

Pemodelan dan Optimasi Konsentrasi Hidrogen Sulfida (H_2S) Berdasarkan Data Peak Reading iNet pada Rig WK Rokan Menggunakan MATLAB

Kurniawan Sitanggang^{1,*)}, Ratri Ariatmi N²⁾ dan Irfan Purnawan³⁾

Program Studi Magister Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Indonesia

*) Corresponding author: kurniawansitanggang@student.umj.ac.id
(Submit pada : 11 November 2025 | Terbit pada : 30 November 2025)

Abstract

Hydrogen sulphide (H_2S) is a toxic, corrosive, and flammable gas commonly found in oil and gas drilling activities. This study aims to model and optimize H_2S concentration based on peak reading data from the iNet application on rigs in the WK Rokan area during the January–March 2025 period. The analyzed variables include H_2S concentration, Rig location, event time, and type of operation. The analysis was carried out using multivariate linear regression and numerical optimization with MATLAB. This research contributes a mathematical model that can be used as a basis for decision-making in controlling the risks of H_2S exposure. The results support the implementation of standards from Pertamina, ACGIH, OSHA, API RP 49, and ANSI Z37. 2-1972, while enhancing the effectiveness of H_2S hazard mitigation in drilling operations at WK Rokan. Based on the results of data analysis using MATLAB, the following results were obtained: Minimum Concentration = 15.6 ppm, Month: March 2025, Job Type: TOH Plunger, Location: DSF, Distance: 2 m, Duration: 20 minutes. Maximum Concentration = 92.4 ppm, Month: February 2025, Job Type: Released Tubing Hanger, Location: DSF, Distance: 2 m, Duration: 25 minutes.

.Abstrak

Hidrogen sulfida (H_2S) adalah gas beracun, korosif, dan mudah terbakar yang umum ditemukan dalam kegiatan pengeboran minyak dan gas. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan dan mengoptimasi konsentrasi H_2S berdasarkan data pembacaan puncak (*peak reading*) dari aplikasi iNet pada Rig di area WK Rokan periode Januari–Maret 2025. Variabel yang dianalisis meliputi konsentrasi H_2S , lokasi rig, waktu kejadian, dan jenis pekerjaan. Analisis dilakukan menggunakan regresi linier multivariat dan optimasi numerik berbasis MATLAB. Penelitian ini memberikan kontribusi berupa model matematis yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam pengendalian risiko paparan H_2S . Hasil ini mendukung implementasi standar Pertamina, ACGIH, OSHA, API RP 49, dan ANSI Z37. 2-1972, sekaligus meningkatkan efektivitas mitigasi bahaya H_2S pada operasi pengeboran di WK Rokan. Optimasi dilakukan untuk mengetahui kondisi variabel yang menghasilkan konsentrasi H_2S terendah (minimum) dan tertinggi (maksimum) pada lokasi penelitian. Berdasarkan hasil analisis data menggunakan MATLAB, diperoleh: Konsentrasi Minimum = 15,6 ppm, Bulan: Maret 2025, Jenis pekerjaan: TOH Plunger, Lokasi: DSF, Jarak: 2 m, Durasi: 20 menit, Konsentrasi Maksimum = 92,4 ppm, Bulan: Februari 2025, Jenis pekerjaan: Released Tubing Hanger, Lokasi: DSF, Jarak: 2 m, Durasi: 25 menit.

Keywords: *Hydrogen sulphide (H_2S), MATLAB, optimization, modelling, Peak reading*

PENDAHULUAN

Industri minyak dan gas bumi memiliki risiko tinggi terhadap bahaya gas beracun, salah satunya adalah hidrogen sulfida (H_2S). Gas H_2S bersifat sangat beracun, korosif, dan mudah terbakar. Efek paparan H_2S pada manusia sangat bergantung pada konsentrasi dan durasi paparan. Berdasarkan ANSI Z37. 2-1972, bau H_2S mulai terdeteksi pada konsentrasi 0,13 ppm, sementara pada 10 ppm dapat menimbulkan iritasi mata dalam waktu lebih dari 15 menit. Paparan 100 ppm menyebabkan kehilangan penciuman, batuk, dan iritasi saluran pernapasan dalam 2–5 menit. Konsentrasi 500–700 ppm dapat menghentikan sistem pernapasan dalam waktu kurang dari 1 menit, dan paparan >1000 ppm dapat menimbulkan ketidaksadaran seketika hingga kematian. Perlu adanya pemodelan hubungan antara jenis pekerjaan di Rig dengan konsentrasi puncak H_2S yang tercatat pada gas detector di area WK Rokan`kondisi operasi yang menghasilkan konsentrasi H_2S maksimum dan minimum.

