

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sumber Gas Suar

Gas suar adalah gas yang dihasilkan oleh kegiatan eksplorasi dan eksploitasi minyak dan/atau gas bumi atau pengolahan minyak dan/atau gas bumi yang akan dibakar pada suar secara terus-menerus maupun yang tidak terus-menerus dalam kondisi rutin maupun tidak rutin (KESDM, 2021). Suar adalah instalasi yang berfungsi untuk membakar gas suar, yang dapat berupa suar bertekanan rendah/*LP Flare (low pressure flare)*, suar bertekanan menengah/*MP Flare (medium pressure flare)* dan suar bertekanan tinggi/*HP Flare (high pressure flare)*. Adapun komposisi dari gas suar ditunjukkan pada Tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1. Komposisi Umum Gas Suar

Gas Flaring Constituent	Gas Composition	Gas Flaring (%)		
		Min	Max	Average
Methane	CH ₄	7.17	82	43.6
Propane	C ₃ H ₈	2.04	64.2	20.3
Isobutane	C ₄ H ₁₀	1.33	57.6	14.3
Carbon dioxide	CO ₂	0.023	2.85	0.713
Hydrogen sulfide	H ₂ S	0	3.8	0.256
Hydrogen	H ₂	0	37.6	5.54
Oxygen	O ₂	0.019	5.43	0.357
Nitrogen	N ₂	0.073	32.2	1.3
Water	H ₂ O	0	14.7	1.14

Assist gas merupakan gas yang mudah terbakar dalam hal ini digunakan gas alam (*natural gas*) digunakan untuk menaikkan nilai LHV (*low heating value*) dari *relief gas* atau gas yang dilepaskan untuk dibakar yang umumnya merupakan gas sisa atau gas yang sengaja dilepaskan untuk menjaga kondisi pabrik aman, seperti *acid gas*, *pre-permeate gas* serta gas yang tidak diinginkan saat kondisi operasi tidak normal. Pembakaran gas suar rutin adalah pembakaran gas suar dalam kondisi normal, dimana kondisi geologi tidak memungkinkan untuk dilaksanakan reinjeksi gas, tidak ada fasilitas untuk melakukan reinjeksi gas, atau tidak ada pemanfaatan gas suar untuk keperluan sendiri atau keperluan lainnya. Pada Gas *Onshore* yang terletak Di Provinsi Jawa Timur gas suar ini digunakan untuk membakar gas sisa hasil pemrosesan gas alam (*natural gas*) ataupun gas asam/*acid* yang mengandung banyak H₂S dan CO₂. Dimana terdapat 2 (dua) sistem dalam suar, yaitu sistem suar *LP* dan sistem suar *HP*. Sistem suar *HP* di desain untuk mengakomodasi *relief gas* dari Proses Area 1 dengan kapasitas 360.74 MMSCFD dan maksimum

Gambar 2.1. Sistem Suar LP

2.2 Prinsip Kerja LP Flare System

Sistem suar di Gas OnShore ini terdapat 2 jenis sistem yaitu *low pressure* (LP) dan *high pressure* (HP) *flare system*. Pada penelitian kali ini hanya fokus kepada *low pressure flare system* (sistem suar bertekanan rendah) seperti pada Gambar II.2. Sistem suar bertujuan untuk mengumpulkan dan melepaskan gas buang dengan aman dari *relief valve*, *blowdown valve*, dan *pressure control valve* dari berbagai peralatan di pabrik. Gas ini terdiri dari campuran gas hidrokarbon yang mungkin mengandung cairan non-volatil. Gas-gas ini tidak dapat dilepaskan ke atmosfer secara langsung, karena bersifat beracun (H_2S dan CO_2), potensi ledakan dan dampak negatif terhadap lingkungan. Serta berfungsi menghilangkan cairan dari gas dan membuang gas dengan aman dengan cara dibakar.

Sistem *LP Flare* dirancang untuk mengakomodasi *relief gas* dari *flash gas and regeneration section*, yang berasal dari pembuangan gas yang berkelanjutan dan atau waktu tertentu, pembuangan gas yang sifatnya emergency atau saat perawatan pabrik, *Turn Around* (TAR) plant, *shutdown* yang terencana maupun tidak direncanakan. *LP Flare* di desain dengan kapasitas 106.58 MMSCFD memiliki bagian 36 inch pipa dari *LP flare header*, *LP Flare KO drum* (475-D9008), *LP Flare KO drum condensate Pumps* (475-P9014A/B), *LP Flare paket* (475V9100) yang terdiri dari panel *pilot flare* dan *LP Flare stack dan tip* (475-FL9101) serta Skid botol LPG yang disediakan sebagai bahan bakar pertama selama start-up. *LP Flare Tip* adalah *tip* sonik untuk mengurangi radiasi panas.

