

Rancang Bangun Prototipe Ignitor Otomatis Pencegah Bahaya pada Tekanan Balik Aliran Gas Buang Berbasis IoT

(Designing an Automatic Ignitor Prototyped to Prevent Hazards from Back Pressure in Exhaust Gas Flow Based on IoT)

Cheryl Johannes¹, Tita Aisyah²

¹Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Indonesia
Jl. Puspittek, Setu, Kec. Serpong, Kota Tangerang Selatan, Banten 15314

Abstrak

Adanya risiko pencemaran lingkungan dan ledakan yang disebabkan oleh tekanan balik pada aliran gas buang sehingga diperlukan pembuatan sistem pengapian (ignitor) otomatis dimana gas buang dapat terbakar sebelum dilepaskan ke lingkungan. Perangkat ini menggunakan modul MAX6675, sensor termokopel tipe-K, mikrokontroler ESP32, aktuator ignitor elektrik, tampilan LCD I2C, dan platform Blynk untuk monitoring jarak jauh. Pipa Ignitor yang berfungsi untuk menghasilkan api kecil suhunya akan dideteksi oleh sensor termokopel, dimana besar kecilnya temperatur akan diberikan oleh termokopel melalui modul MAX6675 kepada mikrokontroler, lalu diolah oleh mikrokontroler. Hasil dari pengolahan mikrokontroler akan diberikan kepada ignitor untuk memerintahkan apakah ignitor On atau Ignitor Off. Suhu dan status ignitor ditampilkan melalui LCD dan Blynk pada monitoring jarak jauhnya. Rentang suhu uji 0°C-100°C, pengujian mengukur waktu respons ignitor, akurasi suhu, dan efektivitas pembakaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor sangat akurat (selisih <1%), sistem dapat mengaktifkan ignitor secara Otomatis (SUHU1 untuk pembacaan sensor) sesuai ambang suhu yang ditetapkan (ignitor ON di bawah 100 °C dan OFF di atas 100 °C), Serta terdapat sistem Manual (SUHU2) yang dapat disebut juga sistem bypass yang mengaktifkan ignitor hanya dengan mengaktifkan tombol FIRE. Jarak antara busi dan elektroda pemantik sebesar 50 mm merupakan jarak untuk mendapatkan nyala api terbaik. Sistem otomatis maupun manual dari ignitor ini dapat dimonitor melalui LCD, Blynk dan pembacaan faultnya dapat bekerja sesuai dengan perancangan.

Kata Kunci: Ignitor otomatis, termokopel, suhu, tekanan balik, keselamatan

Abstract

There is a risk of environmental pollution and explosions caused by back pressure in the exhaust gas flow, so it is necessary to create an automatic ignition system where exhaust gases can be burned before being released into the environment. This device uses a MAX6675 module, a type-K thermocouple sensor, an ESP32 microcontroller, an electric ignitor actuator, an I2C LCD display, and a Blynk platform for remote monitoring. The igniter pipe, which functions to produce a small flame, is detected by a thermocouple sensor, where the temperature is transmitted by the thermocouple through the MAX6675 module to the microcontroller, then processed by the microcontroller. The results of the microcontroller processing are sent to the igniter to command whether the igniter is On or Off. The temperature and igniter status are displayed via the LCD and Blynk for remote monitoring. The test temperature range is 0°C-100°C, and the test measures the igniter response time, temperature accuracy, and combustion effectiveness. The results of the study show that the sensor is very accurate (difference <1%), the system can activate the ignitor automatically (SUHU1 for sensor readings) according to the set temperature threshold (ignitor ON below 100 °C and OFF above 100 °C). and there is a manual system (TEMPERATURE2), also known as a bypass system, which activates the igniter simply by pressing the FIRE button. The distance between the spark plug and the ignition electrode is 50 mm, which is the distance for obtaining the best flame. Both the automatic and manual systems of this igniter can be monitored via LCD, Blynk, and the fault readings can work according to the design.

