

SUBMISSION 47

Studi Eksperimen Pemanfaatan Gas Suar (Flare Gas) Menghasilkan Daya Listrik 15 kW

Nafsan Upara^{1,*}, Eko Prasetyo¹, dan Dian Sri S²

¹Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pancasila, Srengseng Sawah, Jagakarsa 12640 Jakarta

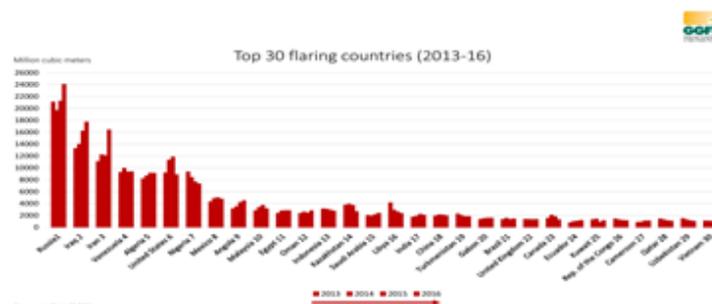
²Production, Operation & Maintenance Services Div., PT. Elnusa, Tbk

Abstrak. Industri minyak dan gas bumi di Indonesia memiliki gas suar (flare gas) mencapai 200 MMCFD (Million Metrics Standard Cubic Feet of Gas per Day), saat ini penanganan gas suar (flare gas) dilakukan dengan cara dibuang ke udara dan atau di bakar. Gas yang dibuang ke udara dan di bakar adalah salah satu penyebab masalah lingkungan yang paling menantang yang dihadapi dunia. Saat ini dunia sedang menghadapi pemanasan global sebagai salah satu masalah utamanya. Masalah ini menyebabkan peningkatan emisi CO₂, CH₄ dan gas rumah kaca lainnya di atmosfer dan memberi pencemaran pada lingkungan dan juga menyebabkan terganggunya kesehatan. Dua pendekatan yang dapat diikuti untuk mengurangi dampak akibat pembakaran atau pembuangan gas suar ke udara, yang pertama adalah mengurangi gas suar dengan memperbaiki proses dan yang kedua menggunakan atau pemanfaatan kembali gas suar. Penelitian ini merupakan studi eksperimen bertujuan untuk mencari solusi menerapkan pendekatan kedua yaitu pemanfaatan gas suar sebagai konversi energi. Pemanfaatan gas suar dimulai dengan mengukur komposisi kimia yang terdapat pada gas suar yang keluar dari sumur minyak dan gas, menyalurkan gas suar sejumlah rata-rata 8,1 Mcfd (Million cubic feet of gas per day) melalui peralatan konversi energi : pipe penyalur gas suar dari sumur masuk ke fuel treatment system, fuel feeding dan gas engine kemudian menggerakkan generator yang terhubung dengan electric transmission system yang tersedia pada generator tenaga gas Mores 100 kVa menghasilkan kurang lebih daya listrik 15,3 kW.

Kata kunci— *Daya listrik; Gas suar; Pemanfaatan gas suar; Peralatan konversi energi*

1. PENDAHULUAN

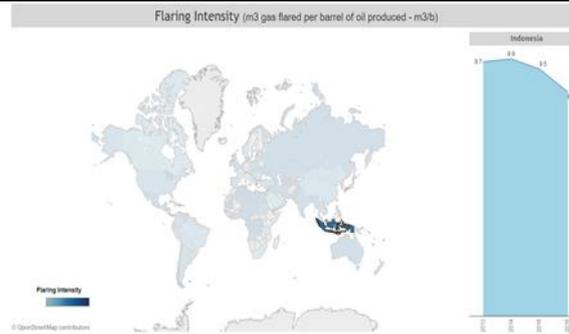
Pembakaran gas yang dilakukan berasal dari sumur minyak, pabrik pengolahan hidrokarbon atau kilang, baik sebagai sarana pembuangan atau sebagai tindakan pengamanan untuk mengurangi tekanan [1], telah diakui saat ini sebagai masalah utama terhadap pencemaran lingkungan.



Gambar 1 30 Negara terbesar Pembakaran Gas [2]

Bank Dunia [2] melaporkan bahwa antara 150 hingga 170 miliar m³ gas dibakar atau dibuang setiap tahun, nilainya sekitar USD 30,6 miliar, setara dengan seperempat dari konsumsi gas Amerika Serikat atau 30% dari konsumsi gas Uni Eropa setiap tahun. Indonesia menurut Bank Dunia menempatkan pada ranking ke 13 dunia menghasilkan pembakaran gas (*gas flaring*) pada tahun 2016 sebanyak 2.766 mcm (*million cubic metre*) [3], dengan intensitas pembakaran (*flaring intensity*) gas suar di bidang perminyakan Indonesia dari tahun 2013 sampai dengan 2016 sebesar 9,7 - 8,6 m³/b (m³ gas yang dibakar per barrel dari minyak yang dihasilkan) sebagaimana diperlihatkan pada gambar 2.