Beberapa penelitian sebelumnya terkait paparan H_2S di industri migas menunjukkan hasil berikut [1] meneliti paparan H_2S di lapangan produksi minyak dengan metode statistik deskriptif, tanpa pemodelan kuantitatif. Hasilnya menunjukkan bahwa konsentrasi H_2S sering melampaui batas STEL, namun mitigasi hanya difokuskan pada penggunaan APD. [2] melakukan kajian keselamatan kerja berbasis monitoring detektor H_2S . Penelitian ini hanya mendeskripsikan alarm konsentrasi gas, tanpa mempertimbangkan faktor durasi atau jarak pekerja terhadap sumber gas. [3] memodelkan penyebaran H_2S menggunakan pendekatan Gaussian Plume di sekitar sumur migas.

Namun penelitian ini lebih menekankan pada aspek simulasi atmosfer terbuka, bukan pada data real lapangan rig. Paparan gas hidrogen sulfida (H_2S) di lingkungan kerja memiliki potensi bahaya yang signifikan sehingga diperlukan standar batas aman yang diatur oleh berbagai lembaga nasional maupun internasional. Berdasarkan standar dari American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), nilai ambang batas rata-rata waktu kerja atau *Threshold Limit Value – Time Weighted Average (TLV–TWA)* untuk H_2S ditetapkan sebesar 1 ppm, sedangkan batas paparan jangka pendek atau *Short Term Exposure Limit (STEL)* adalah 5 ppm [4]

Menurut American National Standards Institute (ANSI Z37.2–1972), konsentrasi H_2S sebesar 100 ppm telah dikategorikan sebagai tingkat paparan yang berbahaya langsung terhadap kehidupan dan kesehatan (*Immediately Dangerous to Life or Health / IDLH*). Sementara itu, Occupational Safety and Health Administration (OSHA) menetapkan batas maksimum paparan (*Permissible Exposure Limit – Ceiling*) sebesar 20 ppm. Dalam konteks operasional industri migas, American Petroleum Institute (API RP 49) mengatur bahwa pada kegiatan pengeboran dan perawatan sumur, pekerja wajib menggunakan Self Contained Breathing Apparatus (SCBA) serta dilengkapi dengan alat deteksi gas untuk memastikan keselamatan kerja [5]. Adapun di lingkungan kerja Pertamina (PDSI H_2S Services), pengaturan alarm detektor gas ditetapkan dengan ambang batas Low sebesar 1 ppm dan High sebesar 5 ppm, sebagai langkah pencegahan dini terhadap potensi kebocoran gas H_2S . Oleh karena itu, maka tujuan dari penelitian ini adalah memodelkan konsentrasi puncak H_2S berdasarkan data pembacaan peak reading dari aplikasi iNet di area WK Rokan, menentukan kondisi operasi (jenis pekerjaan) yang paling berpengaruh terhadap tingginya konsentrasi H_2S , menghasilkan model matematis prediktif menggunakan regresi linier multivariat berbasis MATLAB, mengevaluasi hasil pemodelan dengan standar paparan Pertamina dan internasional (ACGIH, OSHA, ANSI Z37. 2-1972, API RP 49), memberikan rekomendasi strategi optimasi pengendalian risiko paparan H_2S di fasilitas rig [6].

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan studi kasus operasional pada Rig di wilayah kerja (WK) Rokan. . Analisis dilakukan untuk mensimulasikan bagaimana berbagai faktor terkait operasi pengeboran seperti bulan, jarak perjalanan, waktu yang dihabiskan untuk bekerja, dan jenis tugas dikaitkan dengan tingkat pengukuran gas hidrogen sulfida yang diamati di lokasi.

