

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 HASIL PERANCANGAN TEKNIS

Penelitian kasus penanganan gas buang yang telah dilakukan dari aspek teknis mempunyai beberapa hasil yang dapat diperhatikan secara seksama. Pemilihan tipe penanganan gas buang berdasarkan karakteristik komposisi gas dapat menjadi perhatian penting. Selain itu desain ukuran *stack* yang akan digunakan dalam operasi serta ukuran *burner* merupakan hal yang penting dalam mendesain secara aman.

4.1.1 Pemilihan Tipe Pembakaran

Penanganan gas buang menggunakan *enclosed ground flare* telah dilakukan perhitungan sesuai dengan metode penelitian yang telah ditentukan. Pada permasalahan ini digunakan dua buah komposisi gas yaitu gas normal dan gas berbahaya. Komposisi gas yang terdiri dari berbagai macam komponen tersebut akan dilihat berdasarkan nilai *heating value* dan komponen lain seperti CO₂ dan H₂S. Berdasarkan hal tersebut dapat diperhitungkan nilai *heating value* untuk gas normal dan gas berbahaya sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

Tabel 4.1 : Nilai Heating Value Komposisi Gas Normal

Gas Komposisi	Fraksi Mol	MW	MW AVG	NHV BTU/SCF	NHV AVG BTU/SCF
Methane	0.851	16	13.6	913	777.24
ethane	0.056	30	1.7	1641	92.55
propane	0.028	44	1.2	2385	67.02
I-butane	0.004	58	0.2	3105	11.80
N-butane	0.005	58	0.3	3113	14.01
I-pentane	0.003	72	0.2	3716	10.40
N-pentane	0.002	72	0.2	3709	8.53
N-hexane	0.000	86	0.0	4412	1.32
heptane	0.000	100	0.0	5130	0.00
octane	0.000	114	0.0	5783	0.00
nonane	0.000	128	0.0	6987	0.00
decane	0.000	142	0.0	7732	0.00
h2s	0.000	34	0.0	569	0.00
h2o	0.001	16	0.0	0	0.00
nitrogen	0.000	28	0.0	0	0.00
co2	0.050	44	2.2	0	0.00
oxygen	0.000	32	0.0	0	0.00
Total	1	1074	19.6		983

Tabel 4.2 : Nilai Heating Value Komposisi Gas Khusus

Gas Komposisi	Fraksi Mol	MW	MW AVG	NHV BTU/SCF	NHV AVG BTU/SCF
Methane	0.0704	16	1.1	913	64.30
ethane	0.0030	30	0.1	1641	4.99
propane	0.0030	44	0.1	2385	7.16
I-butane	0.0008	58	0.0	3105	2.48
N-butane	0.0010	58	0.1	3113	3.11
I-pentane	0.0010	72	0.1	3716	3.72
N-pentane	0.0015	72	0.1	3709	5.56
N-hexane	0.0010	86	0.1	4412	4.41
heptane	0.0030	100	0.3	5130	15.39
octane	0.0030	114	0.3	5783	17.35
nonane	0.0020	128	0.3	6987	13.97
decane	0.0008	142	0.1	7732	6.19
h2s	0.0007	34	0.0	569	0.34
h2o	0.0780	16	1.2	0	0.00
nitrogen	0.0125	28	0.4	0	0.00
co2	0.8130	44	35.8	0	0.00
oxygen	0.0018	32	0.1	0	0.00
Total	1	1074	40.2		149

Kondisi gas dengan nilai *heating value* minimum 300 BTU/SCF merupakan gas *exothermic* untuk menjaga gas tersebut dapat terbakar sendiri tanpa dibutuhkan penambahan *fuel*. Kondisi kedua gas tersebut dibedakan menjadi dua buah, untuk gas normal dengan kandungan metana yang cukup tinggi (sampai 85%) merupakan tipe gas *exothermic*, sedangkan untuk gas khusus dengan kandungan CO₂ yang cukup tinggi (sampai 80%) merupakan tipe gas *endothermic*.

