

**ANALISA KELEBIHAN TEKANAN PADA SAAT PEMBAKARAN  
GAS BERLEBIH PADA FLARE**

**SKRIPSI**

**OLEH**

**AZHAR FEBBRY ZAIN**

**13.813.0008**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

**2018**


**ANALISA KELEBIHAN TEKANAN PADA SAAT PEMBAKARAN  
GAS BERLEBIH PADA FLARE**

**SKRIPSI**

**OLEH**

**AZHAR FEBBRY ZAIN**

**13.813.0008**



Skripsi Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan  
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik Mesin  
Universitas Medan Area

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

**2018**

## LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Azhar Febbry Zain

Npm : 13.813.0008

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Judul Skripsi : “ Analisa Kelebihan Tekanan Pada Saat Pembakaran Gas Berlebih Pada Flare ”

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi-sanksi dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan,

2018



Azhar Febbry Zain

13.813.0008



LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA KELEBIHAN TEKANAN PADA SAAT PEMBAKARAN GAS  
BERLEBIH PADA FLARE

TUGAS AKHIR

Oleh:

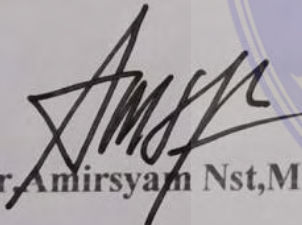
Azhar Febbry Zain

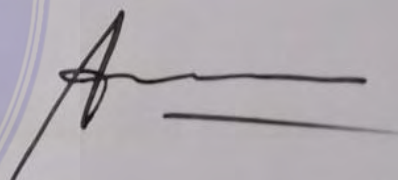
13.813.0008

Disetujui:

Pembimbing I

Pembimbing II

  
(Ir. Amirsyam Nst, MT)

  
(Ir. Amru Siregar, MT)

Mengetahui:

Dekan

FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS  
MEDAN AREA  
Ka. Program Studi

  
(Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng. MSc)

  
(Bobby Umroh, ST, MT)

## **ABSTRACT**

*The study aims to analyze the excess pressure during excessive gas combustion on the flare. Basically, flare is a gas safety system which generated from both process and production by burning the gas. From the oil separation process, it gained gases mostly is methane gas. It is a greenhouse gas which twenty one time more damaging than carbon dioxide. Then, the effect of this excessive will lead the fire be higher that seen from the flare chimney, and most likely could causing fires in the biogas processing area. The result reveals that the performance of biogas flares which collected at Ukindo Factory are for 8-15 kpa pressure, methane content 40-60%, and combustion temperature 1000-1200°C. For greenhouse emission gas gained from the calculation of CO<sub>2</sub> emission by gas fuel of CH<sub>4</sub> emission based on the emission factor per year = 206,26 x 10<sup>7</sup> lb/yr. Lastly, for pressure lost on total piping is 0,1035 pa.*

**Keywords:** *Excessive Gas Combustion, biogas, grennhouse emission gas, and pressure lost on*

## ABSTRAK

Pada penelitian kali ini saya akan meneliti tentang analisa kelebihan tekanan pada saat pembakaran gas berlebih pada flare. Pada dasarnya instalasi *Flare* merupakan sistem pengaman suatu gas yang dihasilkan dari proses pengolahan maupun produksi dengan cara membakar gas tersebut. Gas yang dihasilkan dari pemisahan minyak ini sebagian besar adalah gas metana. Gas metana ini merupakan gas rumah kaca yang 21 x lebih merusak dari pada karbondioksida. Dampak terjadinya kelebihan tekanan akan terlihat api yang lebih tinggi dari cerobong flare, dan kemungkinan besar bisa mengakibatkan kebakaran di area pengolahan biogas. Dari hasil analisis kinerja biogas flare yang didapat secara langsung dari Biogas Pabrik Ukinde adalah untuk tekanan 8-15 kpa, kandungan metana 40 – 60%, dan temperatur pembakaran 1000 – 1200 °C, untuk emisi gas rumah kaca didapat dari hasil perhitungannya adalah Emisi  $CO_2$  dari bahan bakar gas dengan emisi  $CH_4$  berdasarkan faktor emisi per tahun =  $206,26 \times 10^7$  lb/yr, dan untuk kerugian tekanan yang terjadi pada pemipaan total adalah 0,1035 pa.

**Kata kunci :** Pembakaran gas berlebih, biogas, emisi gas rumah kaca, dan kerugian tekanan pada pemipaan.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufiq, dan hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Analisa Kelebihan Tekanan Pada Saat Pembakaran Gas Berlebih Pada Flare” ini yang mana sudah menjadi kewajiban yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa.

Skripsi ini disusun guna memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin Universitas Medan Area.

Dalam penyelesaian skripsi ini tidaklah mungkin dapat terselesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak, baik secara langsung ataupun tidak langsung. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini, terutama kepada:

1. Bapak Bobby Umroh, ST.MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Medan Area.
2. Bapak Ir.H.Amirsyam Nst, MT, selaku Pembimbing I atas bimbingannya hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Ir.H.Amru Siregar, MT, selaku Pembimbing II yang telah turut serta memberikan bimbingan yang berharga bagi penulis.
4. Bapak Prof.Dr.Dadan Ramdan, M.eng.Msc, selaku Pembimbing Akademik yang telah menggantikan sebagai orang tua penulis dalam menyelesaikan studi

di Universitas Medan Area.

5. Seluruh Dosen serta Staf di Jurusan Teknik Mesin Universitas Medan Area yang telah turut mendidik penulis hingga menyelesaikan studi S1.
6. Bapak, Ibu, dan saudaraku atas dukungan do'a, bimbingan, motivasi, dan dukungan material maupun spiritual selama penyelesaian Tugas Akhir.
7. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu yang telah membantu pelaksanaan dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Skripsi ini masih jauh dari sempurna, maka kritikan dan saran penulis harapkan untuk kesempurnaan skripsi ini.

Semoga skripsi ini dapat berguna bagi ilmu pengetahuan dan kita semua  
Amin.

Medan, 10 Juli 2018

Penulis

Azhar Febbry Zain  
13.813.0008



## DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	ii
RIWAYAT HIDUP.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR NOTASI.....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Mnfaat Penelitian.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Flare Stack.....	4
2.1.1 Flare gas recovery.....	5
2.1.2 Flare gas header.....	11
2.2 Aliran Dalam Pipa.....	17
2.2.1 Aliran laminar dan aliran turbulen.....	18
2.2.2 Kerugian tekanan aliran.....	19
2.3 Proses Pembakaran ( <i>Combustion Process</i> ).....	24
2.3.1 Temperatur nyala api ( <i>flame temperature</i> ).....	26
2.3.2 Kebutuhan udara pembakaran.....	28

2.3.3	Kebutuhan udara teoritis.....	29
2.3.4	Kebocoran udara.....	30
2.4	Defenisi dari Biogas.....	33
2.4.1	Perhitungan potensi biogas.....	35
2.4.2	Prediksi emisi gas metana.....	36
2.5	Biogas Flares.....	37
2.5.1	Biogas komposisi dan tarif formasi ( <i>biogas composition and rates of formations</i> ).....	39
2.5.2	Dasar-dasar pembakaran.....	40
2.5.3	Persyaratan operasional.....	41
2.5.4	Jenis-jenis flare ( <i>types of flare</i> ).....	43
2.6	Perhitungan emisi gas dari sumber pembakaran tetap.....	46
2.6.1	Estimasi emisi pembakaran bahan bakar berdasarkan komposisi dan penggunaan bahan bakar.....	48
2.6.2	Suar bakar ( <i>flaring</i> ).....	50
<b>BAB III</b>	<b>METODE PENELITIAN</b> .....	<b>53</b>
3.1	Tempat dan Waktu.....	54
3.2	Bahan dan Alat.....	55
3.3	Data-data yang Diambil dari Penelitian.....	56
3.5	Prosedur Penelitian.....	56
3.6	Diagram Alir.....	58
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>59</b>
4.1	Penyebab terjadi kelebihan tekanan.....	59
4.2	Pembakaran gas berlebih.....	60

4.3 Kinerja biogas flare pada pembakaran gas metana.....	61
4.4 Emisi gas rumah kaca pada pembakaran gas berlebih pada flare.....	67
4.5 Kerugian tekanan (head losses).....	70
4.6 Variasi tekanan terukur yang ditentukan.....	75
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>80</b>
5.1 Kesimpulan.....	81
5.2 Saran.....	82

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**



## DAFTAR TABEL

1. Tabel 2.1 Koefisien kekasaran pipa.....	22
2. Tabel 2.2 Untuk perlengkapan pipa yang diperdagangkan.....	23
3. Tabel 2.3 Komposisi biogas.....	33
4. Tabel 2.4 Kesetaraan biogas dengan sumber lain.....	35
5. Tabel 2.5 Komposisi gas landfill.....	36
6. Tabel 2.6 Biogas komposisi.....	40
7. Tabel 2.7 Biogas hasil dari anerobik processes.....	40
8. Tabel 2.8 Produk yang tidak diinginkan dari biogas pembakaran.....	41
9. Tabel 2.9 Ringkasan fitur flare terbuka dan tertutup.....	46
10. Tabel 2.10 Pendekatan estimasi emisi gas rumah kaca.....	47
11. Tabel 2.11 Faktor emisi GRK untuk gas flare di negara berkembang original.....	52
12. Tabel 2.12 Faktor emisi GRK untuk gas flare di negara berkembang units.....	53
13. Tabel 4.1 Data kandungan metana dan suhu nyala api pembakaran pada biogas flare.....	66
14. Tabel 4.2 Komposisi bahan bakar.....	69
15. Tabel 4.3 Data hasil perhitungan pengurangan tekanan pada katup.....	71
16. Tabel 4.4 Appendix table 1 Approximate Properties of Some Gases.....	72
17. Tabel 4.5 Variasi tekanan terukur dengan tekanan absolut.....	76



## DAFTAR GAMBAR

1. Gambar 2.1 Flare stack.....	5
2. Gambar 2.2 Process of gas flare.....	6
3. Gambar 2.3 Flame arrestor.....	14
4. Gambar 2.4 Condensate (sediment trap).....	17
5. Gambar 2.6 Skematik dari biogas flare.....	42
6. Gambar 3.1 Limbah cair kelapa sawit (POME).....	54
7. Gambar 3.2 Knout out put (drum), flow control valve (katup kontrol aliran), gas booster (gas penguat), slam shut valve, flameareestor.....	55
8. Gambar 3.3 Diagram alir (flow chart).....	56
9. Gambar 4.1 Biogas flare.....	66
10. Gambar 4.2 Grafik kandungan metana dan suhu nyala api pembakaran pada biogas flare.....	67
12. Gambar 4.3 Grafik Tekanan terukur dengan tekanan absolut.....	77
13. Gambar 4.4 Grafik tekanan gas dengan kandungan metana.....	78
14. Gambar 4.5 Grafik antara tekanan gas dengan suhu nyala api.....	78
15. Gambar 4.6 Grafik antara tekanan gas dengan waktu pembakaran gas metana.....	79

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Salah satu energi terbarukan adalah biogas. Biogas memiliki peluang besar dalam perkembangannya. Biogas dihasilkan dari proses fermentasi terdiri dari : $CH_4$ (55-75%), $CO_2$ (25-45%), $H_2$ (1-5%), $N_2$ (0-0,3%), $O_2$ (0,1-0,5%), dan  $H_2S$ (0-3%) (Triyono 2009). Pada dasarnya instalasi *Flare* merupakan sistem pengaman suatu gas yang dihasilkan dari proses pengolahan maupun produksi dengan cara membakar gas tersebut (Basseyy 2008) Selain pengaman, pembakaran gas pada flare bertujuan meminimalisir pencemaran lingkungan, karena apabila gas yang dibuang ke udara tanpa dibakar terlebih dahulu tentunya memiliki dampak negatif bagi lingkungan sekitar.

Pembakaran gas pada flare sebenarnya masih menghasilkan emisi  $CO_2$  yang tentunya mencemari lingkungan dan merupakan penyebab utama pemanasan global saat ini sehingga perlunya pemanfaatan gas pada flare melalui konversi energi agar gas flare bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi lain. Hal tersebut yang sekarang ini menjadi prioritas utama industri-industri migas, karena pemanfaatan gas flare dapat mengurangi dampak pencemaran lingkungan serta menjadi sumber energi alternatif lainnya (Aghalino 2012). Disisi lain kenapa gas ini harus dibakar adalah karena faktor lingkungan. Gas yang dihasilkan dari pemisahan minyak ini sebagian besar adalah gas metana. Gas metana ini merupakan gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap pemanasan global seperti halnya karbondioksida  $CO_2$  tetapi perbedaan dengan karbondioksida adalah gas

metana ini 21 x lebih merusak dari pada karbondioksida. Disamping itu, gas yang terproduksi tersebut biasanya juga banyak mengandung  $CO_2$  dan  $H_2S$  yang dapat membahayakan kesehatan dan kehidupan manusia. Jika udara lembab maka gas akan lebih berat dari udara dan ini akan membuat gas turun mencapai tanah dan meningkatkan kemungkinan untuk terjadi kebakaran yang merugikan (Richard 2010).

Di dalam sebuah perusahaan pengolahan gas, ketika gas terkait (berlebih) tidak dapat digunakan atau dijual untuk energi, tujuan atau re-disuntikkan ke reservoir. Cara lain untuk membuang kelebihan ini gas terkait (berlebih) adalah dengan pembakaran pada flare. Flare mengacu pada susunan pipa dan kompor untuk membuang kelebihan gas yang mudah terbakar (Tver dan Berry 1980). Hal ini paling sering terletak di sekitar tanaman bensin, kilang, atau sumur produksi dimana flare tinggi yang hadir sebagai tinggi struktur seperti cerobong dengan api terlihat di bagian atas. Pada dasarnya, flaring berarti pembakaran gas terkait, sementara ventilasi terjadi selama pengeboran dan pengujian minyak dan gas sumur dan dari jaringan pipa gas selama keadaan darurat, kegagalan peralatan dan *shutdowns* pemeliharaan.

