

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sistem energi saat ini secara bertahap berkembang untuk menyesuaikan energi memenuhi tantangan masyarakat yang semakin meningkat. Urbanisasi yang tidak terkendali, perubahan struktur sosial, pasar energi baru dan kondisi persaingan telah mengubah faktor kunci sukses untuk pengenerasian listrik (Halim dan Naa, 2019). Selain itu, minat pada energi yang lebih bersih, fleksibel dan lebih murah, sumber mempengaruhi aktivitas sisi penawaran dan permintaan, membutuhkan teknologi baru dan proses pengambilan keputusan untuk menghadapinya tantangan (Liu et al., 2021).

Dampak lingkungan dari penggunaan energi telah menyebabkan perhatian pada solusi berkelanjutan untuk masalah penting generasi kita seperti kemiskinan energi dan pemanasan global (Bonneuil et al., 2021). Masalah lingkungan telah menawarkan tantangan baru bagi sektor produksi energi, dimulai dari kebutuhan meningkatkan efisiensi sistem termodinamika untuk menghemat konsumsi bahan bakar (Saeed Meo dan Karim, 2022). Suhu rata-rata pemanasan global pada permukaan bumi saat ini telah meningkat $0.74 \pm 0.18^{\circ}\text{C}$, peningkatan ini karena adanya proses peningkatan suhu rata-rata atmosfer, laut dan daratan bumi. Emisi yang paling berpengaruh pada kualitas udara adalah emisi karbon, terutama emisi karbondioksida (CO_2) (Raymond dan Andriyash, 2016). Gas CO_2 memberikan kontribusi terbesar dalam pemanasan global yaitu 50%. Gas CO_2 ini menyerap dan memantulkan kembali radiasi gelombang yang dipancarkan bumi, sehingga panas tersebut akan tersimpan pada permukaan bumi (Frolicher dan Sarmiento, 2014).

Diagram penilaian global dan sektoral serta contoh risiko utama regional menunjukkan perubahan tingkat dampak dan risiko yang dinilai untuk pemanasan global sebesar $0\text{--}5^{\circ}\text{C}$ yang merupakan perubahan suhu permukaan relatif periode pra-industri (1850-1900). Perubahan relatif tahun 1850–1900 berdasarkan rata-rata 20 tahun periode dihitung dengan menambahkan 0.85°C (peningkatan suhu permukaan global yang diamati dari 1850–1900 ke 1995–2014) untuk simulasi

perubahan relatif terhadap 1995–2014 (Song et al., 2022). Oleh karena itu diperlukan upaya untuk mengurangi emisi CO₂ dan gas rumah kaca lainnya untuk melawan perubahan iklim lebih lanjut yang bersumber dari penggunaan bahan bakar fosil yang masih belum efisien dan pemanfaatan panas dari proses pembakaran bahan bakar tersebut (Van, 2021). Serta pengurangan pembakaran gas suar yang komposisinya didominasi oleh metana (80% dari total komposisi), diikuti oleh propana, butana, etana, dan sejumlah kecil hidrokarbon lainnya, gas inert, H₂S, SO₂ dan senyawa belerang lainnya (Shahab-Deljoo et al., 2023).

Gas suar dibakar di industri minyak dan gas dengan beberapa alasan. Pertama, gas suar biasanya tidak menarik secara ekonomi, sehingga investor tidak mau membangun fasilitas produksi karena hanya menghasilkan pendapatan kecil. Kedua, pembakaran gas suar dilakukan untuk pelepasan tekanan darurat untuk mencegah risiko ledakan hanya dari pelepasan gas reaktif dalam jumlah besar. Ketiga, melepaskan kelebihan gas langsung ke udara terbuka lebih berbahaya bagi lingkungan (Davoudi et al., 2013). Hal ini karena metana, zat utama dalam gas hidrokarbon, lebih berbahaya dibandingkan jika gas tersebut diubah menjadi karbon dioksida (CO₂). Secara khusus, metana memiliki potensi pemanasan global sekitar 25 kali lebih besar daripada CO₂ secara massal.