* Corresponding author: uparanafsan@gmail.com



Gambar 2 Intensitas Pembakaran Gas Suar di Indonesia dari tahun 2013 – 2016 (m³/b minyak) [3]

Data dari Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi Indonesia bahwa adanya gas suar kurang lebih (*flare gas*) mencapai 200 mmscfd (*million million standard cubic feet of gas per day*) belum dimanfaatkan dan hanya dibakar dan atau dibuang ke udara. Kerugian dari pembakaran gas adalah kerugian terbesar dari banyak operasi industri, seperti produksi minyak dan gas, kilang, pabrik kimia, industri batubara dan tempat pembuangan sampah. Dalam skala dunia, pembakaran gas yang demikian banyak mencemari lingkungan dengan CO₂ sekitar 400 metrik ton per tahun [4-5]. Pembakaran gas merupakan masalah energi dan lingkungan yang paling menantang yang dihadapi dunia saat ini. Saat ini dunia sedang menghadapi pemanasan global sebagai salah satu masalah utamanya. Masalah pembakaran gas suar ini dapat menyebabkan peningkatan emisi CO₂, CH₄ dan gas rumah kaca (*greenhouse gases*, GHG) lainnya di atmosfer. Di sisi lain, gas yang menyala sangat mirip dengan komposisi gas alam dan merupakan sumber energi yang lebih bersih daripada bahan bakar fosil komersial lainnya [6]. Oleh karena itu, ada kebutuhan mendesak untuk mengendalikan pembakaran gas suar ini sehingga pencemaran lingkungan dapat dikurangi.

Sumur TMT 36 adalah Sumur minyak yang tidak berfungsi (minyaknya sudah habis) yang ada hanya gas yang dikeluarkan. Sumur ini berada di daerah *Gold Water* wilayah kerja (WK) Pertamina Desa Tanjung Kemala Muara Enim Sumatera Selatan. Gas suar (*flare gas*) yang dikeluarkan oleh Sumur TMT 36 selama ini melalui *gas flaring system* dibakarkan kemudian dibuang ke udara. Daerah ini seringkali terjadi pemadaman listrik PLN sehingga semua aktivitas produksi minyak dan gas terhenti, termasuk masalah akomodasi *crew*/tenaga kerja. Penggunaan Genset dengan bahan bakar disel sebagai solusi agar pasokan listrik tetap ada. Gas suar yang demikian ini banyak dijumpai pada sumur sumur minyak di wilayah kerja perminyakan Indonesia karena minyaknya sudah habis yang tertinggal hanya gas saja. Sejak tahun 2005, adanya kenaikan harga gas dan meningkatnya kekhawatiran tentang kelangkaan sumber daya minyak dan gas, minat akan gas suar telah meningkat dan jumlah gas yang terbuang telah dipertimbangkan. Pemerintah Indonesia melalui peraturan Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia (ESDM) Nomor: 31 Tahun 2012 [7] Tentang Pelaksanaan Pembakaran Gas Suar Bakar (*Flaring*) Pada Kegiatan Usaha Minyak Dan Gas Bumi pada intinya adalah mewajibkan pemanfaatan Gas Suar Bakar secara optimal bagi Kontraktor atau Pemegang Izin Usaha Pengolahan kemudian dikeluarkan peraturan baru ESDM ditahun 2017 Nomor 32 Tahun 2017 [8] tentang Pemanfaatan dan Harga Jual Gas Suar Pada Kegiatan Usaha Hulu Minyak dan Gas Bumi (Permen ESDM 32/2017).

Aturan baru ini bertujuan meningkatkan pemanfaatan gas suar dan menurunkan volume pembakaran gas suar (*flaring*), serta mengurangi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari kegiatan usaha hulu. Selain itu membuka kesempatan bagi kontraktor atau Perusahaan izin usaha untuk membeli gas suar dari pemerintah dengan harga yang telah ditetapkan untuk kegiatan bisnisnya antara lain keperluan pembangkit listrik, pemanfaatan gas melalui pipa untuk industri atau rumah tangga, *Compressed Natural Gas*, *Liquefied Petroleum Gas* (LPG), Dimetil Eter, dan keperluan lainnya sesuai dengan komposisinya. Peraturan pemerintah diatas telah membangkitkan minat para kontraktor atau mitra kerja pemerintah untuk memanfaatkan gas suar tersebut untuk kegiatan bisnis, namun dari aspek teknis dan keekonomian menjadi pertimbangan.

2. MASALAH DAN LUARAN PENELITIAN

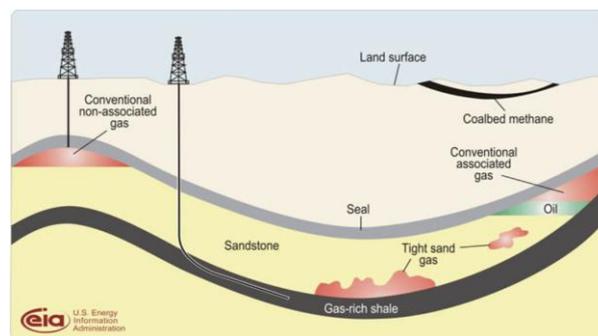
Dari penjelasan diatas, pemanfaatan gas suar akan menghemat energi dan mengurangi emisi atau upaya kontribusi terhadap efisiensi energi dan mitigasi perubahan iklim [4] perlu dilakukan. Penelitian ini merupakan suatu studi eksperimen memanfaatkan gas suar untuk menghasilkan daya listrik. Untuk daerah

Gold Water wilayah kerja (WK) Pertamina Desa Tanjung Kemala Muara Enim Sumatera Selatan, pemanfaatan gas suar ini sangat penting yang tadinya dibakar dapat dikonversikan menjadi listrik mengurangi ketergantungan kepada pasokan listrik dari PLN yang sering padam dan bahan bakar diesel untuk Genset guna kelancaran operasi produksi sumur minyak yang ada. Luaran yang diharapkan dalam penelitian ini yaitu dengan memanfaatkan gas suar dapat menghasilkan besarnya daya listrik kurang lebih 15 kW.

