri pengolahan seperti pabrik gula yang membutuhkan pendekatan yang lebih khusus dan sesuai dengan kebutuhan operasionalnya.

Gravity Location Model menggunakan beberapa asumsi sebagai berikut:

Biaya pada penelitian ini menggunakan ongkos pembangunan hydrant. Untuk menentukan titik lokasi yang

optimal tahapan pertama adalah melakukan perhitungan koordinat lokasi menggunakan rumus sebagai berikut :

$$x_o = \frac{\frac{\sum_i C_i V_i x_i}{J_i}}{\frac{\sum_i C_i V_i}{J_i}}$$

$$y_o = \frac{\frac{\sum_i C_i V_i y_i}{J_i}}{\frac{\sum_i C_i V_i}{J_i}} \dots(1)$$

- X_o = Koordinat lokasi pada sumbu x
- Y_o = Koordinat lokasi pada sumbu y
- V_i = Permintaan subjek
- X_i = Posisi objek pada sumbu x
- Y_i = Posisi pabrik pada sumbu y
- J_i = Jarak

Langkah selanjutnya menghitung nilai jarak antar titik. Jarak dihitung berdasarkan perbedaan antara koordinat lokasi sementara menggunakan rumus Euclidean sebagai berikut :

$$J_i = \sqrt{(x_{on} - x_i)^2 + (y_{on} - y_i)^2} \dots\dots\dots(2)$$

- Keterangan :
- J_i = Jarak antar subjek
- X = Posisi subjek pada sumbu x
- Y = Posisi subjek pada sumbu y
- X_n = Posisi objek ke-i pada sumbu x
- Y_n = Posisi objek ke-i pada sumbu y

Selanjutnya, biaya dihitung sebagai total beban distribusi dari subjek ke objek, yang dalam konteks penelitian ini dapat diartikan sebagai tenaga atau sumber daya yang dibutuhkan untuk memindahkan material. Rumus biaya tersebut dituliskan sebagai:

$$C = J_i x C_i x V_i \dots\dots\dots(3)$$

- Keterangan:
- J_i = Jarak antar subjek
- C_i = Biaya pemindahan subjek
- V_i = Permintaan subjek

Setelah diketahui nilai jarak dan biaya, titik koordinat (x_o, y_o) diasumsikan sebagai lokasi fasilitas yang akan dipilih. Model ini

bertujuan untuk menentukan lokasi fasilitas yang efisien, yang mampu meminimalkan total biaya, yang umumnya dirumuskan sebagai berikut :

$$TC = \sum_i C_i V_i J_i \dots\dots\dots(4)$$

- Keterangan :
- J_i = Jarak antar subjek
- C_i = Biaya pemindahan subjek
- V_i = Permintaan subjek

Untuk memperoleh koordinat optimal (x_o, y_o), yaitu titik rendah yang menghasilkan nilai total biaya (TC) paling rendah, langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Mengitung nilai J_i untuk setiap I, yaitu untuk pasangan antara lokasi kandidat fasilitas dan lokasi sumber.
2. menentukan koordinat fasilitas

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gravity Location Model

Dalam penelitian ini, menggunakan pendekatan Gravity Location Model untuk menentukan lokasi pusat distribusi yang optimal di PT XYZ. Proses perhitungan diawali dengan pengumpulan data koordinat masing- masing sektor, seperti ada pada tabel berikut ini:

Tabel 1. Koordinat Sektor

No	Sektor	X_i	Y_i	V_i
1	A/ Boiler	17	19	40
2	B/ Penguapan	13	3	20
3	C / Puteran	26	9	10
4	D/ Gilingan	9	15	15

Setelah memperoleh data koordinat awal dari setiap sektor, langkah berikutnya adalah menghitung jarak (J_i) antara masing- masing sektor dan menghitung biaya pemindahan (C_i) berdasarkan rumus sebagai berikut:

$$j_i = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2} \dots\dots\dots(6)$$

$$C = j_i x C_i x V_i \dots\dots\dots(7)$$

Tabel 2. Data Perhitungan

No	Sektor	Xi	Yi	Ji	Vi	Ci
1	A/ Boiler	17	19	25,50	40	2.558
2	B/ Penguapan	13	3	13,34	20	2.508
3	C/ Puteran	26	9	27,51	10	2.588
4	D/ Gilingan	9	15	17,49	15	2.468

