

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Energi merupakan salah satu faktor penting pencapaian pembangunan berkelanjutan (Khan et al., 2020). Sumber energi dunia sudah mengalami beberapa kali perubahan, dari yang awalnya mayoritas menggunakan biomassa seperti kayu bakar untuk memenuhi kebutuhan energinya, berubah menjadi fosil seperti batu bara yang dipicu revolusi industri pada tahun 1900-an. Seiring dengan perkembangan teknologi pada sektor pengguna, sumber energi migas mulai mendominasi dalam 5 dekade terakhir (Pertamina, 2020). Penggunaan sumber energi migas pada satu sisi mempunyai peran penting, namun disisi lain menimbulkan dampak terhadap lingkungan, satu diantaranya yaitu pembakaran gas pada menara suar bakar atau yang disebut *gas flaring*.

Flare merupakan sistem penting dalam produksi minyak dan gas bumi. *Gas flaring* atau pembakaran gas didefinisikan sebagai pembakaran gas terkontrol yang tidak dapat diproses untuk dijual atau digunakan karena alasan teknis maupun ekonomis (Eshaghi & Hamrang, 2021). *Gas flaring* melepaskan sejumlah besar bahan beracun ke lingkungan, seperti karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), gas asam seperti H₂S dan SO₂, serta nitrogen oksida (NO_x), yang menyebabkan berbagai masalah lingkungan seperti pemanasan global dan hujan asam (Xu et al., 2020). Berdasarkan laporan dari World Bank yang dirilis pada April 2021, secara global volume gas yang dibakar pada menara suar bakar pada tahun 2020 adalah sebesar 142 BCM atau setara dengan total konsumsi gas di Amerika selatan dan tengah. Dengan kata lain jika gas ini dikonversi menjadi energi listrik, dapat menghasilkan 750 miliar kWh atau yang besarnya hampir sama dengan konsumsi tahunan pada benua Afrika (World Bank, 2021).

Mengingat dampak yang ditimbulkan, berbagai negara dan industri telah berkomitmen untuk “*zero routine flaring*” pada tahun 2030. Ada beberapa teknologi yang bisa digunakan untuk memulihkan gas suar bakar, yang paling umum yaitu menggunakan kompresor. Gas suar yang memiliki tekanan rendah

dinaikkan tekanannya menggunakan kompresor, kemudian gas tersebut melewati beberapa proses berikutnya sebelum dimanfaatkan, seperti untuk bahan bakar, injeksi kedalam sumur minyak (*gas lift*), maupun untuk dijual (Eshaghi & Hamrang, 2021). Berbagai penelitian sudah dilakukan untuk memulihkan pembakaran gas suar menggunakan kompresor. Comodi et al. (2016) melakukan penelitian pemanfaatan kembali gas suar bakar pada sebuah sistem pengolahan minyak (*oil refinery*) menggunakan *liquid ring compressor* (LRC). Hasilnya menunjukkan LRC dengan laju aliran massa 400 kg/s adalah yang paling tepat untuk diaplikasikan, dengan estimasi total energi yang dapat dipulihkan per tahun sebesar 2900 TOE dan *payback period* sekitar 2,5 tahun. Evbuomwan et al. (2018) melakukan simulasi dan analisis pemulihan gas suar bakar yang mengandung senyawa asam menggunakan *liquid ring* dan *reciprocating compressor*. Hasilnya, LRC memiliki kinerja yang lebih baik dengan *payback period* 4 tahun 4 bulan.

Penggunaan kompresor untuk memulihkan gas suar bakar yang memiliki tekanan rendah terbukti efektif, akan tetapi dibutuhkan biaya yang mahal. Oleh karena itu dalam beberapa penelitian telah mengusulkan mengganti kompresor dengan sistem ejector. Ejector memiliki beberapa keuntungan seperti bentuknya yang sederhana, tidak ada bagian yang bergerak, kemampuan untuk beroperasi dengan gas basah dan korosif, biaya investasi dan perawatan yang rendah, pemasangan cepat serta memiliki umur operasi yang panjang (Aidoun et al., 2019). Leagas et al. (2016), menyajikan hasil studi terkait dengan dua project ejector yang sudah dilakukan. Salah satunya berlokasi di lepas pantai (*offshore*) dengan menggunakan ejector bermotive gas. Karena rasio kompresi yang dibutuhkan tinggi maka dipilih ejector *multi stage* atau bertingkat. Namun, dalam studi ini tidak menganalisis dampak teknis dan ekonomi dari ejector bertingkat pada proses pemulihan gas suar bakar tersebut.

