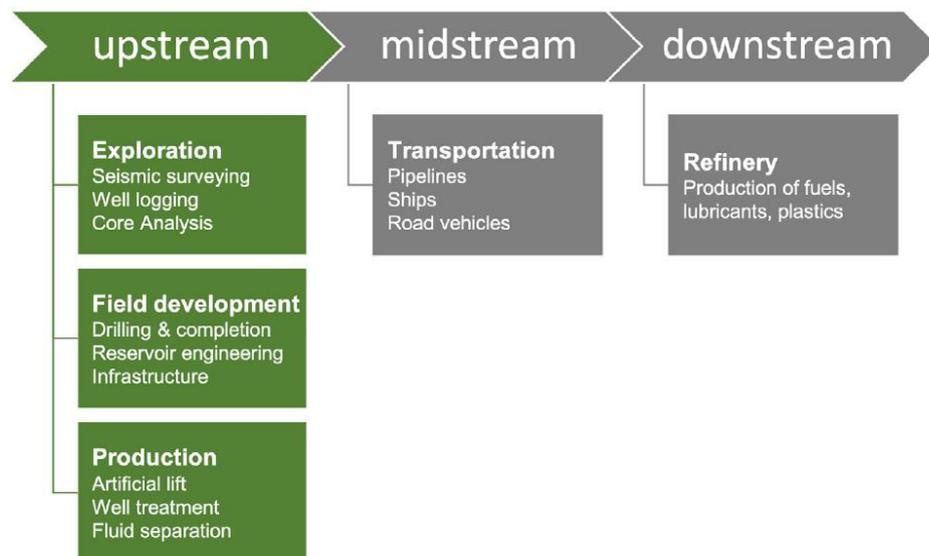


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Proses Produksi Minyak dan Gas Bumi

Dalam pengelolaannya industri minyak dan gas bumi dibagi menjadi tiga bagian, yaitu hulu (*upstream*), tengah (*midstream*) dan hilir (*downstream*). Pada bagian *upstream* meliputi tahap eksplorasi, pengembangan lapangan dan produksi minyak dan gas bumi. Untuk bagian *midstream* merupakan proses transportasi minyak dan gas bumi untuk diolah lebih lanjut, sementara itu bagian *downstream* adalah proses pengolahan pada kilang atau *refinery plant* untuk menghasilkan bahan bakar, pelumas, dan produk akhir lainnya seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1 (Pudyantoro, 2019).



Gambar 2.1. Pengelolaan industri minyak dan gas bumi (Koroteev & Tekic, 2021).

II.1.1. Eksplorasi

Eksplorasi cadangan minyak dan gas adalah serangkaian kegiatan yang menghasilkan model geologi 3D dari ladang atau reservoir minyak dan gas bumi. Termasuk dalam kegiatan ini meliputi studi geofisika, petrofisika dan pengolahan data yang diperoleh selama studi. Dalam studi geofisika dan petrofisika biasanya

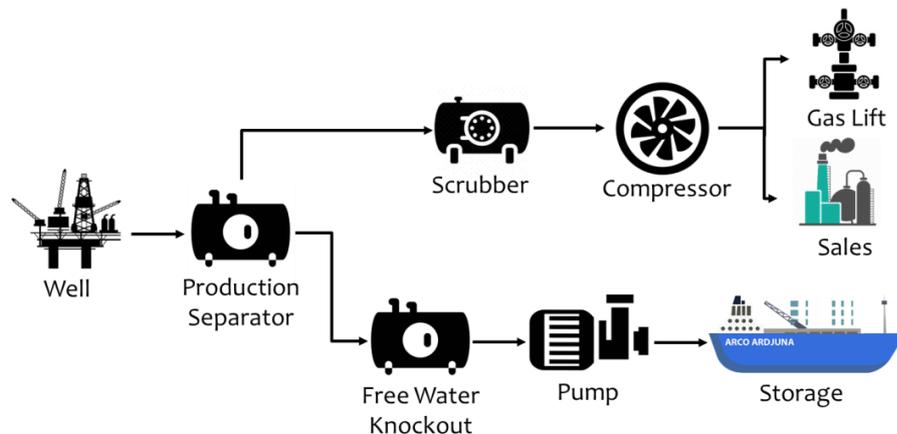
terdiri dari 1) survei seismik reservoir, 2) *well logging* atau pengukuran dan pencacatan data didalam reservoir berdasarkan parameter-parameter fisis batuan, dan 3) *lab core analysis* atau mempelajari sampel batuan di laboratorium (Koroteev & Tekic, 2021).

II.1.2. Pengembangan Lapangan

Setelah model geologi didapatkan, proses berikutnya adalah membuat model reservoir. Pertama biasanya melakukan *upscaling* kemudian menggunakan perangkat lunak pemodelan reservoir untuk memodelkan aliran reservoir pada berbagai skema pengembangan lapangan. Skema pengembangan lapangan tersebut berisi rencana *drilling* dan pengoperasian sumur. Hasil dari setiap pemodelan reservoir adalah perkiraan produksi minyak dan gas untuk beberapa tahun kedepan (biasanya 10 hingga 25 tahun) untuk skema pengembangan lapangan tertentu. Jika dirasa ekonomis selanjutnya yaitu proses *drilling* dan pembangunan fasilitas produksi (Koroteev & Tekic, 2021).

II.1.3. Produksi

Saat ini minyak dan gas bumi diproduksi hampir di setiap bagian dunia, dari yang produksinya kecil 100 barel per hari sampai yang produksinya besar 4000 barel per hari (Devold, 2013). Secara umum proses produksi minyak dan gas bumi terdiri dari sumur, *separator*, *scrubber*, kompresor, pompa dan *storage* (Gambar 2.2). Setelah selesai proses *drilling*, fluida dari sumur yang terdiri dari minyak, gas dan air akan dialirkan menuju *production separator* untuk dipisahkan liquid dan gas. Liquid dari *production separator* kemudian dipisahkan antara minyak dan air pada *free water knockout (FWKO)*, selanjutnya minyak tersebut dipompakan menuju *storage* yang siap diolah menjadi produk akhir pada kilang atau *refinery plant*. Sementara itu gas hasil pemisahan dari *production separator* akan dialirkan menuju *scrubber* untuk memisahkan potensi liquid yang terbawa dan kemungkinan terjadinya kondensasi, gas keluaran *scrubber* kemudian di kompres untuk mendapatkan tekanan yang diinginkan, setelah itu gas dengan tekanan tertentu tersebut dijual untuk berbagai kebutuhan maupun diinjeksikan kembali kedalam sumur sebagai *gas lift* (Andrade et al., 2021).



