

OPTIMASI PENGENDALIAN BAHAYA H₂S DI SUMUR PRODUKSI DENGAN MENGGUNAKAN METODE ALOHA PADA CENTRAL PROCESSING PLANT PT. XYZ

Daffa Ariella Surendra^{1*}, Christopher Audi Imantaka¹, Sekar Mahardika Putri¹, Tun Sriana¹

¹Teknik Pengolahan Migas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jl. Gajah Mada No.38, Blora, Jawa Tengah, 58315

*E-mail: daffa.ariella@gmail.com

ABSTRAK

PT XYZ beroperasi dalam sektor hilir industri migas dengan fokus pada produksi gas, khususnya gas associated, yang sering mengandung hidrogen sulfida (H₂S), zat berbahaya bagi keselamatan pekerja dan lingkungan. PT XYZ mengimplementasikan langkah-langkah pengendalian risiko, termasuk penggunaan detektor H₂S, pengambilan sampel gas, serta peralatan khusus untuk mengurangi kadar H₂S. Teknik desulfurisasi dengan adsorben berbasis besi oksida juga digunakan. Meski demikian, H₂S tetap menjadi ancaman, sebagaimana terbukti oleh insiden di berbagai negara. Penelitian ini menggunakan metode pengamatan dan ALOHA untuk menentukan zona aman di sekitar sumur produksi. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa zona aman untuk sumur KTB, KDL, dan RBT masing-masing adalah 2,451 m, 2,122 m, dan 2,122 m. Penetapan zona aman bertujuan untuk meminimalkan risiko paparan H₂S, menjaga kesehatan pekerja, dan melindungi lingkungan sekitar. Selain itu, penutupan katup otomatis yang diterapkan oleh PT XYZ saat H₂S mencapai 10 ppm perlu dioptimalkan agar tidak mengganggu volume produksi gas, yang berdampak pada ekonomi perusahaan.

Kata kunci: Beracun, Hidrogen Sulfida, Metode ALOHA, Radius aman, Sumur produksi

1. PENDAHULUAN

Gas alam merupakan sumber energi alam yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai aspek kehidupan. Secara garis besar pemanfaatan gas bumi dapat dibagi menjadi tiga kelompok yaitu gas alam sebagai bahan bakar, gas alam sebagai bahan baku, dan gas alam sebagai bahan baku energi untuk ekspor. Gas alam dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga uap, bahan bakar industri, bahan bakar otomotif, bahan bakar rumah tangga, hotel, restoran, dan lain-lain. Gas alam juga digunakan sebagai bahan baku plastik, pabrik pupuk, petrokimia, metanol, dan lain-lain. Selain itu, C₃ dan C₄ digunakan dalam bahan bakar gas cair, dan CO₂ digunakan dalam minuman ringan, es kering, pengawet makanan, pengendapan buatan, industri pengecoran besi, pengelasan dan bahan pemadam api ringan. Selain itu, gas alam merupakan produk ekspor yang paling umum digunakan di seluruh dunia dan merupakan LNG (liquefied natural gas) atau gas alam cair.

Badan Pusat Statistik (BPS) adalah lembaga pemerintah non-kementerian di Indonesia yang bertanggung jawab dalam menyediakan data statistik resmi untuk mendukung perencanaan, pelaksanaan, dan evaluasi kebijakan nasional. BPS berperan sebagai penyelenggara kegiatan sensus, survei, dan pengumpulan data statistik lainnya yang mencakup berbagai sektor seperti kependudukan, ekonomi, sosial, dan lingkungan. Data yang dihasilkan oleh BPS digunakan oleh pemerintah, akademisi, pelaku usaha, serta masyarakat untuk keperluan analisis, pengambilan keputusan, dan penelitian. Selain itu, BPS juga memastikan bahwa metode pengumpulan data dan penyajiannya sesuai dengan standar internasional untuk menjamin akurasi dan kredibilitas informasi yang disediakan. Kali ini, dipakai data kecepatan

angin yang ada di Indonesia menurut BPS pada tahun 2020 yang disajikan pada tabel 1 berikut ini[1].

Tabel 1. Data rata rata kecepatan angin di Indonesia menurut BPS tahun 2020

Kecepatan Angin Bulan	Rata-Rata Kecepatan Angin Indonesia											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kecepatan	2,4	2,6	2,2	2,6	2,8	4	2,3	2,2	2,6	3,1	2,6	1,6
Rata-Rata	2,58											

Waktu paparan merupakan jumlah waktu responden dalam satu hari berada dilokasi yang memungkinkan terjadinya paparan H₂S dan NH₃. Waktu paparan yang sangat lama akan menyebabkan efek didalam tubuh manusia. Jika seseorang menghirup udara yang mengandung hidrogen sulfida dalam waktu yang lama akan mengakibatkan komposisi oksigen yang masuk kedalam tubuh berkurang, sehingga kinerja otak akan terganggu dan mengakibatkan lumpuhnya syaraf penciuman dan hilangnya fungsi kontrol otak dan paru-paru [2].