3. TINJAUAN PUSTAKA

a. Gas Alam

Gas alam (*natural gas*) merupakan salah satu bahan bakar fosil yang tidak terbarukan. Gas alam terdapat rangkaian bahan kimia mengandung *Hydrogen* (H) dan *Carbon* (C). Sebagian besar komposisi penyusun gas alam yaitu gas metana (CH_4) ada sebagian etana (C_2H_6), propana (C_3H_8) dan beberapa komposisi lainnya [9]. Apabila dilihat dari sumber produksinya gas alam dapat dibedakan atas Gas Konvensional yang terdiri atas Gas Ikutan (*Associated Gas*) dan Gas tidak Ikutan (*Non-Associated Gas*). Gas ikutan ini merupakan Gas yang diproduksi bersamaan dengan Minyak Bumi (*Crude Oil*), sedangkan Gas tidak ikutan merupakan gas alam yang diproduksi oleh sumur gas sendiri dan tidak terkait dengan minyak bumi. Gas tidak ikutan ini biasanya sering disebut dengan *Well Gas*. Selain itu terdapat sumber gas lainnya yang sekarang mulai dikembangkan yaitu dari sumber Gas Non Konvensional (*Non-Conventional Gas*) seperti *Coal Bed Methane* (CBM), *Tight Gas* dan *Shale Gas* yang banyak dikembangkan oleh negara-negara di Amerika Serikat. Gambar 3 memperlihatkan geologi dari sumber gas alam.



Gambar 3 Geologi Skematik sumber Gas Alam [9]

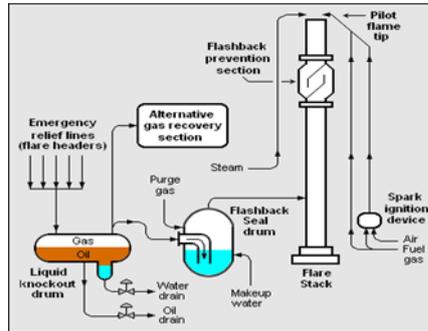
b. Gas Suar dan Pembakarannya

Sesuai dengan Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral (Permen ESDM) Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 [8], Gas suar adalah gas yang dihasilkan oleh kegiatan produksi dan produksi atau pengolahan minyak atau gas bumi yang dibakar karena tidak dapat ditangani oleh fasilitas produksi atau pengolahan yang tersedia sehingga belum dimanfaatkan. Dari definisi ini, gas suar merupakan gas ikutan. Sedangkan Pembakaran Gas Suar (*Flaring*) adalah pembakaran dari Gas Suar pada cerobong tetap (*stationary stack*) baik vertikal maupun horizontal. Proses pembakaran gas paling sering terjadi yaitu di bagian atas cerobong dengan menggunakan api untuk membakar gas. Ketinggian api tergantung pada volume gas yang dilepaskan, sementara kecerahan dan warna tergantung pada komposisi gas.

Sistem pembakaran gas pada lapangan produksi minyak, anjungan lepas pantai, pada kapal angkut dan fasilitas pelabuhan, pada tanki penyimpanan dan sepanjang pipa distribusi yang lengkap terdiri dari cerobong atau *stack* dan pipa peyalur gas yang akan dibakar, contohnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 [10]. Bentuk ujung cerobong/*flare* dirancang sebegitu rupa sehingga menghasilkan masuknya udara ke dalam flare bercampur dengan gas suar dapat meningkatkan efisiensi pembakaran. Seal drum yang terdapat berfungsi mencegah kilas balik dari nyala api, dan selain itu digunakan melepaskan dan mencegah cairan apa pun dari gas yang mengalir atau masuk ke *flare*. Tergantung pada desain, satu atau lebih flare mungkin diperlukan di lokasi proses.

Gas suar biasanya menghasilkan suara dan panas. Selama pembakaran, gas yang terbakar menghasilkan uap air dan CO_2 . Pembakaran yang efisien dalam nyala api tergantung pada tercapainya pencampuran yang baik antara bahan bakar gas dan udara (atau uap) [11], yang tidak adanya cairan.

Pipa gas suar bertekanan rendah tidak diperuntukan menangani cairan dan tidak berfungsi secara efisien ketika cairan hidrokarbon dilepaskan ke dalam sistem pembakaran.