Dampak terjadinya kelebihan tekanan terlihat nyala panjang api pada cerobong flare yang mengarah ke atas, semakin besar tekanan maka semakin besar juga nyala api yang dihasilkan dan terlebih dapat mengakibatkan kebakaran di area pengolahan air limbah (POME) tersebut.

## **1.2 Rumusan Masalah**

1.2.1 Apa penyebab terjadinya over pressure (kelebihan tekanan)?

1.2.2 Mengapa gas metana yang berlebih harus dibakar ?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

1.3.1 Mengetahui kinerja pembakaran gas metana pada alat flare biogas.

1.3.2 Mengetahui perhitungan emisi gas rumah kaca oleh pembakaran pada flare.

1.3.3 Mengetahui kerugian tekanan mayor, minor dan total pemipaan.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

1.4.1 Sebagai pengetahuan tentang pembakaran bahan limbah berupa POME menjadi bahan bakar.

1.4.2 Mengembangkan pengetahuan dan teknologi pembakaran gas berlebih pada flare.

1.4.3 Mengetahui emisi gas rumah kaca yang terdapat pada pembakaran gas metana.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Flare Stack**

Flare stack adalah alat pembakar berbentuk vertical yang biasa digunakan dalam sumur minyak, sumur gas, alat-alat pembor, kilang, plant kimia, dan plant gas alam. Digunakan untuk menghilangkan limbah gas yang mana tidak mungkin untuk digunakan atau diangkut. Digunakan juga untuk sistem keamanan gas dan pembebasannya menggunakan pressure relief valve ketika dibutuhkan untuk menurunkan tekanan dalam peralatan (Ohio Epa 2014).

Flare stack dapat melindungi alat-alat proses gas dari kelebihan tekanan. Biasa juga digunakan dalam keadaan genting, sistem flare akan membakar seluruh gas proses. Dalam eksplorasi minyak, kilang, dan pabrik kimia tujuan utama penggunaan flare adalah sebagai peralatan keamanan untuk melindungi bejana atau pipa dari kelebihan tekanan. Pressure control valve adalah perlengkapan pada pengantisipasi tekanan untuk membebaskan gas berlebih, sampai diizinkan untuk melanjutkan operasi. Dimanapun peralatan pabrik mengalami kelebihan tekanan, secara otomatis pressure relief valve akan membebaskan gas, yang mana akan melewati pipa yang biasa disebut flare header untuk dilanjutkan ke flare stack.



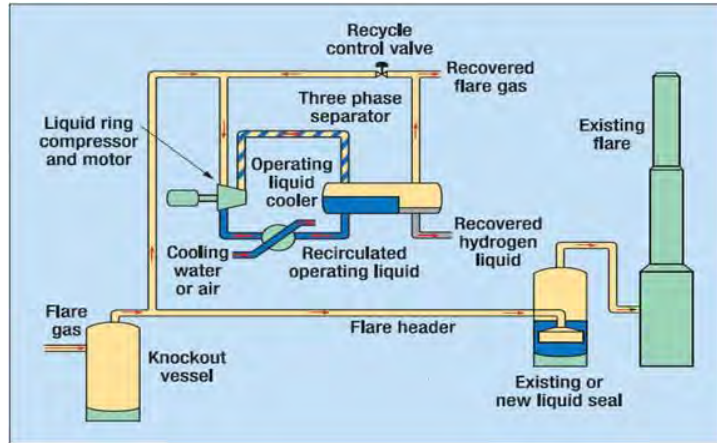
Gambar 2.1 *Flare stack*

(Winrock Internasional Harapan Sawit Lestari 2015)

### 2.1.1 Flare gas recovery

Flare gas recovery adalah salah satu metode yang digunakan untuk menurunkan flare loss dengan cara me-recover flare gas yang mempunyai nilai potensial untuk dijadikan sebagai feedstock (*feed Hydrogen Plant*), fuel ataupun produk LPG. Flare gas recovery unit ini juga dapat menurunkan emisi ke defenisi dari kilang dari produk samping pembakaran seperti  $\text{NOX}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ . Flare gas recovery unit memberikan keuntungan bagi suatu unit proses atau kilang, yaitu :

1. Menurunkan flare loss
2. Menurunkan fuel consumption suatu kilang
3. Menurunkan steam consumption suatu kilang
4. Meningkatkan flare tip life
5. Menurunkan emisi dari operasi kilang



Gambar 2.2 *Process of Gas Flare*  
(Ohio Epa 2014)

### *Diskripsi Proses*

Flare gas recovery system yang diusulkan adalah peralatan utamanya terdiri dari dua compressor yang mengkompresi gas dari flare gas header upstream liquid seal drum, dan mendinginkan untuk kembali di fuel gas system. Secara normal gelembung flare gas melalui waterseal dalam seal drum upstream flare stack. Level liquid dalam seal drum menentukan positive back pressure dalam *Flare Header* dan menjamin bahwa udara tidak masuk atau tertarik kedalam flare system. Untuk penyediaan tekanan suction yang lebih baik sementara menghindari masuknya udara ke suction flare gas compressor, modifikasi diperlukan untuk menaikkan level air dalam water seal drum. Flare gas recovery system diletakkan pada down stream knockout drum flare gas dari berbagai unit dalam refinery. Flare gas masuk ke compressor pada tekanan  $1.1 \text{ kg/cm}^2 \text{ Abs}$  dan  $38 \text{ }^\circ\text{C}$ . Resirkulasi flow air proses secara kontinyu masuk compressor untuk kompresi, sealing dan pendinginan gas. Sesudah meninggalkan compressor, gas, air dan campuran hydrocarbon masuk gas atau liquid separator

dimana gas yang dikompresi dipisahkan dari air dan kondensat hydrocarbon secara gravity karena kecepatan gas yang lebih rendah. Flare gas yang terpisah melalui demister sebelum meninggalkan gas atau liquid separator agar supaya kandungan air dan kondensat hydrocarbon dalam gas sekecil mungkin.

Dan gas keluar dari top gas atau liquid separator pada tekanan  $8.0 \text{ kg/cm}^2$  Abs dan temperatur kira-kira  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ . Water proses meninggalkan gas atau liquid separator dari bottom dimana ditekan kembali ke compressor akibat perbedaan tekanan antara gas atau liquid separator dan inlet compressor (liquid ring). Operasi normal flow rate liquid ring kira-kira  $32 \text{ m}^3/\text{hr}$ . pada  $38 \text{ }^\circ\text{C}$ . Shell dan tube cooler pada liquid ring line menjamin pendinginan pada ring dan oleh karena itu kompresi gas isothermal. Cooler didisain untuk duty dua compressor.

Flare gas dalam kondisi kering tetapi proses kompresi, gas menjadi jenuh dengan air. Ini menyebabkan air secara kontinyu menurun dalam system. Akibat kenyataan ini dan untuk menghilangkan liquid ring water proses dari hydrocarbon, line make up water ke line suction compressor disediakan. Hydrocarbon yang terkondensasi meluap ke OWS dari tempat dimana kondensat dikeluarkan dengan menggunakan Level Controll Valve. Water proses meluap melalui weir ke alat pengumpul. Level di alat tersebut di jamin oleh control valve yang dikontrol oleh level transmitter. Excess water dikirim ke OWS. Unit ini mempunyai by-pass / spill back antara inlet dan outlet unit untuk mengontrol tekanan inlet. Jika tekanan inlet turun dibawah nilai tertentu, valve mulai membuka sampai tekanan inlet naik. Gas dari gas atau liquid separator dialirkan ke Flare Gas Amine Absorber dimana gas ditreating di Amine unit untuk menghilangkan  $\text{H}_2\text{S}$  yang ada dalam gas. Gas treated dari Amine Absorber



dialirkan ke Fuel Gas header. Jika volume gas dilepas ke flare system melebihi kapasitas Flare Gas Recovery System, kelebihan volume gas akan mengalir ke flare stack. Jika volume gas yang dilepas ke flare system lebih kecil dari kapasitas penuh (disain) recovery unit, valve spillback akan mengarahkan discharge gas kembali ke suction header untuk mempertahankan kapasitas FGRS.

### *Pemilihan Compressor*

Pemilihan compressor dan perancangan compressor adalah penting untuk kapasitas dan kemampuan system. Pada tahap perancangan project, John Zink memilih tipe dan jumlah compressor yang paling cocok untuk aplikasi. Teknologi liquid compressor digunakan secara umum karena konstruksinya yang kuat dan tahan terhadap hantaman liquid dan penyumbatan gas yang kotor. Bagaimanapun aplikasi spesifikasi teknik memungkinkan menggunakan tipe compressor lain seperti rotary screw, reciprocating, sliding vane, atau rotary lobed. Liquid ring compressor lebih disukai dan paling tepat dari tipe lain (seperti reciprocating, screw, sentrifugal, dll) yang tersedia di pasar untuk servis ini, dimana liquid ring compressor menjamin mendekati kompresi isothermal dan pada hakekatnya beroperasi explosion proof.

### *Liquid Seal*

Selama operasi, flare gas recovery unit melepaskan gas dari main flare header. Dalam kondisi yang tidak terkendali, hal ini akan menciptakan kondisi vakum yang tidak diinginkan dalam header dan memungkinkan udara tertarik masuk ke system dari flare tip. Oleh karena itu kondisi positif pressure dalam flare header harus dipertahankan dengan menggunakan liquid seal. Liquid seal drum mempunyai peralatan internal yang menjamin flow gas yang ke flare tip

dalam kondisi steady hingga menaikkan kapasitas maksimum smokeless flare dengan jumlah tambahan energi yang minimum.

Keuntungan utama liquid seal, yaitu :

1. Mempunyai performance yang terbukti baik dalam banyak flare.
2. Meminimize noise akibat tidak stabilnya pembakaran
3. Positif flame arrestor dalam kejadian flash back.
4. Meminimize entrainment.

FGRU (Flare Gas Recovery Unit) menarik gas dari upstream liquid seal drum flare header dan me-recover gas yang normalnya dibakar di flare. Recovery system beroperasi untuk mempertahankan sedikit positif pressure pada flare header upstream liquid seal, hal ini untuk menjamin udara tidak masuk ke flare gas recovery unit. Jika sejumlah gas dilepaskan ke flare system melebihi kapasitas flare gas recovery unit, pressure dalam flare header akan naik sampai melewati tekanan balik yang diciptakan oleh level liquid dalam liquid seal drum. Pada titik ini, sejumlah gas lebih akan mengalir ke flare. Jika sejumlah gas yang dilepas ke flare system lebih kecil dari kapasitas penuh FGRU, maka system akan menurun secara otomatis dengan mengatur stage compressor dan mengarahkan discharge gas kembali ke suction header. Dasar operasi FGRU menggunakan teknologi liquid ring compressor sebagai berikut :

Flare gas yang direcover mengalir langsung ke FGRU skid dan menuju liquid ring compressor. Gas yang direcover dan sebagian liquid sealing bergabung didalam compressor dan dischargenya masuk ke vessel separator, disini liquid dan gas akan dipisahkan. Selanjutnya sealing liquid compressor didinginkan

menggunakan heat exchanger dan dikembalikan lagi ke compressor. Volumetric control dilengkapi dengan menggunakan sensor tekanan suction yang mengawali signal ke Programmable Logic Controller (PLC). PLC mengontrol peralatan yang penting untuk menjaga flow yang tepat ke FGRU.

### *Preliminary Design*

Refinery menghubungi team engineer flare gas recovery yang mempunyai pengalaman dari segi teknologi flare dan aplikasi recovery untuk melakukan penilaian engineering awal dan studi kelayakan. Team engineering ini melakukan pengujian untuk mengumpulkan data operasi dan mereview peralatan existing untuk menetapkan design system flare gas recovery yang secara efisien mengontrol emisi pada modal dan biaya operasi yang efisien. Untuk menentukan flow rate flare header secara tipical, engineer memasang peralatan instrumentasi di upstream pada masing-masing flare. Flow ini diukur dan direcord secara electronic untuk beberapa minggu untuk mengetahui pola aliran dihubungkan dengan kondisi normal operasi harian. Selama survey flare gas, Juru teknik laboratorium refinery mengumpulkan sampel gas yang dianalisa dengan gas chromatography untuk menentukan komposisi flare gas. Secara bersamaan, team mereview design dan operasi kedua fasilitas flare untuk menentukan kemungkinan hubungan hasil antara flare existing dengan flare gas recovery unit yang baru. Tahapan penting ini memperkenalkan modifikasi ke peralatan flare existing dan control yang diperlukan untuk integrasi dan menjaga performance flare gas recovery unit yang optimum. Hasil test menunjukkan bahwa liquid seal vessel flare existing harus dimodifikasi untuk mendapatkan / memenuhi parameter performance refinery yang ditentukan.

### 2.1.2 Flare header

Flare header adalah pipa yang menjadi hulu dari semua buangan gas dari dalam pabrik yang akan dibuang ke *Flare* (menara pembakar gas buang). Mengapa sedikit perlu kita singgung mengenai keberadaanya ?

Jalur pipa ini mungkin tidak akan menjadi suatu fokus jika pabrik beroperasi secara normal, gas mengalir normal, tidak ada kelebihan tekanan di pabrik atau tidak ada peristiwa kebakaran di pabrik. Namun sebaliknya, pipa ini akan menjadi super penting jika ke semua atau salah satu dari hal diatas tiba-tiba muncul.