Gas metana mempunyai nilai *heating value* yang cukup tinggi dan gas CO₂ tidak mempunyai nilai *heating value*, hal tersebut yang membuat perbedaan karakteristik gas tersebut. Oleh karena itu kondisi gas normal dapat terbakar sendiri tanpa penambahan *fuel* sedangkan gas khusus dibutuhkan untuk penambahan *fuel* karena nilai *heating value* nya dibawah 300 BTU/SCF yaitu 149 BTU/SCF. Dengan demikian untuk gas normal akan digunakan *enclosed ground flare* tanpa penambahan *fuel*, sedangkan untuk gas khusus harus menggunakan *thermal oxidizer* dengan penambahan *fuel*.

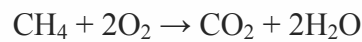
4.1.2 Penentuan Ukuran Stack

Penentuan desain *stack* yang akan digunakan diperhitungkan menggunakan proses simulasi hysys, dan hasil dari simulasi hysys digunakan sebagai input untuk menentukan dimensi *stack* yang akan digunakan. Dimensi *stack* tersebut di desain berdasarkan kondisi gas yang akan dibakar.

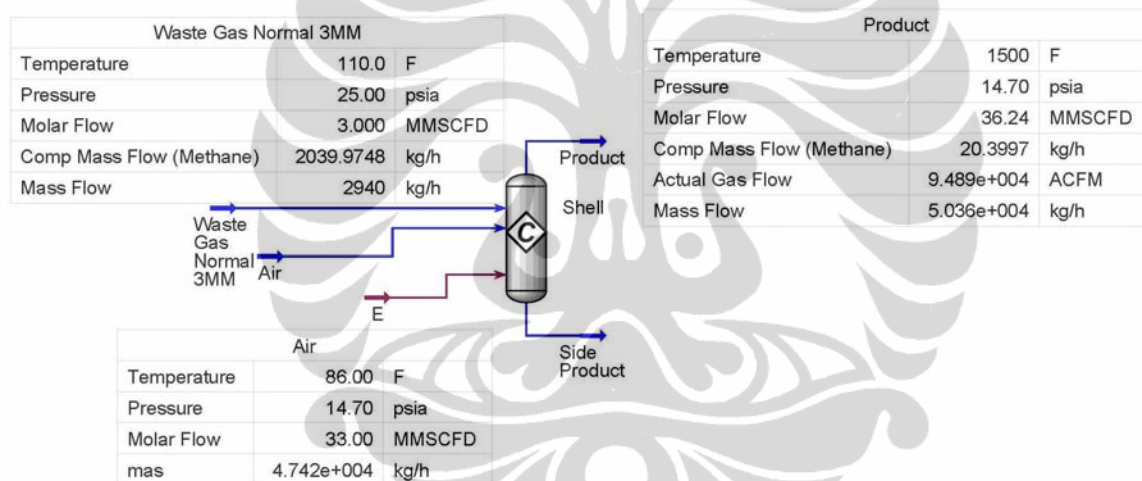
4.1.2.1 Kondisi Gas Normal

Perhitungan simulasi hysys berdasarkan konsep pemahaman sebagai berikut ini. Kondisi gas yang akan digunakan adalah sesuai dengan kondisi awal gas yang akan dibakar yaitu terdapat tiga macam laju alir yaitu 3, 6, 9 MMSCFD. Pembakaran gas normal yang sebagian besar terdiri dari komponen metana mempunyai kondisi karakteristik pembakaran metana dengan *autoignition* (AIT) pada temperatur 999 °F, dan untuk menghasilkan *destruction efficiency* 99% ditambahkan 475 °F diatas *autoignition* (AIT) temperatur [16], sehingga total temperatur operasi 999 °F + 475 °F menjadi sekitar 1500 °F.