H₂S adalah gas yang tidak berwarna, sangat beracun, mudah terbakar, dan berbau seperti buah busuk. Nama kimia asam sulfida ini adalah dihidrogen sulfida, disebut juga gas rawa atau asam sulfida [3]. Bahaya Gas Hidrogen sulfida (H₂S). Hidrogen sulfida ini sendiri adalah gas beracun yang dapat membahayakan nyawa manusia jika terpapar dalam konsentrasi yang signifikan. Gas ini dapat hadir di berbagai lingkungan, termasuk industri dan alam terbuka, dan seringkali tidak memiliki warna atau bau yang mudah terdeteksi [3].

Metode ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) adalah sebuah alat pemodelan yang digunakan untuk memprediksi penyebaran gas beracun di udara, seperti H₂S, dalam berbagai kondisi lingkungan. ALOHA menghitung zona evakuasi atau radius aman berdasarkan laju pelepasan gas, konsentrasi gas, kecepatan angin, dan kondisi atmosfer lainnya seperti stabilitas atmosfer dan turbulensi. Dengan menggunakan prinsip-prinsip dasar dispersi gas, metode ini memodelkan bagaimana gas akan tersebar dari sumber kebocoran, mempengaruhi area sekitarnya, dan menentukan potensi bahaya pada tingkat paparan tertentu. ALOHA juga memperhitungkan konsentrasi batas aman (threshold limit) untuk menetapkan jarak aman bagi manusia dari sumber gas beracun. Pendekatan ini sering digunakan dalam industri minyak dan gas untuk perencanaan darurat dan manajemen risiko dalam situasi kebocoran bahan kimia berbahaya [4].

Zona radius aman adalah area yang ditetapkan di sekitar sumber pelepasan bahan kimia berbahaya atau gas beracun, di mana konsentrasi bahan tersebut berada di bawah batas paparan aman bagi manusia. Penentuan radius ini bertujuan untuk melindungi pekerja, masyarakat, dan lingkungan dari dampak buruk yang mungkin timbul akibat paparan bahan beracun, seperti hidrogen sulfida (H₂S). Zona radius aman dihitung berdasarkan berbagai faktor, termasuk konsentrasi bahan kimia yang dilepaskan, laju pelepasan, kecepatan angin, kondisi atmosfer, dan sifat fisik bahan kimia. Dalam konteks gas berbahaya seperti H₂S, zona radius aman diatur berdasarkan konsentrasi batas paparan aman, seperti IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health) atau PEL (Permissible Exposure Limit). Radius aman ditentukan dengan menggunakan model dispersi gas, seperti metode ALOHA atau model Gaussian, yang menghitung bagaimana gas menyebar dari sumber pelepasan. Menurut Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1990 tentang Perlindungan Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya, kawasan yang dilindungi adalah kawasan di luar cagar alam atau suaka alam, baik itu kawasan hutan, tanah negara, atau negara yang ditunjuk sebagaimana mestinya. , menjaga keutuhan cagar alam dan kawasan lindung adalah hal yang perlu dan efektif [5].

PT. XYZ merupakan salah satu industri migas yang beroperasi di sektor hilir, tepatnya pada proses produksi gas. Dalam kegiatan produksi gas tersebut, PT. XYZ mengolah gas bumi yang berjenis *associated gas* dimana untuk jenis ini, pada satu reservoir terdapat gas bumi dan juga minyak bumi yang bercampur menjadi satu. Tidak dapat dipungkiri, bahwa pada proses produksi minyak dan gas bumi pastinya akan terdapat beberapa kontaminan berbahaya yang terikut serta dapat mengancam keselamatan pekerja dan lingkungan. Salah satu contoh yang berbahaya tersebut ialah Hidrogen Sulfida (H_2S). Gas apa pun yang dikeluarkan dari sumur, baik di lepas pantai atau di darat, tidak selalu bersih. Hal ini disebabkan adanya kontaminan atau pengotor yang ada pada gas umpan yang diproduksi dari sumur gas produksi. Beberapa zat pengotor yang terkandung dalam sumur produksi tersebut antara lain air, senyawa asam, karbon dioksida, fraksi hidrokarbon berat dan pengotor yang lainnya. Adanya zat pengotor ini tentunya dapat memengaruhi kondisi operasi saat dilakukan pengolahan pada feed gas yang ada [6].