Keywords: Automatic igniter, thermocouple, temperature, back pressure, safety

*Penulis Korespondensi.

Alamat E-mail: cheryljohannes06@gmail.com (Cheryl Johannes)

1. Pendahuluan

Sistem distribusi gas buang hasil dari pembakaran di industri memiliki potensi bahaya signifikan dalam situasi tekanan balik. Tekanan balik ini dapat terjadi karena pipa tersumbat, katup pengatur aliran yang rusak, atau tekanan yang tidak seimbang. Akibatnya, gas berbahaya dapat terperangkap di dalam saluran atau cerobong. Jika tidak segera dilepaskan dan dibakar, ada resiko bahaya seperti pencemaran lingkungan kerja, ledakan atau kebakaran yang dapat mengancam keselamatan pekerja dan lingkungan sendiri (A. Sugiarto, Widayat, 2024).

Menurut data yang dikumpulkan oleh (Mahdi & Esmacili, 2020), kerusakan mekanis seperti kerusakan material, erosi termal, dan kerusakan struktural dapat menyebabkan flare kehilangan fungsi pembakaran yang stabil. Selain itu, studi oleh (Sukairaji et al., 2021) menemukan bahwa tekanan balik tinggi, juga dikenal sebagai (*High Back Pressure*). Menurut laporan PHMSA (Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration), rata-rata 127 insiden terjadi di sistem distribusi gas setiap tahun, menyebabkan lebih dari 180 cedera dan 40 kematian, sebagian besar karena tekanan tidak normal dan pelepasan gas tanpa pembakaran ((BTS / U.S. Department of Transportation), 2024). Salah satu insiden yang paling signifikan terjadi pada tahun 2019 di fasilitas Aghorn, ketika gas sisa dilepaskan ke cerobong gas buang tanpa pembakaran awal, risiko pelepasan gas tanpa terbakar meningkat, mencemari lingkungan dan mengancam nyawa pekerja disedir (Karthikeyan, 2020).

Sistem yang digunakan saat ini untuk menjaga aliran gas buang (*back pressure*) pada cerebong gas buang masih ada menggunakan sistem manual dengan memonitoring suhu temperatur pada *control room system*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan prototipe ignitor otomatis berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu mengaktifkan ignitor secara otomatis dan dapat dimonitor secara langsung dan termonitor jarak jauh guna menjaga bahaya gas buang pada dunia industri.

Tujuan Penelitian

Merancang dan mengembangkan prototipe ignitor otomatis berbasis Internet of Things (IoT) yang mampu mengaktifkan ignitor secara otomatis dan dapat dimonitor real time.

Langkah-langkah realisasi tujuan di atas dilakukan sbb:

- 1) Mengevaluasi akurasi termokopel SUHU1 dan SUHU2 terhadap sensor RTD sebagai standar referensi.

- 2) Mengetahui jarak elektroda yang tepat untuk menghasilkan percikan pengapian yang dapat direproduksi dan stabil.
- 3) Mengembangkan dan menguji sistem pengapian otomatis berbasis ESP32 dan MAX6675, khususnya kemampuan untuk mengaktifkan ignitor pada ambang suhu 100 °C.
- 4) Evaluasi mekanisme deteksi kesalahan dan kinerja sistem pemantauan (LCD dan Blynk) untuk memastikan keandalan operasi sistem secara keseluruhan.