Pembakaran secara kimia membutuhkan udara sebagai reaktan pembakaran sesuai persamaan reaksi kimia antara metana dan oksigen yaitu



Secara stokiometri reaksi di atas akan berjalan secara sempurna. Kebutuhan udara yang akan direaksikan dengan metana membutuhkan 9,53 kali dibandingkan reaktan metana, sehingga setiap laju alir gas normal yaitu 3, 6, dan 9 MMSCFD membutuhkan sedikitnya 9,53 kali suplai udara dan dibutuhkan udara berlebih pada proses pembakaran sekitar lebih dari 10%. Kondisi tersebut akan membuat reaksi berjalan dan merubah metana dengan konversi 99%. Hasil panas reaksi pembakaran diambil sepenuhnya terhadap udara luar, proses tersebut dapat dilihat pada proses simulasi hysys sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4.1



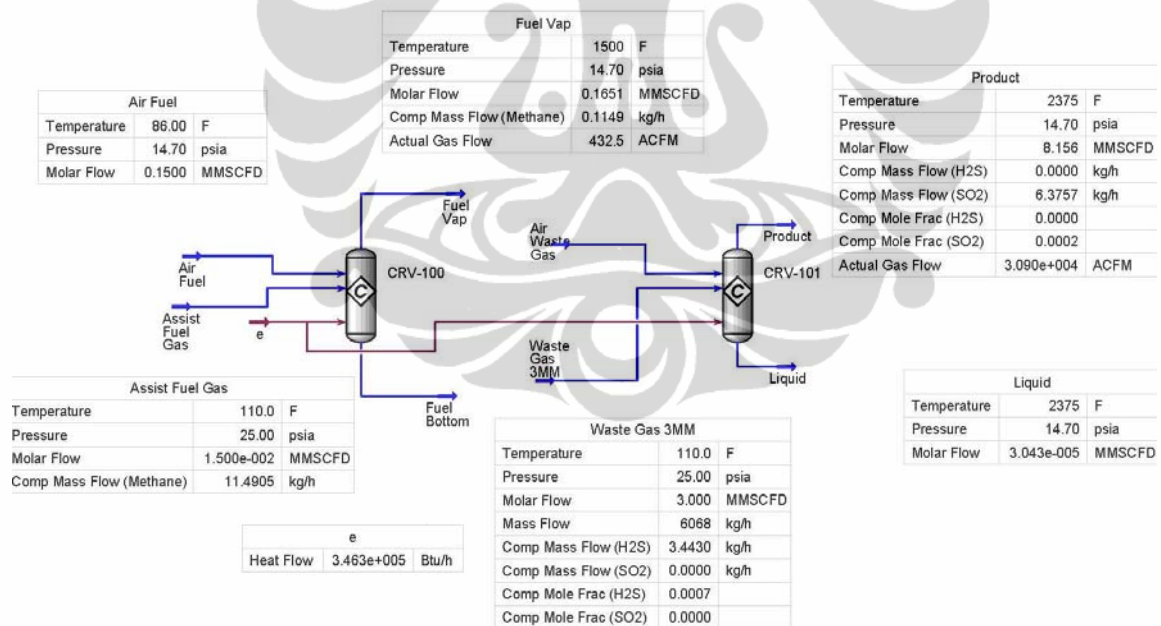
Gambar 4.1. Proses Simulasi Hysys Gas Normal

4.1.2.2 Kondisi Gas Khusus

Perhitungan simulasi hysys berdasarkan konsep pemahaman sebagai berikut ini. Kondisi gas yang akan digunakan adalah sesuai dengan kondisi awal gas yang akan dibakar yaitu terdapat tiga macam laju alir yaitu 3, 6, dan 9 MMSCFD. Kondisi gas khusus membutuhkan penambahan *fuel* dikarenakan gas khusus tidak dapat terbakar dengan sendirinya. Diasumsikan disediakan *fuel* untuk proses pembakaran gas khusus. Kondisi *fuel* tersebut diasumsikan terdiri dari komponen metana sebesar 95%. Proses

simulasi hysys yang digunakan adalah mereaksikan pembakaran *fuel* dengan udara terlebih dahulu hingga mencapai temperatur yang telah ditetapkan untuk metana yaitu 1500 °F. Hasil pembakaran fuel tersebut akan membantu gas buang yang akan dibakar pada proses selanjutnya. Kondisi gas buang yang mengandung gas H₂S menjadi perhatian penting terhadap aspek teknis dan lingkungan, karena H₂S tidak diizinkan melebihi 35 mg/m³.