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pembuatan pipa *Flare Header* :

#### 1. Jalur pipa yang aman

Jalur pipa *Flare Header* yang aman adalah jalur pipa yang tidak banyak membuat "*Pocket*" atau jebakan cairan di sepanjang jalurnya. Dengan adanya jebakan cairan, maka ada kemungkinan terjadi akumulasi cairan yang jika dari arah pabrik muncul gas bertekanan besar dengan tiba-tiba, maka gas bertekanan tersebut akan menghantam cairan terjebak tadi dan menyebabkan getaran dahsyat pada pipa hingga yang lebih ekstrimnya lagi dapat mengakibatkan pecahnya pipa tersebut. Ini yang disebut kekuatan *Water Hammering*.

Agar dalam perancangan jalur pemipaan ini dapat terhindar dari terbentuknya "*Pocket*", maka ada dua hal yang perlu diperhatikan :

#### 1.1 Jalur pipa yang tidak banyak membuat lekukan



Lekukan yang disebut adalah “*Turun Naiknya*” elevasi pipa yang terjadi disepanjang jalur ke *Flare*. Elevasi negatif, lalu kembali positif, akan menyebabkan terbentuknya pocket pada bagian lowestnya. Hal ini akan semakin bermasalah jika pada pocket itu tidak dapat diberi *Drain Valve* (keran penguras), karena berada diposisi yang susah (tidak ergonomis), seperti *Pocket* yang berada dibawah tanah atau melakukan *Draining* (pengurasan), misalnya didekat generator atau didekat alat yang berhubungan dengan sistem pembakaran atau panas.

Yang terbaik, pipa *Flare Header* memiliki jalur yang lurus tanpa belokan, baik belokan yang vertikal atau belokan horizontal (hanya menambah pressure drop). Namun yang lebih berbahaya adalah belokan vertical.

## 1.2 Pipa tidak melintasi atau berada di genangan air

Pipa yang melintas dibawah air atau genangan lain yang sifatnya dingin, sangat tidak dianjurkan sebagai jalur pipa *Flare Header*. Hal ini karena, gas yang mengalir terlebih lagi gas yang mudah mengembun, akan terkondensasi oleh dinginnya lingkungan sekitar pipa yang disebabkan oleh genangan (aliran air), sehingga gas dalam pipa akan mengembun dan menghasilkan cairan kondensasi pada jalur pipa tersebut. Hal ini juga dapat menyebabkan *Water Hammering* dan pengecilan dalam ruang dalam pipa, jika kondesat tersebut mengandung fraksi berat yang dapat mengeras. Oleh karena itu, perlu aliran pembuangan air yang baik di dalam pabrik.

Pengecilan ruang di dalam *Flare Header* ini akan menyebabkan kenaikan *Pressure drop* dan mengakibatkan tingginya tekanan di dalam pipa *Flare Header*

akan menyebabkan terganggunya fungsi pembuangan di dalam pabrik, sampai tidak optimalnya fasilitas pengaman lain seperti *Pressure safety valve* yang menggunakan sistem konvensional.

## 2 Aksesoris yang perlu ada di pipa *Flare Header*

- Biasanya, pipa *Flare Header* diminisir dalam penggunaan fasilitas seperti valve atau kerangan baik check valve, block valve ataupun pressure control valve. Hal tersebut tidak mutlak dilarang, tapi sangat dianjurkan tidak dipai karena dapat menyebabkan faktor resiko yang besar, karena dengan tidak berfungsinya peralatan-peralatan tersebut, maka seolah-olah kita menutup hidung pabrik dan dapat menyebabkan bahaya *Over pressure* di dalam sistem proses di pabrik itu.
- *Knock Out Drum* (KO Drum) adalah alat yang berbentuk vessel ini bertujuan untuk memisahkan kondensat atau cairan lain yang terbentuk atau mengalir disepanjang pipa *Flare Header* dengan gas yang mengalir ke *Flare*. KO Drum diletakkan mendekati *Flare Stack* (menara pembakar), agar semua kondensat terkumpul dan tidak ikut terbakar di *Flare* yang dapat mengakibatkan api menyala hitam. Jika kondensatnya banyak atau ada luapan minyak dari salah satu alat produksi yang terbawa ke *Flare*, maka jilatan api dapat menjuntai mendekati permukaan tanah disekitar *Flare* dan ini sangat membahayakan untuk daerah sekitarnya, sedangkan untuk mengatasi problematika yang muncul disepanjang pipa *Flare Header* khususnya mengenai potensi munculnya kondensat di *Flare Header*, seperti diuraikan pada contoh-contoh diatas, maka pemasangan KO Drum dipandang sebagai suatu hal yang wajib.

- *Flame Arrester* ini adalah alat yang berfungsi mengatasi *Back Fire* (membaliknya aliran api) dari puncak *Flare* ke jalur *Flare Header*. Hal tersebut dapat terjadi antara lain jika :

1. Adanya oksigen yang masuk ke dalam selongsong *Flare* menyala dengan api yang kecil dan tekanan udara di sekitar *Flare* yang tinggi.

2. Pada saat *start-up flare* atau sistem yang tidak dipurging (dibasuh dengan inert atau gas buang) dengan benar, sehingga sisa-sisa oksigen di dalam selongsong *Flare* masih ada. Oksigen inilah yang akan terbakar bersama bahan bakar (sebagai gas sisa pembuangan pabrik) di dalam selongsong *Flare* dan mungkin merambat ke jalur pipa *Flare Header*.

3. Pada saat *shut-down flare* api yang akan mati secara berlahan-lahan pada saat akan dilakukan *shut-down* pada pabrik, berpeluang *Flare* akan menghisap oksigen dari udara disekitarnya dari puncaknya. Api yang belum benar-benar mati ini juga memiliki potensi terbakar di dalam selongsong *Flare* karena adanya oksigen yang masuk.



Gambar 2.3 *Flame arrester*  
(IEA Bioenergy Agreement 2000)

### 3 Modifikasi pada jalur Flare Header

Apa yang dapat dimodifikasi dari jalur *Flare Header* ini ? dan mengapa ?

Modifikasi di jalur *Flare Header* sebetulnya bertujuan untuk meningkatkan keamanan gas ke *Flare* agar sistem di pabrik, yang khususnya berhubungan dengan masalah tekanan dapat dikatakan terjaga pada kondisi yang aman. Gas yang memiliki waktu tinggal yang lama di dalam *Flare Header* dapat menyebabkan akumulasi tekanan dan berakibat naiknya tekanan di dalam jalur *Flare Header*. Penyumbatan *Flame arrester* dapat dilihat sebagai suatu penyebab terkumpulnya tekanan di *Flare Header* hal ini, seperti diuraikan diatas, cukup mengganggu set point pada *Pressure Safety Valve* (PSV). Sehingga setting pressure safety valve terkadang banyak yang mengambil hanya sekitar 90% dari tekanan setting normalnya. Hal ini diasumsikan jika back pressure sekitar 10% dari tekanan setting *Pressure Safety Valve*.

Bagaimana mengantisipasinya agar kelebihan tekanan dan gangguan pada *Flare Header* tersebut tidak terjadi ?

- Jika kita melihat kendala terbesar penyebab peningkatan tekanan di *Flare Header* ini adalah penyumbatan pada *Flame Arrester*, maka kita harus melindungi *Flame Arrester* dari partikel pengotor dan kondesat yang membawa fraksi berat sehingga dapat menyebabkan *Plugging* (kebuntuan) di *Flame Arrester*. Salah satunya dengan meletakkan *KO Drum* atau *Condensate and Sediment Trap*. Kotoran dan kondesat dari *Flare Header* akan jatuh di *KO Drum* atau *Condensate and Sediment Trap*, bukan langsung di *Flame Arrester* yang dapat menyebabkan kebuntuan atau tidak

juga di *Flare Stack* yang dapat menyebabkan jilatan api yang besar dan asap hitam yang besar.

- Jika kondensat berat yang membuat pembuntuan di dalam pipa *Flare Header*, karena kondensat harus terjebak lama dalam pocket-pocket pipa, maka designer harus memilih jalur pipa yang tepat agar dapat terhindar dari pocket. Apakah pada *Cross Road* (pipa yang menyebrang jalan), posisi pipa *Flare Header* akan dimasukkan ke dalam tanah atau naik dengan *Pipe Rack* (diatas jalan). Pilihlah pipa berada diatas tanah, kemudian dipasang *Drain Valve* (kerangan buangan) pada bagian pipa yang mulai menanjak naik. Disinilah kemungkinan akan terbentuk kondensat yang dapat segera diantisipasi dengan kerang buangan tersebut.

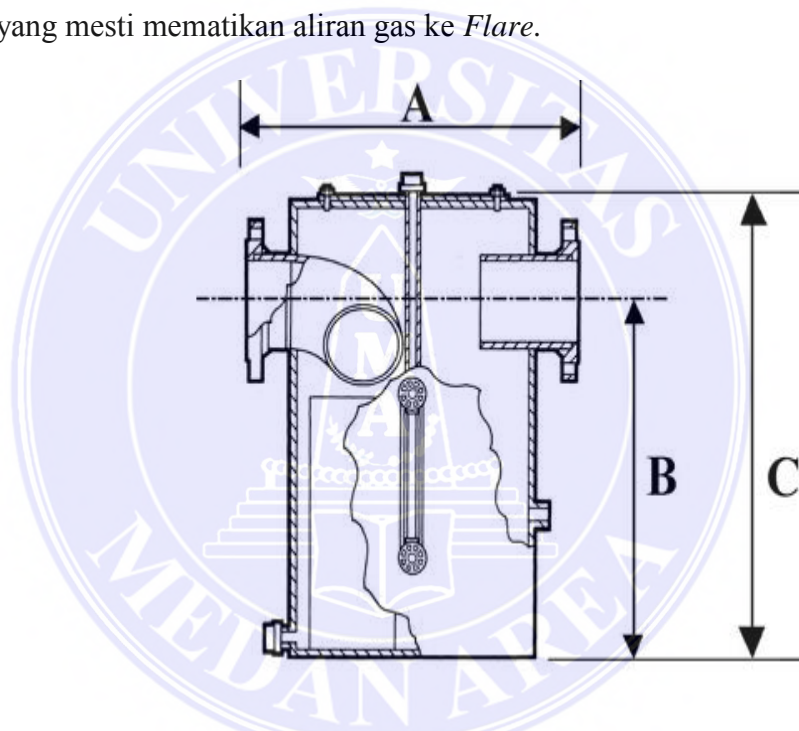
- Bagaimana jika sebuah sistem *Flare Header* tidak dilengkapi KO Drum ?

Sistem seperti ini akan lebih sukar penanganannya, karena bisa saja Flame Arrester akan sering buntu akibat gas yang membawa kondensat dan partikel langsung menghantam *Flame Arrester*. Mungkin yang paling tepat adalah merubah sistem dengan menambahkan KO Drum. Tapi bisakah menambahkan filter elemen di sekitar *Flare* ? Ya, cara ini adalah dengan memotong menjadi dua bagian pipa sebelum Flame Arrester, membuat Flange di kedua ujung pipanya dan memberi *Filter Press* yang disisipkan diantara kedua Flange. Mirip seperti pemasangan *orifice* di pipa. Namun, *Filter by-pass* harus dibuat jika ingin memasang sistem semacam ini hal tersebut untuk memudahkan maintenance pembersihan atau penggantian filter.

Pemasangan filter bantuan ini masih wajar dilakukan jika gas mengandung sedikit kondensat dan membawa sedikit partikel. Banyak dan



sedikitnya partikel ditentukan oleh kemampuan dan jangka waktu *mesh filter* dalam menahan partikel tersebut pada suatu luasan area. Perlu diingat sistem semacam ini tidak layak untuk dipasang di kilang minyak, karena kadar sulfur yang tinggi dari pemrosesan di kilang dapat mempercepat kerusakan filter (kecuali ada ketentuan khusus), terlebih lagi pemberian by-pass pada sebuah Flare Header kurang begitu lazim dipakai, dengan alasan keamanan akibat *human error*. Tapi sistem ini boleh juga dipilih, ketimbang harus sering bongkar pasang flame arrester yang mesti mematikan aliran gas ke *Flare*.



Gambar 2.4 Condensate (*Sediment Trap*)

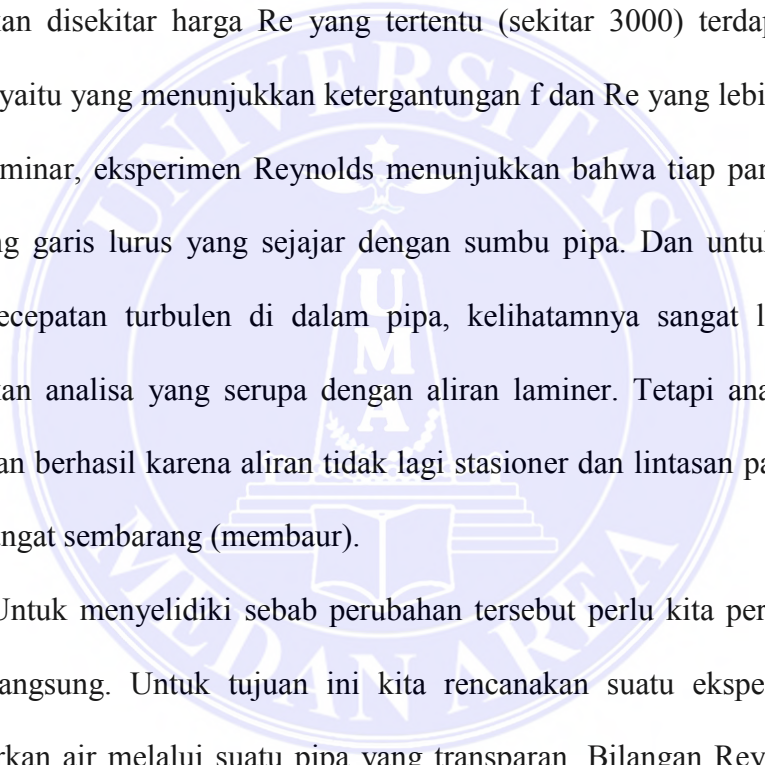
(Gas Flaring O.S Ismail 2012)

## 2.2 Aliran Dalam Pipa

Pada umumnya aliran fluida dapat dibedakan atas (1) aliran dalam saluran, yaitu aliran yang dibatasi oleh permukaan-permukaan keras, dan (2) aliran sekitar benda, yang dikelilingi oleh fluida yang selanjutnya tidak terbatas. Perbedaan demikian hanyalah untuk memudahkan peninjauan saja, karena gejala dasar dan

kelakuan fluida berlaku pada kedua keadaan tersebut. Aliran melalui pipa dipilih untuk mewakili bentuk penampang lain karena dilapangan secara garis besar dapat kita jumpai dalam aplikasi lapangan.