Gambar 2.2. Proses produksi minyak dan gas bumi (Andrade et al., 2021).

II. 2. Flare Gas System

Flare gas system atau sistem gas suar sudah menjadi pemandangan umum pada sebuah fasilitas produksi minyak dan gas bumi, yang merupakan metode aman dan handal untuk membakar gas selama keadaan darurat. Proses produksi minyak dan gas lepas pantai melibatkan volume yang besar dan tekanan yang tinggi, sehingga sistem tersebut mampu mengeliminasi resiko terhadap personel, lingkungan dan aset. Risiko kebakaran atau ledakan dikurangi dengan pembakaran dan *venting* ketika gas tidak dapat disimpan atau digunakan secara komersial (Masdal, 2015). Gas yang akan dibakar dapat berasal dari berbagai sumber, seperti:

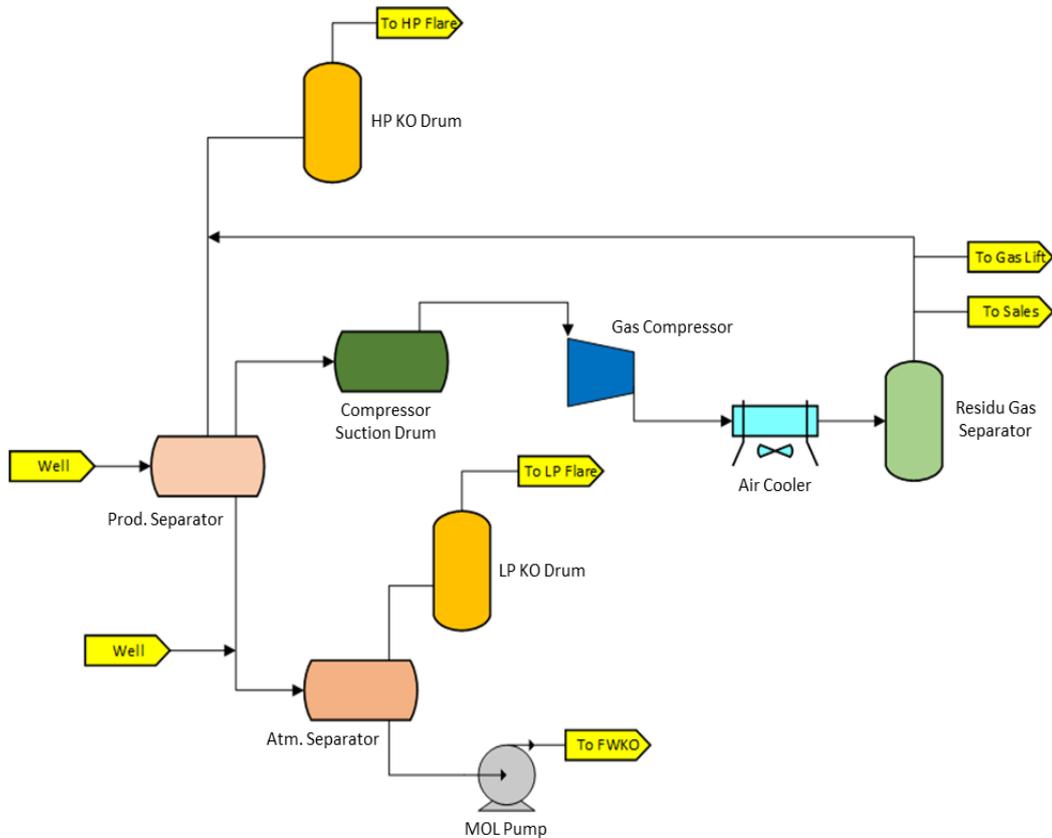
- a. Kelebihan produksi gas yang tidak dapat dikirim secara komersial ke konsumen.
- b. Dari gangguan proses, pemeliharaan atau pergantian peralatan.
- c. Dari *depressurize* fasilitas jika ada kebutuhan untuk mengurangi tekanan dengan cepat.
- d. *Overpressure* dari vessel seperti separator atau scrubber.
- e. Gas *release* melalui valve yang terhubung ke sistem suar.
- f. Gas dengan tekanan atmosfer yang tidak dapat diproses.

Sistem gas suar pada industri minyak dan gas terbagi dalam dua kategori utama, yaitu *associated gas* dan *non associated gas*. Istilah *associated gas*

merupakan gas yang awalnya berasal dari sumur (dua atau tiga fasa) pada tekanan formasi (*formation pressure*), kemudian sengaja dibakar selama proses produksi karena penurunan tekanan atau tekanannya berkurang menjadi tekanan atmosfer. Sementara *non associated gas* adalah gas yang dihasilkan ketika situasi abnormal seperti proses *start-up*, *shutdown* atau *emergency*. Karena kuantitasnya yang kecil, jenis gas suar ini memiliki dampak lingkungan yang dapat diabaikan.

Dalam keadaan *emergency*, gas suar berasal dari *relief valves* dan *overpressure protection devices* seperti *pressure safety valve (PSV)*, *rupture discs*, *blowdown valve (BDV)* atau *pressure control valve (PCV)*. Peralatan ini terletak di dekat sistem yang memiliki tekanan tinggi. Peralatan tersebut harus ditempatkan pada posisi yang lebih tinggi dalam sistem proses untuk meminimalkan *liquid carry-over* dan memastikan hanya gas yang mengalir ke dalam sistem suar. Sebelum gas dibakar biasanya dari *header* gas dialirkan ke *knock out drum (KO drum)*. *Knock out drum* berfungsi untuk mengurangi kecepatan gas dan memisahkan serta menampung cairan atau kondensat dari gas. Kemudian gas suar yang sudah kering tersebut dialirkan menuju menara suar bakar.