Produk gas suar bakar terdiri dari air dan CO₂ dengan pembakaran senyawa organik volatil yang biasanya lebih besar dari 98%, dan masuk akal mengapa pembakaran gas suar lebih aman dari sudut pandang toksisitas. Namun, pemanfaatan gas suar menjadi salah satu masalah yang paling menantang di sektor energi dan lingkungan. Konsekuensi lingkungan yang terkait dengan pembakaran gas suar memiliki dampak yang cukup besar pada penduduk setempat, yang seringkali mengakibatkan masalah kesehatan yang parah. Selain itu, terjadinya emisi CO₂ dari pembakaran gas suar memiliki potensi pemanasan global yang tinggi dan berkontribusi terhadap perubahan iklim. Oleh karena itu, beberapa penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan gas suar akan mengurangi masalah emisi. Pemanfaatan suar gas juga akan mengamankan pasokan gas bumi nasional untuk mendukung transisi energi saat ini dari bahan bakar berbasis fosil ke bahan bakar rendah karbon dan selanjutnya terhindar dari kelangkaan gas bumi. Iran

adalah salah satu negara dengan tingkat gas flaring tertinggi didunia, terutama diindustri minyak dan gas (Shahab-Deljoo et al., 2023).

Indonesia adalah salah satu dari 30 negara penyumbang gas terbesar. Satuan Kerja Khusus Pelaksana Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi (SKK Migas) mengindikasikan potensi produksi gas suar di Indonesia mencapai 19.369 MMSCFD pada tahun 2018. Pemerintah Indonesia juga telah mendorong pemanfaatan gas suar untuk meminimalkan emisi karbon ke udara dari industri bisnis minyak dan gas. Misi ini sejalan dengan program Bank Dunia “*Zero Routine Flaring by 2030*” (KESDM, 2021). Pemanfaatan gas suar juga didukung oleh Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) No. 32 Tahun 2017 dapat dilihat pada Gambar 1.1 (KESDM, 2017). Secara khusus, peraturan tersebut menunjukkan bahwa gas suar dapat dimanfaatkan sebagai gas alam cair (*LNG*), gas alam terkompresi (*CNG*) dan *dimetil eter (DME)*. *LNG* menguntungkan dibandingkan yang lain karena kapasitas penyimpanannya yang lebih kecil dan jarak tempuh yang lebih pendek. Artinya, *LNG* lebih mudah disimpan dan diangkut di negara kepulauan seperti Indonesia (Putriastuti et al., 2021).

Pembakaran di suar diperlukan *assist gas* yang biasanya digunakan adalah gas alam (*natural gas*). Sehingga dengan adanya optimasi gas suar maka akan diperoleh efisiensi pemakaian *assist gas* serta meningkatkan gas jual (*sales gas*). Pada sistem suar *LP (low pressure)*, kontrol untuk *flow assist gas* yaitu jika gas yang menuju suar adalah sebesar 0.3-3MMSCFD maka 0% pembukaan. Dan jika *flowrate* lebih dari 3 MMSCFD atau terjadi kegagalan operasi maka *assist gas* yang akan terpakai adalah sebanyak 27 MMSCFD (International, 2021). Teknologi *flare tip* dengan BTU rendah saat ini memerlukan gas suar dengan nilai pemanasan yang lebih rendah (LHV) sekitar 200 BTU/scf, sementara kemajuan signifikan dalam teknologi membran penghilang CO₂ telah menghasilkan gas limbah dengan BTU yang sangat rendah yang memiliki LHV sekitar 140 BTU/scf (Abdollahi et al., 2017).

Suar dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu *flow relief gas*, *flow assist gas*, nilai kalor dan *ratio mix gas*. Hal ini sangat berkaitan dengan efisiensi pembakaran, pengendalian emisi serta keselamatan operasional dari suatu pabrik.

Flow relief gas adalah sejumlah gas yang dilepaskan melalui suar untuk dibakar sebagai bagian dari sistem keselamatan atau kontrol proses yang biasanya berasal dari gas-gas bertekanan tinggi yang sengaja dilepaskan untuk menghindari tekanan berlebih pada sistem. Jika aliran gas terlalu besar mungkin pembakaran yang terjadi tidak sempurna dan menyebabkan gas emisi yang lebih tinggi. Jenis gas yang dilepaskan (seperti hidrokarbon ringan, CO₂, H₂S dan lain sebagainya) juga akan mempengaruhi kualitas pembakaran dan hasil emisi (NO_x, SO_x).