Pada setiap lokasi fasilitas produksi minyak dan gas, memiliki karakteristik gas suar bakar yang berbeda. Perbedaan karakteristik tersebut akan sangat mempengaruhi sistem ejector yang digunakan. Dalam penelitian ini, eksplorasi dan evaluasi potensi pemulihan energi dari gas suar bakar dilakukan pada fasilitas produksi minyak dan gas lepas pantai. Penelitian difokuskan pada

aspek teknis dan ekonomi dari sistem ejector pada fasilitas produksi tersebut. Hasil dari penelitian diharapkan dapat diaplikasikan dan menjadi referensi pada lokasi lain, sehingga akan tercapai *zero routine flaring* tahun 2030.

I.2. Rumusan Masalah

Gas flaring menjadi isu besar saat ini karena dunia sedang menghadapi isu pemanasan global dari meningkatnya karbon dioksida (CO₂) dan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer (World Bank, 2021). Oleh karena itu berbagai perusahaan migas terkemuka dunia bergerak menuju pengurangan emisi CO₂ dengan meminimalkan pembakaran gas pada fasilitas produksinya. Studi kasus yang dipilih merupakan pembakaran gas suar bakar pada anjungan XYZ yang merupakan fasilitas produksi minyak dan gas yang berada di laut utara pulau Jawa. Total gas yang dibakar pada anjungan tersebut rata-rata perharinya adalah sekitar 500 MSCF atau 182 MMSCF per tahun (XYZ, 2021). Hal ini dianggap sebagai kerugian besar karena energi yang belum dimanfaatkan tersebut dapat digunakan untuk *supply gas lift* maupun sebagai bahan bakar *gas turbine*. Penelitian ini mencoba menganalisis peluang pemulihan energi menggunakan sistem ejector pada gas suar bakar anjungan tersebut.

I.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa sistem ejector yang tepat untuk diaplikasikan secara teknis menggunakan pemodelan dan simulasi *computational fluid dynamics* (CFD) dan Aspen Hysys.
2. Mengetahui besarnya energi yang dapat dipulihkan dan pengurangan emisi CO₂ dari gas suar bakar.
3. Menganalisa secara ekonomi kelayakan sistem ejector untuk pemulihan energi dari gas suar bakar.

I.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk mengurangi emisi CO₂, meningkatkan efisiensi pada fasilitas produksi minyak dan gas bumi anjungan XYZ serta dapat menjadi referensi dalam pemulihan energi dari gas suar bakar dilokasi lain sehingga *zero routine flaring* 2030 akan tercapai.

I.5. Orisinalitas Penelitian

Penelitian tentang pemulihan energi dari gas suar bakar atau *gas flare recovery* telah dilakukan di berbagai negara. Ringkasan penelitian sebelumnya terkait hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Ringkasan penelitian terdahulu

No	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
1	Javad Asadi, Esmail Yazdani, Yasaman Hosseinzadeh Dehaghani, Pejman Kazempoor (2021).	Technical evaluation and optimization of a flare gas recovery system for improving energy efficiency and reducing emissions.	Dalam pemulihan gas suar bakar digunakan teknologi <i>liquid ring compressor</i> (LRC) yang disimulasikan dengan perangkat lunak <i>Aspen HYSYS</i> dan <i>MATLAB</i> . Hasilnya menunjukkan dari total volume gas suar bakar pada kilang atau <i>refinery plant</i> sebesar 0.5 MMSCFD, dimungkinkan untuk memulihkan 87% dari nilai kalor yang tersedia. Selain itu, aspek lingkungan <i>refinery plant</i> akan sangat meningkat dengan mencegah pelepasan setara 28 mtCO ₂ per hari ke atmosfer.	<ul style="list-style-type: none"> Obyek penelitian pada fasilitas kilang pengolahan atau <i>refinery plant</i> bukan pada fasilitas produksi hulu. Teknologi yang digunakan untuk memulihkan gas suar bakar adalah <i>liquid ring compressor</i> (LRC). Karakter gas yang diteliti adalah gas asam (<i>sour gas</i>) atau kandungan H₂S tinggi.
2.	Zeinab Hamidzadeh, Sourena Sattari, Mohammad Soltanieh, Ali Vatani (2020).	Development of a multi-objective decision-making model to recover flare gases in a multi flare gases zone	Untuk memulihkan gas suar bakar, beberapa teknologi yang tersedia dimodelkan dan dianalisis (seperti NGL, injeksi di pipa, LNG, GTL, NGH dan CNG plant, EOR, produksi listrik dengan pembangkit listrik termal, dan <i>water generation</i> dengan teknologi MED). Dengan pemodelan teknis, ekonomi dan lingkungan dari masing - masing teknologi pemulihan gas suar bakar dalam perangkat lunak <i>MATLAB</i> , hasil akhir menunjukkan	<ul style="list-style-type: none"> Obyek penelitian pada fasilitas produksi di darat (onshore). Gas suar bakar yang dipulihkan terlebih dahulu melewati proses NGL <i>refinery</i>. Produksi sumur minyak menggunakan metode <i>oil enhanced recovery</i> (EOR).