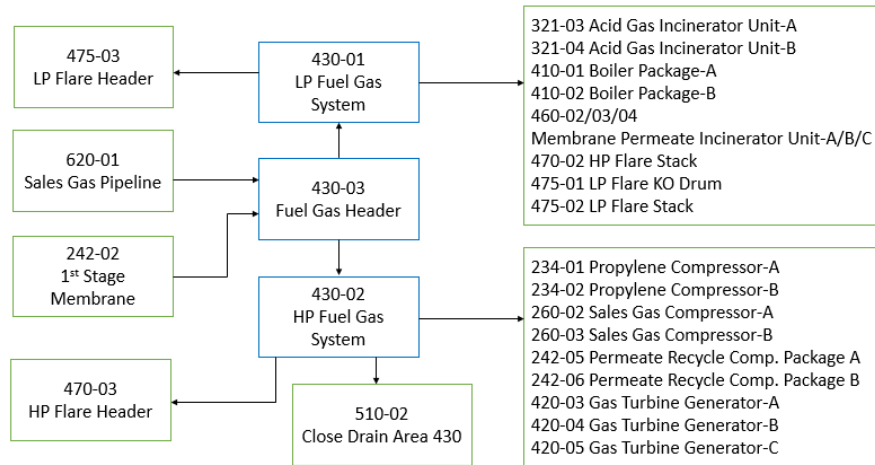
LP Flare Header memiliki prinsip kerja yaitu mengalirkan hidrokarbon dari sistem *relief* ke *LP Flare KO Drum* (475-D9008), untuk memisahkan liquid yang terkondensasi dari gas sebelum ke sistem pembakaran di *Flare Tip*, yang dibuat untuk menangani durasi pembuangan selama 20 menit dari maksimum rate, dengan tekanan operasi maksimal di 4.2 psig dan temeperatur 63°F dan level maksimum di 25%. Kemudian cairan yang dikumpulkan didalam *vessel* akan dipompa dengan 2 x 100% *LP Flare KOD Condensate Pumps* (475-P9014A/B) ke *Condensate/Water Separator* (221-D9002) selama normal operasi atau *Closed Drain System* ketika proses pemeliharaan dibutuhkan. Dengan *pressure suction pump* normal di 4.9 psig dan *discharge* di 188 psig. Setelah yakin *LP Flare KOD Condensate Pumps* berjalan normal maka monitor aliran gas melalui *Flow Indicator* 475-FI9008-01 untuk mengkonfirmasi *assist gas* dari *LP Fuel Header* yang diperlukan agar nilai BTU dari mix gas minimal 300 BTU/scf. Sehingga pembakaran gas

H₂S dan CO₂ tinggi (*acid gas*) yang dilepaskan dari Unit H₂S *Recycle Compressor System* dan *Membrane Permeate Incinerator* menjadi efektif.

Sistem pengapian *LP Flare* terdiri atas sistem pengapian ganda yaitu *High Energy Ignition* (HEI) sebagai *Primary Ignition* dan *Flame Front Generator* (FFG) sebagai *Secondary Ignition*. Pencampuran *relief gas* dengan *assist gas* ini akan dibawa ke *flare stage*, dimana terdapat *pilot flame* atau sistem pengapian otomatis yang memastikan gas yang dilepaskan terbakar secara efisien. Dan juga dilengkapi dengan berbagai kontrol aliran dan tekanan untuk memastikan bahwa pembakaran berlangsung dengan efisien dan tidak terjadi tekanan berlebih pada sistem serta alat pengendali seperti flame arrestor untuk mencegah api merambat ke sumber gas, serta sistem pemantauan untuk memastikan operasi berlangsung aman dan sesuai dengan peraturan lingkungan.