2. Teori Dasar

Tekanan Balik (*Back Pressure*) dalam Sistem Distribusi Gas

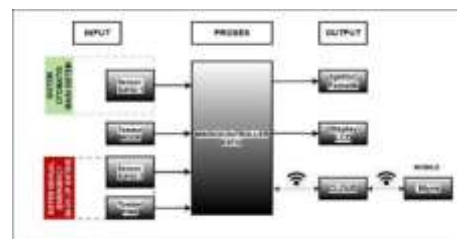
Tekanan balik dalam sistem perpipaan gas muncul ketika aliran gas terdorong kembali akibat penumpukan tekanan yang tidak terlepas, yang dapat dipicu oleh penyumbatan, kerusakan katup pelepas tekanan, atau perbedaan tekanan antarkomponen, dan kondisi ini berpotensi memicu kerusakan serius hingga ledakan juga menegaskan bahwa gangguan daya maupun kegagalan pendingin dapat memicu gaya momentum fluida serta tekanan balik tinggi yang mengancam komponen sistem, sehingga upaya mitigasi menjadi sangat penting dalam lingkungan industri yang kompleks (Sukairaji et al., 2021).

Sistem Flare dan Fungsi Ignitor Otomatis

Sistem flare merupakan komponen vital dalam keselamatan industri migas karena berfungsi membakar gas buang secara aman agar tidak dilepas langsung ke atmosfer. Bakhavachsalam et al. (2019) menegaskan pentingnya pemeliharaan dan perbaikan desain flare, khususnya top flare yang rentan terhadap *burn back* atau kondisi ketika api merambat kembali akibat aliran gas yang tidak stabil atau kurangnya purge gas (Bakhavachsalam et al., 2019). Teknologi ignition otomatis untuk tekanan balik tinggi dengan ignitor berenergi lebih dari 15J pada tekanan 1–3 MPa, yang terbukti meningkatkan keberhasilan penyalaan dan mempercepat stabilisasi tekanan setelah pembakaran (Chen, W., Wang, Y., & Liu, 2013).

3. Metodologi

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan model ADDIE yang terdiri dari tahap analisis, desain, pengembangan, implementasi, dan evaluasi. Model ini dipilih karena paling sesuai untuk merancang sistem elektronik berbasis mikrokontroler yang diperlukan dalam peningkatan keselamatan sistem gas buang industri (Arwita & Bachri, 2019).



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Berikut penjelasan fungsi dari masing-masing komponen yang ada pada diagram blok tersebut:

Input:

- Sensor Termokopel berfungsi untuk membaca secara aktual
- Modul MAX6675 akan menerima signal suhu dari sensor termokopel dan akan mengirim kembali signal melalui SPI secara berkala ke *Microcontroller*

Pengelolaan Data:

- Mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pengolah data yang diterima dari *input* serta alat ini yang akan memerintahkan *Output* untuk mengaktifkan atau menonaktifkan Ignitor dan juga untuk memberi signal kepada LCD untuk memonitoring suhu secara *real-time*, dan dapat dimonitor menggunakan Blynk

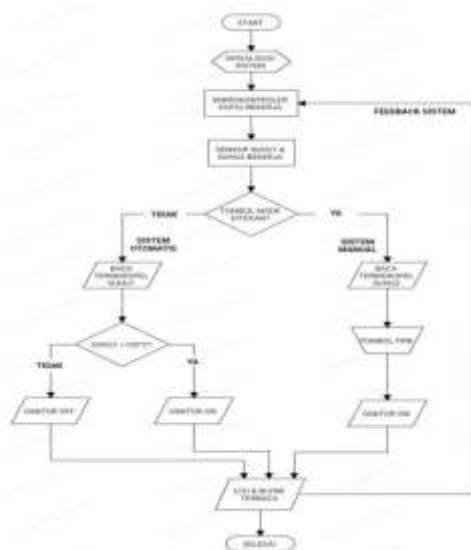
Output:

- LCD akan memonitoring suhu sesuai dengan signal yang diberikan oleh *Microcontroller*
- Blynk adalah *Software* yang akan digunakan untuk memonitoring suhu jarak jauh
- Ignitor akan aktif atau non aktif sesuai perintah ignitor yang sudah di *setting* sesuai input yang dibutuhkan.

Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Perancangan perangkat keras adalah tahap yang sangat penting dalam proses pembuatan sistem yang berfungsi secara nyata. Tahap ini merupakan dasar dari proses teknis dan memastikan bahwa seluruh komponen fisik bekerja secara optimal untuk mencapai tujuan sistem yang dimaksud.

Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)



Gambar 2. Flowchart ignitor otomatis dan manual

Sistem ini memiliki dua mode operasi, yakni mode otomatis yang membaca suhu dari termokopel SUHU1 dan mode manual yang menggunakan pembacaan dari SUHU2. Saat sistem aktif, ESP32 bersama Blynk akan mengevaluasi kedua sensor; apabila tombol MODE tidak ditekan, sistem bekerja secara otomatis: ketika suhu di bawah 100°C, termokopel memerintahkan mikrokontroler untuk menyalakan Ignitor Pematik, dan saat suhu melewati 100°C, ignitor dimatikan dan logika di-reset untuk siklus berikutnya. Sistem tidak dibuat menyalakan ignitor secara kontinu di bawah 100°C karena kestabilan tegangan pada modul IoT belum memadai dan dapat memicu kerusakan akibat tekanan balik arus. Jika tombol MODE ditekan, sistem beralih ke mode manual (bypass), di mana tombol fire langsung mengaktifkan Ignitor Pematik selama tombol ditekan, sehingga alat tetap dapat digunakan bila terjadi gangguan pada sistem otomatis. Seluruh komponen memiliki fungsi masing-masing, terutama termokopel sebagai pusat kontrol; jika terjadi kegagalan sensor, relay akan mengirim sinyal ke mikrokontroler dan Blynk untuk memberikan indikasi error. Secara keseluruhan, rancangan ini dibuat untuk menjaga keamanan aliran gas buang dari risiko tekanan balik, sekaligus memastikan setiap elemen dalam sistem saling melindungi agar alat dapat berfungsi secara optimal

4. Hasil dan Pembahasan

Kalibrasi Sensor

Langkah-langkah pengkalibrasian temperatur type K tertentu yang perlu dilakukan, berikut langkah-langkah kalibrasi temperature type K. *Pertama*, Siapkan dua sensor termokopel tipe K dan Multi Tester standar. Lakukan dua tahap dalam uji sensor dimana satu menggunakan sensor 1 untuk sistem otomatis dan satu lagi sensor 2 untuk sistem manual atau bypass. *Kedua*, Siapkan sensor RTD PT100 untuk menjadi uji perbandingan dari sensor yang digunakan. *Ketiga*, Siapkan Termokopel Kalibrator dan juga RTD kalibrator untuk membaca atau pada kalibrator terdapat opsi READ untuk menerima signal dari sensor masing masing yang di gunakan. *Keempat*, Uji tahap pertama siapkan gas portabel serta regulator, air dan wadah untuk menjadi tempat uji sensor, siapkan Kalibrator untuk dikoneksi ke output sensor. *Kelima*, Hitung selisih antara pembacaan temperature dan nilai sebenarnya pada setiap titik temperature yang diuji. Gunakan perhitungan ini untuk mengoreksi kesalahan pembacaan temperature dan memastikan akurasi pembacaan temperatur

Tabel 1. Kalibrasi sensor termokopel 1

No	Pembacaan SUHU1 Termokopel yang digunakan (°C)	Pembacaan RTD PT100 Sebagai Uji Perbandingan (°C)	Δ Termokopel dengan RTD (°C)	[% Error]
1	25,9	25,4	0,5	1.9
2	55,4	55,1	0,3	0.5
3	69,9	69,2	0,7	1.0
4	75,5	74,9	0,6	0.8
5	100,1	100,0	0,1	0.1