Tahapan selanjutnya adalah melakukan pengolahan data dengan menghitung nilai koordinat (X dan Y) menggunakan pendekatan berbobot. Nilai koordinat ini digunakan sebagai titik awal lokasi fasilitas. Adapun rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$X = \frac{V_i x C_i x X_i}{J_i} \dots\dots\dots(8)$$

$$Y = \frac{V_i x C_i x Y_i}{J_i} \dots\dots\dots(9)$$

Perhitungan ini akan terus berlanjut melalui proses iterasi hingga nilai X dan Y mencapai

Tabel 3. Hasil perhitungan konvergensi atau perubahan yang sangat kecil, sehingga titik lokasi pusat dapat mencapai optimal

No	Sektor	Xi	Yi	Ji	Vi	Ci
1	A/ Boiler	17	19	25,50	40	2.558
2	B/ Penguapan	13	3	13,34	20	2.508
3	C/ Puteran	26	9	27,51	10	2.588
4	D/ Gilingan	9	15	17,49	15	2.468

Tabel diatas menunjukkan hasil dari total keseluruhan menurut data awal masing-masing sektor. Total dari setiap kolom hasil perhitungan digunakan sebagai dasar untuk menghitung koordinat awal fasilitas optimal pada titik X dan Y

Tabel 4. Hasil Iterasi Ke- 8

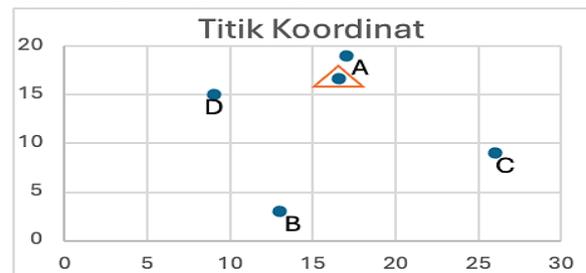
No	Sektor	Xi	Yi	Ji	Vi	Ci	X8 Y8		
							16,4 17,5		
1	A/ Boiler	17	19	1,6	40	2.558	1.087.150	1.215.050	63950.000
2	B/ Penguapan	13	3	14,9	20	2.508	43.764	10.099	3366.442953
3	C / Puteran	26	9	12,8	10	2.588	52.569	18.197	2021,875
4	D/ Gilingan	9	15	7,8	15	2.468	42.715	71.192	4746,153846
Total							1.226.198	1.314.539	74.084
							X8 16,6		
							Y8 17,7		

Berdasarkan hasil perhitunan pada tabel 4, dilakukan iterasi untuk memperbarui nilai Ji berdasarkan koordinat fasilitas yang diperoleh sebelumnya (X8, Y8). Nilai ini kemudian digunakan untuk menghitung kembali parameter-parameter yang sama guna memperoleh nilai X dan Y yang lebih mendekati titik optimal

Tabel 5. Hasil Iterasi Ke-9

No	Sektor	Xi	Yi	Ji	Vi	Ci	X9 Y9		
							16,6 17,7		
1	A/ Boiler	17	19	1,4	40	2.558	1.242.457	1.388.629	73085,714
2	B/ Penguapan	13	3	15,1	20	2.508	43.184	9.966	3321,854305
3	C / Puteran	26	9	12,8	10	2.588	52.569	18.197	2021,875
4	D/ Gilingan	9	15	8,1	15	2.468	41.133	68.556	4570,37037
Total							1.379.343	1.485.347	83.000
							X9 16,6		
							Y9 17,9		

Setelah menyelesaikan iterasi ke-8, proses dilanjutkan dengan menggunakan koordinat hasil sebelumnya (X9, Y9) sebagai dasar perhitungan. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan nilai parameter yang diperbarui, sehingga proses iterasi ini terus dilakukan hingga hasil koordinat tidak mengalami perubahan signifikan. Tabel dibawah ini menunjukkan hasil perhitungan koordinat yang telah mencapai titik lokasi optimal penempatan hydrant



Keterangan: = titik optimal hydrant, A = Sektor Boiler, B = Sektor Penguapan, C = Sektor Puteran, D = Sektor Gilingan.

Gambar 1. Titik Penempatan *Hydrant*

Gambar diatas menunjukkan titik koordinat yang mewakili lokasi beberapa sektor penting pada lingkungan kerja PT Rejo Agung Baru. Titik pada peta koordinat tersebut menunjukkan sector seperti Boiler, Penguapan, Puteran, dan Gilingan berdasarkan koordinat dua dimensi (X, Y).