2.3 Prinsip Kerja Assist Gas Flaring

Sistem suar mengumpulkan dan membuang gas dengan aman yang dilepaskan dari *relief valve*, *blowdown valve* dan *pressure control valve* dari berbagai peralatan di fasilitas pemrosesan gas. Gas terdiri dari campuran gas hidrokarbon yang mungkin mengandung cairan yang tidak mudah menguap. Gas-gas ini tidak dapat dilepaskan ke atmosfer secara langsung, karena sifatnya yang beracun, berpotensi meledak, dan berdampak negatif terhadap lingkungan. Sistem suar mengeluarkan cairan dari gas dan membuang gas dengan aman melalui pembakaran. Untuk mencapai pembuangan yang aman, suar ini dibagi menjadi dua sistem terpisah sistem suar tekanan tinggi (*HP Flare System*) dan sistem suar tekanan rendah (*LP Flare System*) (International, 2021). Gambaran umum kedua sistem ini ditunjukkan pada Gambar 2.2 sebagai berikut:



Gambar 2.2. Overall Fuel Gas System

Sealing water mengisi *gooseneck* untuk menghilangkan sisa gas basah dan masuknya udara pada *LP Flare Stack*. *Flare header* akan dibersihkan dengan nitrogen. *Assist gas* (gas bantu) digunakan untuk meningkatkan nilai kalor 300 BTU/SCF pada ujung suar untuk pembakaran sempurna ketika gas H_2S tinggi dilepaskan dari Sistem *H₂S Recycle Compressor* dan Unit *Membrane Permeate Incinerator*.

Flare header akan dibersihkan dengan bahan bakar gas dan dengan nitrogen sebagai cadangan jika terjadi kehilangan bahan bakar gas. *Setting* operasional *assist gas* berada di range 0.3 – 27 MMSCFD, *pressure* di 70 – 475 psig dan *temperature* di 48.8 – 100F (International, 2021). Pada saat ini tidak adanya instrumentasi yang mengontrol nilai kalor pada sistem suar sehingga diperlukan optimasi untuk mengurangi *assist gas* yang digunakan untuk proses suar dan yang akan berakibat pada meningkatnya *sales gas* (gas jual). Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah memprediksi nilai kalor tersebut dengan bantuan analisa di laboratorium menggunakan *Gas Chromatography* (GC) dan efek dari gas buangnya.

2.4 Lower Heating Value (LHV)

Metode yang digunakan juga perpaduan GPA 2261-13, GPA 2286- 14, ASTM D1945-14 serta ASTM D6228-10. Sedangkan untuk perhitungan *gross heating value* (GHV), *lower heating value* (LHV), *relative desity* dan *compressibility factor* dari gas alam (*natural gas*) menggunakan GPA 2172 (GPA, 2012).

Gross heating value (GHV) disebut juga sebagai *higher heating value* (HHV) adalah jumlah energi yang ditransfer sebagai panas per massa atau mol dari pembakaran sempurna gas dengan oksigen (dari udara), pada suhu dasar dimana semua air yang terbentuk oleh reaksi pengembunan menjadi cair. Sementara *net heating value* (NHV) atau *lower heating value* (LHV) adalah nilai kalor dimana diasumsikan air dan hidrogen berada dalam fasa uap. *Heating value* yang memperhitungkan terlepasnya kembali panas laten uap air tersebut, biasa kita kenal sebagai *Higher Heating Value*. Sedangkan *Lower Heating Value* tidak memasukkan energi panas laten yang dilepaskan oleh terkondensasinya uap air tersebut ke dalam nilai *heating value*. Dengan kata lain, HHV mengasumsikan bahwa uap air hasil proses pembakaran akan terkondensasi dan melepaskan panas latennya di akhir proses, sedangkan LHV mengasumsikan bahwa uap air akan tetap sebagai uap air hingga akhir proses pembakaran.

Rumus *gross heating value* (GHV) sesuai persamaan 1 - 3 yaitu:

$$Hv^{id} (dry) = x_1Hv_1^{id} + x_2Hv_2^{id} + + x_NHv_N^{id} \dots\dots\dots (1)$$

$$= \sum_{i=1}^N x_i Hv_i^{id} \dots\dots\dots (2)$$

$$Hv^{id} (sat) = (1-x_w)Hv^{id} (dry) \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

Hv^{id} = *gross heating value* per volume pada suhu dan tekanan dasar (gas ideal)

x = fraksi massa.