Tabel 2. Kalibrasi sensor termokopel 2

No	Pembacaan SUHU2 Termokopel yang digunakan (°C)	Pembacaan RTD PT100 Sebagai Uji Pembeding (°C)	Δ Termokopel dengan RTD (°C)	[% Error]
1	27,4	27,3	0,1	0.3
2	67,4	66,8	0,6	0.9
3	79,9	79,2	0,7	0.8
4	88,5	88,1	0,4	0.4
5	98,6	98,1	0,5	0.5

Tabel 1 dan 2, kalibrasi sensor termokopel baik sensor termokopel SUHU1 dan SUHU2 ini menggunakan Termokopel Kalibrator sebagai alat uji Termokopel yang di gunakan dan sensor RTD sebagai uji pembeding dan RTD kalibrator sebagai alat uji RTD, dan juga air panas yang sudah disiapkan didalam wadah untuk tempat uji sensor,

Rumus kesalahan% :

$$\left(\frac{\Delta}{RTD}\right) \times 100\%$$

Rata-Rata:

$$\text{Rata-rata} = \left(\frac{\text{error1} + \text{error2} + \text{error3} + \text{error4} + \text{error5}}{5}\right)$$

Kalibrasi sensor SUHU1 dalam kategori layak dimana rata rata presentase error tidak lebih dari 1% yaitu **0.86%** error dari 5 kali percobaan untuk suhu1. Dan untuk SUHU2 juga masih dalam kategori layak sebab juga masih **0.6%** rata-rata kesalahan sensor SUHU2.

Kesimpulannya pada uji kalibrasi kedua sensor dalam kategori sangat layak untuk digunakan karena rata-

rata dari sensor hanya dengan pembeding hanya selesih 0,8% dan 0,6% menjadikan status ketepatan sensor dalam kategori baik.

Pengujian Aktuator (Pematik Ignitor)

Pengujian Ignitor Pematik bisa dilakukan sebanyak lima kali dalam tahap uji, Karena untuk uji jarak pada ignitor perlu keakuratan jarak yang menggunakan satuan milimeter (mm) yang tergolong satuan kecil, uji ignitor ini yaitu berjalan sesuai sistem dan memberikan percikan bunga api pada busi pematik, langkah-langkah nya sebagai berikut. *Pertama*, Siapkan Ignitor dan multi tester untuk mengetahui tegangan yang diberikan modul. *Kedua*, Pastikan Ignitor dengan mikrokontroller sudah terkoneksi dengan benar, agar control loop dapat terbaca dengan baik sesuai kebutuhan. *Ketiga*, Pastikan busi pematik sudah berdekatan dengan mines atau bimetal lainnya untuk memberikan percikan buang api. *Keempat*, Catat setiap data yang diberikan oleh ignitor baik tegangan, keberlangsungan sistem ignitor berjalan baik, serta juga jarak dari pematik busi.

Tabel 3. Pengujian status bunga api terhadap jarak pematik dengan jarum pengantar

No	Jarak pematik dengan jarum pengantar (mm)	Status Bunga Api	Pembacaan Menyala api pada Pipa Ignitor
1	20	Tidak Menyala	Tidak menyala
2	25	Tidak Menyala	Tidak menyala
3	35	Bunga api Menyala Kecil	Tidak menyala
4	45	Bunga api Besar namun tidak panjang jarak bunga api	Menyala namun ignitor harus aktif lebih dari 3 kali
5	50	Bunga api Besar dan jarak bunga api panjang	Menyala

Tabel 3 di atas menunjukkan bahwa jarak antara busi pematik dengan jarum pengantar atau mines menentukan ketepatan dari bunga api yang dihasilkan, dimana ketika jarak antar busi dengan jarum mines terlalu dekat pun tidak tepat dan terlalu jauh pun tidak tepat, pada percobaan baik percobaan pertama hingga ke lima, pada percobaan pertama dan kedua bunga api tidak menyala, pada percobaan ketiga bunga api menyala namun kecil, di bisa melihat pada percobaan ke empat dimana bunga api

sudah besar keluar namun belum tepat karena harus mengulang hingga lebih kurang dari 3 kali ignitor aktif baru *line pipe* gas menyala, Pada percobaan ke lima baru di menemukan jarak yang tepat yaitu 50mm untuk bunga api yang besar dan panjang jarak bunga apinya hingga *line pipe* gas dapat mudah menyala.

