

Penentuan Kebutuhan Udara Pembakaran Gas Buang pada Sistem *Smokeless Flare* (Studi: Kasus di PT XYZ)

Gina Dea Ramadhani

Program Studi Teknik Kimia, Universitas Singaperbangsa Karawang, Jawa Barat

*Koresponden email: ginadearamadhani@gmail.com

Diterima: 13 April 2026

Disetujui: 27 April 2026

Abstract

Production activities in oil and gas processing facilities produce exhaust gases that have the potential to pollute the environment, so a safe and efficient exhaust system is needed. One method used is the flaring system, which is the combustion of exhaust gases before they are released into the atmosphere. However, in practice, the combustion process often produces black smoke due to incomplete combustion. This study aims to determine the appropriate flare type, calculate the vapor condensate fraction burned, estimate the air requirement to achieve complete combustion, and determine the required blower power. The analysis results show that the most suitable flare type is an air-assisted flare, with a vapor condensate fraction of 0.148 of the total production of 1322.6 lbmol. The theoretical air requirement for complete combustion is 7,220.97 lbmol, which increases to 9,129 SCF/min after the addition of 20% excess air. To meet these needs, a blower with a power of 13.75 kW is required. The implementation of this approach is expected to improve combustion efficiency and reduce exhaust gas emissions into the environment.

Keywords: *complete combustion, exhaust gas, air-assisted flare, air requirement, blower power*

Abstrak

Kegiatan produksi pada fasilitas pengolahan minyak dan gas menghasilkan gas buang yang berpotensi mencemari lingkungan, sehingga diperlukan sistem pembuangan yang aman dan efisien. Salah satu metode yang digunakan adalah sistem flaring, yaitu pembakaran gas buang sebelum dilepaskan ke atmosfer. Namun, dalam implementasinya proses pembakaran sering kali menghasilkan asap hitam akibat pembakaran yang tidak sempurna. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan jenis flare yang tepat, menghitung fraksi uap kondensat yang dibakar, memperkirakan kebutuhan udara untuk mencapai pembakaran sempurna, serta menentukan daya blower yang diperlukan. Hasil analisis menunjukkan bahwa jenis flare yang paling sesuai adalah air-assisted flare, dengan fraksi uap kondensat sebesar 0,148 dari total produksi sebesar 1322,6 lbmol. Kebutuhan udara teoritis untuk pembakaran sempurna sebesar 7.220,97 lbmol, yang meningkat menjadi 9.129 SCF/menit setelah penambahan excess air sebesar 20%. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, diperlukan blower dengan daya sebesar 13,75 kW. Penerapan pendekatan ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi pembakaran serta menurunkan emisi gas buang ke lingkungan.

Kata Kunci: *pembakaran sempurna, gas buang, air-assisted flare, kebutuhan udara, daya blower*

1. Pendahuluan

Kegiatan industri minyak dan gas bumi, yang meliputi proses pengeboran, pengolahan, dan transportasi, menghasilkan gas buang yang berpotensi mencemari udara di sekitar lokasi apabila tidak ditangani dengan baik [1]. Gas buang tersebut umumnya mengandung senyawa hidrokarbon yang mudah terbakar dan berbahaya jika dilepaskan langsung ke atmosfer [2]. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengendalian emisi yang efektif dan aman untuk mengolah gas buang sebelum dilepas ke lingkungan.

Salah satu metode yang digunakan adalah sistem flare, yaitu proses pembakaran gas buang di udara terbuka untuk mengonversi senyawa hidrokarbon menjadi produk yang lebih stabil seperti karbon dioksida (CO₂) dan uap air (H₂O). Sistem flare tidak hanya berfungsi sebagai pengendali emisi, tetapi juga sebagai bagian dari sistem keselamatan (*safety system*) untuk mengurangi tekanan berlebih dalam unit proses [3]. Proses pembakaran ini bertujuan untuk mencegah pelepasan langsung gas hidrokarbon ke atmosfer yang dapat berdampak negatif terhadap lingkungan dan keselamatan operasional, sekaligus mengubahnya menjadi senyawa yang lebih ramah lingkungan [4]. Pembakaran yang efisien dalam nyala api bergantung pada tercapainya pencampuran yang baik antara gas bahan bakar dan udara [5]. Semakin baik pencampuran ini, semakin sempurna pula proses oksidasi, sehingga mengurangi emisi polutan dan meningkatkan efisiensi