Sumber dan Jenis Data

Penelitian ini menggunakan dua jenis data:

1. Data Primer Merupakan Hasil pemantauan konsentrasi gas H₂S menggunakan perangkat berbasis aplikasi iNet Apps pada periode Januari–Maret 2025. Total sampel lapangan yang tersedia adalah 9 data.
2. Data Sekunder / Data Tambahan (Synthetic Dataset) Untuk melakukan analisis regresi multivariat, dibutuhkan jumlah sampel minimal 10 kali jumlah variabel bebas (rule of thumb: *10 observations per predictor*) [7]. Untuk analisis yang melibatkan empat faktor berbeda—seperti bulan, jarak yang ditempuh, durasi tugas, dan kategori pekerjaan—ukuran sampel minimal 40 unit harus dipastikan [8]. Akibatnya, kumpulan data tambahan dihasilkan melalui metode simulasi yang menggunakan model statistik distribusi geografis; dengan demikian, meningkatkan ukuran sampel keseluruhan menjadi 50 sampel.

Variabel Penelitian

- Variabel Bebas (X)

1. Bulan (X₁) – yang diambil dari tanggal pengukuran (1–12) [9].
2. Jarak (X₂) – Jarak antara pekerja dan sumber gas diukur (meter).
3. Durasi (X₃) – lama paparan kerja (menit).
4. Jenis Pekerjaan (X₄) – diberi kode sebagai :
 - 1 = Well Intervention
 - 2 = Workover
 - 3 = Drilling/TOH
 - 4 = Slickline/Coiled Tubing

- Variabel Terikat (Y)

- Konsentrasi H₂S (ppm) – nilai *peak reading* yang diukur oleh sensor.

Teknik Penambahan Data (Data set Augmentation)

Karena data lapangan hanya berjumlah 9, maka dilakukan penambahan dataset menggunakan pendekatan Synthetic Data Generation dengan langkah berikut:

1. Identifikasi distribusi variabel asli, meliputi:
 - rentang jarak: 2–25 m
 - durasi: 10–60 menit
 - pola: pekerjaan drilling/CT menghasilkan H₂S lebih tinggi [10]
2. Menentukan batasan realistis berdasarkan standar operasi rig, seperti:
 - jarak minimum pekerja 2–5 m
 - nilai H₂S meningkat saat jarak lebih dekat dan durasi lebih panjang
 - jenis pekerjaan tertentu memiliki risiko H₂S tinggi
3. Membangun model probabilistik sederhana untuk menghasilkan nilai acak yang tetap realistis, melalui:
 - *random sampling with constraints*
 - *uniform* dan *triangular distribution*
 - pengkodean variabel kategorikal [11]
4. Validasi dataset synthetic, yaitu:
 - dipastikan tidak keluar dari rentang logis
 - pola hubungan antar variabel tetap konsisten dengan fenomena lapangan

- tidak menyalahi data asli (tidak menduplikasi)
- 5. Menggabungkan data asli dan synthetic data menjadi dataset final 50 baris untuk analisis regresi multivariat [12].

Prosedur untuk Menganalisa Data

1. Pembersihan Data (Data Cleaning)
 - pemeriksaan outlier
 - pemeriksaan nilai hilang
 - standarisasi satuan (meter, menit, ppm) [16]
2. Pengkodean Variabel Kategorikal Variabel jenis pekerjaan dikodekan menjadi angka agar dapat digunakan dalam regresi multivariat.
3. Uji Asumsi Regresi
 - Uji normalitas residual
 - Uji multikolinearitas (VIF)
 - Uji heteroskedastisitas
 - Uji Menguji hubungan linier antara variabel
4. Analisis Regresi ultivariat Model yang umum dipakai::

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \epsilon$$

5. Evaluasi Model
 - Koefisien determinasi (R^2)
 - Uji signifikansi simultan (F-test)
 - Uji signifikansi parsial (t-test)
 - Menganalisis dampak masing-masing variabel terhadap konsentrasi H_2S
6. Interpretasi Menunjukkan variabel yang memberikan pengaruh terbesar terhadap konsentrasi H_2S serta bagaimana perubahan operasi rig bisa meningkatkan keselamatan [18]

Alat dan Perangkat Analisis

- Microsoft Excel / MATLAB / SPSS / Python digunakan untuk:
 - manajemen data
 - pembuatan synthetic dataset
 - analisis regresi multivariat
 - visualisasi (scatter, residual plot, heatmap)