### 2.2.1 Aliran laminar dan aliran turbulen

Koefisien gesek untuk pipa silinder merupakan fungsi dalam  $Re$  (bilangan Reynolds). Kenyataan ini ditunjang oleh hasil-hasil eksperimen. Diagram  $f$  terhadap  $Re$  untuk pipa-pipa silinder ini menunjukkan karakter yang demikian. Sedangkan disekitar harga  $Re$  yang tertentu (sekitar 3000) terdapat perubahan harga  $f$ , yaitu yang menunjukkan ketergantungan  $f$  dan  $Re$  yang lebih kecil. Untuk aliran laminar, eksperimen Reynolds menunjukkan bahwa tiap partikel bergerak sepanjang garis lurus yang sejajar dengan sumbu pipa. Dan untuk menentukan profil kecepatan turbulen di dalam pipa, kelihatannya sangat logis bila kita melakukan analisa yang serupa dengan aliran laminar. Tetapi analisa demikian tidak akan berhasil karena aliran tidak lagi stasioner dan lintasan partikel-partikel fluida sangat sembarang (membang).

Untuk menyelidiki sebab perubahan tersebut perlu kita periksa alirannya secara langsung. Untuk tujuan ini kita rencanakan suatu eksperimen dengan mengalirkan air melalui suatu pipa yang transparan. Bilangan Reynoldnya dapat diubah-ubah dengan mengubah laju aliran massa. Untuk membuat aliran terlihat, kita dapat menyuntikkan cairan warna sepanjang tengah-tengah pipa.

Hal-hal yang diperhatikan sifat fisis fluida adalah tekanan, temperatur, massa dan viskositas. Masalah aliran fluida dalam pipa yaitu:

1. Sistem terbuka (open channel)
2. Sistem tertutup

3. Sistem seri
4. Sistem paralel

Arti fisis bilangan Reynold adalah menunjukkan kepentingan relatif antara efek inersia dan efek viskos dalam gerakan fluida. Parameter yang berpengaruh dalam aliran yaitu:

1. Diameter pipa ( $d$ )
2. Kecepatan ( $v$ )
3. Viskositas fluida ( $\mu$ )
4. Masa jenis fluida ( $\rho$ )
5. Laju aliran masa ( $Q$ )

Klasifikasi hilang tinggi tekanan besar (Mayor losses)  $h_{gs}$  adalah disebabkan oleh gesekan sepanjang pipa. Hilang tinggi tekanan kecil (Minor losses)  $h_f$  adalah disebabkan oleh perlengkapan pipa berupa kontraksi (penyempitan tiba-tiba), ekspansi (pembesaran tiba-tiba), belokan, dan perlengkapan pipa lain seperti kran, alat ukur air.

### 2.2.2 Kerugian tekanan aliran

Kerugian tekanan besar (mayor losses) dapat digunakan rumus Darcy Weisbach

$$h_{gs} = \alpha \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g}$$

Dimana:

$h_{gs}$  = hilang tinggi tekanan karena gesekan sepanjang pipa (m)

$\alpha$  = koefisien Darcy

L = panjang pipa (m)

$V$  = kecepatan aliran dalam pipa (m/s)

$g$  = percepatan gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

Cara menghitung koefisien gesekan Darcy ( $\alpha$ )

$$\text{Re untuk pipa, } Re = \frac{v d}{\nu}$$

Dimana:

Re = bilangan Reynold

$V$  = kecepatan aliran (m/s)

$D$  = diameter pipa (m)

$\nu$  = viskositas kinematik (m<sup>2</sup>/s)

Untuk aliran laminar  $Re < 2000$ , untuk mencari koefien gesek digunakan rumus di bawah ini:

$$\alpha = \frac{64}{Re}$$

Dimana:

$\alpha$  = koefisien gesek Darcy

Re = bilangan reynold

Untuk aliran turbulen  $Re > 4000$  pipa halus digunakan rumus di bawah ini:

$$\frac{1}{\alpha} = -2 \log \left[ \frac{2,51}{Re \sqrt{\alpha}} \right]$$

Dimana:

$\alpha$  = koefisien gesek Darcy

Re = bilangan reynold

Untuk aliran turbulen  $Re > 4000$  pipa kasar digunakan rumus di bawah ini:

$$\frac{1}{\alpha} = 2 \log \left[ \frac{ks/d}{3,71} \right]$$

Dimana:

Ks = kekasaran mutlak (mm)

D = diameter pipa (mm)

Untuk aliran turbulen, peralihan halus ke kasar digunakan rumus di bawah ini:

$$\frac{1}{\alpha} = -2 \log \left[ \frac{2,51}{Re \sqrt{\alpha}} + \frac{ks/d}{3,71} \right]$$

Korelasi tentang koefisien gesek dalam aliran turbulen pertama-tama diajukan oleh Blasius 1911, dengan melakukan survei secara kritis pada data dan menformulasikan persamaan empirik berikut:

$$f = \frac{0,36}{Re^{1/4}}$$

Yang berlaku untuk pipa licin sampai bilangan Reynolds  $10^3$ , dapat dilihat



Bahwa faktor gesek dalam aliran turbulen berubah lebih pelan dengan bilangan Reynolds dibanding dengan aliran laminar. Bila dianggap bahwa pada  $Re = 2300$  baik aliran laminar maupun turbulen dapat terjadi, maka untuk aliran laminar  $f = 64/Re$ .

Tabel 2.1 Koefisien kekasaran pipa (C)

Jenis Pipa	c
PVC	120-140
Baja baru	110-120
GIP (Galvanized Iron Pipe)	110-120
DIP (Ductile Iron Pipe)	110-120
Acp (Asbestos Cemen Pipe)	110-120

Catatan: untuk pipa >10 tahun,  $c = 90-100$

Kerugian tekanan kecil (Minor losses) dapat menggunakan rumus di bawah ini:

$$h_l = k \frac{v^2}{2g}$$

Dimana:

$h_l$  = hilang tinggi tekanan kecil (m)

K = koefisien hilang tinggi tekanan

V = kecepatan aliran (m/s)

g = gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

Tabel 2.2 Untuk perlengkapan pipa yang diperdagangkan

Fitting	K
Globe valve (bola), terbuka	10
penuh	
Gate valve	0,2
90° bend	0,25
45° bend	0,2
T cabang	1

Kerugian tekanan (pressure drop) besar mayor losses

Sehingga perhitungan kehilangan tekanan (pressure drop) mayor menurut

Darcy Weisbach dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan rumus:

$$\Delta p = f \cdot \rho \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2}$$

Dimana:

$\Delta p$  = kehilangan tekanan mayor (pa)

L = panjang pipa (m)

V = kecepatan fluida (m/s)

$\rho$  = masa jenis (kg/m<sup>3</sup>)

D = diameter pipa (m)

Kerugian tekanan minor (Minor pressure losses)

Kerugian tekanan minor adalah kerugian yang disebabkan karena adanya sambungan pipa (fiting), katup (valve), belokan (elbow), saringan (strainer),

percabangan (tee), losses pada bagian entrance, losses pada bagian axit, pembesaran pipa (expansion), pengecilan pipa (contraction) dan sebagainya.

$$\Delta p = k \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2}$$

Dimana:

$\Delta p$  = kehilangan tekanan minor (pa)

K = koefisien hambatan

V = kecepatan fluida (m/s)

$\rho$  = masa jenis (kg/m<sup>3</sup>)

Penurunan tekanan total pemipaan

Penurunan tekanan total pada pemipaan yang disebabkan oleh jalur distribusi pemipaan dapat dicari dengan menjumlahkan kerugian tekanan mayor dengan kerugian tekanan minor.

$$\Delta p \text{ total pemipaan} = \Delta p \text{ mayor} + \Delta p \text{ minor}$$

Dimana:

$\Delta p$  total pemipaan = pa

$\Delta p$  mayor = pa

$\Delta p$  minor = pa

### 2.3 Proses Pembakaran (*Combustion Process*)

Pengertian pembakaran secara umum yaitu terjadinya oksidasi cepat dari bahan bakar disertai dengan produksi panas dan cahaya. Pembakaran sempurna bahan bakar terjadi jika ada pasokan oksigen yang cukup. Dalam setiap bahan bakar, unsur yang mudah terbakar adalah karbon, hidrogen, dan sulfur.

Tujuan dari pembakaran yang sempurna adalah melepaskan seluruh panas yang terdapat dalam bahan bakar. Hal ini dilakukan dengan pengontrolan “Tiga T” yaitu :

a. T-Temperatur

Temperatur yang digunakan dalam pembakaran yang baik harus cukup tinggi sehingga dapat menyebabkan terjadinya reaksi kimia.

b. T-Turbulensi

Turbulensi yang tinggi menyebabkan terjadinya pencampuran yang baik antara bahan bakar dan pengoksidasi.

c. T-Time (Waktu)

Waktu yang cukup agar input panas dapat terserap oleh reaktan sehingga berlangsung proses termokimia.

Dalam proses pembakaran tidak terlepas dari tahap awal yaitu penyalaan dimana keadaan transisi dan tidak reaktif menjadi reaktif karena dorongan eksternal yang memicu reaksi termokimia diikuti dengan transisi yang cepat sehingga pembakaran dapat berlangsung. Penyalaan terjadi bila panas yang dihasilkan oleh pembakaran lebih besar dari panas yang hilang ke lingkungan. Dalam proses penyalaan ini dapat dipicu oleh energi *thermal* yang merupakan transfer energi *thermal* ke reaktan oleh konduksi, konveksi, radiasi atau kombinasi dari ketiga macam proses tersebut.

Pembakaran yang sempurna akan menghasilkan tingkat konsumsi bahan bakar ekonomis dan berkurangnya besar kepekatan asap hitam gas buang karena pada pembakaran sempurna campuran bahan bakar dan udara dapat terbakar seluruhnya dalam waktu dan kondisi yang tepat. Kualitas bahan bakar perlu

diperhatikan sesuai dengan karakteristiknya sehingga homogenitas campuran bahan bakar dengan udara terjadi secara sempurna agar terjadi pembakaran yang sempurna.

Energi panas yang dihasilkan dari suatu proses pembakaran senyawa hidrokarbon merupakan kebutuhan energi yang paling dominan dalam refinery. Pengolahan energi yang tepat dan efisien merupakan langkah penting dalam upaya penghematan biaya produksi secara menyeluruh. Pembakaran merupakan reaksi kimia yang bersifat eksotermis dari unsur-unsur yang ada di dalam bahan bakar dengan oksigen serta menghasilkan panas. Proses pembakaran memerlukan udara, namun jumlah udara yang dibutuhkan tidak diberikan dalam jumlah yang tepat secara stoikiometri, namun dlebihkan. Hal ini bertujuan supaya pembakaran berlangsung sempurna. Kelebihan udara ini disebut *Excess air* (udara yang berlebih).

Pembakaran yang sempurna akan menghasilkan jumlah panas yang maksimum. Pembakaran dinyatakan secara kualitatif atau kuantitatif dengan reaksi kimia. Jumlah panas yang dihasilkan bahan bakar dinyatakan sebagai nilai kalori pembakaran (*Calorie Value*). Reaksi kimia terjadi melalui suatu proses oksidasi senyawa-senyawa karbon, hidrogen, dan sulfur yang ada dalam bahan bakar. Reaksi ini umumnya menghasilkan nyala api. Terdapat dua istilah pembakaran yang berhubungan dengan udara excess, yaitu :

1) Neutral combustion

Merupakan pembakaran tanpa excess atau defisit udara dan tanpa bahan bakar yang tidak terbakar

2) Oxidizing combustion



Merupakan pembakaran dengan excess udara, udara yang berlebih bukan merupakan jaminan pembakaran yang sempurna

### 2.3.1 Temperatur Nyala Api (*Flame Temperatures*)

Temperatur nyala api (*Flame Temperatures*) adalah suhu maksimum nyala bahan bakar yang terjadi apabila tidak ada kebocoran panas ke sekeliling. Suhu nyala adibatik diperlukan untuk mengetahui berapa besar panas yang terjadi ketikabahan bakar tersebut bakar. Hal ini merupakan salah satu parameter karakteristik termal dari bahan bakar, seperti halnya bahan bakar solar yang dipakai sebagai bahan bakar. Perhitungan suhu nyala adibatik di dasarkan atas persentase massa dari kandungan carbon, hidrogen, oksigen dan nitrogen di dalam bahan bakar. Dalam pembakaran, semua kalor yang terkandung di dalam bahan bakar menjadi produk + kalor sensibel.

*Flame* temperatur adalah temperatur dimana suatu zat atau material melepaskan uap yang cukup untuk membentuk campuran dengan udara yang ada sehingga terbakar. Walaupun banyak orang yang mengatakan bahwa temperatur nyala tidak dapat ditentukan secara nyata. Karena hal itulah para ahli mencari metode untuk menentukan nilainya secara teori. Temperatur nyala api ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu tergantung pada jenis bahan bakar dan oksida yang digunakan. Untuk api konvensional yang digunakan dalam fotometri nyala, temperatur nyala yang lebih tinggi diperoleh dengan oksigen digunakan sebagai oksida bukan udara, karena di dalam udara terdapat nitrogen yang dapat menurunkan suhu nyala api (Melisa 2015).