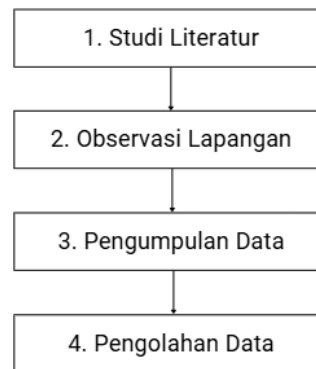
pembakaran. Apabila oksigen tersedia dalam jumlah yang memadai, proses pembakaran akan berlangsung lebih sempurna, menghasilkan karbon dioksida (CO_2), uap air, dan residu berupa abu, tanpa menghasilkan asap [6]. Pola dan warna nyala api juga menjadi indikator visual dari kualitas pembakaran. Api berwarna biru menunjukkan pembakaran yang mendekati sempurna, sedangkan api kuning menandakan adanya bahan bakar yang belum sepenuhnya terbakar akibat pencampuran udara yang kurang optimal [7].

Namun demikian, proses pembakaran pada flare tidak selalu berlangsung secara sempurna. Keterbatasan suplai udara serta pencampuran yang tidak optimal antara udara dan bahan bakar dapat menyebabkan terbentuknya asap hitam [8]. Fenomena ini merupakan indikasi pembakaran tidak sempurna, yang tidak hanya menurunkan efisiensi proses tetapi juga meningkatkan emisi partikulat dan pencemaran udara. Selain itu, pembentukan jelaga diketahui memberikan kontribusi signifikan terhadap pemanasan global, bahkan mencapai sekitar dua pertiga dari efek karbon dioksida secara keseluruhan [9].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kebutuhan udara pembakaran pada sistem flare berdasarkan data kondensat hidrokarbon multikomponen, serta mengevaluasi pengaruh kondisi operasi terhadap kinerja pembakaran. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar perancangan dan optimasi sistem flare yang lebih efisien dan ramah lingkungan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan memanfaatkan data kondensat berupa campuran hidrokarbon multikomponen yang terdiri dari fraksi C1 hingga C10. Data yang digunakan diklasifikasikan menjadi data primer dan data sekunder.



Gambar 1. Tahapan Metode Penelitian

Data primer meliputi komposisi fraksi mol kondensat serta kondisi operasi proses, seperti suhu, tekanan, kapasitas produksi, dan durasi operasi, yang merepresentasikan kondisi aktual sistem yang dianalisis. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari literatur dan referensi yang relevan, mencakup konstanta kesetimbangan uap-cair (K -value), berat molekul masing-masing komponen, serta data stoikiometri kebutuhan udara untuk pembakaran sempurna. Selain itu, digunakan pula nilai densitas kondensat dan konstanta gas ideal sebagai parameter pendukung dalam proses perhitungan. Pendekatan kuantitatif dalam penelitian ini diterapkan melalui analisis matematis dan perhitungan teknik untuk menentukan kebutuhan udara serta mengevaluasi kinerja sistem berdasarkan data yang diperoleh.

3. Hasil & Pembahasan Pemilihan Jenis Flare

Dilakukan analisis terhadap tiga jenis sistem *smokeless flare*, yaitu *air-assisted flare*, *steam-assisted flare*, dan *pressure-assisted flare*, untuk menentukan sistem yang paling sesuai dengan kondisi operasional. *Air-assisted flare* merupakan sistem yang memanfaatkan udara dari blower sebagai media bantu pencampuran dengan gas buang untuk meningkatkan kinerja suar. Sistem ini dirancang untuk mencegah terbentuknya asap, menurunkan luminositas dan radiasi termal, serta meningkatkan turbulensi agar proses pembakaran menjadi lebih sempurna [10]. Secara umum, udara bertekanan rendah diinjeksikan ke aliran gas saat keluar dari ujung suar, sehingga efisiensi pembakaran meningkat dan pembentukan asap terutama pada gas dengan kandungan hidrokarbon berat dapat dikurangi secara signifikan.

Selain itu, sistem ini memiliki fleksibilitas tinggi karena dapat beroperasi pada tekanan gas rendah hingga sedang tanpa memerlukan pasokan uap (*steam*). Meskipun awalnya lebih banyak digunakan pada flare berkapasitas kecil hingga sedang, penggunaannya kini semakin berkembang pada flare berkapasitas

besar karena efektivitasnya dalam mengendalikan emisi. Pengaturan suplai udara yang presisi juga memungkinkan penyesuaian terhadap fluktuasi laju alir dan komposisi gas, sehingga kinerja flare tetap optimal dalam berbagai kondisi operasi [11].