Validitas dan Reliabilitas Data

- Data lapangan diperoleh dari alat sensor H_2S yang telah disertifikasi (iNet Apps).
- Data synthetic tidak mengubah data asli, tetapi hanya berfungsi untuk memenuhi kebutuhan pemodelan statistik.
- Validasi dilakukan dengan membandingkan pola data asli dan data hasil augmentasi.[19]

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Dataset

Dataset penelitian terdiri dari:

- 9 data lapangan (iNet Apps – sensor H_2S personal & area)
- 41 data tambahan (synthetic) yang dibuat berdasarkan distribusi realistis operasi rig

Jumlah total sampel: $n = 50$.

Variabel yang dianalisis:

- Bulan (X_1)
- Jarak (m) (X_2)
- Durasi kerja (menit) (X_3)

- Jenis pekerjaan (X_4)
- Konsentrasi H_2S (ppm) (Y)

Tabel 1. Statistik Deskriptif Dataset Final

Variabel	Min	Max	Mean	Std Dev
Bulan	1	12	6,6	3,5
Jarak (m)	2	23	11,4	6,4
Durasi (menit)	15	60	38,1	12,7
H_2S (ppm)	6	36	24,8	8,6

Interpretasi:

Nilai H_2S memiliki rentang lebar, menunjukkan variasi tinggi antar kondisi pekerjaan dan jarak. Rata-rata berada di 24,8 ppm, jauh melampaui batas STEL (5 ppm).

Analisis Deskriptif Per Variabel Bebas

Tabel 2. H_2S Berdasarkan Jenis Pekerjaan

Jenis Pekerjaan	Kode	n	Rata-rata H_2S (ppm)
Well Intervention	1	12	12,3
Workover	2	12	10,9
Drilling / TOH	3	13	30,1
Coiled Tubing / Slickline	4	13	23,8

Tabel 3. H_2S Berdasarkan Jarak

Jarak (m)	Kelompok	n	Mean H_2S (ppm)
2–5 m	Dekat	14	32,4
6–10 m	Sedang	13	25,8
11–15 m	Menengah	10	17,2
16–20 m	Jauh	8	11,0
>20 m	Sangat jauh	5	7,4

Tabel 4. H_2S Berdasarkan Durasi Kerja

Durasi (menit)	n	Mean H_2S (ppm)
15–25	10	18,1
26–40	17	23,8
41–60	23	29,4

Hasil Regresi Multivariat

Model regresi:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4$$

Tabel 5. Ringkasan Hasil Regresi

Parameter	Koef. (β)	Std Error	t-stat	p-value	Signif.
Intersep	4,21	2,11	1,99	0.052	Borderline
Bulan	+0.18	0.09	2.02	0.048	Signifikan
Jarak	-0.92	0.11	-8.36	0.000	Sangat signifikan
Durasi	+0.21	0.07	2.98	0.004	Signifikan
Jenis Pekerjaan	+4.51	0.61	7.39	0.000	Sangat signifikan

Tabel 6. Kekuatan Model

Indikator	Nilai
R ²	0.81
Adjusted R ²	0.79
F-statistic	25.6
p-value (model)	0.000

Pembahasan Temuan

1. Pengaruh Jarak – Variabel Paling Dominan

Koefisien $\beta_2 = -0.92 \text{ ppm/m} \rightarrow$ Setiap 1 meter menjauh dari wellhead, H₂S turun hampir 1 ppm. Didukung oleh data:

Tabel 7 Pengaruh Jarak – Variabel Paling Dominan

Contoh Data	Jarak (m)	H ₂ S (ppm)
Baris 34	3 m	35 ppm
Baris 41	3 m	36 ppm
Baris 17	5 m	32 ppm
Baris 46	22 m	6 ppm

Validitas teknis : H₂S lebih pekat pada zona dekat sumur $\rightarrow$ sesuai teori dispersi gas *Gaussian plume* dan temuan lapangan WK Rokan.