Sedangkan rumus untuk menghitung Lower Heating Value (LHV) sesuai persamaan 4 yaitu:

$$LHV_{mix} = \sum (y_i \times LHV_i) \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

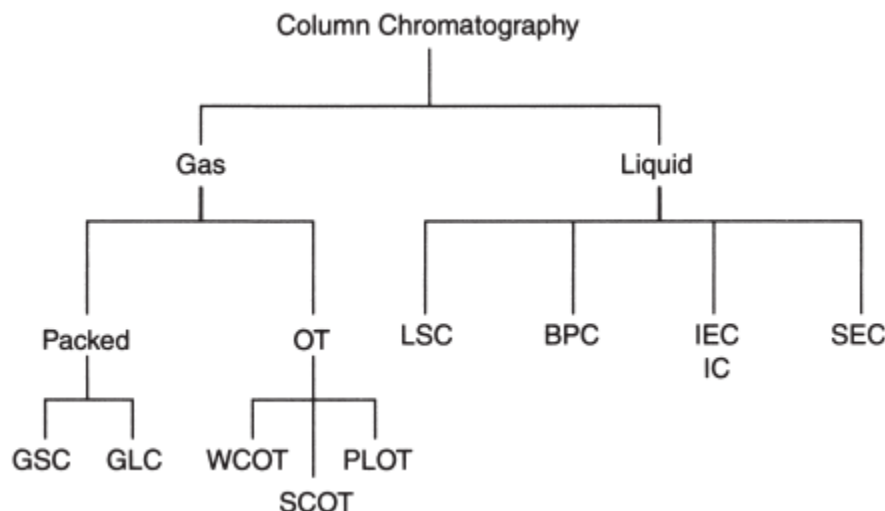
y_i = fraksi mol atau fraksi massa dari komponen ke-i dalam campuran

LHV_i = nilai LHV dari komponen ke-i (misalnya, LHV dari metana, etana, propana, dll.)

Dengan adanya GC dapat digunakan untuk menghitung nilai Lower Heating Value (LHV) dari campuran gas (mix gas) dengan menganalisis komposisi setiap komponen gas yang ada dalam campuran secara pasti. Sehingga dari konsentrasi akan diketahui pula berapa nilai kalor yang dihasilkan. Dan dari analisa gas sumber suar (*relief gas* dan *assist gas*) maka akan bisa diketahui komposisi masing-masing dan juga komposisi gas campurannya serta nilai kalor dari masing-masing ataupun gabungan gas tersebut yang akan menuju suar.

2.5 Gas Chromatography

Definisi resmi dari *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) adalah: “Kromatografi adalah metode fisik pemisahan di mana komponen yang akan dipisahkan didistribusikan antara dua fase, salah satunya diam (fase diam) sedangkan yang lain (fase gerak) bergerak dalam arah tertentu. Kromatografi elusi adalah prosedur di mana fase gerak terus melewati *chromatographic bed* dan sampel dimasukkan ke dalam sistem sebagai *a finite slug*” (McNair dan Miller, 2009).



Gambar 2.3. Pembagian Metode Kromatografi

Berbagai proses kromatografi diberi nama sesuai dengan fisik keadaan fase gerak. Jadi, dalam kromatografi gas (GC) fase Bergeraknya adalah gas dan dalam kromatografi cair (LC) fase Bergeraknya adalah cairan. Sebuah subklasifikasi dibuat sesuai dengan keadaan fase diam. Jika fase diam berupa zat padat, teknik GC disebut kromatografi gas-padat (GSC) dan jika itu adalah cairan, teknik ini disebut kromatografi gas – cair (GLC) (Blumberg, 2012). Pembagian metode kromatografi dapat dilihat pada Gambar 2.3.