Gambar 4 Sistem pembakaran gas suar cerobong tetap vertical pada suatu kilang minyak [10]

Proses pembakaran dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok [12]:

- Pembakaran darurat

Pembakaran darurat dapat terjadi selama kasus kebakaran, kerusakan katup, atau kegagalan kompresor. Jadi, dalam waktu singkat, volume gas besar dengan kecepatan tinggi dibakar.
- Proses Pembakaran

Proses pembakaran biasanya datang dengan laju yang rendah, seperti pada proses petrokimia, dan beberapa gas suar dari limbah, dikeluarkan dari aliran produksi dan kemudian dibakar.
- Pembakaran produksi

Pembakaran produksi terjadi di sektor produksi industri minyak dan gas bumi. Volume gas ikutan (*assosisted gas*) yang besar akan dibakar selama evaluasi uji potensi minyak dan gas bumi sebagai indikasi kapasitas sumur untuk produksi.

c. Pengaruh Pembakaran Gas Suar

Ada banyak *refinery gas* di seluruh dunia yang mengirim sejumlah besar gas ke atmosfer melalui pembakaran. Emisi CO₂ dari pembakaran memiliki potensi pemanasan global yang tinggi dan berkontribusi terhadap perubahan iklim, pembakaran juga memiliki efek berbahaya pada kesehatan manusia dan ekosistem. Gas berkualitas rendah yang terbang melepaskan banyak polutan dan partikel beracun ke atmosfer selama proses pembakaran. Hujan asam, yang disebabkan oleh sulfur oksida di atmosfer, adalah salah satu bahaya lingkungan utama yang dihasilkan dari proses ini [13]. Polutan yang dihasilkan pembakaran gas dan pengaruh terhadap kesehatan diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Polutan pembakaran dan pengaruhnya terhadap kesehatan [13]

Nama Kimia	Pengaruh terhadap kesehatan
Ozon di darat	Akan merangsang mata dalam kepadatan rendah dan dalam kepadatan tinggi terutama anak-anak dan orang dewasa itu akan menyebabkan masalah pernafasan.
Sulphide hydrogen	Dalam kepadatan rendah itu akan berpengaruh pada mata dan hidung yang mengakibatkan insomnia dan sakit kepala
Dioxide nitrogen	Ini akan berpengaruh pada kedalaman paru-paru dan saluran pernafasan serta memperburuk gejala asma. Dalam kepadatan tinggi akan menghasilkan metahemoglobina yang mencegah penyerapan oksigen oleh darah.
Partikel penting	Ada yang percaya ini akan menghasilkan kanker dan serangan jantung.
Dioxide of sulphur	Ini akan merangsang sistem pernafasan dan sebagai akibatnya memperburuk asma dan bronkitis.
Alkanes: Methane, Ethane, Propane	Dalam kepadatan rendah itu akan menghasilkan pembengkakan, gatal dan peradangan dan dalam kepadatan tinggi itu akan menghasilkan pembengkakan paru-paru eksim dan akut
Alkenes: Ethylene, Propylene	Ini akan menghasilkan kelemahan, mual dan muntah.
Aromatics: Benzene, Toluene, Xylene	Beracun dan karsinogenik. Akan mempengaruhi pada sistem saraf dan dalam kepadatan rendah itu akan menghasilkan kelainan darah dan juga akan merangsang kulit dan mengakibatkan depresi.

Selain itu, umumnya gas pembakaran biasanya mengeluarkan termal dan suara. Ghadyanlou dan Vatani [14] menghitung radiasi termal dan tingkat kebisingan sebagai fungsi jarak dari gas suar menggunakan perangkat lunak komersial untuk sistem pembakaran. Hasilnya disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Emisi termal dan kebisingan dari pembakaran [14]

Jarak, m	Radiasi Termal kW/m ²	Tingkat Kebisingan dB
10	5,66	86,3
20	5,87	86,19
30	6,04	86,02
40	6,14	85,78
50	6,17	85,50
60	6,14	85,18
70	6,04	84,83
80	5,88	84,46
90	5,67	84,08
100	5,42	83,68

CO₂ dan CH₄ adalah gas rumah kaca (*greenhouse gases*, GHG) yang ketika dilepaskan langsung ke udara, menimbulkan panas di atmosfer. Dampak iklim sangat jelas, menunjukkan kontribusi yang besar terhadap emisi GHG global. Misalnya, Sebagai akibat dari lingkungan, gas suar bakar telah menaikkan suhu dan menjadikan daerah yang luas tidak bisa dihuni. Emisi CO₂ dari pembakaran memiliki potensi pemanasan global yang tinggi dan berkontribusi terhadap perubahan iklim. Emisi CO₂ berasal dari hanya pembakaran bahan bakar fosil sekitar 75% [20]. CH₄ sebenarnya lebih berbahaya daripada CO₂. Ia memiliki sekitar 25 kali lebih besar potensi pemanasan global dari CO₂ secara massal [16]. Ini juga lebih umum dalam pembakaran yang menghasilkan efisiensi yang lebih rendah [15]. Oleh karena itu, ada kekhawatiran tentang CH₄ dan senyawa organik volatil lainnya dari operasi yang berbeda. Polutan lain seperti sulfur oksida (SO_x), nitrogen oksida (NO_x) dan komponen organik yang mudah menguap (VOC) juga dihasilkan dari pembakaran. Oleh karena itu, dampak emisi dari pembakaran gas suar dapat disimpulkan [13-16] :