Steam-assisted flare adalah sistem yang menggunakan uap sebagai media bantu untuk mencampurkan udara dengan gas buang agar pembakaran menjadi lebih baik. Sistem ini efektif dalam mengurangi pembentukan jelaga dan meningkatkan kualitas pembakaran, terutama pada kondisi beban gas yang besar. Namun, penggunaannya memerlukan peralatan tambahan seperti boiler dan sistem distribusi uap, serta pengaturan suhu dan tekanan yang lebih kompleks. Hal ini menyebabkan biaya investasi dan operasional menjadi lebih tinggi, sehingga kurang cocok untuk fasilitas yang tidak memiliki pasokan uap. Untuk dapat bekerja dengan optimal, tekanan uap minimum yang dibutuhkan pada saluran masuk menuju ujung suar adalah sekitar 50 psi (3,4 bar atau 3,5 kg/cm²) [12].

Sementara itu, *pressure-assisted flare* mengandalkan tekanan gas buang untuk menghasilkan efek jet yang mampu meningkatkan pencampuran dengan udara secara alami. Sistem ini relatif sederhana karena tidak memerlukan blower maupun uap. Namun, efektivitasnya sangat bergantung pada kestabilan dan besarnya tekanan gas. Oleh karena itu, sistem ini lebih sesuai untuk kondisi operasi dengan tekanan gas yang tinggi dan stabil, serta kurang optimal pada tekanan rendah hingga sedang atau kondisi aliran yang berfluktuasi [13].

Berdasarkan analisis teknis dan kondisi operasional, *air-assisted flare* dipilih sebagai sistem yang paling sesuai untuk mencapai pembakaran bersih (*smokeless combustion*). Sistem ini tidak bergantung pada ketersediaan uap, mampu beroperasi pada tekanan gas rendah hingga sedang, serta memberikan fleksibilitas dalam pengaturan suplai udara melalui blower. Dibandingkan dengan sistem lainnya, air-assisted flare menunjukkan keunggulan dalam efisiensi pembakaran, pengendalian emisi asap, dan kesesuaian dengan infrastruktur yang tersedia. Oleh karena itu, sistem ini dipilih sebagai solusi optimal dan menjadi dasar untuk analisis lanjutan dalam perhitungan kebutuhan udara menggunakan metode flash calculation.

Flash Calculation

Perhitungan flash mengacu pada penentuan komposisi dan laju aliran fase uap dan cair yang terbentuk ketika aliran umpan mengalami penguapan sebagian pada kondisi suhu dan tekanan tertentu. Istilah '*flash*' merujuk pada fenomena di mana suatu cairan yang berada pada tekanan sama atau lebih tinggi dari tekanan titik gelembungnya akan mengalami penguapan sebagian secara cepat saat tekanan diturunkan di bawah titik gelembung tersebut, membentuk campuran dua fasa uap dan cair yang berada dalam kondisi setimbang [14].

Tabel 1. Hasil *Flash Calculation*

Komponen	Komposisi Gas Umpan	Ki	Nilai Akhir	
			L = 0,852	V = 0,148
C1	0,000000	0	0,00000	0,00000
C2	0,002708	54,51	0,00030	0,01655
C3	0,026167	18,87	0,00718	0,13546
i-C4	0,027890	8,642	0,01309	0,11310
n-C4	0,055756	6,56	0,03059	0,20064
i-C5	0,065027	2,995	0,05020	0,15036
n-C5	0,064708	2,402	0,05359	0,12872
C6	0,146168	0,9069	0,14821	0,13441
C7	0,213090	0,355	0,23558	0,08363
C8	0,201669	0,1402	0,23108	0,03240
C9	0,098402	0,0573	0,11436	0,00655
C10	0,098415	0,0239	0,11503	0,00275
Total	1,00		0,999	1,005

Sumber : *Control Room PT. XYZ*

Tabel 1 menunjukkan hasil perhitungan flash calculation terhadap komposisi gas umpan yang terdiri dari berbagai komponen hidrokarbon (C1 hingga C10). Tujuan utama perhitungan ini adalah untuk menentukan distribusi fasa, yaitu fraksi cair (L) dan fraksi uap (V), berdasarkan keseimbangan fasa antara komponen-komponen tersebut pada kondisi tertentu.

Dari hasil perhitungan, diperoleh nilai fraksi cair sebesar 0,852 dan fraksi uap sebesar 0,148. Ini berarti bahwa sekitar 85,2% dari campuran total akan berada dalam fasa cair, sementara 14,8% sisanya akan berada dalam fasa uap. Komposisi akhir masing-masing komponen dalam fasa cair dan uap diperoleh

dengan menggunakan pendekatan trial-and-error, hingga mencapai keseimbangan massa dan konvergensi total nilai fraksi (mendekati 1,000 pada nilai $L = 0,852$ dan $V = 0,148$).