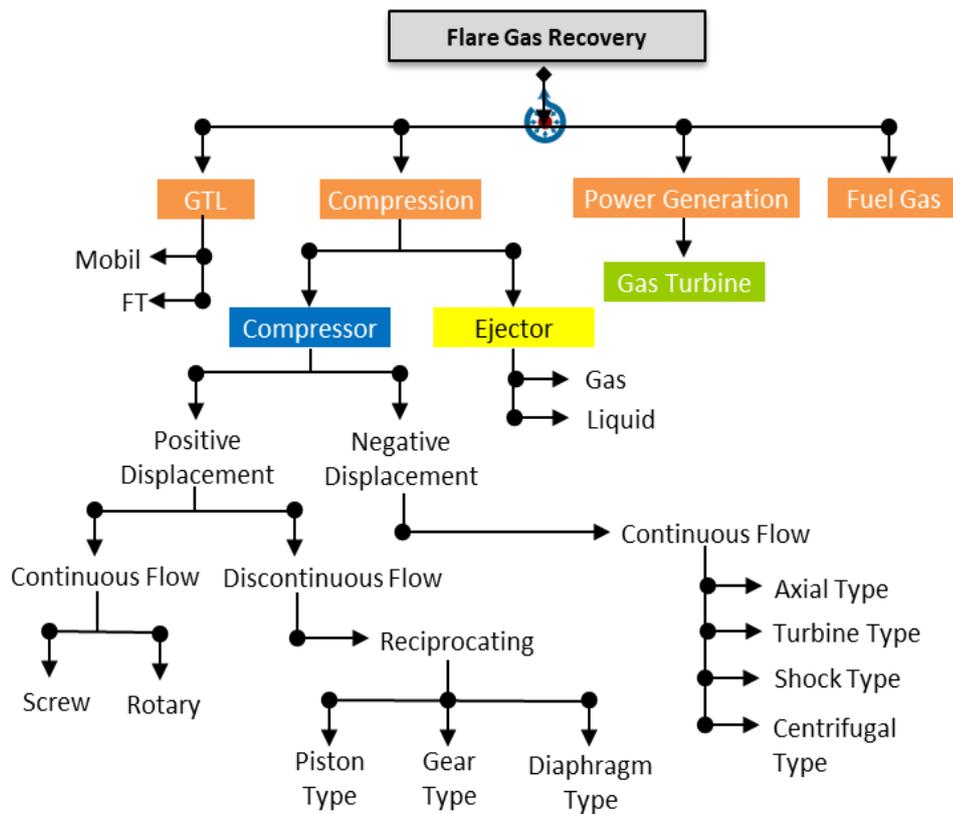
Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3 pembakaran pada sistem gas suar berasal dari gas dengan tekanan dan temperatur yang berbeda, sehingga biasanya desain sistem gas suar dibagi menjadi beberapa kategori, yaitu *high pressure (HP)*, *low pressure (LP)* dan *vent system*. Sistem gas suar HP beroperasi pada tekanan relatif tinggi yang memungkinkan terjadinya penurunan tekanan yang signifikan. Sementara itu sistem suar LP didesain untuk menerima pelepasan gas dari proses yang beroperasi pada tekanan rendah. Sedangkan vent system didesain untuk menerima pelepasan gas dari peralatan yang tidak dapat melewati tekanan diatas 0,07 barg dalam sistem (Masdal, 2015).



Gambar 2.3. Sistem gas suar (HP & LP Flare) (Masdal, 2015)

II. 3. Flare Gas Recovery

Dalam dekade terakhir telah muncul dorongan yang kuat untuk mengurangi tingkat flaring selama kondisi normal (*non-emergency*) dengan menambahkan *flare gas recovery (FGR) system*. Selain mengurangi dampak terhadap lingkungan hal tersebut juga mampu meningkatkan efisiensi energi pada proses produksi minyak dan gas bumi (Eman, 2015). Ada beberapa teknologi yang bisa digunakan untuk meminimalkan *flaring* dan memulihkannya kembali seperti *compressor*, *gas-to-liquid (GTL)*, pembangkit listrik dan digunakan sebagai bahan bakar gas (Gambar 2.4). Untuk menentukan sistem pemulihan yang tepat, diperlukan evaluasi proses yang memadai dari fasilitas produksi gas suar, pemantauan komprehensif dari sumber aliran serta komposisi gas suar tersebut (Sonawat & Samad, 2012).



Gambar 2.4. Metode *flare gas recovery* (Sonawat & Samad, 2012)

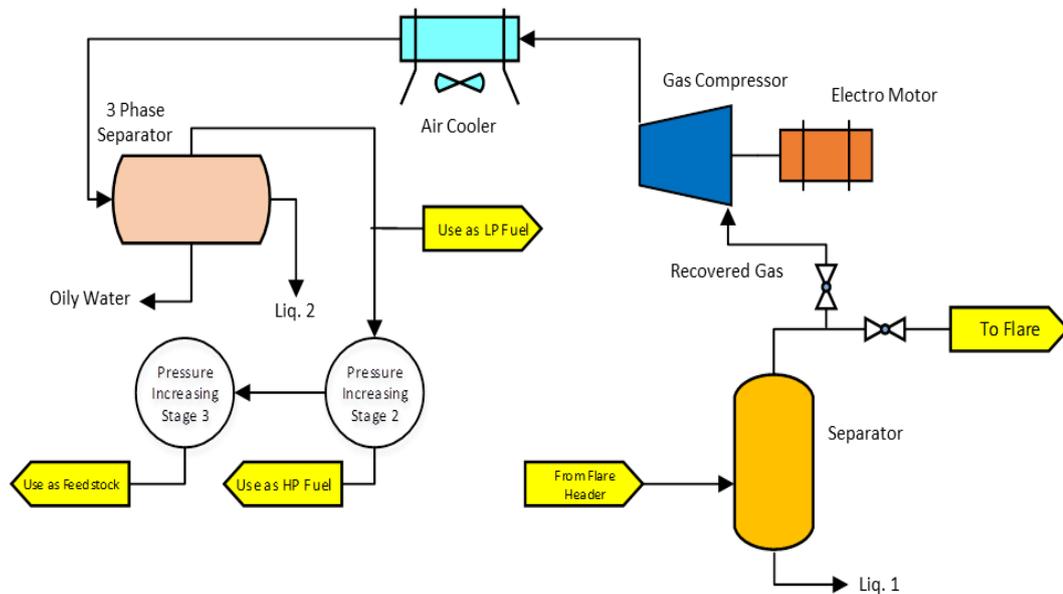
Teknologi *Gas-to-liquid* (GTL) merupakan salah satu metode terbaik untuk mereduksi gas flaring dengan cara mengubah flare gas (FG) menjadi hidrokarbon produk akhir seperti *kerosene*, *gasoline*, *diesel* dan lainnya. Konversi flare gas (*associated gas*) menjadi bahan bakar sintetis telah menarik perhatian di beberapa negara karena manfaat ekonomi dan lingkungan yang diperoleh. Gas tersebut diubah menjadi liquid baik secara langsung maupun dengan gas sintetis yang menggunakan proses *Fischer Tropsch* (FT) atau proses *Mobil* (Rahimpour et al., 2012).