Ketika terjadi paparan gas tersebut, alat deteksi hidrogen sulfida dan peralatan pelindung pernapasan harus digunakan. Alasan perangkat ini adalah untuk mendeteksi kebocoran gas, dan para pekerja harus menggunakan alat pelindung pernapasan untuk mencegah kontak hidrogen sulfida. Gas hidrogen sulfida secara kimiawi tidak berwarna, sangat beracun, sangat mudah terbakar, dan mempunyai bau telur busuk. Penyerapan hidrogen sulfida melalui inhalasi lebih cepat daripada melalui rute oral, dan seringkali hanya sejumlah kecil yang diserap melalui kulit. Hasil wawancara dengan karyawan PT. Corroshield stasiun ibul Pali Indonesia mengungkapkan bahwa gas hidrogen sulfida konsentrasi akan memberikan efek pada tubuh manusia. Pada konsentrasi 20 ppm, gas dapat menyebabkan gangguan pernapasan akut, seperti dengan sakit tenggorokan dan batuk. Sebuah 8-16 ppm tertentu dari hidrogen sulfida dapat menimbulkan iritasi mata pada mata, CNS, konjungtivitis, lakrimasi dan fotofobia. Pada konsentrasi lebih dari 50 ppm suatu jam atau lebih, hidrogen sulfida dapat menghasilkan nyeri bila dilihat dan kerusakan jaringan mata serius. Ketika mencapai 100 ppm, gas hidrogen sulfida sangat berbahaya karena dapat merusak indra penciuman [7].

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan alat yang memproteksi pekerja dari bahaya akibat kecelakaan kerja. Perlindungan merupakan hak yang wajib dipenuhi oleh suatu perusahaan. K3 bertujuan untuk mencegah, mengurangi, bahkan menghilangkan resiko kecelakaan kerja. Keselamatan dan Kesehatan kerja adalah spesialisasi dalam ilmu kesehatan/kedokteran beserta praktek kesehatan yang setinggi-tingginya, baik fisik, atau mental, maupun sosial, dengan usaha-usaha preventif dan kuratif, terhadap penyakit-penyakit/gangguan-gangguan kesehatan yang diakibatkan faktor-faktor pekerjaan dan lingkungan kerja, serta terhadap penyakit-penyakit umum [8].

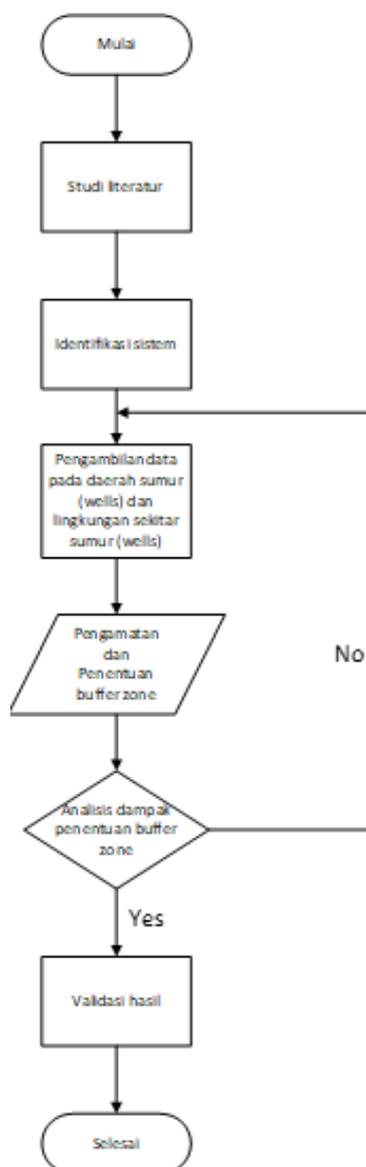
Oleh karena itu, kadar Hidrogen Sulfida (H_2S) yang diproduksi harus dikendalikan sehingga tidak membahayakan lingkungan. Pada PT XYZ sendiri memiliki beberapa upaya untuk pengendalian tersebut. Dalam aspek proses, digunakan kolom *stripper* serta adanya *Sulfur Recovery Unit* yang dapat meredam atau menurunkan kadar Hidrogen Sulfida (H_2S) yang diproduksi. Dalam aspek *Safety*, PT. XYZ memasang beberapa gas Hidrogen Sulfida (H_2S) *Detector*, sehingga kadar H_2S dapat selalu dipantau dan dikendalikan. Selain itu juga, selalu diadakan *sampling* gas untuk selalu *me-monitor* kadar Hidrogen Sulfida (H_2S) yang diproduksi [9].

Hidrogen sulfida (sulfana, sulfur hidrida, gas asam, hidrogen sulfida, asam sulfat, dan gas saluran pembuangan) adalah gas dengan aroma mirip telur busuk. Walaupun gas ini bersifat iritan pada paru-paru, ia diklasifikasi sebagai asfiksian karena dampak utamanya berkaitan dengan meregangkan pusat pernapasan, yang biasanya berulang dengan ras. Kematian biasanya disebabkan oleh kegagalan pernapasan. Hidrogen sulfida sering ditemukan bersama dengan metana dan karbon dioksida, gas-gas berbahaya lain Paparan dengan konsentrasi rendah mengakibatkan iritasi mata, hidung, atau tenggorokan. Menurut pengelola TPA Ganet, sistem

pengolahan yang digunakan adalah sistem saniter landfill, yaitu metode pengolahan sampah yang dilakukan dengan cara : melakukan penggalian tanah sebagai penimbunan sampah setiap harinya dengan menggunakan tanah itu sendiri menjadi mulsa sehingga akhir dari PTPS dilakukan pembentukkan dan penyikatan [10].