*Flame* temperatur juga bervariasi sesuai dengan rasio masing-masing komponen dalam campuran yang mudah terbakar, jika campuran tidak masuk

pembakaran dalam komposisi optimal, bahan bakar kelebihan atau oksidan tidak berpartisipasi dalam reaksi dan gas *inert* seperti komponen berlebih menurunkan suhu nyala api.

Temperatur yang dapat secara adiabatik, dimana tidak ada panas yang masuk dan panas yang keluar pada saat terjadinya pembakaran. Sedangkan suhu pembakaran disebut dengan *flame* temperatur. Untuk menghitung *flame* temperatur digunakan rumus sebagai berikut :

$$\Delta HR_T = \Delta H_{\circ R} + (\Delta H_p - H_R)$$

Rumus menghitung panas reaksi standar

$$\Delta H_{\circ R} = n \sum \Delta H^{\circ} C + n \cdot H_2O \quad (\text{Hougen 1943})$$

Dimana

$\Delta HR_T$  = Panas reaksi pembakaran

$\Delta H_{\circ R}$  = Panas reaksi

$\Delta H_p$  = Panas produk

$H_R$  = Panas reaktan

Faktor-faktor yang mempengaruhi *flame* temperatur :

1. Temperatur Adiabatik
2. Tekanan Atmosfir
3. Bahan bakar yang terbakar
4. Ada tidaknya pengoksidasi dalam bahan bakar
5. Bagaimana stokiometri pembakaran yang terjadi

### 2.3.2 Kebutuhan Udara Pembakaran

Dalam suatu proses pembakaran bahan bakar dengan oksigen, dibutuhkan oksigen murni untuk proses pembakaran didalam ruang bakar. Namun hal ini merupakan hal yang tidak efisien karena harga oksigen murni yang sangat mahal, selain itu dapat mengakibatkan suhu lokal yang sangat tinggi di dalam ruang bakar sehingga dapat merusak pipa-pipa dan logam pembungkus boiler. Namun hal ini dapat diatasi dengan menggunakan oksigen yang cukup banyak tersedia yaitu udara. Jika mengabaikan kandungan kecil dari gas-gas mulia yang ada di dalam udara seperti neon, xenon, dan sebagainya, maka dapat menganggap udara kering sebagai campuran dari gas nitrogen dan oksigen. Proporsi oksigen dan nitrogen dapat diatur dalam udara, dalam satuan volume maupun satuan berat. Dalam bentuk persentase, proporsinya adalah :

Berdasarkan berat : Oksigen = 23,2 %

Nitrogen = 76,8 %

Berdasarkan volume : Oksigen = 21 %

Nitrogen = 79 %

### 2.3.3 Kebutuhan Udara Teoritis

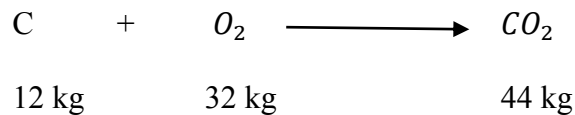
Analisis pembakaran untuk menghitung kebutuhan udara teoritis dapat dilakukan dengan dua cara :

- a. Berdasarkan pada satuan berat
- b. Berdasarkan pada satuan volume

Pada suatu analisis pembakaran selalu diperlukan data-data berat molekul dan berat atom dari unsur-unsur yang terkandung dalam bahan bakar.

- a. Analisis Pembakaran Berdasarkan Berat

Analisis ini digunakan untuk menghitung kebutuhan teoritis pada pembakaran sempurna sejumlah bahan bakar tertentu. Sebagai contoh :



Ini berarti bahwa setiap kg karbon memerlukan 32 kg oksigen secara teoritis untuk membakar sempurna karbon menjadi karbondioksida. Apabila oksigen yang dibutuhkan untuk membakar masing-masing unsur pokok dalam bahan bakar dihitung lalu dijumlahkan, maka akan ditemukan kebutuhan oksigen teoritis yang dibutuhkan untuk membakar sempurna seluruh bahan bakar. Oleh karena itu untuk memperoleh harga kebutuhan oksigen teoritis yang sebenarnya maka dibutuhkan oksigen yang telah dihitung berdasarkan persamaan reaksi pembakaran kemudian dikurangi dengan oksigen yang terkandung dalam bahan bakar.

#### b. Analisis Pembakaran Berdasarkan Volume

Apabila dalam suatu analisis bahan bakar dinyatakan dalam persentase berdasar volume, maka suatu perhitungan yang serupa dengan perhitungan berdasarkan berat bisa digunakan untuk menentukan volume dari udara teoritis yang dibutuhkan. Untuk menentukan udara teoritis harus memahami hukum avogadro yaitu “gas-gas dengan volume yang sama pada suhu dan tekanan standar (0°C dan tekanan sebesar 1 bar) berisikan molekul dalam jumlah yang sama” (Diklat PLN 2006).

### 2.3.4 Kebocoran Udara

Mengevaluasi bahan bakar yang terbuang yang disebabkan kebocoran udara. Kebocoran udara di bagian konveksi akan menurunkan efisiensi panas dari furnace akibat pencampuran udara luar yang bersuhu rendah dengan gas buang yang bersuhu tinggi. Persamaan beban energi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\Delta F = \frac{(T_s - T_a)(O_{2,s} - O_{2,c})}{500}$$

Sebagai contoh, katakanlah suhu stack sebesar 600° F dan suhu udara lingkungan sebesar 100°F, bagian konveksi memiliki 10% Oksigen, dan di firebox mengandung 6% oksigen yang diukur dibawah shock tube. Berapa persen bahan bakar yang terbuang dengan adanya kebocoran udara pada bagian konveksi ?

$$\Delta F = \frac{(600 - 100)(10 - 6)}{500} = 4\%$$

Meminimalisir pemborosan bahan bakar yang disebabkan kebocoran udara jika mengacu pada contoh diatas, seandainya kita mengurangi udara pembakaran dengan sedikit menutup air register, sehingga kadar oksigen dalam firebox sekarang menjadi 3%. Kadar oksigen di bagian konveksi juga turun, katakanlah menjadi sekitar 9% oksigen. Perbedaan kadar oksigen di firebox dengan di bagian konveksi sekarang meningkat menjadi 6%. Hal ini disebabkan karena draft yang melewati heater meningkat (berarti tekanan lebih negatif), dan lebih banyak udara yang diisap melewati lubang-lubang atau dari kebocoran udara pada bagian konveksi. Jika kita masih mempertahankan suhu stack 600°F dan suhu lingkungan 100°F, kita mendapatkan sekarang 6% bahan bakar yang terbuang. Sehingga akan lebih banyak lagi bahan bakar yang harus dibakar di dalam firebox untuk mengimbangi meningkatnya kebocoran udara.



Seandainya kita mengatur air register kembali seperti semula, dan sebagai gantinya kita menjepit stack damper, sehingga kita bisa menurunkan laju alir udara dengan stack damper hingga oksigen pada firebox turun dari 6% menjadi 3%. Oksigen pada bagian konveksi juga turun katakanlah 5%. Pada kasus ini kita melihat bahwa  $\Delta O_2$  juga berkurang menjadi hanya 2%. Hal ini dikarenakan berkurangnya draft yang melewati heater, yang berarti tekanan pada bagian konveksi meningkat sehingga menurunkan laju kebocoran udara. Hal ini menunjukkan bagaimana kebocoran udara bervariasi sesuai dengan kombinasi operasi antara stack damper dan air register.

#### *Udara Berlebih (Excess Air)*

Konsentrasi oksigen pada gas buang merupakan parameter penting untuk menentukan status proses pembakaran karena dapat menunjukkan kelebihan  $O_2$  yang digunakan. Secara kuantitatif udara lebih dapat ditentukan dari :

- a. Komposisi gas buang yang meliputi  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$  dan  $CO$
- b. Pengukuran secara langsung udara yang disuplai

Rumus untuk menghitung udara berlebih dari komposisi gas buang adalah:

$$\% \text{ Udara berlebih} = \frac{\text{udara suplai} - \text{udara teoritis}}{\text{udara teoritis}} \times 100 \text{ (Himmelblau 1991)}$$

Efisiensi pembakaran akan meningkat seiring dengan peningkatan jumlah *excess air* hingga pada nilai tertentu, yaitu saat nilai kalor yang terbuang pada gas buang lebih besar daripada kalor yang dapat disuplai oleh pembakaran yang optimal.

Parameter yang diperlukan untuk kualifikasi bahan bakar dan udara didalam sebuah proses pembakaran adalah rasio udara atau bahan bakar, yaitu jumlah

udara di dalam sebuah reaksi terhadap jumlah bahan bakar = mol udara / mol bahan bakar atau massa udara (kg) / massa bahan bakar (kg).

#### 2.4 Defenisi dari Biogas

Biogas terbentuk ketika mikroorganisme, khususnya bakteri, menurunkan kadar zat organik pada kondisi anaerob (tanpa oksigen). Biogas terdiri dari 50 % - 75 % metana ( $CH_4$ ), 25 % -45% karbon dioksida ( $CO_2$ ) dan sejumlah kecil gas lainnya. Komposisi biogas ditunjukkan pada **tabel 2.3**

Tabel 2.3 Komposisi Biogas

Unsur	Rumus	Konsentrasi (%volume)
Metana	$CH_4$	50-75
Karbon dioksida	$CO_2$	25-45
Uap air	$H_2O$	2-7
Oksigen	$O_2$	<2
Nitrogen	$N_2$	<2
Hidrogen sulfida	$H_2S$	<2
Amonia	$NH_3$	<1
Hidrogen	$H_2$	<1

(Winrock Internasional 2015)

Metana, komponen utama biogas dapat terbakar dengan oksigen. Energi yang dilepaskan dari pembakaran menjadikan biogas berpotensi sebagai bahan bakar. Biogas bisa digunakan untuk berbagai tujuan pemanasan, mulai dari memasak hingga sebagai bahan bakar mesin di industri. Di dalam *biogas engine*, biogas diubah kandungan energinya menjadi listrik dan panas. Biogas yang

dikompresi dapat dijadikan bahan bakar untuk kendaraan bermotor melalui pembakaran di mesin, namun penggunaannya masih terbatas. Salah satu daya tarik utama dari teknologi biogas adalah kemampuannya dalam menghasilkan biogas dari limbah organik yang jumlahnya melimpah dan relatif murah seperti POME. Pada saat bersamaan, pemilik proyek mendapatkan cara yang aman dan tepat untuk memproses limbahnya sehingga menghindari dampak negatif terhadap lingkungan.

Biogas dihasilkan dari proses dekomposisi sampah secara anaerobik (Popov 2005). (Abreu 2011) menyatakan bahwa proses anaerobik terjadi dalam 10 – 50 hari. Biogas merupakan campuran gas metana dengan gas-gas lain seperti CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S (Sudrajat 2006).

Gas metana merupakan komponen utama dari biogas. Pada suhu ruangan dan tekanan standar, gas ini tidak berwarna dan tidak berbau. Gas ini memiliki sifat mudah terbakar. Sedangkan metana dalam bentuk cair (*liquid methane*) dapat dibakar pada tekanan tinggi sekitar 4-5 atmosfer (Syafputri 2012). Menurut (Sudrajat 2006), komposisi dan nilai kalor biogas antara lain:

$CH_4$ : 50 – 85%

$CO_2$ : 15 – 50%

$H_2S$  : <1%

Tabel 2.4 Kesetaraan Biogas

Bahan Bakar	Jumlah
Biogas	1 m <sup>3</sup>
Elpiji	0,46 kg
Minyak tanah	0,62 liter
Minyak solar	0,52 liter
Bensin	0,80 liter

(Sucipto 2012)

#### 2.4.1 Perhitungan potensi Biogas

Metode perhitungan energi untuk *anaerobik digestion* (Frear, *et al* dalam Sulisty 2010) menurut artikel dalam *Biomass Inventory and Bioenergy Assessment An Evaluation of Organic Material Resources for Bioenergy Production in Washington State* oleh Craig Frear, Bingcheng Zhao, Guobin Fu, Michael Richardson, dan Shulin Chen, *Department of Biological Systems Engineering Washington State University* dan Mark R. Fuchs *Solid Waste & Financial Assistance Program, Department of Ecology Spokane*, yang diterbitkan oleh *Departmen Ecology Washington* adalah sebagai berikut:

Perhitungan jumlah dari *total solid* (TS), *volatile solid* (VS) dan produksi biogas dalam proses *anaerobik digestion*.

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan oleh Tanya McDonald, Gopal Achari, dan Abimbola Abiola dalam artikel *Feasibility of increased biogas production from the co-digestion of agricultural, municipal, and agro-industrial wastes in rural communities*, dengan pengujian produksi biogas berbahan baku

sampah organik, diperoleh nilai konversi sampah organik menjadi TS dan VS sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut (Sulistyo 2010):

$$TS = 27,7\% \times Q$$

$$VS = 74,1\% \times TS$$

$$VBS = 0,676 \times VS$$

Dimana:

Q = potensi sampah (kg/hari)

TS = *total solid* (kg/hari)

VS = *volatile solid* (kg/hari)

VBS = volume produksi biogas (m<sup>3</sup>/hari)

Tabel 2.5 Komposisi Gas *Landfill*

Komposisi	Persentase (%)
Metan	63,6
Karbondioksida	33,6
Oksigen	0,16
Nitrogen	2,4
Hidrogen	<0,05
Karbonmonoksida	<0,001
Lain-lain : hidrokarbon jenuh dan tak jenuh, gas sulfur organik dan alkohol	<0,006

(Anonim 1987 dan Sudrajat 2006)



#### 2.4.2. Prediksi emisi gas metan

Model matematika untuk mengestimasi produksi emisi gas metan adalah dengan metode LandGEM (*Landfill Gas Emission Model*):

$$QCH_4 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 kl_0 \left( \frac{M_i}{10} \right) (e^{-kt_{i,j}}) \quad (\text{USEPA 2005})$$

Dimana:

$QCH_4$  = perkiraan produksi gas metan per tahun ( $m^3$ /tahun)

I = penambahan waktu setiap tahun

n = jumlah tahun prediksi

j = 0,1 penambahan tahun

k = konstanta pembentukan gas metan (1/tahun)

$L_0$  = kapasitas potensial gas metan yang dihasilkan ( $m^3$ /Megagram)

$M_i$  = massa sampah dalam tahun ke-i (Mg)

$t_{i,j}$  = umur dari limbah selama tahun ke-i

#### 2.5 Biogas Flares

Aksi mikroorganisme pada bahan organik dalam kondisi anaerob menghasilkan biogas yang biasanya campuran metana dan karbon dioksida serta banyak jejak gas dan uap. Tindakan ini dimanfaatkan dalam sejumlah bioprocesses anaerobik seperti Anaerobic Digestion (AD) dan TPA untuk stabilisasi bahan organik polusi terkandung dengan berbagai limbah padat dan air limbah (pome). Dalam konversi anaerobik bahan organik lebih dari 90% dari energi yang tersedia diorganik polutan dipertahankan dalam biogas metana sangat

sedikit digunakan untuk membentuk lumpur dan ini adalah manfaat utama bila dibandingkan dengan bioprocesses aerobik.