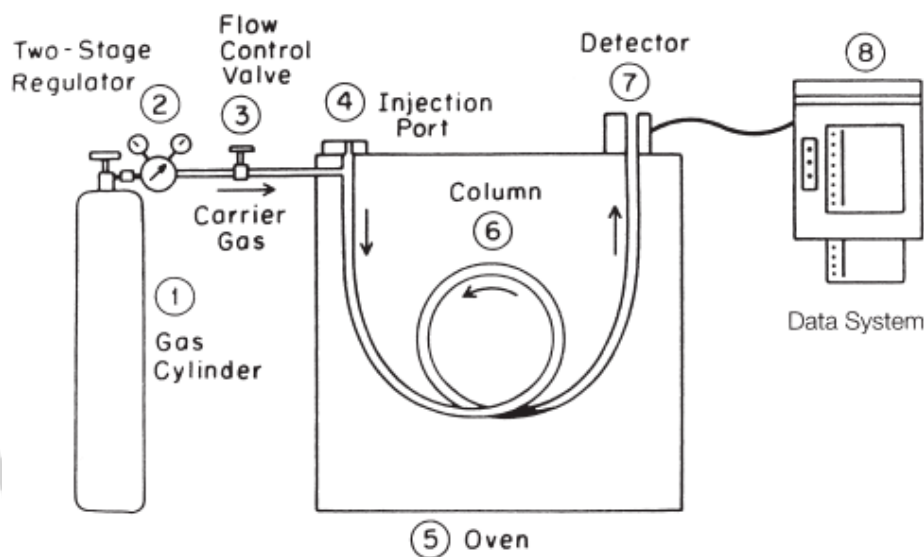
Ada beberapa kelebihan penggunaan GC yaitu

1. Analisis dengan cepat, biasanya dalam hitungan menit.
2. Efisien, handal dan memberikan resolusi tinggi.
3. Sensitif, mudah mendeteksi konsentrasi *part per million* (ppm) bahkan *part per billion* (ppb).
4. Tidak destruktif, memungkinkan untuk digabungkan dengan spectrometer massa (*mass spectrometer*).
5. Membutuhkan sampel kecil, biasanya μL

Sedangkan kerugian penggunaan GC yaitu:

1. Terbatas pada sampel yang mudah menguap.
2. Tidak cocok untuk sampel yang stabil pada perubahan temperatur.
3. Cukup sulit untuk preparasi sampel yang besar.
4. Memerlukan spektroskopi, biasanya spektroskopi massa untuk konfirmasi identitas puncak (*peak*).

Bagian umum yang ada pada *gas chromatography* (GC) ditunjukkan pada Gambar 2.4. *Gas chromatography* (GC) yang digunakan adalah GC kombinasi dari beberapa *method/prosedur* analisa dari Wasson-ECE yang memadukan analisa *extend natural gas* dan *fixed gas analysis* serta komponen sulfur dalam unit GC, dengan terdiri dari 4 (empat) detektor. Yaitu *Flame Ionization*, *Flame Photometric* and *Dual Thermal Conductivity Detectors* (FID/FPD/TCD/TCD) (Klee, 2012). Detektor *Flame Ionization* dan *Thermal Conductivity Detector* digunakan untuk analisa *extend natural gas* dan *fixed gas analysis*, sedangkan *Flame Photometric Detector* digunakan untuk analisa komponen sulfur (H_2S , COS dan RSH). Dan yang tidak kalah penting yaitu kolom yang digunakan pada konfigurasi GC ini. Terdapat 2 jenis kolom, yaitu kolom kapiler (*capillary column*) dan kolom kemas (*packing column*).



Gambar 2.4. Skema Gas Chromatography

Prinsip kerja GC (*Gas Chromatography*) adalah teknik pemisahan komponen dalam campuran gas atau zat yang dapat diuapkan, berdasarkan perbedaan kecepatan migrasi komponen tersebut dalam fase gerak (*mobile phase*) melalui fase diam (*stationary phase*) di dalam kolom

kromatografi. Sampel yang akan dianalisis, berupa gas atau cairan yang mudah menguap, disuntikkan ke dalam alat GC melalui *port* injeksi yang biasanya dipanaskan agar cairan langsung menguap menjadi gas, dimana teknik injeksi sample bisa menggunakan gas silinder atau pun menggunakan *syringe* (suntikan sampel) dimana jumlah sampel yang digunakan sangat kecil.

Sampel yang sudah diinjeksikan ke GC ini kemudian dengan adanya fase gerak (*mobile phase*) berupa carrier gas (Helium, Argon, Nitrogen atau Hidrogen), akan dipisahkan komponennya dalam fase diam (*stationary phase*). Fase diam biasanya berupa zat padat atau cairan yang dilapisi pada dinding kolom kromatografi. Kolom ini bisa berupa kolom kapiler atau kolom berisi bahan tertentu/ (*pack column*). Komponen dalam sampel akan berinteraksi dengan fase diam berdasarkan sifat kimia-fisikanya (misalnya polaritas, berat molekul, dan sebagainya). Ketika sampel terbawa oleh gas pembawa melalui kolom, komponen-komponen dalam campuran akan terpisah berdasarkan waktu retensi mereka, yang bergantung pada interaksi antara komponen-komponen tersebut dengan fase diam. Komponen yang kurang berinteraksi dengan fase diam (misalnya, lebih volatil atau kurang polar) akan bergerak lebih cepat melalui kolom, sedangkan komponen yang lebih berinteraksi dengan fase diam akan bergerak lebih lambat.