2. METODE

Metode penelitian yang digunakan untuk melakukan Analisa mengenai pengendalian bahaya gas Hidrogen Sulfida (H_2S) pada sumur produksi yang dilakukan oleh PT. XYZ adalah dengan metode pengamatan serta perhitungan menggunakan metode ALOHA. Metode *Areal Locations of Hazardous Atmospheres* (ALOHA) adalah sebuah alat pemodelan yang digunakan untuk memprediksi penyebaran gas beracun di udara, seperti H_2S , dalam berbagai kondisi lingkungan. Metode pengamatan merupakan metode yang dilakukan dengan cara mengamati objek atau fenomena secara langsung yang menjadi fokus penelitian. Langkah- langkah utama dalam metode ini dilakukan dengan flowchart seperti Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Metode Penelitian

3. PEMBAHASAN

A. Beberapa Tempat Yang Terindikasi Bahaya H₂S

Adapun beberapa tempat yang rawan bahaya dari H₂S yaitu adalah daerah Upstream unit, daerah upstream unit ini sendiri adalah tempat atau unit bagian pengolahan tahap awal gas dari sumur atau wells, daerah upstream pada PT XYZ terdiri dari sumur,GSU, AGRU, BSRU, dan Thermal oxidation unit. Adapun proses flow diagram ini dapat digambarkan seperti Gambar 2.



Gambar 2 proses flow diagram pada daerah *Upstream unit* yang terindikasi paparan H₂S

Berdasarkan pada flow diagram di *upstream unit* yang terindikasi sulfur pada unit yang pertama yaitu adalah pada sumur produksi gas. Sumur produksi gas adalah fasilitas yang dibangun untuk mengekstraksi gas alam dari reservoir bawah tanah melalui pengeboran. Gas alam yang dihasilkan dari sumur ini merupakan campuran berbagai hidrokarbon ringan, terutama metana (CH₄), yang merupakan komponen utama gas alam. Selain metana, gas alam yang dihasilkan juga mengandung sejumlah komponen lain, seperti etana (C₂H₆), propana (C₃H₈), butana (C₄H₁₀), dan sejumlah kecil gas non-hidrokarbon. Komponen non-hidrokarbon yang sering ditemukan dalam sumur produksi gas meliputi karbon dioksida (CO₂), nitrogen (N₂), uap air (H₂O), dan hidrogen sulfida (H₂S). Bila dibandingkan dengan unit lainnya, unit sumur produksi merupakan unit dengan kandungan H₂S yang paling tinggi. Hal ini dikarenakan sumur produksi merupakan unit urutan pertama dalam proses pengolahan gas, sehingga belum dilakukan treatment apapun dalam menghilangkan H₂S. Oleh karena itu sangat penting untuk dilakukan analisa mengenai pengendalian bahaya H₂S.

Selanjutnya yaitu pada unit GSU (*Gas Separation Unit*). *Gas separation Unit* ini sendiri adalah unit untuk pemisahan gas alam mentah menjadi metana (CH₄) dan komponen lainnya seperti etana (C₂H₆), propana (C₃H₈), butana (C₄H₁₀), dan pentana (C₅H₁₂), dan juga gas asam seperti hidrogen sulfida (H₂S) dan karbon dioksida (CO₂) yang berbahaya dan korosif. Meskipun di GSU komponen H₂S sudah dipisahkan, namun masih ada beberapa H₂S yang masih terikut ke tahapan proses selanjutnya, yaitu pada AGRU. Kemudian pada unit AGRU (*Acid Gas Removal Unit*) di PT. XYZ ini juga terindikasi bahaya H₂S, dan unit AGRU ini berfungsi untuk menghilangkan gas-gas asam seperti hidrogen sulfida (H₂S) dan karbon dioksida (CO₂) dari aliran gas. hal Ini penting dikarenakan gas-gas asam yang masih belum terpisah di GSU tersebut masih ada dan bersifat korosif. Adapun beberapa metode dari AGRU untuk menghilangkan gas-gas asam, di antaranya yaitu ada proses Absorpsi dengan Pelarut Amin. Ini adalah metode yang paling umum digunakan. Dalam proses ini, gas alam dialirkan melalui kolom kontak yang berisi larutan amina (seperti monoethanolamine, diethanolamine, atau methyldiethanolamine). Pelarut amina akan menyerap H₂S dan CO₂ dari gas, Setelah itu, larutan amina yang sudah jenuh dengan gas asam dipanaskan dalam kolom stripping untuk melepaskan H₂S dan CO₂, sehingga pelarut dapat digunakan kembali dalam siklus yang berulang. Selanjutnya adalah teknologi membran, dimana teknologi membran dapat digunakan untuk memisahkan H₂S dan CO₂ dari aliran gas. Membran selektif memungkinkan gas-gas tertentu untuk melewati sementara menghalangi gas lainnya. Lalu ada proses kriogenik yang dimana metode ini melibatkan pendinginan gas hingga suhu yang sangat rendah untuk mengkondensasikan dan memisahkan komponen-komponen gas berdasarkan titik didih