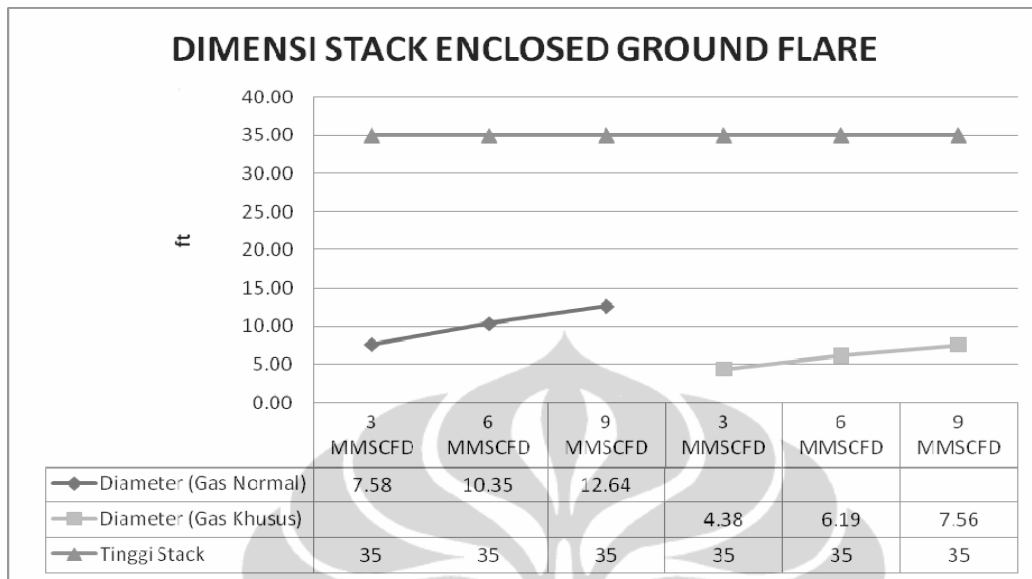
Proses *thermal oxidizer* pada umumnya beroperasi pada temperatur lebih dari 2200 °F [16] hal tersebut membuat komponen H₂S dapat terbakar dan terkonversi secara baik pada kondisi tersebut. Oleh karena itu kondisi operasi thermal oxidizer ini di tetapkan pada temperatur lebih dari 2200 °F, sehingga dapat mengkonversi kandungan H₂S yang mencapai hampir 700 mg/ m³. Proses reaksi pembakaran yang membutuhkan oksigen sesuai dengan rekasi stokiometri, sehingga membuat H₂S dapat terkonversi secara baik dan aman bagi lingkungan. Proses tersebut dapat dilihat pada proses simulasi hysys sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4.2



Gambar 4.2. Proses Simulasi Hysys Gas Khusus

Hasil simulasi hysys yaitu laju alir gas produk / *actual gas flow* menjadi data yang akan digunakan untuk menentukan dimensi *stack*. Dengan menggunakan persamaan 2.4,

2.5, 2.6, dan 2.7 dapat diperoleh dimensi *stack* masing masing kondisi tersebut. Dimensi *stack* tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.3



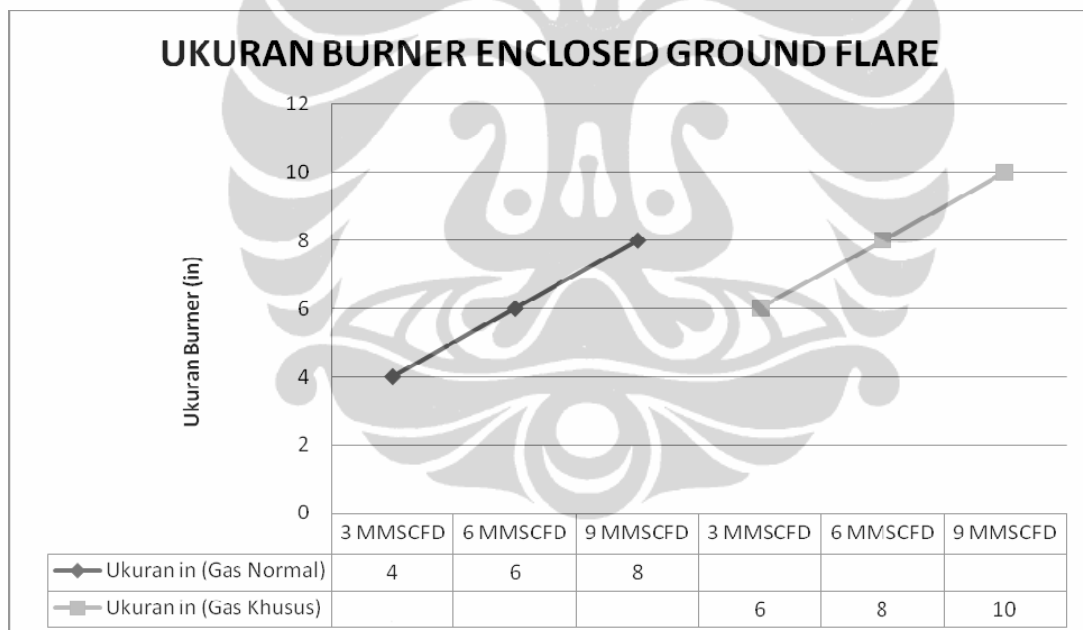
Gambar 4.3. Dimensi Stack Enclosed Ground Flare