Menghitung Laju Umpan dan Kebutuhan Udara

Nilai umpan dalam liquid didapatkan dari hasil perhitungan berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{Umpan dalam liquid} &= x_i \times \text{Produksi Kondensat} \\ \text{Umpan dalam liquid} &= 0,8520 \times 1322,6 \text{ lbmol} \\ \text{Umpan dalam liquid} &= 1126,87 \text{ lbmol} \end{aligned}$$

Dan nilai umpan dalam vapor didapatkan dari hasil perhitungan berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{Umpan dalam gas} &= y_i \times \text{Produksi Kondensat} \\ \text{Umpan dalam gas} &= 0,1480 \times 1322,6 \text{ lbmol} \\ \text{Umpan dalam gas} &= 195,77 \text{ lbmol} \end{aligned}$$

Setelah diperoleh jumlah total umpan dalam bentuk gas dari hasil flash calculation, langkah selanjutnya adalah menghitung molar flow masing-masing komponen yang terdapat dalam fasa uap. Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui kontribusi setiap komponen terhadap total laju alir gas yang akan dibakar dalam sistem flare. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Molar Flow} = y_i \times \text{Umpan uap}$$

Tabel 2. Kebutuhan Udara Teoritis

Komponen	Stoikiometri Kebutuhan Udara	Kebutuhan Udara (lbmol)
Methane (C1)	9,5	0
Ethane (C2)	16,7	54,1018
Propane (C3)	23,8	631,1775
i-Butane (i-C4)	31	686,3791
n-Butane (n-C3)	31	1217,6680
i-Pentane (i-C5)	38,1	1121,4975
n-Pentane (n-C5)	38,1	960,0911
Hexane (C6)	45,2	1189,3954
Heptane (C7)	52,4	857,9252
Octane (C8)	59,5	377,3729
Nonane (C9)	66,7	85,5658
Decane (C10)	73,8	39,7222
Total		7220,8971

Pada perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan nilai kebutuhan udara sebesar 7220,897 lbmol. Ini menunjukkan bahwa untuk membakar total gas hasil *flash calculation* dalam kondisi sempurna dibutuhkan suplai udara dengan jumlah sebesar itu. Berdasarkan hasil perhitungan kebutuhan udara, didapatkan bahwa kebutuhan udara teoritis untuk membakar seluruh gas adalah sebesar 7220,8971 lbmole. Untuk memastikan proses pembakaran berlangsung sempurna, maka ditambahkan *excess air* sebesar 20% [15], sehingga kebutuhan udara aktual menjadi 8665,0765 lbmole. Dengan waktu proses kondensat selama 6 jam, diperoleh laju kebutuhan udara sebesar 1444,1794 lbmole/hr.

Selanjutnya, menggunakan konstanta gas ideal sebesar 379,3 SCF/lbmole, laju alir udara dikonversikan menjadi 547.777,26 SCF/h atau ekuivalen dengan 9129,62 SCF/m. Nilai ini merupakan kapasitas blower yang dibutuhkan untuk memenuhi suplai udara ke sistem flare sehingga mampu mencapai kondisi smokeless flare.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem *air-assisted flare* merupakan pilihan yang paling sesuai untuk mendukung pembakaran gas buang secara efisien, dengan memanfaatkan blower sebagai sumber suplai udara guna meningkatkan pencampuran antara gas dan oksigen. Hasil *flash calculation* menunjukkan bahwa fraksi uap kondensat sebesar 0,148 dari total produksi 1322,6 lbmol, sehingga jumlah gas yang dialirkan ke sistem flare adalah sebesar 195,77 lbmol. Kebutuhan udara teoritis untuk mencapai pembakaran sempurna diperoleh sebesar 7220,90 lbmol dan

meningkat menjadi 8665,08 lbmol setelah penambahan *excess air* sebesar 20%. Dalam satuan volumetrik, kebutuhan udara tersebut setara dengan 9129,62 SCF/menit. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, diperlukan blower dengan daya sebesar 13,75 kW atau sekitar 18,45 HP. Dengan demikian, penerapan sistem *air-assisted flare* dengan kapasitas blower yang sesuai mampu meningkatkan efisiensi pembakaran serta mengurangi potensi pembentukan asap, sehingga mendukung pengendalian emisi gas buang secara lebih optimal.