Dalam proses *fischer tropsch* pertama *associated gas steam methane reformer* untuk menghasilkan syngas (campuran CO dan H₂). Kemudian syngas dimasukkan kedalam reaktor *fischer tropsch* untuk menjadikan hidrokarbon yang memiliki rantai karbon panjang (*Long-chain Heavy Paraffin*). Produk yang dihasilkan oleh proses tersebut selanjutnya diolah dan dimurnikan untuk menghasilkan produk bahan bakar transportasi seperti *high speed*

diesel, gasoline, dan jet fuel. Produk *fischer tropsch* mempunyai kualitas tinggi, seperti bebas *sulfur, nitrogen, aromatics* dan kontaminan lain yang biasanya ditemukan dalam produk minyak bumi. Namun proses *fischer tropsch* juga mempunyai kelemahan, diantaranya yaitu biaya untuk membangun *fischer tropsch plant* relatif tinggi dan efisiensi energinya relatif rendah (Emam, 2015).

Pada metode lain dalam memulihkan gas suar adalah digunakan untuk proses pembangkit listrik. Proses pembangkit listrik biasanya menggunakan turbin untuk menggerakkan generator. Turbin tersebut mengubah energi kinetik menjadi energi mekanik. Dalam hal ini gas suar digunakan sebagai bahan bakar untuk menghasilkan energi kinetik pada turbin. Dengan metode ini, energi listrik yang dihasilkan dapat digunakan untuk kebutuhan plant sendiri atau untuk dijual ke konsumen (Razak, 2007).

Metode *compression* pada gas suar menggunakan *compressor* sudah terbukti efektif untuk mengurangi pembakaran pada gas suar. Tekanan gas suar yang rendah dinaikkan sampai tekanan tertentu sesuai kebutuhan, seperti untuk disalurkan pada pipa gas jual atau disalurkan pada inlet separator. Pada Gambar 2.5 menunjukkan bagaimana sistem pemulihan gas suar menggunakan *compressor*. Gas suar (*associated gas*) sebelum dibakar pada menara suar dan setelah melewati *knock out drum* diambil dan di naikkan kembali tekanannya untuk diproses lebih lanjut. Pemilihan jenis *compressor* yang paling tepat disini tergantung banyak faktor, seperti *process requirements*, efisiensi, *maintenance* dan lain sebagainya (Ghasemikafrudi et al., 2017).



Gambar 2.5. Sistem pemulihan gas suar menggunakan compressor (Ghasemikafrudi, 2017).

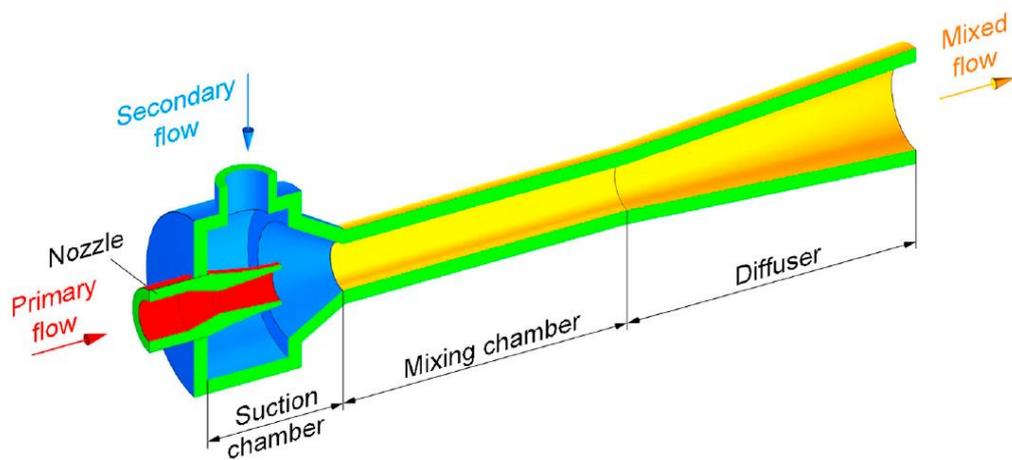
Metode yang sering digunakan lainnya untuk mengurangi pembakaran gas suar adalah dengan menggunakannya sebagai bahan bakar. Gas suar digunakan untuk memanaskan *heater* atau *steam generator* dengan tujuan mendapatkan tekanan dan temperatur uap tertentu. Dengan metode tersebut, akan mampu menghemat biaya bahan bakar gas dari sumber eksternal (Masdal, 2015).

II. 4. Sistem Ejector

Ejector atau yang juga dikenal dengan *jet pump*, *eductor* atau *venturi* merupakan alat sederhana, kuat dan handal untuk memompa atau menaikkan tekanan fluida. Bekerja berdasarkan prinsip *Bernoulli* yang menyatakan bahwa jika tidak ada kerja yang dilakukan pada atau oleh fluida tanpa gesekan yang mengalir, energi totalnya yang merupakan penjumlahan energi potensial, kinetik, dan tekanan akan tetap konstan di semua titik sepanjang garis arus. Oleh karena itu peningkatan kecepatan (energi kinetik) menghasilkan penurunan tekanan dan sebaliknya (Goodyear et al., 2003).