Konsekuensi dari ini adalah bahwa metana biogas yang kaya memiliki nilai kalor yang tinggi dan dapat digunakan sebagai bahan bakar. Ada juga yang serius pertimbangan keselamatan dan lingkungan yang terkait dengan biogas karena metana ampuh gas rumah kaca dan bentuk campuran yang dapat meledak bila dicampur dengan udara. Oleh karena itu, untuk alasan keamanan dan untuk mewujudkan manfaat lingkungan penuh dari ini anaerobik bioprocesses biogas harus dikumpulkan dan dibakar dengan energi yang dipulihkan (IEA Bioenergy 2000).

Skema pemulihan energi mungkin langsung dimana gas yang digunakan untuk menyediakan panas untuk memenuhi lokal permintaan atau tidak langsung dimana biogas dimanfaatkan dalam mesin untuk meningkatkan daya atau berkendara mesin atau kendaraan.

Dimana ada lebih banyak gas daripada yang dapat digunakan dalam sistem pemulihan energi (melalui biasa laju produksi gas yang tinggi atau melalui *breakdown* atau pemeliharaan sistem pemulihan energi) maka langkah-langkah tambahan yang diperlukan untuk menghilangkan resiko keselamatan dan melindungi lingkungan. Ada tiga pilihan, yaitu :

1. Penyimpanan (*Storage*)
2. Sistem pemulihan energi tambahan (*Additional Energy Recovery Systems*)
3. Flare (*Flare*)

Penyimpanan biogas adalah mungkin untuk jangka pendek tanpa kompresi, tapi untuk jangka waktu lebih dari beberapa jam umumnya tidak praktis, karena volume yang besar. Kompresi dan tekanan tinggi penyimpanan dilakukan namun selalu dikaitkan dengan peningkatan biaya karena masalah korosi dan harga tinggi. Sistem pemulihan energi tambahan dapat diberikan untuk memberikan tingkat redundansi untuk boiler atau mesin gas. Hal ini mungkin merupakan tanaman gagal. Mereka juga dapat memberikan satu-satunya cara aman membuang biogas yang dihasilkan oleh bioprocesses anaerobik dimana ekonomi pemulihan energi belum layak.

#### 2.5.1 Biogas komposisi dan tarif dari formasi (*Biogas Composition and Rates of Formation*)

Komposisi biogas dan aliran pertimbangan dasar ketika mendekati desain flare gas adalah efektif bahan baku untuk flare yang dapat dilihat sebagai proses pembakaran terkendali. Komposisi biogas adalah terkait dengan sifat dari bahan organik yang dicerna itu lebih tinggi kandungan karbon, semakin besar konsentrasi matana dalam gas. Praktis paling bioprocesses anaerobik menstabilkan limbah organik yang terbentuk dari campuran lemak, protein, dan karbohidrat sederhana dan ini biasanya menimbulkan komposisi biogas yang terlihat pada tabel 2.6 dibawah ini.

Tabel 2.6 Biogas komposisi

Khas komponen Biogas massal	Komponen jejak
Metana 50-60%	Hidrogen
Karbon dioksida 38-48%	Hidrogen sulfida
Jejak komponen 2%	Non metana organik volatil, Karbon NMVOC , dan Karbon halo

(IEA Bioenergy 2000)

Tingkat Produksi biogas tergantung pada jenis bioproses anaerobik. Dalam TPA aliran biogas dan kualitas tunduk variasi spesial dan temporal yang cukup besar dan ini membuat sulit untuk memprediksi arus biogas dan untuk merancang dan biogas insyirur tanaman. Situasi ini sederhana dalam pabrik *Anaerobik Digestion* (AD) dimana faktor-faktor seperti aliran bhan baku dan suhu reaktor dapat dikontrol asil biogas dari tiga jenis utama dari bioproses anaerob diberikan pada tabel 2.7 di bawah ini.

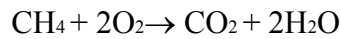
Tabel 2.7 Biogas hasil dari anaerobik processes

Bioproses Anaerobik	Yield Biogas
Tingkat tinggi air limbah (AD)	500 m <sup>3</sup> ton <sup>-1</sup> COD dihapus
Municipal Solid Waste (AD)	100 m <sup>3</sup> ton kering MSW
Landfill	5-10 m <sup>3</sup> ton <sup>-1</sup> annum <sup>-1</sup> untuk 5-15 tahun

### 2.5.2 Dasar-dasar Pembakaran (*Combustion Basics*)

Memahami proses pembakaran menyediakan wawasan manfaat dari satu jenis flare atas yang lain. Hal ini juga memberikan dasar untuk standar emisi dan

kriteria kinerja yang digunakan dalam peraturan flare. Reaksi dasar yang melepaskan sebagian dari energi dalam biogas adalah pembakaran metana (IEA Bioenergy 2000):



Stoikiometri kita membutuhkan 9,6 volume udara per volume metana untuk mencapai lengkap oksidasi. Untuk komposisi biogas yang khas diberikan di atas ini jatuh ke 5,7 : 1. Demikian pula pelepasan energi oleh metana murni adalah  $36 \text{ MJ m}^3$  (*nilai kalor bruto*) tapi ini jatuh ke  $21 \text{ MJ m}^3$  untuk biogas.

Desain harus bertujuan untuk memaksimalkan konversi metana untuk meminimalkan pelepasan metana terbakar dan produk-produk oksidasi yang tidak lengkap seperti karbon monoksida.

Tabel 2.8 Produk yang tidak diinginkan dari biogas pembakaran

Produk yang tidak diinginkan	Mekanisme pembentukan
CO	Oksidasi lengkap membutuhkan $T > 850 \text{ }^\circ\text{C}$ dan waktu tinggal $> 0,3$ detik diseluruh api
Sebagian dioksidasi HC PAH Dioksin dan furan	$T > 850 \text{ }^\circ\text{C}$ seluruh api untuk mencegah pembentukan species ini melalui diinginkan penyusun ulang molekul
$\text{NO}_x$	Dibentuk di $T > 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ oleh oksidasi $\text{N}_2$ juga terbentuk di dalam api oleh oksidasi

Oleh karena itu, untuk memaksimalkan reaksi yang diinginkan dan meminimalkan yang tidak diinginkan kami perlu menyediakan kondisi suar (*Flare*) berikut :

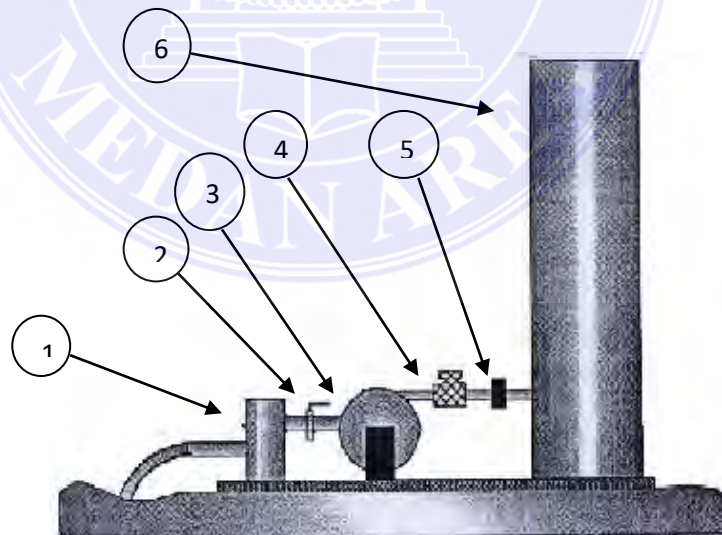
1. Kisaran temperatur 850-1200 C
2. Waktu tinggal minimum 0,3 detik



Dan dari dua parameter tersebut, suhu dan waktu tinggal yang membentuk kinerja spesifikasi untuk flare paling maju.

### 2.5.3 Persyaratan operasional (*Operasional Requirements*)

Terlepas dari jenis flare, aman, operasi yang handal dari flare membutuhkan sejumlah fitur di selain kompor dan kandang. Persyaratan lebih mendasar di ilustrasikan untuk pembakaran tertutup dalam skema di bawah ini. Luasnya pembersih gas atau pendingin tergantung pada sumber dan apakah gas yang digunakan di pabrik pemulihan energi dimana toleransi adalah lebih rendah tertahan dan partikulat untuk sejumlah gas asam yang berbentuk selama pembakaran. Fitur keamanan penting termasuk api arrestor (*Flame Arrestor*), katup failsafe (*Failsafe Valve*), dan sistem pengapian menggabungkan detektor api (*System incorporating a Flame Detector*). Sebuah blower gas juga penting untuk meningkatkan tekanan gas untuk 3-15 kPa di kompor.



Gambar 2.5 Skematik dari biogas flare (IEA Bioenergy december 2000)

Dimana:

1. Knock out pot (drum)
2. Flow control valve (Katup kontrol aliran)
3. Gas booster (Gas penguat)
4. Slam shut valve (Slam menutup katup)
5. Flame arrestor (Api arrestor)
6. Flame shroud containing burner

Untuk *flare* canggih dapat menggabungkan sejumlah atau kontrol proses lainnya, pemantauan emisi dan fitur keselamatan, mungkin ini yang dimaksud

Fitur suar biogas canggih

1. Pemantauan terus menerus (*Contiuos monitoring*)
2. Telemetry
3. Bahan bakar dukungan (*Support fuel*)
4. Pengendalian aliran udara dan bahan bakar
5. Flashback detection
6. Pengendalian ulang (*Control of recyle*)

Penting untuk dicatat bahwa penggunaan bahan bakar dukungan untuk melengkapi nilai kalori (Calorie value CV) biogas tidak masuk dalam praktek umum dan biasanya hanya berlaku untuk biogas TPA. Penggunaan bermutu tinggi energi untuk mendukung pembuangan biogas adalah mahal dan akan menambah beban keseluruhan karbon dioksida ke lingkungan. Idealnya pendekatan yang lebih berkelanjutan harus dikembangkan yang mengoptimalkan kualitas biogas pulih terkait dengan kontrol waktunya untuk sehingga biogas hanya berkobar

ketika kualitas memadai. Pembakar mampu membakar biogas dengan <10%  $CH_4$  adalah tersedia dan dapat digunakan dalam keadaan ini. Pengendalian ulang jarang dan digunakan untuk mengurangi pembentukan  $NO_x$  tapi mungkin di pekerjaan dimana biogas memiliki komponen yang tinggi senyawa nitrogen atau lokasi sensitif dimana itu adalah diinginkan untuk mencapai standar yang sangat rendah emisi.

#### 2.5.4 Jenis-jenis Flare (*Types of Flare*)

Jenis flare dapat dibagi menjadi dua jenis utama, yaitu flare terbuka dan pembakaran tertutup.

##### *Flare terbuka* (Open Flares)

Suar terbuka pada dasarnya adalah sebuah burner dengan kaca untuk melindungi api. Kontrol gas adalah dasar katup manual dalam banyak kasus dan campuran gas yang kaya, kurangnya isolasi dan miskin pencampuran menyebabkan luka bakar yang tidak lengkap dan api bercahaya yang sering terlihat di atas kaca depan. Kehilangan panas *Radiant* cukup besar dan ini mengarah ke daerah-daerah dingin di tepi api dan pendinginan reaksi pembakaran untuk menghasilkan banyak produk reaksi yang tidak diinginkan. Kehilangan panas begitu parah sehingga flare terbuka yang berlokasi 5-6 meter di atas tanah untuk melindungi pekerja dan pasokan api pipa maka *flare* jangka ditinggikan sering diterapkan. Namun kesederhanaan flare terbuka tidak memungkinkan untuk insinyur mereka untuk memenuhi standar emisi yang sekarang sedang diterapkan di sebagian besar negara maju. Tidak adanya ruang dan intens panas terkait dengan *flare* terbuka juga membuat sangat sulit untuk memantau emisi.

Secara historis, flare terbuka telah populer karena kesederhaan mereka dan biaya rendah bersekitu dengan tidak adanya standar emisi dan kontrol. Di masa depan pengenalan kontrol adalah cenderung membatasi penggunaannya untuk tanaman mobile dimana skid sederhana dipasang unit dapat digunakan untuk keamanan dan pengendalian lingkungan biogas, khususnya dalam bidang gas TPA sebelum instalasi sistem pengumpulan gas permanen.

#### *Suar tertutup (Enclosed Flares)*

Pembakaran tertutup biasanya tanah berdasarkan tanaman tetap yang rumah pembakar tunggal atau *array* pembakar dikurung di dalam ruang silinder dilapisi dengan bahan tahan api. Dirancang untuk tujuan, kandang mencegah pendinginan dan sebagai hasilnya luka bakar jauh lebih seragam dan emisi rendah. Pemantauan suhu, hidrokarbon, dan karbon monoksida mungkin dimasukkan sebagai berarti kontrol proses.