mereka. Namun, ini lebih umum digunakan untuk pemisahan gas hidrokarbon daripada penghilangan gas asam. Kemudian setelah dari proses AGRU gas akan diteruskan ke proses BSRU (*Bio Sulfur recovery unit*) tempat dimana sisa H₂S dari AGRU akan diturunkan menggunakan bakteri aerob. Prinsip kerja dari BSRU ini sendiri yaitu saat masuknya aliran gas, gas yang mengandung H₂S dialirkan ke dalam *bioreactor* yang berisi media tempat bakteri aerob berkembang biak, kemudian setelah terkontak dengan *bioreactor*, bakteri aerob mengoksidasi H₂S menjadi sulfur elemental atau sulfat, gas yang sudah bersih dari H₂S dari *bioreactor* akan diteruskan ke proses selanjutnya yaitu pada *Thermal oxidation unit* yang ada di PT X. Dan yang terakhir daerah yang terindikasi H₂S yaitu adalah *Thermal oxidation unit*, unit ini berbahaya jika unit BSRU (*Bio Sulfur recovery unit*) tidak dapat mengolah H₂S dengan baik, dan mengakibatkan gas H₂S akan terikut ke dalam *Thermal oxidation unit*, yang nantinya unit ini akan melepas gas ke udara bebas.

B. Analisa H₂S pada Sumur Produksi PT XYZ

PT XYZ ini didukung 8 sumur di wilayah Blok Sesuai data Well Test 29 September 2019, sumur KDL01 total 85 bopd/13,30 MMscfd, RBT01 44 bopd / 9,70 MMscfd, RBT02 sebesar 4 bopd/1,66 MMscfd. Dengan total 48 bopd / 11,36 MMscfd. Kemudian, KTB01 sebesar 44 bopd / 9,30 MMscfd, KTB02 sebesar 54 bopd / 11,10 MMscfd, KTB03 sebesar 24 bopd / 11,10 MMscfd, KTB04 sebanyak 44 bopd / 9,00 MMscfd, dan KTB06 sebanyak 53 bopd / 11,60 MMscfd dengan jumlah total sebesar 219 bopd / 52,10 MMscfd.

Sebagai yang diketahui, PT XYZ memiliki fasilitas pengolahan gas. Gas dari lapangan tersebut dialirkan melalui pipa untuk memenuhi kebutuhan gas pembangkit listrik di Tambaklorok, Semarang. Produksi keseluruhan PT XYZ mencapai 15.085 barel per hari dan 144,72 juta kaki kubik per hari untuk gas. Sementara itu, Cepu Field ditargetkan untuk mencapai produksi 2.006 barel minyak per hari dan 60,56 juta kaki kubik gas per hari. Tabel 2 menunjukkan kadar H₂S.

Tabel 2. Tabel data pengukuran kadar H₂S di Area sumur PT XYZ

Sumur	Parameter	satuan	Hasil
KTB	H ₂ S	ppm	>4000
KDL			<3000
RBT			<3000

Kadar H₂S yang tinggi pada sumur produksi merupakan ancaman serius bagi keselamatan pekerja, peralatan, dan lingkungan. Hidrogen sulfida (H₂S) adalah gas yang sangat beracun, bahkan pada konsentrasi rendah. Pada konsentrasi tinggi, H₂S dapat menyebabkan keracunan akut yang berpotensi fatal, dengan gejala mulai dari iritasi pada mata dan saluran pernapasan hingga hilangnya kesadaran dan kematian akibat gangguan sistem pernapasan. Gas ini juga memiliki sifat korosif yang dapat merusak peralatan produksi, seperti pipa dan tangki, meningkatkan risiko kebocoran atau ledakan. Selain itu, H₂S sangat mudah terbakar, sehingga menambah risiko bahaya kebakaran atau ledakan di fasilitas produksi. Oleh karena itu, pengendalian dan pengolahan kadar H₂S yang tinggi sangat penting untuk menjaga keamanan operasional sumur, mencegah kerusakan infrastruktur, dan melindungi kesehatan pekerja serta lingkungan di sekitar area produksi. Pada penelitian kali ini, dilakukan penelitian terhadap 8 sumur yang diolah oleh PT. XYZ yaitu sumur KTB 1, KTB 2, KTB 3, KTB 4, KTB 5, KTB 6, KDL, dan RBT. Tiap tiap sumur memiliki komposisi dan kriteria yang berbeda beda, sehingga

perlu dilakukan penelitian tiap sumurnya untuk mengetahui karakteristik masing-masing sumur terutama untuk kandungan H₂S pada masing masing sumur.