Gambar 2.6 secara skematis menunjukkan geometri ejector yang khas, terdiri dari dua bagian yang berbeda. Bagian pertama adalah *primary nozzle* yang

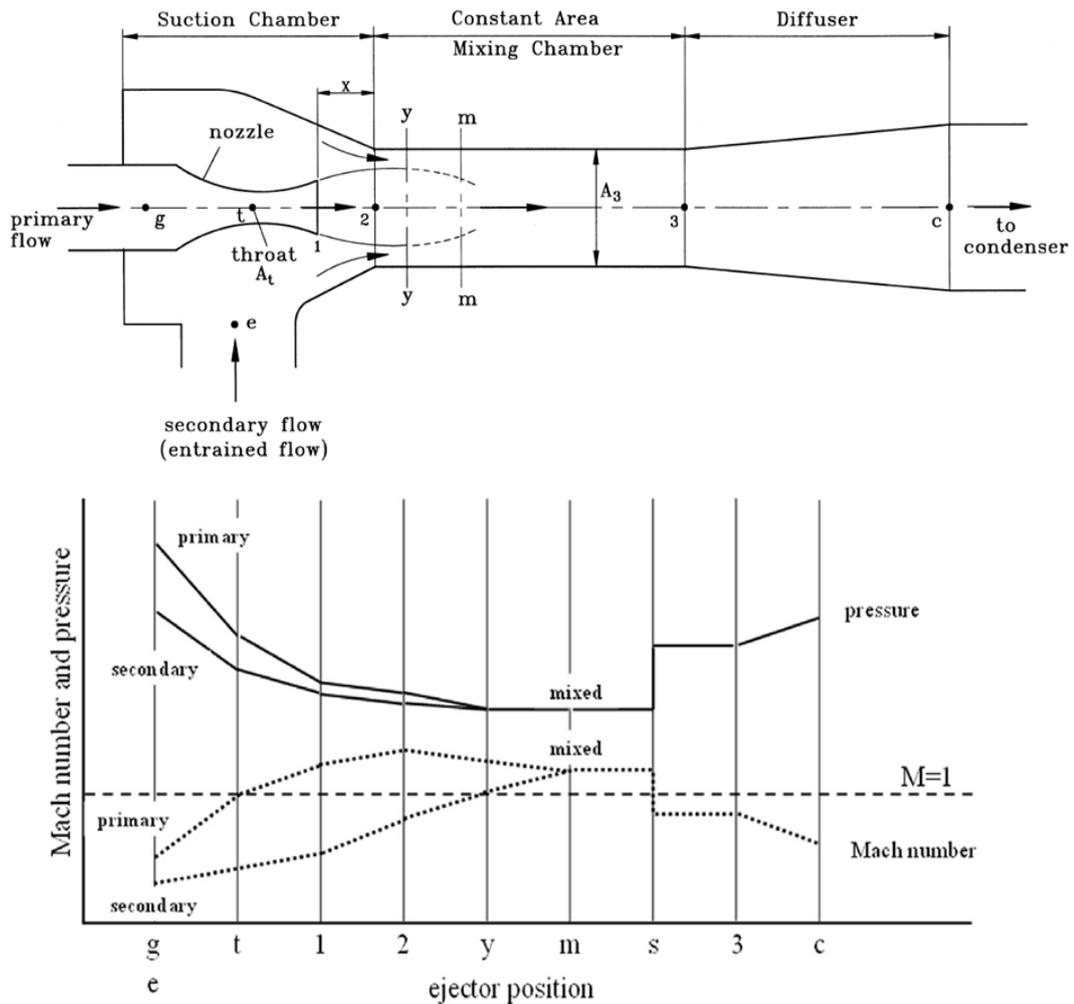
bentuknya bisa berupa konvergen atau konvergen – divergen dan digunakan untuk mengekspansi *primary fluid*, dalam prosesnya mengubah energi potensial menjadi energi kinetik. Bagian kedua yaitu biasa disebut *secondary nozzle*, terdiri dari tiga zona: *suction chamber*, *mixing chamber* atau *constant area section*, dan *diffuser* (Tashtoush et al., 2019). *Secondary fluid* masuk melalui zona *suction chamber* kemudian bercampur dengan *primary fluid* pada *mixing chamber*. Diameter dan panjang masing – masing bagian tergantung pada jenis fluida dan kondisi yang diinginkan (Aidoun et al., 2019).



Gambar 2.6. Geometri Ejector (Tashtoush et al., 2019)

II.4.1. Karakteristik Operasi Ejector

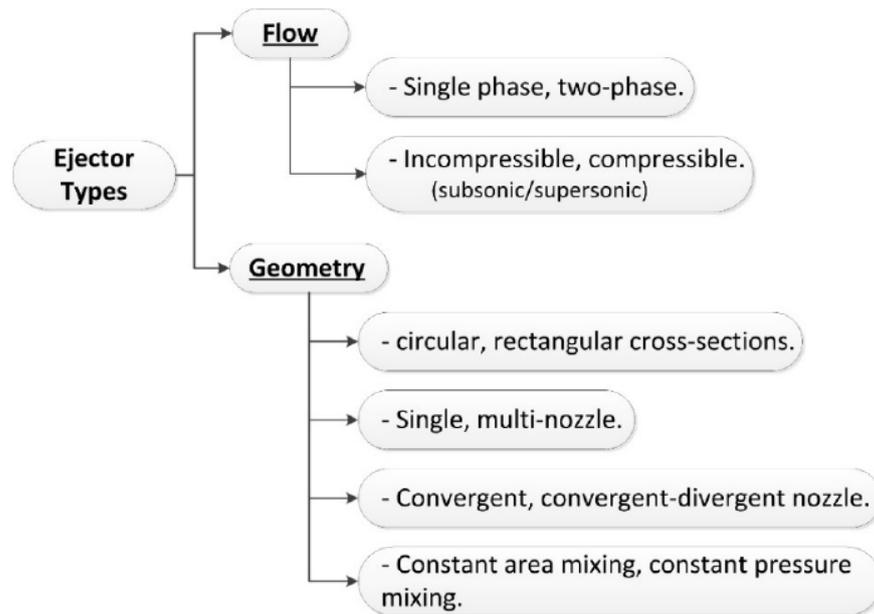
Pada Gambar 2.7 menunjukkan profil kecepatan dan tekanan di sepanjang posisi ejector. *Primary flow* memasuki ejector (g) melalui *converging-diverging nozzle* (CDN) pada kecepatan *subsonic* ($M < 1$). Kemudian kecepatannya bertambah pada bagian *throat* (t) atau setelah melewati *converging* CDN menjadi *sonic* ($M = 1$). Setelah melewati *throat* (t) atau pada bagian *diverging* CDN kecepatannya akan menjadi *supersonic* ($M > 1$). Sedangkan untuk tekanan, *primary flow* akan turun dari P_g ke P_t dan akhirnya ke P_1 . Sementara itu untuk *secondary flow* memasuki melalui *suction chamber* (e) dan juga dengan kecepatan *subsonic*. Entrainment dan pencampuran kedua fluida mulai pada bagian keluaran CDN (1) dan berlanjut sepanjang bagian *converging suction chamber* (titik 1 ke 2) serta *constant area section* atau CAS (Titik 2 ke 3) (Huang et al., 1999).