Rekayasa peningkatan dan pengendalian proses memberikan fleksibilitas yang lebih besar dalam hal mengecilkan rasio biogas minimum mengalir ke biogas maksimum mengalir dimana operasi memuaskan kondisi dipertahankan. Produsen biasanya kutipan penyiapan tempat istirahat dari 4-5 :1 untuk kualitas biogas 20-60% metana (volume). Penyiapan tempat istirahat yang lebih tinggi dicapai hingga 10:1 tetapi pada mengorbankan kualitas bakar sebagai pelapasan panas yang tidak memungkinkan suhu yang memadai untuk menjadi dicapai.

Sebuah sub klasifikasi lebih lanjut dari pembakaran tertutup didasarkan pada metode memperkenalkan udara untuk biogas.

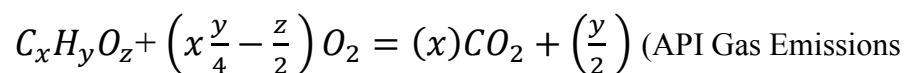
1. Difusi aerasi (dimana gas udara dan TPA yang dicampur pada burner disamakan dengan penggunaan pembakar *bunsen* dengan pelabuhan ditutup api lambat untuk menyebarkan dan ini mengarah ke kandang tinggi untuk mencapai *burn out*)
2. Preaerasi (biasanya dicapai melalui venturi disamakan dengan penggunaan pembakar *bunsen* dengan port terbuka aerasi yang sebanding dengan aliran bahan baku)

Tabel 2.9 Ringkasan fitur *Flare* terbuka dan tertutup

Flare terbuka ( <i>Open Flares</i> )	Flare tertutup ( <i>Enclosed Flares</i> )
Tidak bisa memenuhi kinerja atau kriteria emisi	Kinerja bertemu dan standar emisi
Untuk <i>skid-mount</i> transportasi bisa runtuh	Tetap 10-15 m tinggi
Biaya 20-75% dari setara pembakaran tertutup	Mampu operasi selama berbagai pembakaran kondisi
Cocok untuk sementara	Bisa lanjut di rekayasa untuk memenuhi situs tertentu

## 2.6 Perhitungan emisi gas dari sumber pembakaran tetap

Carbon dioxide, CH<sub>4</sub>, dan N<sub>2</sub>O dihasilkan sebagai hasil pembakaran. Formula umum dalam pembakaran sempurna adalah sebagai berikut:



Methodologies 2009)

Dimana :

x = koefisien stoikiometri untuk karbon

y = koefisien stoikiometri untuk hidrogen

z = koefisien stoikiometri untuk oksigen.



Untuk operasi industri minyak bumi, N<sub>2</sub>O terbentuk selama pembakaran melalui rangkaian reaksi. Karena proses pembentukannya tergantung pada banyak faktor, emisi N<sub>2</sub>O sangat bervariasi dari satu unit keunit lainnya. Biasanya faktor faktor yang mempengaruhi proses pembentukan N<sub>2</sub>O juga akan berpengaruh terhadap proses pembentukan CH<sub>4</sub>. Emisi CH<sub>4</sub> bervariasi terhadap tipe bahan bakar dan konfigurasi pembakaran. Secara keseluruhan, emisi CH<sub>4</sub> dan N<sub>2</sub>O dari sumber pembakaran secara kuantitas lebih rendah emisi CO<sub>2</sub>.

Dalam inventarisasi GRK, perlu dipahami akurasi data dalam perhitungan. Tingkat akurasi dari perhitungan emisi tergantung pada akurasi input data. Tabel dibawah ini menggambarkan pilihan-pilihan untuk estimasi GRK dan beberapa pertimbangannya (Martono 2009).

Tabel 2.10 Pendekatan Estimasi Emisi – GRK dan Sumber Pertimbangan Khusus untuk Sumber Pembakaran

Jenis Pendekatan	Emisi CO <sub>2</sub>	Emisi Pembakaran CH <sub>4</sub> ,N <sub>2</sub> O
Menerbitkan faktor emisi	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Berdasarkan kandungan karbon bahan bakar rata-rata</li> <li>- Bahan bakar komoditas umumnya memiliki komposisi yang konsisten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Berdasarkan karakteristik peralatan rata-rata</li> <li>- Ketentuan konsisten dengan kontribusi yang umumnya rendah terhadap keseluruhan emisi</li> </ul>
Faktor emisi produsen peralatan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Emisi terkait lebih banyak dengan jenis bahan bakar daripada karakteristik peralatan</li> <li>- Produsen menerbitkan faktor emisi berdasarkan jenis mesin, udara / bahan bakar, dan bahan bakar</li> </ul>	Emisi berhubungan erat dengan karakteristik peralatan

### 2.6.1 Estimasi Emisi Pembakaran Bahan Bakar Berdasarkan Komposisi dan Penggunaan Bahan Bakar

Metode kesetimbangan massa merupakan salah satu metode yang handal untuk estimasi emisi dari sumber pembakaran stasioner. Kandungan karbon dari campuran bahan bakar merupakan rata-rata pembobotan dari tiap komponen kandungan karbon. Metode ini dimulai dengan menghitung % berat karbon dari tiap komponen bahan bakar.

Hal ini diperoleh dengan mengalikan BM karbon dengan jumlah mol karbon dan membaginya dengan BM senyawa seperti formula dibawah ini:

$$\text{Wt\% C}_{ci} = \frac{\frac{12 \text{ lb C}}{\text{lb mole C}} \times \frac{X \text{ lbmole C}}{\text{lb mole C}_j}}{MW_j \left( \frac{\text{lb}}{\text{lb mole}} \right)} \times 100\%$$

Dimana :

Wt% C<sub>ci</sub> = Kandungan karbon senyawa hidrokarbon individu secara massal persen (carbon content of individual hydrocarbon compound on a mass percent basis)

j = Senyawa hidrokarbon C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>O<sub>z</sub> (any hydrocarbon compound C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>O<sub>z</sub>)

12 = berat molekul karbon

X = koefisien stoikiometri untuk karbon (contoh X=3 untuk pentane, C<sub>5</sub>H<sub>12</sub>)

MW<sub>xy</sub> = berat molekul senyawa hidrokarbon

Kandungan karbon dapat dihitung sbb:

$$\text{Wt\% C}_{mixture} = \frac{1}{100} \times \sum_{i=1}^{komponen} (\text{Wt\%}_i \times \text{Wt\%C}_i)$$

Dimana :

Wt% C<sub>mixture</sub> = Kandungan karbon campuran, secara massal persen (carbon content of mixture, on mass percent basis)

Wt%i = Persen berat komponen i (weight percent of component i)

Wt% C<sub>i</sub> = Kandungan karbon komponen i berdasarkan berat persen (carbon content of component i on a weight percent basis)

Dalam perhitungan ini, dianggap reaksi dalam keadaan stoikiometris untuk menghasilkan CO<sub>2</sub>. Sedangkan emisi CH<sub>4</sub> berdasarkan faktor emisi. Jadi emisi CO<sub>2</sub> dari bahan bakar gas dapat diperkirakan menjadi:

$$E_{CO_2} = FC \times \frac{1}{\text{konversi volume molar}} \times MW_{\text{mixture}} \times \text{Wt\% } C_{\text{mixture}} \times \frac{44}{12}$$

Dimana :

$E_{CO_2}$  = emisi massa CO<sub>2</sub> (lb atau kg)

FC = konsumsi bahan bakar (scf atau m<sup>3</sup>)

Molar volume conversion = konversi dari volume mol ke massa (379.3 scf/lbmol or 23.685 m<sup>3</sup>/kgmole)

MW<sub>mixture</sub> = berat molekul campuran

$\frac{44}{12}$  = konversi stiokiometri C ke CO<sub>2</sub>

Sedangkan emisi CO<sub>2</sub> dari pembakaran bahan bakar gas dapat dihitung dengan persamaan berikut (asumsi oksidasi 100%)

$$E_{CO_2} = FC \times D \times \text{Wt\% } C_{\text{mixture}} \times \frac{44}{12}$$

Dimana :

FC = konsumsi bahan bakar (gal atau m<sup>3</sup>)

D = densitas bahan bakar (lb/gal atau kg/m<sup>3</sup>)

$$E_{CO_2} = FC \times \text{Wt\% } C_{mixture} \times \frac{44}{12} \text{ Sumber: API Gas Emissions Methodologies}$$

2009

Dimana: FC = konsumsi bahan bakar dalam unit massa (lb,kg,ton)

### 2.6.5 Suar Bakar (Flaring)

Suar bakar digunakan di beberapa unit industri migas untuk menghilangkan gas yang tidak bisa diambil kembali lewat pembakaran produk hidrokarbon dalam keadaan operasi rutin, gangguan ataupun darurat. Beberapa tipe suar bakar digunakan oleh industri mulai dari bukaan kecil pada ujung sumur sampai dengan suar vertikal yang dilengkapi dengan bantuan udara. Emisi  $C_2O$  dan  $N_2O$  terbentuk sebagai produk pembakaran, sedangkan emisi  $CH_4$  dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna. Kinerja suar bakar utamanya dipengaruhi oleh stabilitas nyala api yang juga tergantung dengan kecepatan keluar gas, diameter stack, kandungan kalor dan kondisi angin.

Untuk emisi  $CH_4$  dari suar bakar, umumnya digunakan empiris 0,5% sebagai yang tidak terbakar dalam bentuk  $CH_4$  masih tersisa di gas suar bakar contoh di industri penyulingan minyak. Namun untuk suar bakar yang diproduksi karena memiliki variabilitas operasional yang lebih besar, maka emisi  $CH_4$  diasumsikan bernilai 2% tidak terbakar. Persamaan umum untuk estimasi emisi  $CH_4$  dari suar bakar adalah:

$$E_{CH_4} = V \times CH_4 \text{ mole fraction} \times \% \text{ residual } CH_4 \times \frac{1}{\text{konversi volume molar}} \times$$

MW  $CH_4$  Sumber: Martono 2009

Dimana:

$$E_{CH_4} = \text{Emisi } CH_4 \text{ (lb)}$$

$V$  = Volume suar (scf)

% sisa  $CH_4$  = Bagian yang tidak terbakar dari flared stream (default = 0,5% atau 2%)

Volume molar = Konversi dari volume molar ke massa (379,3 scf/lbmol atau konversi 23,685  $m^3$ /kgmol)

MW  $CH_4$  =  $CH_4$  berat molekul

Untuk emisi  $N_2O$  bisa dikatakan sangat kecil dibandingkan emisi  $CO_2$  dan dirumuskan sebagai :

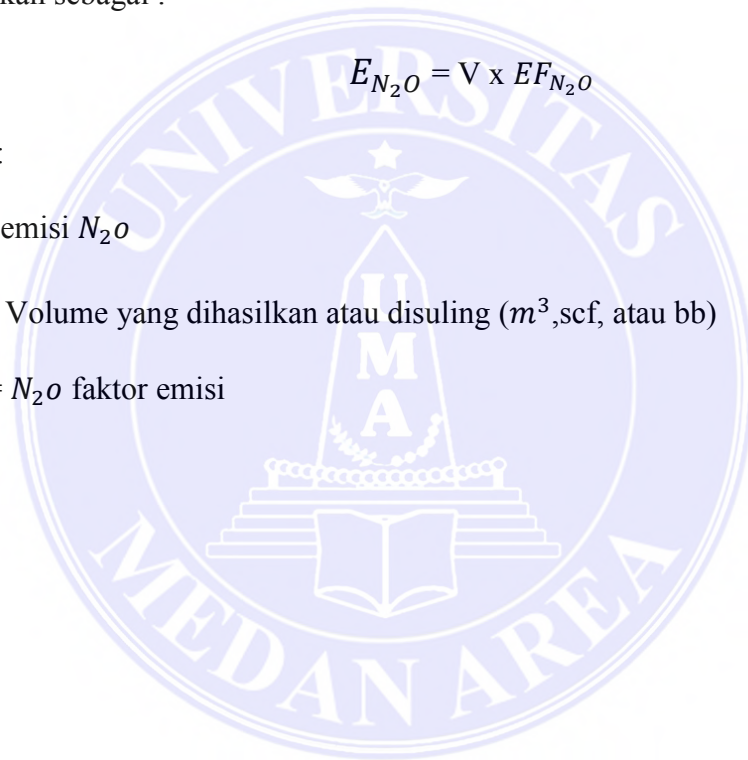
$$E_{N_2O} = V \times EF_{N_2O}$$

Dimana:

$E_{N_2O}$  = emisi  $N_2O$

$V$  = Volume yang dihasilkan atau disuling ( $m^3$ , scf, atau bb)

$EF_{N_2O}$  =  $N_2O$  faktor emisi





Tabel 2.11 Faktor Emisi GRK untuk Gas Flare di Negara Berkembang Original

Units

Original Units							
Flare Source	Faktor emisi						
	$CO_2$	Uncertainty (%)	$CH_4$	Uncertainty (%)	$N_2O$	Uncertainty (%)	Unit
Flaring-gas production	1,2 E-03	25	7,6 E-07	25	2,1 E-08	-10 samapai +1000	Gg/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> gas production
Flaring-sweet gas processing	1,8 E-0,3	25	1,2 E-06	25	2,5 E-08	-10 samapai +1000	Gg/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> rawgas feed
Flaring-sour gas processing	3,6 E-0,2	25	2,4 E-06	25	5,4 E-08	-10 samapai +1000	Gg/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> raw gas feed
Flaring – conventional oil production	4,1 E-02	50	2,5 E-05	50	6,4 E-07	-10 samapai +1000	Gg/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> conventional oil production
Flaring-heavy oil/cold bitumen production	2,2 E-02	75	1,4 E-04	75	4,6 E-07	-10 samapai +1000	Gg/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> heavy oil production
Flaring-thermal oil production	2,7 E-02	75	1,6 E-05	75	2,4 E-07	-10 samapai +1000	Gg/10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> thermal bitumen production
Flaring-refining	Tidak data data	Tidak ada data	0,189	Tidak ada data	Tidak ada data	Tidak ada data	Scf/10 <sup>3</sup> bbl refinery feed