PT. XYZ memiliki 6 sumur KTB yang berada di sekitar daerah Kedungtuban, Blora. Dikarenakan berada pada kedalaman dan reservoir yang sama, sumur KTB 1, KTB 2, KTB 3, KTB 4, KTB5, dan KTB 6 memiliki karakteristik dan komposisi yang serupa antara satu sama lain. Disini dapat dilihat pada tabel diatas bahwa untuk kandungan H₂S yang dimiliki oleh 6 sumur KTB ini memiliki rata-rata kandungan H₂S yang cukup besar yaitu lebih dari 4000 ppm. Tentunya jumlah ini merupakan jumlah yang termasuk besar untuk ukuran suatu sumur. Dengan adanya kandungan H₂S yang besar ini PT. XYZ harus memikirkan cara yang paling efektif dan paling aman untuk menangani kandungan H₂S yang besar ini.

Selanjutnya PT. XYZ juga memiliki sumur KDL yang mengandung cukup banyak H₂S yang tentunya harus diperhitungkan. Letak sumur KDL sedikit berbeda dengan letak sumur KTB, sehingga komposisi dan juga karakteristik yang dimiliki gas dari masing masing sumur pun berbeda. Berbeda dengan sumur KTB, sumur KDL memiliki nilai kandungan H₂s yang dibawah dari sumur KTB yaitu <3000 ppm. Namun, menurut beberapa jurnal, kandungan H₂S lebih dari 1000 ppm merupakan nilai yang sangat besar dan tentunya sangat berbahaya apabila terpapar manusia. Oleh karena itu, selama kandungan H₂S pada suatu sumur lebih dari 1000 ppm, perlu dilakukan mitigasi mengenai dampak yang akan mungkin terjadi pada sumur tersebut.

Selanjutnya PT. XYZ juga memiliki sumur RBT yang juga mengandung cukup banyak H₂S yang tentunya harus diperhitungkan juga. Sumur RBT juga terletak berbeda dengan 2 sumur lainnya, sehingga karakteristik serta komposisi nya juga berbeda. Namun, berdasarkan data yang telah didapatkan bahwa sumur RBT memiliki kandungan H₂S yang cukup tinggi yaitu <3000 ppm, yang tentunya juga tergolong kedalam sumur yang memiliki kandungan H₂S yang tinggi dan berbahaya untuk pekerja.

C. Analisa Pengendalian Pada Sumur Produksi Gas

Pengendalian dan penanganan pertama saat terjadi trouble pada sumur gas produksi tentunya harus dilakukan guna menghindari hal hal yang tidak diinginkan seperti kerugian secara materi dan juga membahayakan keselamatan pekerja. Pada PT. XYZ dilakukan pengamatan secara rutin sebanyak 1 kali pengamatan per hari dan didapatkan data selama 7 hari berturut-turut mengenai paparan H₂S seperti dipaparkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kandungan H₂S di lingkungan sekitar sumur produksi gas

Hari ke	Sumur produksi gas PT. XYZ							
	KTB 1	KTB 2	KTB 3	KTB 4	KTB 5	KTB 6	KDL	RBT
	ppm							
1	8,97	7,67	8,72	7,69	9,38	7,65	6,54	5,32
2	8,77	8,68	6,68	7,84	8,56	6,89	5,84	6,56
3	8,65	9,43	7,98	9,47	10,10	8,35	7,05	7,98
4	8,81	7,84	8,42	9,88	7,54	7,34	6,45	7,77
5	8,69	8,34	9,67	8,90	8,69	9,83	5,84	5,45
6	8,98	9,50	8,57	9,45	9,75	10,43	7,10	7,32
7	9,65	8,65	6,97	6,43	9,35	7,23	5,99	5,37

Rata rata	8,93	8,58	8,14	8,52	9,05	8,24	6,40	6,53
-----------	------	------	------	------	------	------	------	------

Diatas merupakan tabel data mengenai paparan H₂S yang ada di lingkungan Sumur Produksi Gas PT. XYZ selama 7 hari berturut-turut. Dari data yang telah didapatkan ada beberapa hal yang perlu diperhatikan. Yang pertama adalah mengenai rata-rata paparan yang ada di sekitar sumur. Pada data diatas, bisa dilihat untuk semua sumur mulai dari KTB 1, KTB2, KTB 3, KTB 4, KTB 5, KTB 6, KDL, dan RBT, semuanya memiliki nilai rata rata dibawah dari standart yang telah ditentukan oleh pemerintah, yaitu berada di bawah 10 ppm. Nilai ini menunjukkan bahwa kadar H₂S di sumur produksi gas PT. XYZ berada di ambang nilai aman dan masih bisa terus dilakukan produksi gas.