			<p>bahwa gas dari NGL plant (100% gas suar bakar) dipulihkan untuk EOR 70%, turbin gas 4% dan pembangkit listrik siklus gabungan 26%. Biaya investasi untuk penerapan metodologi yang diusulkan sebesar 410,8 juta USD dengan <i>pay back period</i> selama 1,08 tahun.</p>	
3.	Amirhossein Khalili-Garakani, Mona Iravaninia, Mahya Nezhadfar (2021).	A review on the potentials of flare gas recovery applications in Iran.	<p>Berbagai teknologi dianalisis dalam upaya pemulihan potensi gas suar bakar di Iran. <i>Liquid seal compressor</i> dan ejector digunakan untuk memulihkan gas sebelum diproses lebih lanjut pada proses berikutnya. Hasilnya menunjukkan bahwa pembangkit listrik menjadi pilihan yang tepat untuk aplikasi pemulihan gas suar bakar. Ada potensi penghematan hampir 5 miliar USD per tahun dengan menghasilkan listrik dari jumlah gas suar bakar yang terbakar di Iran saat ini.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Obyek penelitian secara general pada satu negara. • <i>Liquid seal compressor</i> dan Ejector tidak dianalisis atau penelitian difokuskan pada analisis proses lanjutannya (GTL/GTC, NGL, LNG, CNC, NGH, gas to power, compression and injecton).
4.	Soroush Eshaghi, Farzad Hamrang (2021).	An innovative techno-economic analysis for the selection of an integrated ejector system in the flare gas recovery of a refinery plant.	<p>Aspen HYSYS digunakan untuk mensimulasikan integrasi sistem ejector pada sebuah <i>refinery plant</i>. Berdasarkan hasil analisis ekonomi menunjukkan bahwa ejector tiga tingkat (<i>parallel</i>) dan tiga seri merupakan solusi yang paling tepat untuk memulihkan gas suar. Dengan ejector tiga tingkat tersebut akan mampu memulihkan sekitar 90% volume gas suar selama operasi normal dengan biaya investasi 4.84 Juta USD dan <i>pay back period</i> selama 2 tahun.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Obyek penelitian pada fasilitas kilang pengolahan atau <i>refinery plant</i> bukan pada fasilitas produksi hulu. • Tekanan pada gas suar bakar masih relatif tinggi (4,5 bar). • Dampak terhadap lingkungan belum dianalisis. • Analisis menggunakan <i>analytical modeling</i>
5.	Esmail Yazdani, Javad Asadi, Yasaman Hosseinzadeh Dehaghani, Pejman Kazemipoor (2020)	Flare gas recovery by liquid ring compressors-system design and simulation	<p>Dalam memulihkan gas suar pada sebuah <i>refinery complex</i> digunakan teknologi <i>liquid ring compressor</i> (LRC). Tiga sistem konfigurasi yang berbeda masing-masing di analisis untuk menentukan yang paling optimal. Sistem konfigurasi yang pertama</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Teknologi yang digunakan untuk memulihkan gas suar bakar adalah <i>liquid ring compressor</i> (LRC). • Karakter gas yang diteliti adalah gas asam (<i>sour gas</i>) atau