Gambar 2.7. Profil kecepatan dan tekanan ejector (Huang et al., 1999)

II.4.2. Tipe Ejector

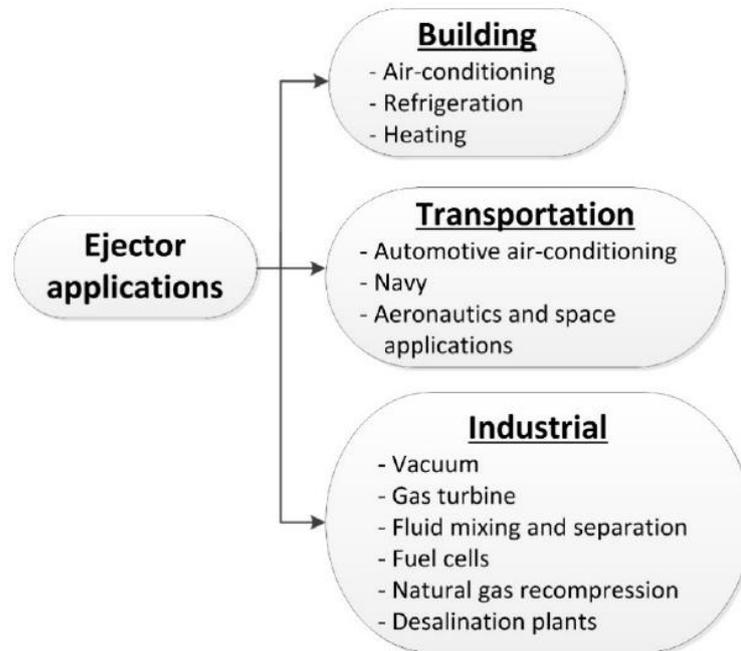
Tipe atau jenis ejector terutama diklasifikasikan sehubungan dengan geometri dan sifat internal aliran dapat diklasifikasikan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8. Ejector dapat berupa *single-phase* atau *two-phase*, aliran yang *compressible* atau *incompressible* tergantung pada kombinasi aliran fluidanya (*all liquid*, *all vapour*, *all gas*, *liquid-vapour*, *vapour-liquid*, *liquid-gas*). Kemudian ejector mungkin mempunyai bentuk yang berbeda, seperti penampang persegi panjang atau lingkaran, *single* atau *multi-nozzle* dan sebagainya, tetapi prinsip kerja pada semua jenis ejector adalah sama (Aidoun et al., 2019).



Gambar 2.8. Tipe Ejector (Aidoun at al., 2019)

II.4.3. Aplikasi Ejector

Salah satu kelebihan ejector yaitu tidak adanya bagian yang bergerak sehingga membuatnya dapat diandalkan tanpa perawatan khusus atau biaya khusus. Oleh karena itu dengan alasan tersebut membuat ejector sangat potensial untuk diaplikasikan pada banyak area (Gambar 2.9), mulai dari *refrigeration and air conditioning*, transportasi, industri dan lain sebagainya (Singhal et al., 2008). Dalam aplikasi *refrigeration*, ejector difungsikan untuk menarik uap refrigeran dari evaporator (*cold creation*) dan mengompresnya untuk pembuangan panas di kondensor (Butrymowicz et al., 2014). Sementara itu dalam aplikasi *automotive air conditioning*, ejector digunakan untuk mendinginkan kabin mobil dengan memanfaatkan panas dari *radiator coolant* yang mana temperaturnya sekitar 80°C (Wang et al., 2016).



Gambar 2.9. Aplikasi ejector (Aidoun at al., 2019)

II.4.4. Metode Pemodelan Ejector

Pemodelan ejector atau *ejector modeling* merupakan alternatif yang murah untuk melakukan eksperimen. Pemodelan desain berfokus pada ukuran ejector untuk operasi tertentu. Terdapat dua metode dalam pemodelan ejector yaitu *analytical modeling* dan *numerical modeling*. Dalam *analytical modeling* disini menggunakan model matematika dari konsep teori termodinamika dan *compressible flow*. Namaun karena didasarkan bentuk integral dari konversi persamaan, maka dalam *analytical modeling* membutuhkan banyak asumsi tentang karakteristik aliran. Berbeda dengan *numerical modeling*, pada metode ini teknik penyelesaian permasalahan diformulasikan secara matematis dengan menggunakan operasi hitungan (aritmatik). Dengan bantuan komputer, perhitungan dapat dilakukan dengan cepat serta hasil yang diperoleh dapat disimulasikan (Aidoun at al., 2019).

Simulasi numerik telah terbukti sebagai metode yang paling andal untuk mensimulasikan aliran fluida di dalam ejector. Hal tersebut dapat secara akurat mempertimbangkan berbagai fenomena aliran yang terjadi seperti gelombang

kejut, pencampuran, lapisan batas, perubahan fasa, kompresibilitas, aliran supersonik, aliran kompleks dan lain-lain. Banyak peneliti telah menggunakan metode numerik ini untuk mencoba mendapatkan pemahaman yang lebih dalam tentang perilaku hidrodinamik ejector dengan tujuan mendapatkan desain dan kinerja yang lebih baik (Tashtoush et al., 2019).