Flow assist gas digunakan untuk membantu proses pembakaran pada suar, biasanya berupa tambahan udara atau gas pembantu seperti gas alam atau biasanya dianggap sebagai *fuel gas*. *Assist gas* ini membantu *relief gas* terbakar sepenuhnya sehingga mengurangi emisi gas yang tidak terbakar seperti CO dan hidrokarbon tak jenuh. Dan juga meningkatkan suhu api dan stabilitas api suar bisa terjaga sehingga dapat memperbaiki tingkat pembakaran dan mengurangi jumlah emisi produk samping yang tidak diinginkan.

Proses pembakaran akan terdapat nilai kalor yang mengacu pada jumlah energi yang dihasilkan dari pembakaran *relief gas* dan *assist gas*. Yang tentu saja nilainya bergantung dari komposisi pada gas campuran keduanya. Semakin tinggi nilai kalor gas, semakin besar nilai energi yang dihasilkan dari pembakaran, sehingga menghasilkan suhu dan pembakaran yang lebih sempurna. Gas yang memiliki nilai kalor rendah mungkin memerlukan tambahan *assist gas* untuk memastikan proses pembakaran memadai. Sebaliknya jika nilai kalor rendah, gas tidak terbakar dengan baik, sehingga meningkatkan emisi. *Ratio* antara *relief gas* dengan *assist gas* yang tidak tepat akan meningkatkan juga emisi gas berbahaya dan gas rumah kaca.

Efisiensi pembakaran akan sangat dipengaruhi oleh *flow relief*, *flow assist gas*, nilai kalor dan *ratio mix gas* dalam suar. Kombinasi yang tepat akan mencapai pembakaran sempurna yang menghasilkan lebih sedikit emisi gas berbahaya. Pengaturan yang salah juga pada salah satu faktor tersebut dapat menyebabkan ketidak stabilan dalam pembakaran, berpotensi menyebabkan ledakan, pemadaman suar atau pembakaran yang tidak aman. Jadi secara keseluruhan keempat faktor

tersebut saling berhubungan untuk menjaga stabilitas pembakaran dalam suar, memaksimalkan efisiensi energi dan meminimalkan emisi gas berbahaya.

Optimasi pembakaran di suar agar gas yang tidak diinginkan selama beroperasi dapat terbakar sempurna juga perlu diperhatikan, jika tidak maka akan menyebabkan masalah lingkungan dan kesehatan secara signifikan. Helen H. Lou beserta rekan-rekannya melakukan penelitian untuk pendekatan pembakaran tanpa asap dengan efisiensi pembakaran dan efisiensi penghancuran dan penghilangan pada semua jenis suar di kilang (Lou et al., 2022).

Sistem pengoperasian suar yang dapat menimbulkan masalah besar (*burnback* dan ledakan di cerobong) dapat dicegah dengan cara melengkapi suar dengan sistem pembersihan dengan gas bebas oksigen (*oxygen-free gas*). Gas mencegah udara masuk ke tumpukan suar dan membentuk campuran yang mudah terbakar di tumpukan. *Velocity seal* digunakan untuk mengurangi konsumsi gas pembersih. Parameter operasi yang paling penting dari *velocity seal* adalah laju aliran gas pembersih. Tingkat pembersihan yang terlalu tinggi menyebabkan peningkatan biaya operasi sedangkan tingkat pembersihan yang terlalu rendah dapat menyebabkan *burnback* dan ledakan di tumpukan. Pada bulan April 2008, sebuah ledakan terjadi pada sistem suar di sebuah kilang di China pada *emergency relief* yang melibatkan unit *hydrotreating*. Alasannya adalah tingkat pembersihan yang rendah (Bai et al., 2014).

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan beberapa masalah yang akan diteliti lebih lanjut sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh laju alir *relief gas* terhadap laju alir *assist gas*, kalor *mix gas*, gas buang dan *ratio flow mix gas*?
2. Bagaimana pengaruh konsentrasi CO_2 pada *relief gas* terhadap kalor *mix gas*, gas buang dan *ratio flow mix gas*?
3. Bagaimana pengaruh konsentrasi H_2S pada *relief gas* terhadap kalor *mix gas*, gas buang dan *ratio flow mix gas*?