Dari Gambar 4.1 terlihat bahwa

- a) Tinggi *stack* untuk kedua kondisi gas normal dan gas khusus mempunyai ketinggian yang sama dikarenakan *stack* di desain pada kecepatan gas yang sama yaitu 35 ft/sec, sesuai dengan batas kecepatan gas antara 20 ft/sec sampai dengan 40 ft/sec. Semakin tinggi kecepatan gas maka tinggi *stack* akan semakin tinggi,
- b) Diameter *stack* berbanding lurus dengan laju alir, artinya semakin besar laju alir semakin besar diameter *stack*. Perbandingan diameter antara kondisi gas normal dan gas khusus yang didesain, diperoleh bahwa gas normal lebih besar dibandingkan gas khusus. Hal ini dikarenakan laju alir produk pembakaran untuk gas normal jauh lebih besar dibandingkan dengan gas khusus. Gas normal menghasilkan reaksi produk yang lebih besar dikarenakan suplai udara yang dibutuhkan lebih besar.

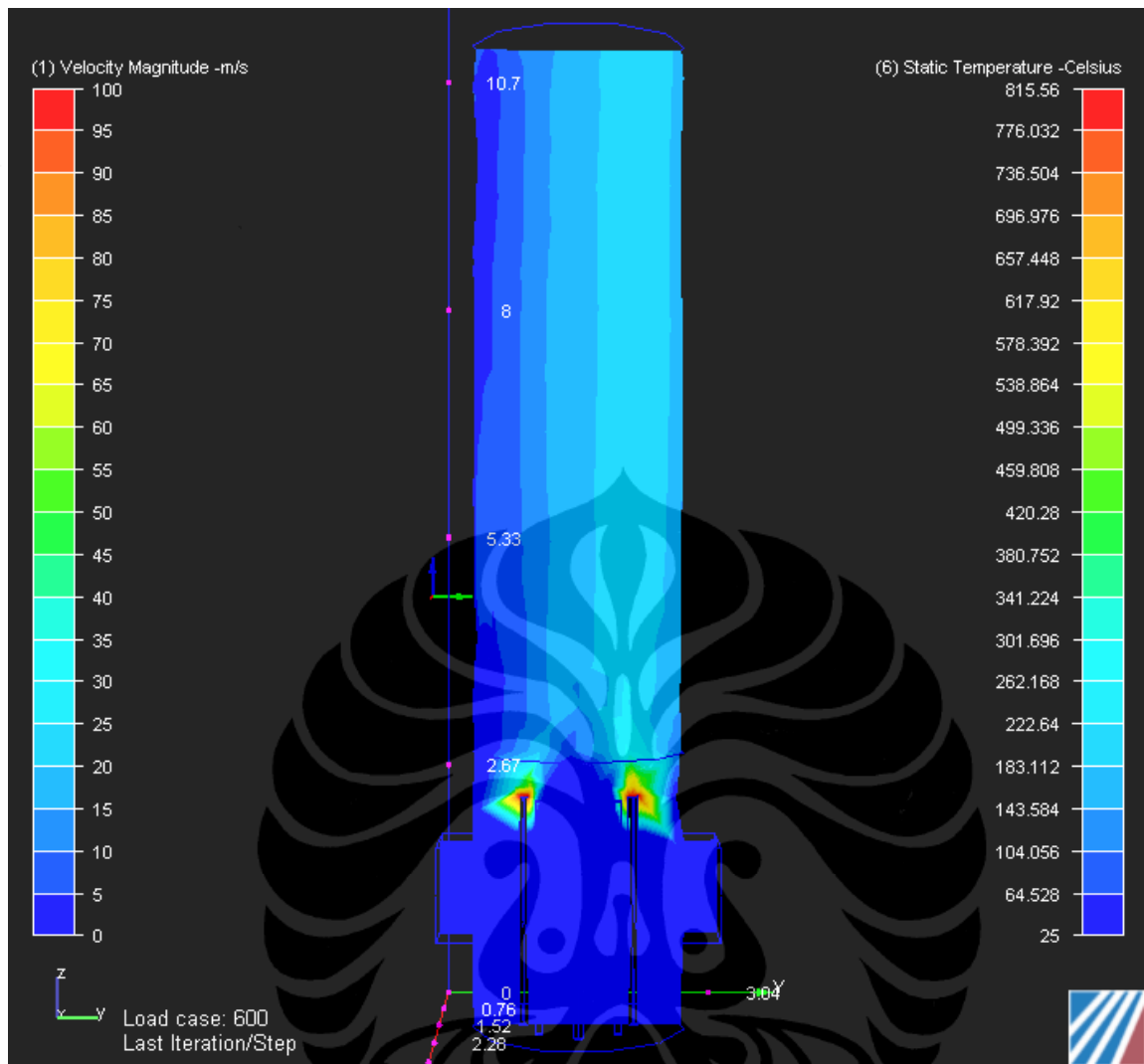
4.1.3 Penentuan Ukuran Burner

Penentuan desain *burner* menggunakan *software* flarenet pada lampiran 3, untuk menentukan ukuran serta jumlah *burner tip*. Basis skenario yang digunakan berdasarkan kondisi operasi yang telah