Setelah komponen terpisah di dalam kolom, masing-masing komponen mencapai detektor pada waktu yang berbeda-beda. Waktu yang diperlukan suatu komponen untuk mencapai detektor disebut waktu retensi. Detektor mengidentifikasi keberadaan komponen yang berbeda ini dan mengubah sinyal menjadi data yang dapat dianalisis. Salah satu jenis detektor umum yang digunakan adalah *Flame Ionization Detector* (FID) atau *Thermal Conductivity Detector* (TCD).

Sinyal dari detektor ditampilkan sebagai kromatogram, grafik yang menunjukkan sinyal (intensitas) terhadap waktu. Puncak-puncak pada kromatogram mewakili komponen-komponen yang terpisah, dengan waktu retensi yang khas untuk setiap komponen. Dengan proses kalibrasi pada GC yang membandingkan luas puncak atau tinggi puncak pada kromatogram dengan gas standar maka konsentrasi senyawa tadi dapat dibandingkan dan hasil akhirnya akan keluar konsentrasi, specific gravity, LHV, GHV, Compressibility factor dan lain sebagainya dengan bantuan *software* perhitungan dari GC tersebut. Adapun bentuk dari GC yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.5, sedangkan konfigurasi sistem dalam GC tersebut seperti tertera pada Gambar 2.6.



Gambar 2.5. Gas Chromatography (GC)