Selanjutnya adalah analisa mengenai paparan H₂S yang terjadi selama 7 hari berturut-turut. Pada data yang telah ada diatas, pada sumur KTB 5 hari ke-3 dan sumur KTB 6 hari ke-6 didapatkan hasil paparan H₂S yang diatas batas normal yang telah ditetapkan oleh pemerintah yaitu sebesar 10,10 ppm dan 10,43 ppm. Tentunya hal ini merupakan hal yang berbahaya dan dapat mengancam kesehatan para pekerja. Oleh karena itu perlu adanya penanganan pertama saat ada kondisi demikian. Pada PT. XYZ menerapkan beberapa penanganan pertama yaitu penutupan katup secara otomatis saat mencapai 10 ppm dan penutupan katup secara manual bila terjadi error pada kenutupan katup secara otomatis. Apabila konsentrasi H₂S mencapai 10 ppm, gas detector akan mengaktifkan alarm dan secara otomatis memberikan perintah untuk menutup katup sumur. Penutupan katup ini bertujuan untuk mengendalikan aliran gas dan menurunkan kadar H₂S, sehingga memastikan keselamatan operasional. Penutupan katup secara otomatis ini merupakan alat safety yang harus dimiliki oleh setiap industri untuk menangani adanya paparan H₂S yang berlebihan dan melewati ambang batas.

Pengendalian yang sudah ada di PT. XYZ bisa dinilai sudah baik karena sudah memanfaatkan peralatan yang otomatis seperti gas detector otomatis yang akan melakukan penutupan katup secara otomatis ketika kandungan H₂S yang terdeteksi lebih dari 10 ppm. Namun, apabila katup ditutup hingga kandungannya berada di nilai kurang dari 10 ppm, tentunya akan memengaruhi volume produksi gas yang dihasilkan, sehingga berpengaruh terhadap ekonomi dari perusahaan.

D. Optimasi Pengendalian Bahaya dengan Penerapan Zona Aman

Sistem penutupan katup secara otomatis merupakan sistem yang bergantung pada kendali otomatis suatu alat. Tentu pada penerapan sistem tersebut masih belum sempurna dan belum mampu menjamin keselamatan para pekerja. Oleh karena itu berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, diperlukan optimasi mengenai pengendalian bahaya pada sumur produksi. Optimasi yang perlu diterapkan adalah penerapan Zona Aman pada sumur produksi di PT. XYZ. Zona Aman pada Sumur Produksi Gas adalah area di sekitar sumur di mana konsentrasi gas berbahaya, seperti hidrogen sulfida (H₂S), berada di bawah ambang batas yang aman bagi kesehatan dan keselamatan, umumnya kurang dari 10 ppm. Di Indonesia, standar keselamatan ini mengacu pada regulasi Kementerian Ketenagakerjaan dan badan-badan internasional seperti OSHA. Dalam zona aman, pekerja tidak memerlukan alat bantu pernapasan khusus, namun tetap diwajibkan menggunakan Alat Pelindung Diri (APD) standar untuk menghindari potensi bahaya lain. Zona ini ditetapkan berdasarkan hasil pemodelan dan pengukuran di lapangan, dengan tujuan menjaga kesejahteraan pekerja dan mencegah dampak negatif terhadap masyarakat sekitar serta lingkungan.

Penetapan zona aman ini dilakukan dengan menggunakan metode ALOHA. Metode ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) adalah sebuah alat pemodelan yang digunakan untuk memprediksi penyebaran gas beracun di udara, seperti H₂S, dalam berbagai kondisi lingkungan. ALOHA menghitung zona evakuasi atau radius aman berdasarkan laju pelepasan gas, konsentrasi gas, kecepatan angin, dan kondisi atmosfer lainnya seperti stabilitas

atmosfer dan turbulensi. Dengan menggunakan prinsip-prinsip dasar dispersi gas, metode ini memodelkan bagaimana gas akan tersebar dari sumber kebocoran, mempengaruhi area sekitarnya, dan menentukan potensi bahaya pada tingkat paparan tertentu. ALOHA juga memperhitungkan konsentrasi batas aman (threshold limit) untuk menetapkan jarak aman bagi manusia dari sumber gas beracun. Pendekatan ini sering digunakan dalam industri minyak dan gas untuk perencanaan darurat dan manajemen risiko dalam situasi kebocoran bahan kimia berbahaya.

$$R = \frac{Q^{0.5}}{u \times C_{thresh}} \tag{1}$$

Dengan menggunakan Pers. (1) dan data rata-rata kecepatan angin yang ada di Indonesia pada Tabel 1, bisa dilakukan perhitungan mengenai penentuan zona aman pada masing-masing sumur. Dengan data yang telah dipaparkan pada pembahasan sebelumnya, PT. XYZ memiliki 3 sumur dengan kandungan H₂S masing-masing sebesar maksimal 4000 ppm untuk sumur KTB, maksimal 3000 ppm untuk sumur KDL, dan maksimal 3000 ppm untuk sumur RBT. Berdasarkan perhitungan mengenai zona aman yang diperbolehkan menurut metode ALOHA, didapatkan hasil zona aman untuk 3 sumur yang dimiliki oleh PT. XYZ seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Radius Aman