(API Gas Emissions Methodologies 2009)

Tabel 2.12 Faktor Emisi GRK untuk Gas Flare di Negara Berkembang Units

Convered

Units Convered samapai tonnes 10 <sup>6</sup> scf atau tonnes/1000 bbl							
Flare source	Faktor Emisi						Unit
	CO <sub>2</sub>	Uncertainty (%)	CH <sub>4</sub>	Uncertainty (%)	N <sub>2</sub> O	Uncertainty (%)	
Flaring-gas production	3,4 E-02	25	2,2 E-05	25	5,9 E-07	-10 sampai + 1000	Tonnes/10 <sup>3</sup> scf gas production
Flaring-sweet gas processing	5,1 E-02	25	3,4 E-05	25	7,1 E-07	-10 sampai + 1000	Tonnes/10 <sup>3</sup> scf raw feed
Flaring-sour gas processing	0,1	25	6,8 E-05	25	1,5 E-06	-10 sampai + 1000	Tonnes/10 <sup>3</sup> scf raw feed
Flaring – conventional oil production	6,5	50	4,0 E-03	50	1,0 E-04	-10 sampai + 1000	Tonnes/10 <sup>3</sup> bbl conventional oil production
Flaring-heavy oil/cold bitumen production	3,5	75	2,2 E-02	75	7,3 E-05	-10 sampai + 1000	Tonnes/10 <sup>3</sup> bbl heavy oil production
Flaring-thermal oil production	4,3	75	2,5 E-03	75	3,8 E-05	-10 sampai + 1000	Tonnes/10 <sup>3</sup> bbl thermal bitumen
Flaring-refining	Tidak ada data	Tidak ada data	3,6 E-06	Tidak ada data	Tidak ada data	Tidak adadata	Tonnes/10 <sup>3</sup> bbl refinery feed

(API Gas Emissions Methodologies 2009)

**BAB III**  
**METODE PENELITIAN**

**1.1 Tempat dan Waktu**

3.1.1 Penelitian ini dilaksanakan setelah tanggal pengesahan usulan oleh pengelola Program Studi Teknik Mesin sampai dinyatakan selesai.

3.1.2 Penelitian ini serta kegiatan menganalisa dilakukan di PT.Ukindo Blankahan Oil Mill Pom Medan (Langkat).

No.	Kegiatan	Bulan (2017)							
		2	3	4	5	6	7	8	
1	Pencarian Judul								
2	Pencarian Referensi								
3	Pembuatan Proposal judul								
4	Penelitian								
5	Seminar								
6	Ujian Akhir								

Gambar 3.1 Jadwal Kegiatan

## 1.2 Bahan dan Peralatan

Bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian :

1.  $\text{CH}_4$  = Gas metana
2.  $\text{O}_2$  = Oksigen
3. Pome = Limbah cair kelapa sawit (*Palm oil mill effluent*)



Gambar 3.2 Limbah cair kelapa sawit (POME)

- 1.2.1 Alat yang digunakan pada saat penelitian adalah Knock out pot (drum), Flow control valve (Katup kontrol aliran), Gas booster (Gas penguat), Slam shut valve (Slam menutup katup), Flame arrestor (Api arrestor) dan, Flame shroud containing burner.



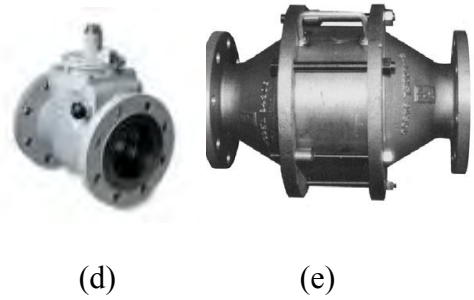
(a)



(b)



(c)



Gambar 3.3 Knock out pot (drum), Flow control valve (Katup kontrol aliran), Gas booster (Gas penguat), Slam shut valve (Slam menutup katup), Flame arrestor (Api arrestor).

### 3.3 Data-Data Yang Diambil Dari Hasil Penelitian

Data tentang pembakaran gas metana di flare

- |                                       |               |
|---------------------------------------|---------------|
| 1. Laju aliran gas $m^3/h$            | : 60-480      |
| 2. Kapasitas burner hingga            | : 3600 kw     |
| 3. Tekanan gas awal                   | : 8-15 kpa    |
| 4. Konsentrasi metana                 | : 40-60 %     |
| 5. Suhu pembakaran                    | : 1000-1200°C |
| 6. Tekanan suara di bawah beban penuh | : <69dba      |

### 3.4 Prosedur Penelitian

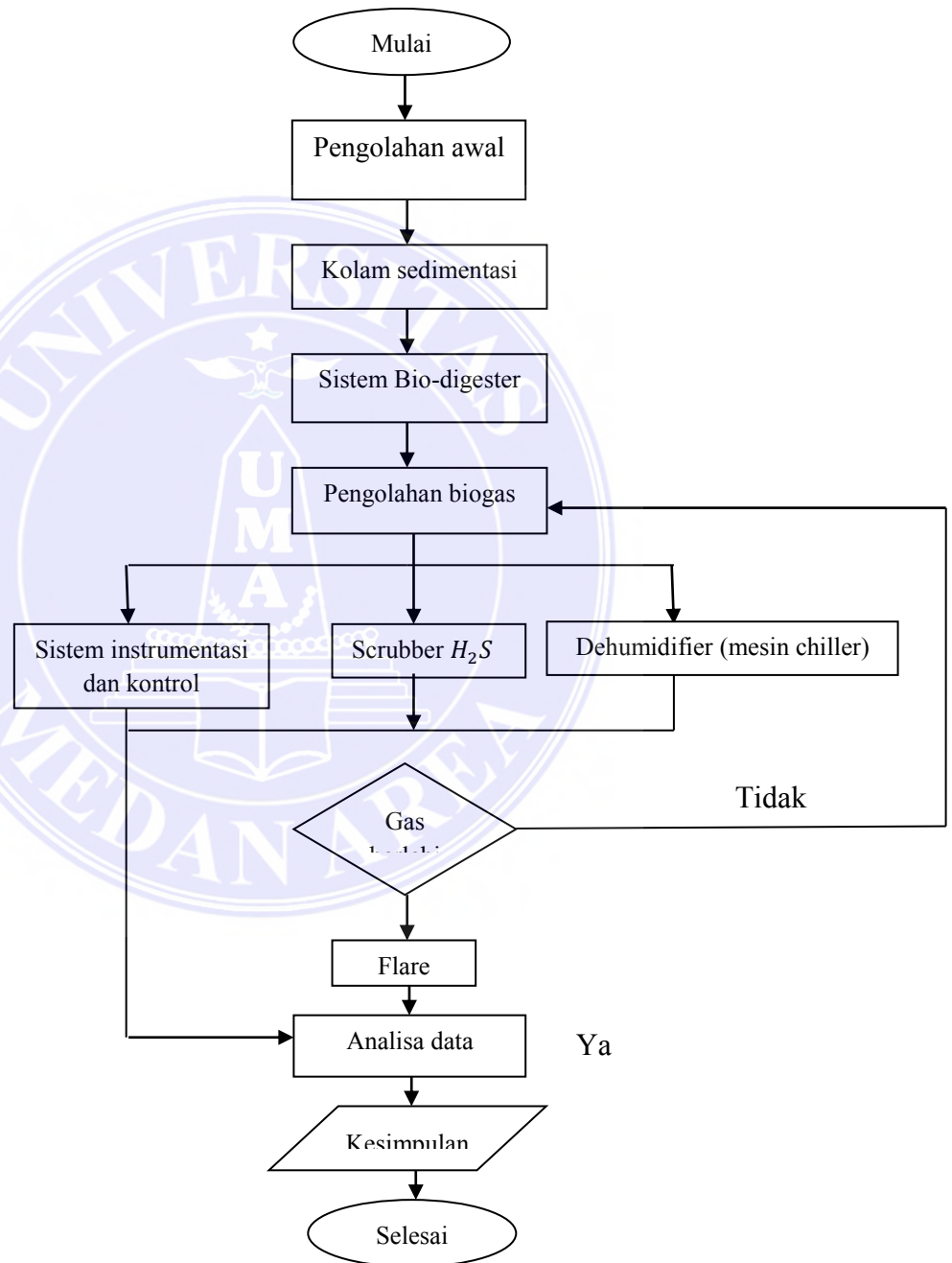
1. Pengolahan awal pada kolam air limbah (POME), air limbah tersebut berasal dari pabrik Ukindo yang selanjutnya akan diolah.
2. Air limbah cair tersebut di letakkan pada kolam sedimentasi.
3. POME tersebut akan difermentasi dalam tangki sistem bio-digester.



4. Kemudian pengolahan biogas berlangsung didalam tangki bio-digester.
5. Pada saat pengolahan biogas kemungkinan terjadi kelebihan yang terdapat pada pembukaan katup scrubber akan di alirkan ke pembakaran flare.
6. Kemungkinan kedua yang bisa menyebabkan terjadinya tekanan pada gas metana akan di alirkan yaitu pada mesin pendingin chiller yang menurun suhu panas metana berkisar dari  $60^{\circ}\text{C}$  -  $20^{\circ}\text{C}$ .
7. Gas berlebih yang dihasilkan selama satu hari yaitu mencapai 404000 lb (pound).
8. Berikutnya gas berlebih tersebut akan dibakar dengan tipe medium temperatur flare (open flare) dengan konsumsi bahan bakar 404000 lb (pound) dengan tekanan gas awal 8kpa – 15 kpa, temperatur pembakaran 1000 - 1200  $^{\circ}\text{C}$  dan waktu pembakaran selama 2 jam 15 menit.

### 3.6 Diagram Alir

Penelitian ini dilakukan mengikuti metodologi yang secara singkat dapat dijelaskan pada gambar 3.4



Gambar 3.4 Diagram Alir (Flow Chart)

## DAFTAR PUSTAKA

- Triyono “ Proses fermentasi dari biogas” ; the fementation process of biogas,2009
- API American Petroleum Unit,pressure safety valve
- N. Bassej „Gas flaring : Assaulting Communities,jeopar dizing the world”,Abuja, 10-11 Desember 2009
- Diklat PLN 2006 analisis pembakaran berdasarkan volume,combustion analysis by volume
- Himmelblau “Udara berlebih”,excess air, 1991
- Sucipto “Kesetaraan biogas dengan sumber lain”,2012
- Aghalino “Gas flaring, Environmetal Pollutions and Abatement Measures, vol no 4 2012
- Ohio Epa, “ Gas Flare , Sistem keamanan dan pembebasan, division of air pollution control ,november 2014
- Melisa, “Flame temperature ,temperatur nyala api”,2015
- Martono,” Emisi pembakaran tetap” vol 06 04 2009
- IEA bioenergy december 2000,biogas flares
- Flaring and venting in the oil and gas january 2000
- Tver and Berry,” Pembakaran gas terkait, associated gas flaring”,1980

# LAMPIRAN

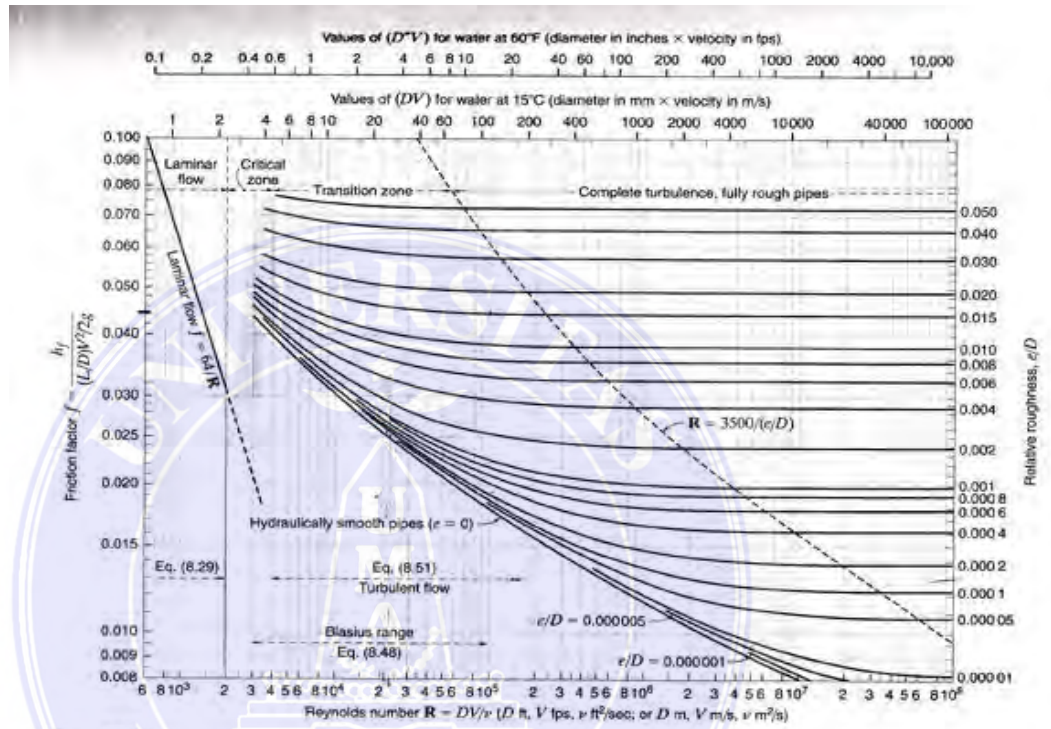


Figure 8.11  
Moody chart for pipe friction factor (Stanton diagram).