Kesimpulannya jarak 50mm adalah jarak Ignitor dalam kategori baik dalam pengoprasian.

Pengujian Kinerja Monitor Sistem

Tabel 4. Uji kinerja kesesuaian monitor LCD dan Blynk

No	Pembacaan pada LCD (°C)	Pembacaan Blynk (°C)	Keterangan
1	0	0	Tampilan sama
2	25.2	25.2	Tampilan sama
3	50.5	50.5	Tampilan sama
4	75.3	75.3	Tampilan sama
5	102.7	102.7	Tampilan sama

Pada Tabel 4 di atas menunjukkan monitor LCD dan Blynk menunjukkan hasil yang sama

Kesimpulannya Monitor yang digunakan mempunyai kategori layak digunakan karena menunjukkan tampilan yang sama.

Pengujian Kinerja Keseluruhan Sistem

Tabel 5. Uji kinerja Sistem Otomatis

No	Pembacaan Sensor SUHU1 (°C)	Pembacaan Ignitor	Pembacaan LCD (°C)	Pembacaan Blynk (°C)	Pembacaan Fault
1	32	ON	32	32	GOOD
2	50	ON	50	50	GOOD
3	78	ON	78	78	GOOD
4	100	ON	100	100	GOOD
5	105	OFF	105	105	GOOD
6	110	OFF	110	110	GOOD
7	125	OFF	125	125	GOOD

Tabel 5 sistem Otomatis menunjukkan bahwa Control Loop pada sistem otomatis sudah sesuai, dimana ketika Temperature dibawah 100 °C Ignitor ON dan ketika Temperature sudah diatas 100 °C Ignitor OFF, dan untuk sensor , dan juga pembacaan untuk sistem Ignitor ON dan OFF sudah sesuai dengan kebutuhan Alat rancangan bangun dan pembacaan pada Monitor baik pada LCD dan Blynk sudah sesuai dimana ketika sensor mengirim signal untuk naik atau turun LCD dan Blynk sudah mengikuti, dan untuk uji sistem Fault untuk

menjaga agar sesnor tetap terdeteksi sudah baik, dimana ketika sensor di uji lepas koneksi, monitor sudah membaca FAULT

percobaan pada keseluruhan sistem Manual, pada sistem Manual menambahkan tombol Fire, Tombol fire ini berfungsi sebagai komponen untuk mengaktifkan Ignitor secara Manual, dimana Ignitor aktif hanya ketika mendapat perintah ON dari tombol Fire aktif, Pada percobaan Sistem Manual SUHU2 ini, setiap data yang diberikan akan dicatat pada tabel ketepatan alatnya.

Tabel 6. Ujikinerja Sistem Manual

No	Pembacaan Sensor SUHU2 (°C)	Tombol FIRE di Tekan?	Pembacaan Ignitor	Pembacaan LCD (°C)	Pembacaan Blynk (°C)	Pembacaan Fault
1	23	Tidak	OFF	23	23	GOOD
2	57	Tidak	OFF	57	57	GOOD
3	81	Tidak	OFF	81	81	GOOD
4	109	YA	ON	109	109	GOOD
5	115	YA	ON	115	115	GOOD
6	125	TIDAK	OFF	125	125	GOOD
7	132	YA	ON	132	132	GOOD