4. Bagaimana pengaruh *ratio flow mix gas* terhadap LHV *mix gas* dan konsentrasi gas buang?
5. Bagaimana pemantauan gas buang pada lokasi sekitar?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh laju alir *relief gas* terhadap laju alir *assist gas*, kalor *mix gas*, gas buang dan *ratio flow mix gas*.
2. Mengetahui pengaruh konsentrasi CO₂ pada *relief gas* terhadap kalor *mix gas*, gas buang dan *ratio flow mix gas*.
3. Mengetahui pengaruh konsentrasi H₂S pada *relief gas* terhadap kalor *mix gas*, gas buang dan *ratio flow mix gas*.
4. Mengetahui pengaruh *ratio flow mix gas* terhadap LHV *mix gas* dan konsentrasi gas buang.
5. Mengetahui pemantauan gas buang pada lokasi sekitar.

1.4. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk kalangan akademis, profesional, masyarakat umum, maupun pembuat kewajiban, di antaranya:

1. Bagi kalangan akademis, penelitian ini diharapkan dapat memperkaya pengetahuan mengenai cara menghitung analisa energi pada sistem suar.
2. Rujukan untuk menghitung analisa energi pada sistem suar dari perusahaan serupa di Indonesia beserta konsentrasi gas buang.
3. Bagi masyarakat umum, diharapkan dapat memberikan wawasan terkait dengan proses pengurangan gas bakar secara umum serta kontribusinya dalam reduksi pemanasan global.
4. Bagi pembuat kebijakan, dalam hal ini Pemerintah, dari hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam penyusunan maupun perubahan regulasi guna mendukung pengembangan EBT dan reduksi gas rumah kaca.

1.5. Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah dilakukan untuk menghindari pelebaran pokok bahasan yang telah ditentukan, sehingga penelitian yang dilakukan lebih fokus pada tujuan dan manfaatnya. Beberapa batasan masalah yang diterapkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian akan dilakukan pada salah satu Gas *Onshore* yang terletak di Provinsi Jawa Timur, yang saat ini telah beroperasi dengan kapasitas 50% dari desain.
2. Analisis nilai neraca energi dan gas buang menggunakan peralatan *Online* dan *Offline* di *plant* tersebut menggunakan *Gas Chromatography* (GC).
3. Nilai LHV yang dihasilkan dari suar sekitar 300 BTU/scf dan komposisi gas buang sesuai dengan peraturan yang ada.

1.6 Originalitas Penelitian

Penelitian yang berkaitan dengan gas suar saat ini masih terbatas dan belum banyak dilakukan. Adapun jurnal dan penelitian yang berkaitan dengan sistem suar (*flare system*) baik di Indonesia maupun diluar negeri. Pada jurnal *A feasibility study of flare gas utilization through a small-scale LNG development in South Sumatra, Indonesia* (Putriastuti et al., 2021), menilai kelayakan ekonomi pengembangan *Small-Scale LNG* (SSLNG) dari gas suar di Sumatera Selatan dengan meninjau menggunakan indikator keuangan seperti *internal rate of return* (IRR), *net present value* (NPV), dan *payback period* (PP). Dan jurnal *A Novel Zone-Based Machine Learning Approach for the Prediction of the Performance of Industrial Suars* (Lou et al., 2022), mengembangkan pendekatan *machine learning* berbasis zona untuk memprediksi efisiensi pembakaran dan *Opacity* dari suar industri. Dengan menggunakan algoritma *Random Forest* (RF) dan *CatBoost* untuk memprediksi *Combustion Efficiency* (CE) dan *Opacity* berdasarkan rasio atom karbon dan hidrogen (CHR). Kemudian pada jurnal *Determination of the Minimum Safe Purge Gas Flow Rate in Suar Systems with a Velocity Seal* (Bai et al., 2014), berfokus pada menghitung laju alir gas pembersih minimum yang aman untuk mencegah *burnback* dan ledakan di sistem suar, dengan menggunakan metode

dinamika fluida komputasional (CFD) dengan *velocity seal*. Sedangkan keberharuan pada penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh laju alir, konsentrasi CO₂ dan H₂S *relief gas* terhadap laju alir *assist gas*, kalor *mix gas*, gas buang dan *ratio flow mix gas*, serta pengaruh *ratio flow mix gas* terhadap LHV *mix gas* dan konsentrasi gas buang. Dan juga hasil pemantauan gas buang di *LP Flare System* pada lokasi sekitar pada fasilitas Gas *OnShore* di Jawa Timur. Dengan perhitungan matematis sesuai dengan stokiometri dan termodinamika. Ringkasan detail hasil dan gap analisis dapat dilihat pada Tabel 1.1 sebagai berikut:

Tabel 1.1. Ringkasan Penelitian Terdahulu

No	Penelitian Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	GAP Analisis
1	Putriastuti, et. al. 2020	<i>A feasibility study of flare gas utilization through a small-scale LNG development in South Sumatra, Indonesia</i> (Putriastuti et al., 2021).	• Internal Rate of Return (IRR) sebesar 7%, • Net Present Value (NPV) proyek dinyatakan positif sebesar USD 800.686, tetapi tidak cukup untuk menjamin kelayakan ekonomi. • Rata-rata produksi gas suar harus lebih dari 1,97 MMSCFD untuk mencapai IRR yang diinginkan sebesar 10%.	• Dilakukan pada gas Suar di Sumatra Selatan bukan di Gas <i>Onshore</i> di Jawa Timur. • Hanya mengukur secara finansial/keuangan saja, tidak menghitung pengaruh dari <i>flow</i>, komposisi dan LHV dari <i>relief gas</i>, <i>assist gas</i> dan konsentrasi gas buang di suarnya.

			Untuk mencapai IRR 14%, produksi harus mencapai 2,15 MMSCFD. • Harga jual LNG harus mencapai USD 8/MMBTU agar IRR mencapai 14%, tetapi ini menurunkan daya saing harga di pasar domestik, tapi CAPEX perlu diturunkan sebesar 40%. • Proyek dianggap layak secara ekonomi jika harga jual LNG minimal USD 6/MMBTU, CAPEX diturunkan menjadi sekitar USD 6,13 juta, dan harga gas jual di bawah USD 0,5/MMBTU	
--	--	--	--	--

2	Lou, et al., 2022	<i>A Novel Zone-Based Machine Learning Approach for the Prediction of the Performance of Industrial Suars</i> (Lou et al., 2022).	• Dengan <i>Machine Learning</i>, Efisiensi Pembakaran (CE) Model berbasis zona memberikan akurasi prediksi yang lebih tinggi hingga 96,5% dibandingkan dengan model one-piece tradisional. • Prediksi opasitas dengan ML menunjukkan akurasi yang cukup tinggi dalam memprediksi <i>opacity</i>. • <i>Random Forest</i> (RF) dan <i>Catboost</i> digunakan untuk membangun model prediksi kinerja suar dan Opasitas, dengan hasil prediksi yang sangat akurat	• Fokus pada efisiensi pembakaran dan nilai <i>opacity</i> di suar dengan menggunakan <i>Machine Learning</i>, <i>Random Forest</i> (RF) dan <i>Catboost</i> • Tidak memperhitungkan konsentrasi gas buang di suar.
---	-------------------	---	--	--

			dengan nilai R^2 lebih dari 0.99.	
3	Bai, et al. 2014	<i>Determination of the Minimum Safe Purge Gas Flow Rate in Suar Systems with a Velocity Seal</i> (Bai et al., 2014).	• Penelitian menggunakan simulasi CFD (<i>Computational Fluid Dynamics</i>) dan analisis Oksigen pada proses pembersihan sistem suar. • Laju pembersihan aman minimum bawah 6 vol.% untuk gas hidrokarbon adalah 0,05 m/s. Untuk gas yang mengandung hidrogen sebesar 0,1 m/s. • Pengaruh ukuran <i>baffle</i>, ketika rasio $d1/D$ (diameter <i>baffle/seal</i>) adalah 0,92, laju pembersihan 0,012 m/s tidak cukup untuk	1. Hanya fokus pada besaran bukaan <i>baffle</i>, laju pembersihan dan kandungan oksigen di suar bukan pada <i>flow</i> dan <i>pressure assist gas</i> serta peninjauan kalor <i>mix gas</i> di suar. 2. Tidak memperhitungkan konsentrasi gas buang di suar.

			menjaga konsentrasi oksigen di bawah batas aman (6 vol%). Untuk mencapai laju pembersihan yang aman, baffle harus dirancang dengan rasio $d1/D = 0,75$.	
--	--	--	--	--