II. 5. Pemodelan dan Simulasi Ansys

Ansys adalah perangkat lunak *computational fluid dynamics* (CFD) yang merupakan salah satu cabang ilmu dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan data yang terstruktur untuk menganalisis dan memecahkan problematika yang melibatkan fluida. Pada proses ini, komputer diminta untuk menyelesaikan perhitungan-perhitungan numerik dengan cepat dan akurat (Ruiz-Soto et al., 2020). Beberapa contoh fenomena yang dapat disimulasikan dalam Ansys diantaranya yaitu aliran multifase turbulen, perpindahan panas dan massa, serta aliran fluida dalam geometri berputar seperti pompa, fan, kompresor dan turbin (Grahn et al., 2021).

Suatu kode CFD tersusun atas algoritma-algoritma numerik yang dapat menyelesaikan permasalahan aliran fluida dan terdiri dari tiga elemen utama yaitu:

1. *Pre-processing*

Pre-processing merupakan langkah pertama dalam membangun dan menganalisis

sebuah model CFD, yang terdiri dari pendefinisian geometri (*domain*), *grid generation (mesh)*, pendefinisian properti fluida dan *boundary condition*, serta kondisi aliran (kecepatan, tekanan, temperatur, dan sebagainya) yang didefinisikan pada titik nodal dalam tiap sel.

2. *Processing*

Dalam *processing* dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu : *finite difference*, *finite element*, dan *metode spektral*. Metode *finite volume* adalah pengembangan khusus dari formulasi *finite difference*. *Finite volume* digunakan pada software

Ansys. Algoritma numerik untuk menyelesaikan masalah yang dihadapi terdiri dari integrasi persamaan aliran fluida yang digunakan pada semua kontrol volume domain, diskritisasi persamaan integral menjadi sistem persamaan aljabar dan penyelesaian persamaan aljabar dengan metode iterasi.

3. *Post-processing*

Post-processing merupakan tahap visualisasi dari hasil tahapan sebelumnya. Alat visualisasi tersebut antara lain yaitu *domain* geometri dan *display*, plot vektor, plot kontur, plot 2D dan 3D *surface*, manipulasi tampilan (translasi, rotasi, skala, dan sebagainya), serta animasi display hasil dinamik.

II. 6. Pemodelan dan Simulasi Aspen Hysys

Aspen Hysys merupakan *software process engineering* yang berguna untuk mensimulasikan suatu unit proses atau multi unit proses yang terintegrasi, *intuitive, iterative, open and extensible*. Hysys menyediakan banyak fungsi yang dapat menunjang perancangan sebuah sistem atau proses yang ada pada industri petrokimia, minyak dan gas, maupun pembangkit listrik. selain itu *software* Hysys juga memberikan fleksibilitas membuat dan memodifikasi diagram alir proses untuk pemodelan dan simulasi yang nantinya berhubungan dengan kinerja plant dan *cost analysis* (Sunny et al., 2016).

Dalam perancangan *plant* menggunakan Aspen Hysys terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan, antara lain yaitu:

1. Memilih komponen yang akan digunakan (*Selection of components*)
2. Memilih model termodinamika (*Selection of a thermodynamic properties package*)
3. Membuat *flowsheet* dari *plant* (*Process Flow Diagram*)
4. Melakukan spesifikasi pada komposisi dan kondisi aliran
5. Menjalankan program (*running the simulation*)
6. Menganalisa hasil (*Interpretation of the results*)

Aspen Hysys menyediakan beberapa model termodinamika (*thermodynamic property fluid packages*) seperti *Peng-Robinson (PR)*, *SRK*, *Glycol*, *Acid Gas* dan lain-lain. Pemilihan model termodinamika disesuaikan dengan kebutuhan pada proses yang akan disimulasikan. Pada umumnya, industri petrokimia menggunakan model termodinamika seperti NRTL, Sour PR, dan lain-lain. Sementara itu untuk proses pada industri minyak dan gas, para *process engineer* biasanya menggunakan model *Peng-Robinson* (Dai, 2021).

Simulasi yang dirancang disesuaikan dengan *process flow diagram*. Perancangan harus dilakukan dengan detail dan semirip mungkin dengan real plant. Perancangan dilakukan pada flowsheet pada hysys dengan menggunakan beberapa tool seperti separator, kompresor, pompa, maupun alat penukar panas. Setelah dilakukan perancangan, kondisi aliran ditentukan berdasarkan datasheet. Spesifikasi peralatan ditentukan sesuai dengan *real plant* yang sedang beroperasi. Hasil akhir dari simulasi dapat digunakan untuk analisis energi, analisis biaya, maupun analisis efisiensi.

II. 7. Emisi Gas Suar Bakar

Perhitungan beban emisi pada unit sistem suar bakar dilakukan berdasarkan ketersediaan data. Jika volume hidrokarbon pada outlet sistem suar bakar diketahui maka dapat di kalkulasi dengan menggunakan persamaan berikut (API, 2009):

$$E_{CO_2} = \left(HC \times CF_{HC} \times \frac{FE}{1 - FE} \times \frac{44}{12} \right) + M_{CO_2} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

E_{CO_2} : *CO2 mass emission rate*

HC : *flare hydrocarbon mass emission rate (from the flare)*

CF_{HC} : *carbon weight fraction in hydrocarbon*

FE : *flare destruction efficiency*

44/12 : *C to CO2 conversion factor*

M_{CO_2} : *mass of CO2 in flared stream based on CO2 composition of the stream*

Jika data pengukuran emisi tidak tersedia, emisi CO₂ dari sistem suar bakar didasarkan pada perkiraan efisiensi pembakaran 98% konversi gas suar bakar menjadi CO₂ dan berlaku persamaan berikut (API, 2009):

$$E_{CO_2} = \text{Volume flared} \times \frac{\text{Molar volume}}{\text{conversion}} \times \text{MW CO}_2 \times \text{mass conversion} \times \left[\sum \left(\frac{\text{mole Hydrocarbon}}{\text{mole gas}} \times \frac{A \text{ mole C}}{\text{mole Hydrocarbon}} \right) \times \frac{0,98 \text{ mole CO}_2 \text{ formed}}{\text{mole C combusted}} \right] + \frac{B \text{ mole CO}_2}{\text{mole gas}} \quad ..(2.2)$$