6. Referensi

- [1] A. R. Rani Avidesta, D. Eka Sasputri, M. Rafiudin Safikri, and A. Yenica Nandavita, "Analisis Dampak Industri Terhadap Polusi Udara (Studi Kasus Industri Minyak Dan Gas Bumi Di Kabupaten Tanggamus Lampung)," *Borjuis J. Econ.*, vol. 3, no. 1, pp. 12–23, 2025.
- [2] S. Sulardi and M. S. Nur Anugrah, "Pemanfaatan Gas Flaring Menjadi Produk Bahan Bakar Gas," *J. Ind. Eng. Oper. Manag.*, vol. 8, no. 2, pp. 108–115, 2025, doi: 10.31602/jieom.v8i2.19081.
- [3] M. Rizki and S. Y. Agnesty, "Pengamatan Operasi Flaring System di Unit Central Processing Area DI PT . XYZ," *Pros. Semin. Nas. Teknol. Energi dan Miner.*, vol. 4, no. November, pp. 687–696, 2024.
- [4] A. Ahsan, H. Ahsan, J. S. Olfert, and L. W. Kostiuk, "Quantifying the carbon conversion efficiency and emission indices of a lab-scale natural gas flare with internal coflows of air or steam," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 103, no. October 2018, pp. 133–142, 2019, doi: 10.1016/j.expthermflusci.2019.01.013.
- [5] E. Eman A., "Environmental Pollution and Measurement of Gas Flaring," *Int. J. Sci. Res. Sci. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 2394–4099, 2016.
- [6] A. G. Haji, Z. A. Masúd, B. W. Lay, S. H. Sutjahyo, and G. Pari, "Karakterisasi asap cair hasil pirolisis sampah organik padat," *J. Teknol. Ind. Pertan.*, vol. 16, no. 3, pp. 1–8, 2006.
- [7] D. Perdana, E. Gunawan, and B. Ps, "Perilaku Dan Kestabilan Nyala Api Pada Pembakaran Premixed Minyak Biji Kapas Terhadap Variasi Air Fuel Ratio," *Pros. NasionalRekayasa Teknol. Ind. dan Inf. XIIITahun 2018*, vol. 2018, no. November, pp. 239–246, 2018.
- [8] E. Dhaniswara, E. L. Talakua, H. Amrulloh, and Tamaji, "Rancang bangun mesin pembakaran sampah otomatis berbasis arduino sebagai kontrol," *J. Tek. Elektro dan Inform.*, vol. 20, no. November, pp. 28–40, 2025.
- [9] H. Gai *et al.*, "Clean combustion and flare minimization to reduce emissions from process industry," *Curr. Opin. Green Sustain. Chem.*, vol. 23, pp. 38–45, 2020, doi: 10.1016/j.cogsc.2020.04.006.
- [10] S. Sánchez, D. Santalices, J. Belmar, N. Verastegui, S. Briz, and J. Meléndez, "Measurement of unburned methane in air-assisted flares using FTIR absorption spectroscopy on extracted gases," *Fuel*, vol. 410, no. November, p. 137884, 2026, doi: 10.1016/j.fuel.2025.137884.
- [11] M. Papas, S. Smith, D. Zink, and N. Palfreeman, "Principals of flaring combustion and ways to minimize emissions and smoke design and case study of a new air injection system for upgrading exisiting flares into smokeless flaring," *Soc. Pet. Eng. - SPE Asia Pacific Oil Gas Conf. Exhib. 2010, APOGCE 2010*, vol. 3, pp. 1689–1713, 2010, doi: 10.2118/134067-ms.
- [12] L. K. W. W.-Y. Chen, "Flare System," in *Flare System Process Design Manual*, 2012, p. 27.
- [13] M. Keynes, "Flare System Design for Oil and Gas Installations," *Inst. Chem. Eng.*, no. October, 2020, [Online]. Available: <https://www.icheme.org/media/14673/flare-system-design-for-oil-and-gas-installations-chris-park.pdf>
- [14] Harmiyanto and Lilis., "Menentukan Suhu Minimal pada Condensor dan Reboiler dengan Menggunakan Kesetimbangan," *Swara Patra Maj. Ilm. PPSDM Migas*, vol. 02, 2012.
- [15] H. Sutarto, T. G. Nurrohim, and A. X. Ilyas, "Pembakaran Bersama Biomassa dan Batu Bara : Pengaruh Rasio Biomassa-Batu Bara dan Excess Air," *Mek. Maj. Ilm. Mek.*, vol. 19, no. February, pp. 29–34, 2020.