- Gas berkualitas rendah yang dibakar akan melepaskan banyak kotoran dan partikel beracun ke atmosfer.
- Efek berbahaya pada kesehatan manusia terkait dengan paparan polutan dan ekosistem ini.
- Produk pembakaran dapat berbahaya jika terdapat dalam jumlah besar.
- Gas dari limbah mengandung CO₂ dan H₂S, yang keduanya merupakan gas asam lemah dan menjadi korosif bersentuhan dengan air.
- Hujan asam, yang disebabkan oleh SO_x di atmosfer, adalah salah satu bahaya utama lingkungan.
- Hujan asam mendatangkan malapetaka pada lingkungan yang menghancurkan tanaman, atap rumah.
- CO menyebabkan penurunan kapasitas pembawa oksigen pada darah, yang dapat menyebabkan kematian.
- Emisi NO_x yang tidak terkendali bisa merugikan kesehatan.
- Ketika NO_x bereaksi dengan O₂ di udara, hasilnya adalah ozon tingkat permukaan yang memiliki efek sangat negatif pada sistem pernapasan dan dapat menyebabkan radang saluran udara, kanker paru dan lain lainnya.

d. Komposisi Gas Suar

Umumnya pembakaran gas akan terdiri dari campuran berbagai gas. Komposisinya tergantung pada sumber gas yang masuk ke sistem pembakaran. Gas-gas ikutan (*assosisted gas*) yang dilepaskan selama produksi minyak dan gas bumi adalah gas alam. Gas alam adalah lebih dari 90% metana (CH₄) dengan etana dan sejumlah kecil hidrokarbon lainnya seperti gas inert yaitu N₂ dan juga terdapat CO₂. Pembakaran gas dari kilang dan proses operasi lainnya biasanya mengandung campuran hidrokarbon dan dalam beberapa kasus terdapat H₂. Namun, gas landfill, biogas atau gas digester adalah campuran CH₄ dan CO₂ bersama dengan sejumlah kecil gas inert lainnya. Sebenarnya tidak ada komposisi standar dan oleh karena itu perlu untuk menentukan beberapa kelompok gas suar bakar sesuai dengan parameter aktual gas. Mengubah komposisi gas akan mempengaruhi kemampuan perpindahan panas gas dan mempengaruhi kinerja. Suatu contoh komposisi gas buang dihasilkan pabrik diperlihatkan pada Tabel 3.

Nilai gas didasarkan terutama pada nilai kalornya. Komposisi gas suar penting untuk menilai ekonominya dan untuk mencocokkannya dengan proses atau pembuangan yang sesuai. Misalnya, untuk transportasi di jaringan pipa penyalur hulu, pertimbangan utamanya adalah kandungan H_2S dari gas. Gas dianggap asam jika mengandung 10 mol/kmol H_2S atau lebih [16].

Tabel 3 Komposisi gas buang dari suatu pabrik [12]

Gas flaring constituent	Gas composition, %	Gas flaring, %		
		Min.	Max	Average
Methane	CH_4	7.17	82.0	43.6
Ethane	C_2H_6	0.55	13.1	3.66
Propane	C_3H_8	2.04	64.2	20.3
n-Butane	C_4H_{10}	0.199	28.3	2.78
Isobutane	C_4H_{10}	1.33	57.6	14.3
n-Pentane	C_5H_{12}	0.008	3.39	0.266
Isopentane	C_5H_{12}	0.096	4.71	0.530
neo-Pentane	C_5H_{12}	0.000	0.342	0.017
n-Hexane	C_6H_{14}	0.026	3.53	0.635
Ethylene	C_2H_4	0.081	3.20	1.05
Propylene	C_3H_6	0.000	42.5	2.73
1-Butene	C_4H_8	0.000	14.7	0.696
Carbon monoxide	CO	0.000	0.932	0.186
Carbon dioxide	CO_2	0.023	2.85	0.713
Hydrogen sulfide	H_2S	0.000	3.80	0.256
Hydrogen	H_2	0.000	37.6	5.54
Oxygen	O_2	0.019	5.43	0.357
Nitrogen	N_2	0.073	32.2	1.30
Water	H_2O	0.000	14.7	1.14

e. Aturan Pembakaran dan Pengukuran Gas

Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral (PerMen ESDM) Republik Indonesia nomor: 31 tahun 2012 tentang Pelaksanaan Pembakaran Gas Suar Bakar (*Flaring*) Pada Kegiatan Usaha Minyak Dan Gas Bumi [7] pada intinya mengatur jumlah pembakaran gas suar yang dilakukan oleh Kontraktor atau Pemegang Izin Usaha Pengolahan dengan ketentuan dapat melakukan pembakaran gas suar bakar (*Flaring*) jika volume gas suar bakar tidak melebihi batasan:

- 3 % (tiga persen) dari gas umpan (*feed gas*) untuk lapangan gas bumi.
- Rata-rata harian dalam 6 (enam) bulan sebesar 5 (lima) MMSCFD untuk lapangan minyak bumi.
- 0,3% (nol koma tiga persen) dari gas bumi *intake* kilang gas bumi.
- 0,8% (nol koma delapan persen) dari minyak bumi *intake* kilang minyak bumi.