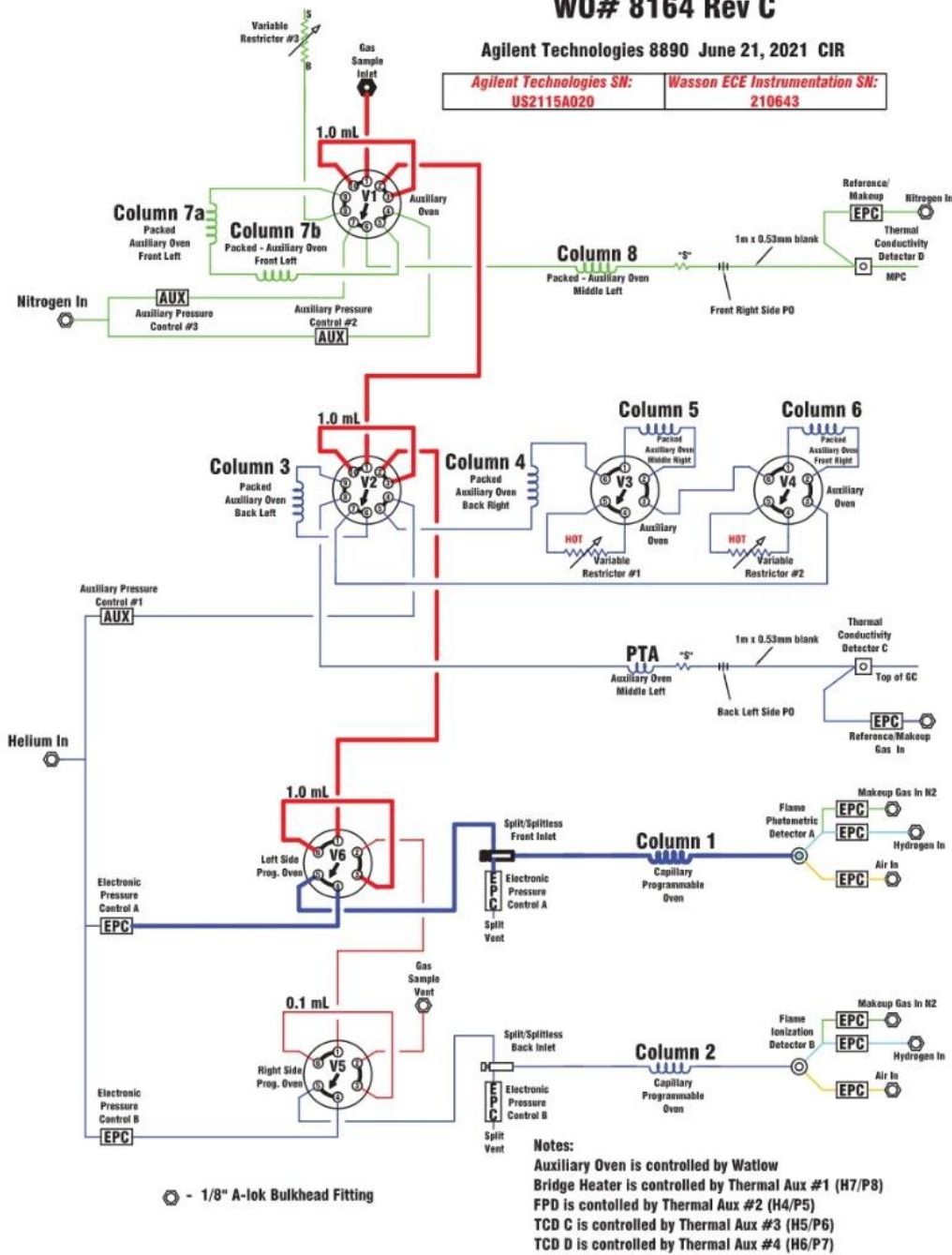


Wasson-SEA/PT Berca WO# 8164 Rev C

Agilent Technologies 8890 June 21, 2021 CIR

Agilent Technologies SN:
US2115A020

Wasson ECE Instrumentation SN:
210643



Gambar 2.6. Konfigurasi GC Wasson-ECE

2.6 Neraca Massa dan Neraca Energi

Neraca massa adalah suatu perhitungan yang tepat dari semua bahan-bahan yang masuk, yang terakumulasi dan yang keluar dalam waktu tertentu. Pernyataan tersebut sesuai dengan

hukum kekekalan massa yakni massa tak dapat dijelmakan atau dimusnahkan. Prinsip umum neraca massa adalah membuat sejumlah persamaan-persamaan yang saling tidak tergantung satu sama lain, dimana persamaan persamaan tersebut jumlahnya sama dengan jumlah konsentrasi massa yang tidak diketahui.

Perhitungan neraca massa dengan memperhitungkan *flow* masuk dan *flow* keluar dari sistem suar yang diamati sesuai dengan persamaan 5-6 dibawah ini dengan asumsi *flow* akumulasi tidak ada, dan juga mempertimbangkan secara stokiometri:

$$\text{Flow gas masuk} = \text{Flow gas keluar} \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{Flow}_{\text{assist gas}} + \text{Flow}_{\text{relief gas}} + \text{Flow}_{\text{udara}} = \text{Flow}_{\text{suar}} \dots\dots\dots(6)$$

Sedangkan neraca energi adalah persamaan matematis yang menyatakan hubungan antara energi masuk dan energi keluar suatu sistem yang berdasarkan pada satuan waktu operasi. Konsep makro ditunjukkan pada persamaan 7-9:

$$\text{Energi masuk} + \text{Energi yang timbul} = \text{Akumulasi energi} + \text{Energi keluar} + \text{Energi terpakai}$$

$$E1 + Q = \Delta E + E2 + W \dots\dots\dots(7)$$

$$Cp = A + BT + CT^2 + DT^3 \dots\dots\dots(8)$$

$$\Delta H = m.Cp.dT \dots\dots\dots(9)$$

Dimana :

- E1 = Energi Masuk
- Q = Energi yang timbul
- ΔE = Akumulasi Energi
- E2 = Energi keluar
- W = Energi terpakai
- Cp = Kapatitas energi pada tekanan tetap
- A, B, C, D = Konstanta
- T = Temperatur
- ΔH = Perubahan entalpi
- M = Massa senyawa

2.7 Reaksi Gas Buang

Gas buang adalah gas yang terbakar setelah terjadinya penggabungan gas antara *assist gas* dan *relief gas*. Pada pembakaran sempurna tidak ditemukan adanya gas CO dan dengan asumsi

pembakaran yang terjadi adalah sempurna maka reaksi pembakaran ditunjukkan pada persamaan 9-20 (Green dan Perry, 2008) :