ditentukan sebelumnya yaitu dengan laju alir 3, 6, dan 9 MMSCFD. Simulasi yang digunakan dengan membuat *pipe network* untuk suatu *burner*, dan ditentukan menggunakan delapan buah *burner tip* sebagai acuan. Ukuran burner disimulasikan dengan menentukan ukuran yang tepat, dan tanpa hasil kegagalan */error message*. Hasil simulasi flarenet dapat dilihat pada Gambar 4.4. Dapat diperhatikan bahwa untuk gas khusus dibutuhkan ukuran pipa yang lebih besar dibandingkan pada gas normal, hal tersebut disebabkan karena berat molekul yang berbeda antara kondisi gas normal dan gas khusus. Gas normal mempunyai berat molekul yang lebih kecil dibandingkan dengan gas khusus sehingga laju alir masa yang mengalir sepanjang aliran pipa akan lebih besar pada gas khusus. Hal ini menyebabkan gas khusus membutuhkan ukuran pipa yang lebih besar.



Gambar 4.4. Ukuran Burner Enclosed Ground Flare

Desain suatu burner dapat juga disimulasikan menggunakan simulasi *computational fluid dynamic* (CFD) dengan simulasi delapan buah *burner tip*, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 4.5, 4.6 dan Gambar 4.7