Selain itu, PerMen ESDM No. 31/2012 tersebut mengatur tentang kewajiban Kontraktor atau Pemegang Izin Usaha Pengolahan dalam melaksanakan pembakaran gas suar bakar (*flaring*) melakukan pengukuran volume berdasarkan metode:

- Penggunaan meter untuk Gas Suar
Meter untuk gas suar bakar digunakan dalam kondisi sebagai berikut:
 - Total volume yang dibakar per fasilitas melebihi 3 (tiga) MMSCFD (tidak termasuk pilot, bilas atau gas dilusi); atau
 - Gas Suar Bakar mengandung gas asam.
- Estimasi dari gas suar yang dibakar
Estimasi volume dari gas suar bakar dapat dilakukan dengan ketentuan sebagai berikut:
 - Kontraktor atau Pemegang Izin Usaha Pengolahan dapat melakukan estimasi dan pelaporan Gas Suar Bakar jika total volume kurang dari atau sama dengan 3 (tiga) MMSCFD.
 - Jika volume gas suar bakar tidak dapat dibaca oleh meter Gas Suar Bakar yang sudah ada, harus dipasang suatu sistem perhitungan dan pelaporan untuk mengetahui estimasi volume gas suar bakar yang dibakar.
 - Kontraktor atau Pemegang Izin Usaha Pengolahan harus membuat dokumen yang berisi prosedur estimasi dan pelaporan Gas Suar Bakar.
 - Direktorat Jenderal dapat mensyaratkan pemasangan meter untuk Gas Suar jika terdapat kejanggalan/kegagalan dalam menunjukkan sistem estimasi dan pelaporan untuk Gas Suar yang di bakar.

f. Meminimal Pembakaran Gas dan Pemulihannya

Dorongan untuk meminimalkan jumlah gas yang dibakar dan pemulihannya karena dampak lingkungan dan ekonomi menyebabkan peningkatan penggunaan sistem pemulihan gas suar (*flare gas recovery systems*, FGRS) [1,17]. Pemulihan gas suar arahnya adalah mengurangi kebisingan dan radiasi termal, biaya operasi dan pemeliharaan, polusi udara dan emisi gas serta mengurangi konsumsi bahan bakar gas dan uap.

Beberapa tahun terakhir, pengurangan pembakaran dan pembuangan gas terlihat secara internasional melalui kerjasama kemitraan pengurangan pembakaran gas global (*The World Bank Global Gas Flaring Reduction*, GGFR) dan inisiatif gas metana global (*The Global Methane Initiative*, GMI) [16]. Kemitraan GGFR dan GMI secara aktif mempromosikan proyek percontohan untuk mengurangi pembakaran dan pelepasan, selain itu adanya peraturan pada setiap negara juga merupakan bagian dari pengurangan pembakaran gas dan Mekanisme Pembangunan Bersih PBB (*The United Nations' Clean Development Mechanism*-CDM) dengan menawarkan 'Pengurangan Emisi Bersertifikat (*'Certified Emissions Reductions'*) ' menyediakan proyek pengurangan pembakaran dan pelepasan gas [18]. Beberapa langkah yang dapat membantu mengurangi kerugian gas yang hilang seperti: operasi dan pemeliharaan sistem pembakaran yang tepat, memodifikasi prosedur start-up dan shut-down. Juga, menghilangkan gas yang bocor pada katup (*valve*), penggunaan secara efisien dan kontrol gas bahan bakar yang diperlukan untuk operasi yang tepat dari gas suar, semua ini berkontribusi untuk mengurangi kerugian gas suar. Metode pemulihan juga dapat digunakan untuk meminimalkan kerugian dampak lingkungan dan ekonomis dari pembakaran gas suar bakar.

Ada berbagai metode untuk mengurangi pembakaran dan pemulihannya, dapat dirangkum sebagai berikut [19-23]:

- Pengumpulan, kompresi, dan injeksi / reinjeksi
 - Ke ladang minyak untuk meningkatkan pemulihan minyak.
 - Masuk ke ladang gas basah untuk pemulihan cairan secara maksimal.
 - Menjadi gas masuk ke *aquifer*.
 - Ke dalam pipa kilang.
 - Pengumpulan dan pengiriman ke sistem pengumpulan gas (*gas-gathering system*) terdekat.
 - Pengiriman pengambilan gas suar ke instalasi pengolahan sebelum digunakan selanjutnya.
 - Menggunakan sebagai sumber bahan bakar di tempat.
 - Menggunakan sebagai bahan baku untuk produksi petrokimia
- Gas ke Cair (*gas to liquid*, GTL)
 - Mengkonversi ke gas minyak cair (LPG).
 - Mengkonversi ke gas alam cair (LNG).
 - Konversi ke bahan kimia dan bahan bakar.
- Menghasilkan listrik
 - Membakar gas suar di insinerator dan memulihkan panas keluaran untuk digunakan lebih lanjut (pembangkit dan menghasilkan uap serta listrik).

g. Produksi Listrik

Gas alam menghasilkan sekitar 16% Daya [24]. Daya adalah bagian dasar dari alam dan merupakan salah satu bentuk energi yang paling banyak digunakan Untuk mengurangi emisi panas dari beberapa industri, seperti petrokimia, gas industri, serat organik sintetis, dan bahan kimia pertanian, di mana pembuangan gas dengan suhu tinggi dapat dipulihkan untuk pembangkitan listrik [24]. Metode lain untuk FGRS adalah konversi gas suar sebagai sumber utama menjadi listrik. Sebuah stasiun Daya listrik menggunakan turbin, mesin, roda air atau mesin sejenis lainnya untuk menggerakkan generator listrik.