Nama Sumur	Q (ppm)	U (m/s)	C _{thresh} (ppm)	R (m)
KTB	4000	2,58	10	2,451
KDL	3000	2,58	10	2,122
RBT	3000	2,58	10	2,122

4. SIMPULAN

Berdasarkan data pengujian dan pengamatan serta pengoptimasian pada metode yang diterapkan mengenai pengendalian bahaya H₂S PT XYZ yaitu dapat disimpulkan bahwa metode ALOHA untuk menerapkan zona radius aman yang dimiliki tiap sumur merupakan optimasi terbaik yang sebaiknya dilakukan oleh PT. XYZ. Dengan menggunakan perhitungan pada metode ALOHA yang sudah dijabarkan pada bab sebelumnya, didapatkan nilai zona aman untuk sumur KTB sebesar 2,451 m, sumur KDL memiliki zona aman sebesar 2,122 m, dan sumur RBT memiliki zona aman sebesar 2,122 m. Tentunya metode ini memiliki banyak kelebihan yang akan meningkatkan keamanan (safety) yang diterapkan pada PT. XYZ ini. Penerapan dan kombinasi zona radius aman dan Gas Detector dalam pengendalian bahaya H₂S menawarkan beberapa kelebihan dibandingkan hanya mengandalkan detektor gas saja. Zona radius aman memberikan lapisan perlindungan ganda dengan menciptakan jarak fisik yang mengurangi risiko paparan langsung, memberikan pekerja waktu lebih untuk merespons jika detektor mengidentifikasi kebocoran. Selain itu, zona aman mencakup area yang lebih luas daripada detektor gas yang hanya bekerja di lokasi tertentu, sehingga memungkinkan pengendalian paparan gas di lingkungan sekitar fasilitas. Dalam kondisi darurat, ketika detektor gas mungkin mengalami kerusakan atau kegagalan teknis, zona radius aman tetap melindungi dengan membatasi akses ke area berisiko tinggi. Lebih dari itu, zona aman juga melindungi masyarakat sekitar dari potensi bahaya H₂S, tidak hanya pekerja di lapangan. Dengan menggunakan zona aman, fasilitas dapat lebih mudah mematuhi standar keselamatan industri yang mewajibkan pengendalian risiko secara menyeluruh. Terakhir, zona radius aman membantu membatasi dampak lingkungan dari kebocoran gas H₂S, melindungi ekosistem di sekitarnya. Dengan demikian, kombinasi kedua metode ini memberikan perlindungan yang lebih komprehensif dalam mengurangi risiko paparan H₂S.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik, "Rata-rata Kecepatan Angin di Indonesia pada Tahun 2020," Jakarta, 2020.
- [2] A. F. Faisya, "Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Hidrogen Sulfida (H₂S) dan Ammonia (NH₃) Pada Masyarakat Wilayah TPA Sukawinatan Kota Palembang Tahun 2018."
- [3] D. P. Iskandar, "Bahaya H₂S (Hidrogen Sulfida): Kesehatan dan Cara Mengatasinya," PT Adhigana Perkasa Mandiri, 2024. [Online]. Available: adhiganacorp.com
- [4] E. Katz, "Between Here and There: Buffer Zones in International Law," *The University of Chicago Law Review*, 2017.
- [5] M. Z. Nava-López, S. A. W. Djemont, M. Hall, and V. Ávila-Akerberg, "Riparian Buffer zone and Whole Watershed Influences on River Water Quality: Implications for Ecosystem Services near Megacities," *Environmental Processes*, 2016.
- [6] A. Novandy, "Studi Simulasi penurunan konsentrasi CO₂ di gas alam sebagai umpan CNG PLANT PPSDM MIGAS, cepu," 2023. M. Z. Nava-López, S. A. W.
- [7] R. A. Palini and H. Ar, "Analisis Alat Pendeteksi Gas Hidrogen Sulfida Menggunakan Hazard And Operability Study Di Perusahaan Minyak Dan Gas," *Jurnal TEKNO (Civil Engineering, Electrical Engineering and Industrial Engineering)*, 2019.
- [8] Rifai, "Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Pajanan Gas Hidrogen Sulfida (H₂S) Pada Pemulung Akibat Timbulan Sampah Di TPA Jatibarang Kota Semarang," *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 2016. [Online]. Available: undip.ac.id
- [9] J. Syamsuddin, "Analisis Aspek keselamatan Kerja terhadap pengendalian H₂S di kilang Sulfur Recovery unit," in *SNTI 2017 (Seminar Nasional Teknik Industri)*.
- [10] V. Amelia S., N. Nurmaini, and W. H., "Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia," vol. 18, 2019.

Daftar Simbol

R	=	Radius aman, m
Q	=	Konsentrasi gas yang terdeteksi, ppm
u	=	Kecepatan angin, m/s
C _{thresh}	=	Konsentrasi batas aman, ppm