Dimana:

Molar volume : *conversion from molar volume to mass (379.3 scf/lbmole or conversion 23.685 m³/kgmole)*

MW CO₂ : *CO₂ molecular weight*

Mass conversion : *tonnes/2204.62lb or tonne/1000 kg*

A : *the number of moles of Carbon for the particular hydrocarbon*

B : *the moles of CO₂ present in the flared gas stream*

II. 8. Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi digunakan sebagai dasar untuk memperkirakan berapa biaya awal atau pengadaan (*capital cost*), biaya operasional (*operating cost*) serta indikator keekonomisan yang meliputi *Net Present Value* (NPV), *Payback period* dan lainnya.

a. Estimasi biaya modal

Salah satu pendekatan paling akurat untuk memperkirakan investasi biaya unit industri adalah *Study estimate*. Jenis pendekatan ini mencakup semua peralatan utama dalam proses seperti pompa, *turbine*, *compressor*, *heat and exchanger* dll. Total biaya modal, yang terdiri dari fabrikasi dan instalasi diperkirakan dengan persamaan berikut (Turton et al., 2018):

$$C_{TM} = 1.18 \sum_{i=1}^n C_{BM,i} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

C_{TM} : *Capital cost (total module) of the plant*

n : *Total number of individual units*

C_{BM} : *Bare module equipment cost*

Bare module equipment cost adalah biaya untuk masing – masing komponen yang termasuk biaya langsung (peralatan, bahan, dan pekerja yang dibutuhkan untuk instalasi) dan biaya tidak langsung (pengiriman, kontraktor desainer, asuransi, dan pajak). Untuk menghitung *Bare module equipment cost* digunakan persamaan:

$$C_{BM} = C_{Ej} \cdot F_{BM} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$C_{BM} = C_{Ej} \cdot (B_1 + B_2 F_P F_M) \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana:

C_{Ej} : *Purchased cost for base conditions, usually carbon steel and operating at near ambient pressures*

F_{BM} : *Bare module cost factor, multiplication factor to account for each item with the specific materials of construction and operating pressure*

B_1 and B_2 : *correction coefficients for the type of equipment*

F_P : *Operating pressure factor*

F_M : *Material factor*

Sementara itu untuk ejector, estimasi harga dalam kondisi dasar (*purchased cost for base conditions*) dapat dicari dengan persamaan (Mabrouk et al., 2007):

$$C_{Ej} = 1000 \cdot 16,14 \cdot 0,989 \cdot \dot{M}_S \left[\frac{T_p}{P_p} \right]^{0,05} P_s^{-0,75} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

- C_{Ej} : *Cost of ejector*
- \dot{M}_S : *Mass flow rate (kg/s)*
- T_p : *Temperature primary flow (K)*
- P_p : *Pressure primary flow (MPa)*
- P_s : *Pressure suction or entrained flow (MPa)*

b. Estimasi biaya operasional

Biaya yang terkait operasional harus diperkirakan sebelum menilai kelayakan suatu proses yang diusulkan. Estimasi biaya operasional tahunan dapat dihitung dengan persamaan:

$$COM_d = 0,18C_{TM} + 2,75C_{OL} + 1,23 (C_{UT} + C_{WT} + C_{RM}) \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

- COM_d : *Cost of manufacturing (USD/year)*
- C_{TM} : *Capital cost (total module) of the plant (USD)*
- C_{OL} : *Cost of operating labor (USD)*
- C_{UT} : *Cost of utilities (USD)*
- C_{WT} : *Cost of waste treatment (USD)*
- C_{RM} : *Cost of raw material (USD)*

c. Analisis ekonomi engineering

Ketika sebuah perusahaan membangun dan mengoperasikan sebuah peralatan proses kimia, peralatan tersebut memiliki masa pakai atau *lifetime* yang terbatas. Nilai dari peralatan tersebut akan berkurang seiring waktu. Ada beberapa metode untuk mengetahui penurunan tahunan atau *yearly depreciation*, akan tetapi dalam hal ini kita menggunakan metode *Double Declining Balance* yang dapat dicari dengan persamaan:

$$d_k^{DDB} = \frac{2}{n} \left[C_{TM} - \sum_{j=1}^{k-1} d_j \right] \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

- d : *Yearly depreciation*
- C_{TM} : *Capital cost (total module) of the plant*
- n : *Lifetime equipment*

Sementara itu, keuntungan bersih tahunan atau yang biasa dikenal sebagai *cash flow* dapat dicari dengan persamaan :

$$CF = (R - COM_d - d)(1 - t) + d \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

- CF_d : *Cash flow*
- R : *Revenue from flare gas recovery*
- COM_d : *Cost of manufacturing (USD/year)*
- d : *Yearly depreciation*
- t : *Yearly taxation*

d. Analisis profitabilitas

Dalam mengevaluasi profitabilitas dari sebuah proyek, ada beberapa metode yang bisa digunakan yaitu:

1. *Net Present Value (NPV)*

$$NPV = \sum_{n=1}^N \frac{CF_n}{(1+i)^n} + \sum_{r=1}^T \frac{SV_r}{(1+i)^N} - C_{TM} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana:

- N : *Project lifetime*
- CF_n : *Cash flow in the nth year*
- i : *Discount rate*
- T : *Total number of equipment*
- SV : *Salvage value for equipment*
- C_{TM} : *Capital cost (total module) of the plant*

2. *Payback period (PBP)*

$$\sum_{n=1}^B \frac{CF_n}{(1+i)^n} + \sum_{r=1}^T \frac{SV_r}{(1+i)^N} - C_{TM} = 0 \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

- B : *Payback period*
- CF_n : *Cash flow in the nth year*
- i : *Discount rate*
- T : *Total number of equipment*
- SV : *Salvage value for equipment*
- C_{TM} : *Capital cost (total module) of the plant*