Global Gas Flaring Reduction Partnership's (GGFR) merangkung beberapa teknologi yang tepat dari beberapa perusahaan menggunakan gas untuk pembangkit listrik [3] dimana mencakup informasi dasar tentang kinerja, persyaratan teknis untuk menerapkan dan mengoperasikan peralatan, model bisnis pengembang teknologi, dan aplikasi yang ada saat ini dalam operasi adalah sebagai berikut:

- Mesin Bolak balik Gas (*gas reciprocating engines*) Pembangkit listrik dengan *gas reciprocating engines* dibuat oleh perusahaan Aggreko dengan tipe *modular* dan *mobile* dapat menghasilkan listrik dengan kapasitas 200 MW beroperasi di Rusia, selain itu *General*

Electrick (GE) mengembangkan Mesin gas ini menghasilkan daya dan panas yang efisien dengan daya listrik sekitar 200 kW – 9,0 MW melalui mesin gas model *Jenbacher* dan *Waukesha*.

- Turbin Gas, teknologi pemanfaatan gas dengan menggunakan Turbin untuk menghasilkan listrik dikembangkan oleh perusahaan *APR Energy*, tipe mobile turbin *TM2500TM* menghasilkan listrik 30-35 MW. *BINGO Interests*, dengan turbin radial menggunakan volume gas sekitar 360 Mcfd/MW dengan tekanan masuk turbin 70 psi menghasilkan listrik 250 kW-30 MW, selain itu ada beberapa perusahaan yang mengembang turbin gas antara lain: *Capstone Turbine Corporation*, *LPP Combustion*, *OPRA Turbines*, dan *Turboden (Grup Mitsubishi Heavy Industries)*.
- Generator Tenaga Gas, pabrik pembuatan terkenal untu generator tenaga gas adalah *Moser Energy Systems*, Gas yang dibutuhkan (tergantung pada daya listrik yang dihasilkan) sekitar 10 - 250 Mcfd dengan tekanan masuk ke genset 5 – 50 psi. Aliran gas masuk bervariasi dan konten panasnya (800-1800 Btu), minimal tidak ada pemrosesan gas (hingga 200 ppm H₂S). Pada Generator terdapat/termasuk *scrubber (fuel treatment system)*, *fuel feeding*, *gas engine*, *transmission*, *electric generator*, dan *electric transmission system*. Daya listrik yang dihasilkan berukuran 70, 125, 170, 225, 350, dan 1000 kW. Generator dapat ditempatkan pada *tailer* atau *skid* sehingga bisa dipindahkan sesuai keinginan dimana mau ditempatkan.
- *Gas engine*, Perusahaan *Wartsila* mengembangkan dan menyediakan teknologi canggih dan solusi *lifecycle* untuk pasar kelautan dan energi. Pembangkit listrik multi bahan bakar 32GD dan 46GD dikembangkan untuk memberikan solusi yang sesuai untuk aplikasi yang menuntut di industri minyak dan gas serta untuk pasokan bahan bakar yang berfluktuasi. Daya listrik oleh rifeneri/pabrik pembangkit yang dihasilkan 10 – 400 MW dengan efisiensi 45%. Penggunaan multi bahan bakar tidak terputus yaitu gas alam, disel, HFO, biofuels, dan minyak mentah.

h. Daya dan Efisiensi Termal

Gas suar merupakan gas alam memiliki sejumlah energi yang tersimpan. Gas suar jika dibakar menghasilkan panas, ukuran panas diukur dari Nilai Kalor (*Calorific Value* atau *Heating Value*) yang dimiliki. Nilai kalor bahan bakar secara teori dibedakan menjadi dua yaitu Nilai kalor tertinggi (*Higher Heating Value*, HHV atau *Gross Heating Value*, GHV) dan Nilai Kalor Terendah (*Lower Heating Value*, LHV atau *Net Heating Value*, NHV) . Secara teoritis, besarnya nilai kalor tertinggi dan terendah dapat dihitung dengan persamaan *Dulong* pada Persamaan 1 dan 2 [25]:

$$HHV = 33950 * C + 144200 * (H_2 - \frac{O_2}{8}) + 9400 * S \quad (1)$$

$$LHV = HHV - 3240 \quad (2)$$

Dimana:

HHV = Nilai kalor tertinggi (kJ/kg).

LHV = Nilai kalor terendah (kJ/kg)

C = Persentase karbon dalam bahan bakar.

H₂ = Persentase hydrogen dalam bahan bakar.

O₂ = Persentase oksigen dalam bahan bakar.

S = Persentase Sulfur dalam bahan bakar.

Dalam prakteknya, komposisi gas yang diukur di Laboratorium, nilai kalor bahan bakar yaitu HHV dan LHV hasilnya (perhitungan) akan disertakan pada laporan hasil pengukuran komposisi gas. Efisiensi termal yang dihasilkan gas suar dihitung dengan Persamaan 3 [25].

$$\eta_{th} = \frac{W}{Q} \quad (3)$$

Dimana:

η_{th} = Efisiensi termal

W = Daya yang dihasilkan (kW)

Q = Kalor masuk fuel (kW)

4. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian pemanfaatan gas suar dilakukan pada sumur TMT 36 didaerah Gold Water wilayah kerja (WK) Pertamina Desa Tanjung Kemala Muara Enim Sumatera Selatan. Adapun urutannya:

- Persiapan
 - Menyiapkan pipa penyalur dari sumur ke Pembangkit listrik (*line gas instalation*).
 - Pemasangan perlatan ukur seperti *flow meter*, *Pressure gauge*, *Oil level*, dan lain lain.
 - Pengambilan sampel gas untuk diukur komposisi di Lab. serta menetapkan nilai kalor yang terkandung.