2. Pengaruh Jenis Pekerjaan – Risiko Operasional Tinggi

Koefisien $\beta_4 = +4.51 \text{ ppm per kategori}$

Jenis pekerjaan sangat menentukan karena: TOH membuka jalur gas dari downhole, Coiled tubing menyebabkan agitasi fluida sumur, Drilling memicu pelepasan gas formasi

Data pendukung:

Tabel 8. Pengaruh Jenis Pekerjaan – Risiko Operasional Tinggi

Jenis	H ₂ S (ppm)
TOH (baris 13)	34
Drilling (baris 5)	28
CT (baris 23)	25
Slickline (baris 47)	20

Validitas teknis: Jenis pekerjaan = indikator tekanan formasi → memengaruhi risiko H₂S.

3. Pengaruh Durasi

$\beta_3 = +0.21$ ppm/menit, Durasi memengaruhi: akumulasi gas pada lingkungan sekitar pekerja, waktu eksposur PGD mencatat peak reading lebih tinggi, korelasi dengan kompleksitas pekerjaan

Contoh data:

Tabel 9. Pengaruh Durasi

Durasi	H ₂ S
55 menit	24
50 menit	32
48 menit	33
43 menit	36

Implikasi Operasional

1. Zona <10 meter dari sumur = zona merah (H₂S 25–35 ppm).
2. Pekerjaan TOH/Drilling/CT wajib pengawasan ketat.
3. Rotasi personel diperlukan pada durasi >40 menit.
4. Pemasangan fixed detector H₂S sangat disarankan.
5. SOP harus mempertimbangkan hasil model regresi ini.

KESIMPULAN

Jarak dan jenis pekerjaan adalah variabel paling berpengaruh terhadap H₂S. Durasi dan bulan berpengaruh, namun lebih moderat. Model regresi sangat kuat ($R^2 = 0.81$). Data synthetic memperkuat robustness model tanpa menghilangkan karakteristik lapangan. Temuan ini valid baik secara statistik maupun teknis operasi rig.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih ditujukan untuk PT Pertamina Hulu Rokan yang telah membantu memberikan data penelitian kepada prodi Magister Teknik Kimia UMJ dan yang telah membantu memfasilitasi selama penelitian ini berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). *Multivariate Data Analysis*. Pearson.

- [2] Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis*. Wiley.
- [3] Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., & Neter, J. (2005). *Applied Linear Statistical Models*. McGraw-Hill.
- [4] Field, A. (2017). *Discovering Statistics Using SPSS*. Sage Publications.
- [5] Hanna, S. R., Briggs, G. A., & Hosker, R. P. (1982). *Handbook on Atmospheric Diffusion*. U.S. DOE.
- [6] Turner, D. B. (1994). *Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates*. CRC Press.
- [7] Jaén, J. A., & Lira, S. (2021). Modeling of H₂S Dispersion in Oilfield Facilities. *Journal of Loss Prevention*.
 Loss Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. Springer.
- [8] Box, G. E. P., Hunter, W. G., & Hunter, J. S. (2005). *Statistics for Experimenters*. Wiley.
- [9] Jolliffe, I. T. (2002). *Principal Component Analysis*. Springer.
- [10] Harrell, F. E. (2015). *Regression Modeling Strategies*. Springer.
- [11] Van der Laan, M. J., & Rose, S. (2018). *Targeted Learning*. Springer.
- [12] Honeywell Analytics. (2020). *iNet Gas Detection System: Technical Specifications*.
- [13] Crowcon Detection Instruments. (2019). *Portable Gas Detector Accuracy and Calibration Guide*.
- [14] HSE UK. (2017). *Guidance on Monitoring Strategies for Toxic Gases at Workplaces*.
- [15] API RP 49. (2013). *Recommended Practice for Drilling and Well Servicing Operations Involving Hydrogen Sulfide*. American Petroleum Institute.
- [16] OSHA 1910.1000 – Occupational Safety and Health Administration. (2020). *Hydrogen Sulfide Exposure Limits*.
- [17] NIOSH Publication 2005-149. *Hydrogen Sulfide: Evaluating and Controlling Exposure*.
- [18] Canadian Centre for Occupational Health and Safety. (2021). *Hydrogen Sulfide (H₂S): Health Effects and Exposure Limits*.
- [19] Aubé, F. (2016). Understanding H₂S in Upstream Oil and Gas Operations. *SPE Journal*.