Titik tersebut diperoleh dari proses analisis menggunakan metode Gravity Location Model, yang bertujuan untuk menemukan lokasi optimal pemasangan hydrant kebakaran. Hasil dari titik tersebut, dapat mengidentifikasi distribusi sektor dengan bobot risiko, sehingga dilakukan perhitungan titik pusat gravitasi untuk menentukan lokasi yang paling efektif dari sisi jangkauan dan kecepatan respons dalam keadaan darurat kebakaran

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi permasalahan utama dalam sistem keselamatan kebakaran di PT PG Rejo Agung Baru, yaitu belum optimalnya penempatan fire hydrant sebagai fasilitas proteksi awal dalam kondisi darurat kebakaran. Dengan menerapkan metode *Gravity Location Model* (GLM), diperoleh koordinat optimal penempatan hydrant yang memperhitungkan bobot risiko dari masing-masing sektor kerja, jarak, serta biaya. Melalui pendekatan berbasis data dan perhitungan matematis, diperoleh titik koordinat optimal pada $X = 16,6$ dan $Y = 17,9$ yang telah mencapai konvergensi melalui iterasi. Titik ini dianggap sebagai lokasi paling efisien untuk instalasi hydrant karena mampu menjangkau seluruh sektor penting secara cepat dan strategis, serta meminimalkan potensi kerugian dan waktu tanggap saat terjadi kebakaran. Hasil ini membuktikan bahwa GLM dapat digunakan secara efektif dalam perencanaan fasilitas keselamatan industri, khususnya pada lingkungan dengan risiko tinggi seperti pabrik gula

DAFTAR PUSTAKA

- Aboolian, R., Berman, O., & Krass, D. (2021). Optimizing facility location and design. *European Journal of Operational Research*, 289(1), 31–43. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.06.044>
- Aditio Achmad Fauzi, Aditya Pradana, Dwi Novita Indirani, Wanda Ardhani Sulisty, & Dika Ayu Safitri. (2024). Perencanaan Titik Hydrant Pada Gudang PT. Putraduta Buanasentosa Menggunakan Standart NFPA 14. *Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik*, 2(2), 144–149. <https://doi.org/10.61132/venus.v2i2.263>
- Allianz. (2025). *Allianz Risk Barometer 2025 – Fire, Explosion*. <https://commercial.allianz.com/news-and-insights/expert-risk-articles/allianz-risk-barometer-2025-fire-explosion.html>
- Ariansyah Malik, Audito Bintang Mahesa, Aulia' Bintang Mahanani, Alung Nanda Permana, & Dika Ayu Safitri. (2024). Perancangan Sistem Hydrant Menurut Standart NFPA 14 Dan 20 Pada Gudang PT. Indaco Warna Dunia. *Konstruksi: Publikasi Ilmu Teknik, Perencanaan Tata Ruang Dan Teknik Sipil*, 2(2), 171–180. <https://doi.org/10.61132/konstruksi.v2i2.262>
- Han, B., Hu, M., Zheng, J., & Tang, T. (2021a). Site selection of fire stations in large cities based on actual spatiotemporal demands: A case study of Nanjing City. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/ijgi10080542>
- Hanifha, N. H., Ridwan, A. Y., & Muttaqin, P. S. (2020). Site Selection of New Facility Using Gravity Model and Mixed Integer Linear Programming in Delivery and Logistic Company. *ACM International Conference Proceeding Series*, 43–47. <https://doi.org/10.1145/3400934.3400944>
- He, Q., Xue, L., Yang, Y., Ding, P., & Liu, M. (2024a). Research on Chinese Fire Station Optimal Location Model Based on Fire Risk Statistics: Case Study in

- Shanghai. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(5).
<https://doi.org/10.3390/app14052052>
- Li, L., Li, N., Wu, X., & Liu, B. (2024). A Method for Evaluating the Spatial Layout of Fire Stations in Chemical Industrial Parks. *Applied Sciences (Switzerland)*, 14(7).
<https://doi.org/10.3390/app14072918>
- Nafisah Riskya Hasnal, A. (2018). penentuan Lokasi Lumbung Pangan Berdasarkan Gravity Location Models Dengan Koordinat UTM Di Provinsi Maluku Utara. *Jurnal Sains dan Edukasi Sains Vol.1, No.2, Agustus 2018*: 7-16
<https://doi.org/10.24246/juses.v1i2p>
- Prastawa, H., Mahachandra, M., & Zaka Waly, G. (2023). Occupational Safety and Health Risk Assessment in an Electronic Manufacturing Company in Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 448.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202344801014>
- Siraj, M. T., Debnath, B., Payel, S. B., Bari, A. B. M. M., & Islam, A. R. M. T. (2023). Analysis of the fire risks and mitigation approaches in the apparel manufacturing industry: Implications toward operational safety and sustainability. *Heliyon*, 9(9).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20312>
- Tze Bayotas, M. (n.d.). *Spatial Analysis Of Fire Hydrant Placement In The Engine Room Using The Voronoi Diagram.*