- Kondisi Star Up
 - Parameter proses yang dibutuhkan :
 - Kalori gas yang diperlukan 800 BTU – 1800 BTU
 - Beroperasi dengan kandungan gas H₂S sampai 250 ppm, tanpa menggunakan peralatan tambahan
 - Tekanan gas masuk (*inlet*) antara 25 psi – 40 psi
 - Putaran *engine* sebesar 1500 rpm untuk mendapatkan frekuensi 50 Hz
 - Pengambilan data setiap 2 jam untuk 24 jam dilakukan selama 9 hari.
 - Teknologi pembangkit listrik yang digunakan adalah generator tenaga gas produksi *Moser Energy System* 100 kVa dengan alasan mudah didapat dan mudah dimobilisasi (bukan *fix position*) jika gas pada sumur habis bisa dipindah ke sumur lain [3].

5. LUARAN PENELITIAN

a. Persiapan



Gambar 5 Urutan Pemasangan Pipa ke Generator

b. Komposisi Gas Suar

Komposisi Gas Suar Hasil Lab. LEMIGAS Laporan No. 1025/LHU/9.2/IX/2015 diperlihatkan pada Tabel 4.

6. Deo. V, Gupta. A.K, Asija. N, Kumar. A, Rai. R, Gas Flaring Reduction: Perspective Environmental and Economical, *Petrotech* (2010).
7. _____, "Pelaksanaan Pembakaran Gas Suar Bakar (Flaring) Pada Kegiatan Usaha Minyak Dan Gas Bumi" Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor: 31 Tahun 2012.
8. _____, "Pemanfaatan Dan Harga Jual Gas Suar Pada Kegiatan Usaha Hulu Minyak Dan Gas Bumi" Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor: 32 Tahun 2017.
9. Wikipedia, Natural Gas, diunduh 28 April, 2018. pada: https://en.wikipedia.org/wiki/Natural_gas#Natural_gas
10. Wikipedia, The Free Encyclopedia, Gas flare, diunduh 10 Mei, 2018. pada: http://en.wikipedia.org/wiki/Gas_flare.
11. Gzar. H.A, Kseer, K.M. Pollutants Emission And Dispersion From Flares: A Gaussian Case – Study In Iraq, *Journal of Al-Nahrain University*, **12**(4), 38-57 (2009).
12. SENES Consultants Limited. from The Science and Community Environmental Knowledge (SCEK), (May 2007). Diunduh 10 Mei 2018 pada: http://scek.ca/documents/scek/Final_Reports/RA%202006-08%20Sour%20Gas%20Final%20Report-May%202017_%202007.pdf
13. Andalib. M.S.H. Flares and their environmental effects" 1st Professional Iranian environmental conference, Environmental department of Tehran University, **51**, 76-82, 2007.
14. Ghadyanlou. F, Vatani. A. Flare-gas recovery methods for olefin plants. *Chemical Engineering, Essentials for the CPI Professional.*, chemengonline.com (2015).
15. Abdulhakeem. S.O. Gas flaring in Nigeria; impacts and remedies. SPE-170211-MS (2014).
16. Johnson. M.R, Coderre. A.R. Opportunities for CO₂ equivalent emissions reductions via flare and vent mitigation: A case study for Alberta. Canada, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, **8** (2012).
17. Duck B. Reducing emissions in plant flaring operations. *Hydrocarbon World*, **6**(1), 42-45 (2011).
18. Fenhan. J, Hinostroza. M, *CDM Information and Guidebook, 3rd Ed : Developed for the UNEP Project 'CD4CDM' (EU ACP MEA/ CDM Programme, 2011).*
19. Mourad. D, Ghazi. O, Noureddine. B, Recovery of flared gas through crude oil stabilization by a multi-staged separation with intermediate feeds: A case study, *Korean Journal of Chemical Engineering*. **26**(6), 1706-1716 (2009).
20. Rahimpour. M.R, Jamshidnejad. Z, Jokar. S.M, Karimi. G, Ghorbani. A, Mohammadi. A.H. A comparative study of three different methods for flare gas recovery of Asaloooye Gas Refinery, *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, **4**, pp. 17-28 (2012).
21. The Global Gas Flaring Reduction partnership (GGFR) and the World Bank (20080, TECHNICAL REPORT- Guidelines on Flare and Vent Measurement, Clearstone Engineering Ltd. 700, 900-6 Avenue S.W. Calgary, Alberta, T2P 3K2, Canada.
22. Rahimpour. M.R, Jokar. S.M. Feasibility of flare gas reformation to practical energy in Farashband gas refinery: no gas flaring: *Journal of Hazardous Materials*, **209-210**:204-217 (2012).
23. Sangsaraki M.E. and Anajafi E. Design criteria and simulation of flare gas recovery system. *International Conference on Chemical, Food and Environment Engineering (ICCFEE'15), Dubai (UAE) (2015).*
24. Razak. A.M.Y. *Industrial gas turbines: performance and operability* (Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, 2007).
25. Smith. J.M, Van. N.H.C, Abbott. M.M. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*, 6th edition print (2000).