Pada Tabel 6 sistem Manual Control loop sudah sesuai dengan kebutuhan dimana Ignitor aktif tidak melalui triger dari sesnor suhu namun dari Tombol fire, dimana jika Tombol fire tidak ditekan maka Ignitor tidak aktif, jika Tombol fire ditekan maka Ignitor Aktif, dan Pembacaan pada monitor sudah sesuai dimana Ignitor ON atau OFF sesuai perintah tombol Fire, sensor dan pembacaan pada Monitor baik pada LCD dan Blynk sudah sesuai, dan untuk uji sistem Fault untuk menjaga agar sensor tetap terdeteksi sudah baik, dimana ketika sensor di uji lepas koneksi, monitor sudah membaca FAULT

5. Kesimpulan

Hasil menunjukkan bahwa Sensor termokopel SUHU1 dan SUHU2 layak digunakan, dengan %Error| SUHU1 yaitu 0,8% dan %Error| SUHU2 yaitu 0,6% < 1%.

Sistem kontrol otomatis berbasis ESP32 dan MAX6675 dapat mengaktifkan ignitor secara konsisten pada ambang suhu 100 °C

Pengujian jarak elektroda ignitor menunjukkan bahwa jarak yang tepat pada jarak yaitu 50 mm

Sistem pengawasan melalui LCD dan Blynk serta kemampuan mendeteksi kesalahan bekerja dengan baik. Ini ditunjukkan dengan kemampuan untuk menampilkan status kesalahan saat sensor dilepas dan kesesuaian pembacaan pada seluruh mode.

Daftar Pustaka

- [1] A. Sugiarto, Widayat, and M. C. (2024). Analisis energi dan gas buang pada sistem suar di fasilitas gas onshore. In *Undip Repository*. <https://eprints2.undip.ac.id/id/eprint/31323/>
- [2] Bakthavachsalam, V., Buendia, G., & Al Hashimi, H. (2019). Maintaining flare tip health. *Society of Petroleum Engineers - Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference 2018, ADIPEC 2018*. <https://doi.org/10.2118/192961-ms>
- [3] Chen, W., Wang, Y., & Liu, J. (2013). High back pressure igniting method of gasification device. *Chemical Industry and Engineering Progress*, 32 (No.6)

1478–1482.

<https://www.semanticscholar.org/paper/High-back-pressure-igniting-method-of-gasification-陈伟-汪宇安>

/24dde899580ac6d476bfb53d6bf4194a0fb5e5f2

- [4] Arwita, N., & Bachri, B. S. (2019). Pengembangan media video animasi teknik pengambilan gambar mata pelajaran dasar desain komunikasi visual kelas X sekolah menengah kejuruan. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005> Li, X., & Ma, J. (2024).
- [5] Investigation of urban natural gas pipeline leak and resulting dispersion in a semi- closed space: A case of accident in Shiyan, China. *Process Safety and Environmental Protection*, *183*, 459–475. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.01.025>
- [6] Mahdi, E., & Esmaeili, A. (2020). Failure analysis of a flare tip used in offshore production platform in Qatar. *Materials*, *13*(15), 1–14. <https://doi.org/10.3390/ma13153426>
- [7] Sukairaji, A., Zaria, U., & Mohammed-Dabo, I. (2021). Modelling and evaluation of the effects of high back pressure (HBP) on refinery Flare System network. *Safety Engineering*, *11*(2), 73–78. <https://doi.org/10.5937/se2102073s>
- [8] (BTS / U.S. Department of Transportation). (2024). *All reported hazardous liquid and gas incidents: 2010– 2023*. U.S. Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics. <https://www.bts.gov/browse-statistical-products-and-data/info-gallery/all-reported-hazardous-liquid-and-gas-incidents-0>
- [9] CSB, U. S. C. S. and H. I. B. (2021). *Investigation Report: Hydrogen Sulfide Release at Aghorn Operating Waterflood Station*. May, 53.
- [10] Karthikeyan, B. (2020). Manage change to flare systems. *Chemical Engineering Progress*, *116*(1), 36–39. <https://www.aiche.org/resources/publications/cep/2020/january/manage-change-flare-systems>