			tanpa adanya <i>recycle line</i> , kedua dengan <i>recycle line</i> , dan yang ketiga dengan <i>recycle line</i> dan <i>coolers</i> . Hasilnya menunjukkan bahwa konsumsi amine dalam konfigurasi ketiga lebih besar 67% dan 44% dari konsumsi amine dalam konfigurasi pertama dan kedua. Namun, karena adanya tambahan <i>coolers</i> , total daya yang dibutuhkan dalam konfigurasi ketiga meningkat sekitar 58% dan 53% dibandingkan dengan konfigurasi pertama dan kedua.	<ul style="list-style-type: none"> kandungan H₂S tinggi. Dalam penelitian belum memperhitungkan aspek ekonomi.
6.	Trevor Leagas, Greg Seefeldt, David Hoon (2016).	Ejector Technology for Efficient and Cost Effective Flare Gas Recovery	Penelitian yang dilakukan di Kuwait, sistem ejector motive gas digunakan untuk memulihkan gas suar bakar pada fasilitas produksi di <i>offshore</i> dan sistem ejector motive liquid di gunakan pada fasilitas produksi di <i>onshore</i> . Hasilnya sistem ejector motive gas mampu memulihkan sekitar 30% dari kapasitas desainnya.	<ul style="list-style-type: none"> Tidak menganalisis dampak terhadap sistem proses. Dalam penelitian belum memperhitungkan aspek ekonominya. Dampak terhadap lingkungan belum dianalisis. Tekanan <i>discharge</i> ejector tinggi (13 bar).
7.	Mozammel Mazumder, Liwen Chen, Qiang Xu (2020).	Integrated Ejector-Based Flare Gas Recovery and On-Site Desalination of Produced Water in Shale Gas Production	Integrasi sistem ejector dan kompresor digunakan untuk memulihkan gas suar bakar pada sebuah fasilitas produksi <i>shale gas</i> . Simulasi dan analisis ekonomi dilakukan untuk mengetahui sistem yang lebih efektif. Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan sistem ejector lebih efisien dan ekonomis. Dengan sistem ejector dapat menghemat biaya investasi sebesar 33% dan biaya operasi sebesar 16% per tahun.	<ul style="list-style-type: none"> Sistem ejector menggunakan motive liquid dalam hal ini air (<i>water</i>). Pressure <i>discharge</i> ejector tidak ada ketentuan atau batasan Dampak terhadap lingkungan belum dianalisis.
8.	Gabriele Comodi, Massimiliano Renzi, Mose Rossi (2016).	Energy efficiency improvement in oil refineries through flare gas recovery technique to meet the emission trading targets	Dalam pemulihan gas suar bakar, penelitian melibatkan ejector dan <i>liquid ring compressor</i> (LRC). Tetapi karena kebutuhan amine treatment pada proses <i>refinery</i> maka hanya LRC yang dilakukan analisis. Hasilnya LRC dengan laju aliran massa 400 kg/s, estimasi total energi yang dapat dipulihkan per	<ul style="list-style-type: none"> Sistem ejector belum dilakukan analisis. Karakter gas yang diteliti adalah gas asam (<i>sour gas</i>) atau kandungan H₂S tinggi. Obyek penelitian pada fasilitas kilang pengolahan atau <i>refinery plant</i> bukan pada fasilitas produksi

			tahun adalah sebesar 2900 TOE dan payback period sekitar 2,5 tahun	hulu.
9.	Mahya Nezhadfar, Amirhossein Khalili-Garakani (2020).	Power generation as a useful option for flare gas recovery: Enviro economic evaluation of different scenarios	Sistem pembangkit listrik digunakan untuk memulihkan gas suar bakar di Iran. 4 skenario sistem pembangkit diteliti, <i>Gas Turbine Cycle (GTC)</i> , <i>Combined Gas Turbine Cycle (CGTC)</i> , <i>Reciprocating Internal Combustion Engine Cycle (RICE)</i> , and <i>Solid Oxide Fuel Cell/Gas Turbine Cycle (SOF/GT)</i> . Hasilnya dari segi ekonomi RICE dan SOF/GT merupakan skenario yang paling baik, sementara dari segi lingkungan RICE mempunyai kinerja terbaik dibanding yang lain.	<ul style="list-style-type: none"> • Obyek penelitian secara general pada satu negara. • Sampel gas suar bakar hanya dari fasilitas kilang pengolahan atau <i>refinery plant</i>. • Teknologi pemulihan dari menara suar bakar menjadi <i>fuel</i> pembangkit tidak dibahas.
10.	Mohabbat Zolfaghari, Vahid Pirouzfard, Hossein Sakhaeinia (2017).	Technical characterization and economic evaluation of recovery of flare gas in various gas-processing plants	Penelitian dalam pemulihan gas suar bakar menggunakan 3 metode, yaitu <i>gas to liquid (GTL)</i> , <i>gas turbines generation (GTG)</i> and <i>gas to ethylene (GTE)</i> . Disimulasikan menggunakan <i>aspen hysys</i> menggunakan sampel gas suar bakar yang diambil dari <i>Asalloyeh Refinery Plant</i> . Sementara analisis ekonominya menggunakan <i>Aspen Capital Cost Estimator</i> . Hasilnya secara ekonomi metode GTG adalah yang paling tepat untuk di aplikasikan.	<ul style="list-style-type: none"> • Teknologi yang dianalisis GTL, GTG, dan GTE. • Sampel gas suar bakar dari fasilitas kilang pengolahan atau <i>refinery plant</i>. • Dampak terhadap lingkungan belum dianalisis.