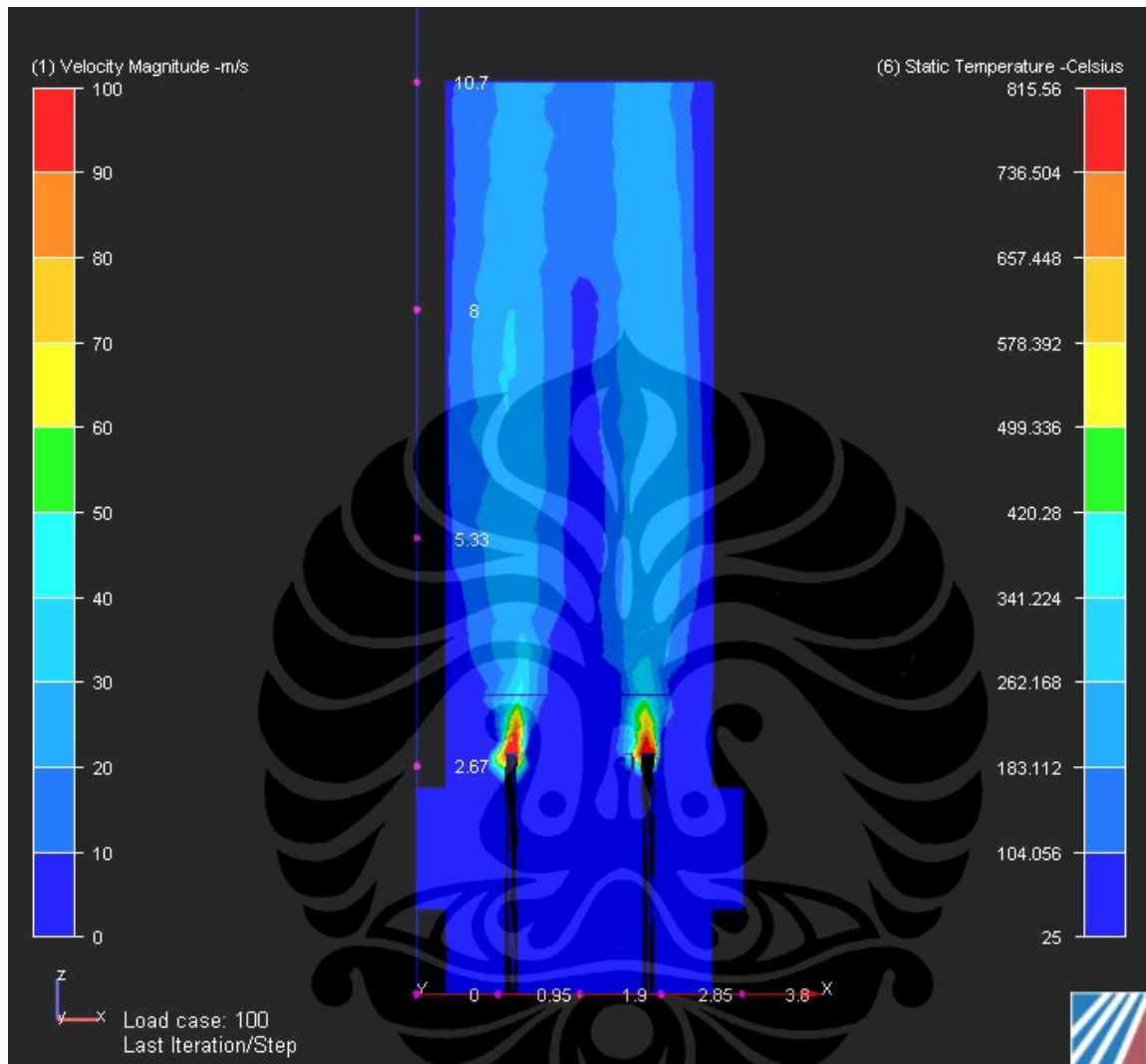


Gambar 4.5. Simulasi CFD 3 MMSCFD Gas Normal

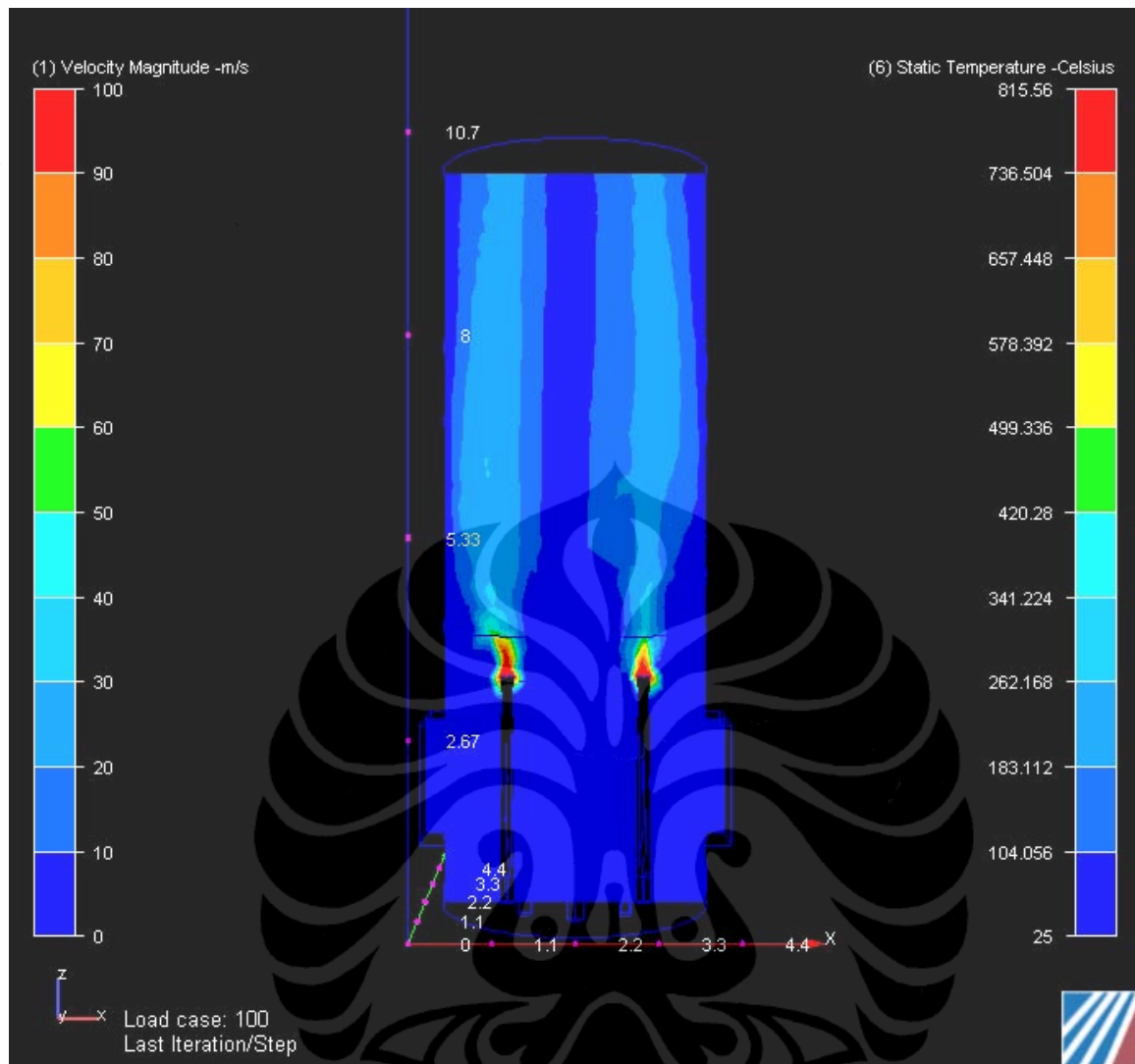
Dari Gambar 4.5, 4.6, dan 4.7 dapat diperhatikan bahwa proses pembakaran gas buang didalam *enclosed ground flare* terjadi pada kondisi operasi mencapai sekitar 815 °C atau setara dengan 1500 °F. Distribusi temperatur di sepanjang dinding *stack* dapat terjaga pada temperatur yang cukup baik, sehingga terjadinya proses pembakaran sesuai dengan yang di desain dan kondisi aliran keluar dari bagian tengah *stack* sampai dengan atas *stack* mempunyai temperatur 200 °C.

Simulasi *computational fluid dynamic* menunjukkan bahwa kondisi desain teknis yang dipilih dapat dioperasikan secara aman, tanpa adanya api atau panas yang berlebih keluar dari dalam *stack* tersebut. Kondisi tersebut menjadi pertimbangan penting untuk

melihat terjadinya keadaan yang membahayakan, dan dapat diperhatikan bahwa kondisi *enclosed ground flare* aman dan layak beroperasi.



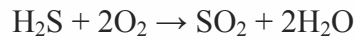
Gambar 4.6. Simulasi CFD 6 MMSCFD Gas Normal



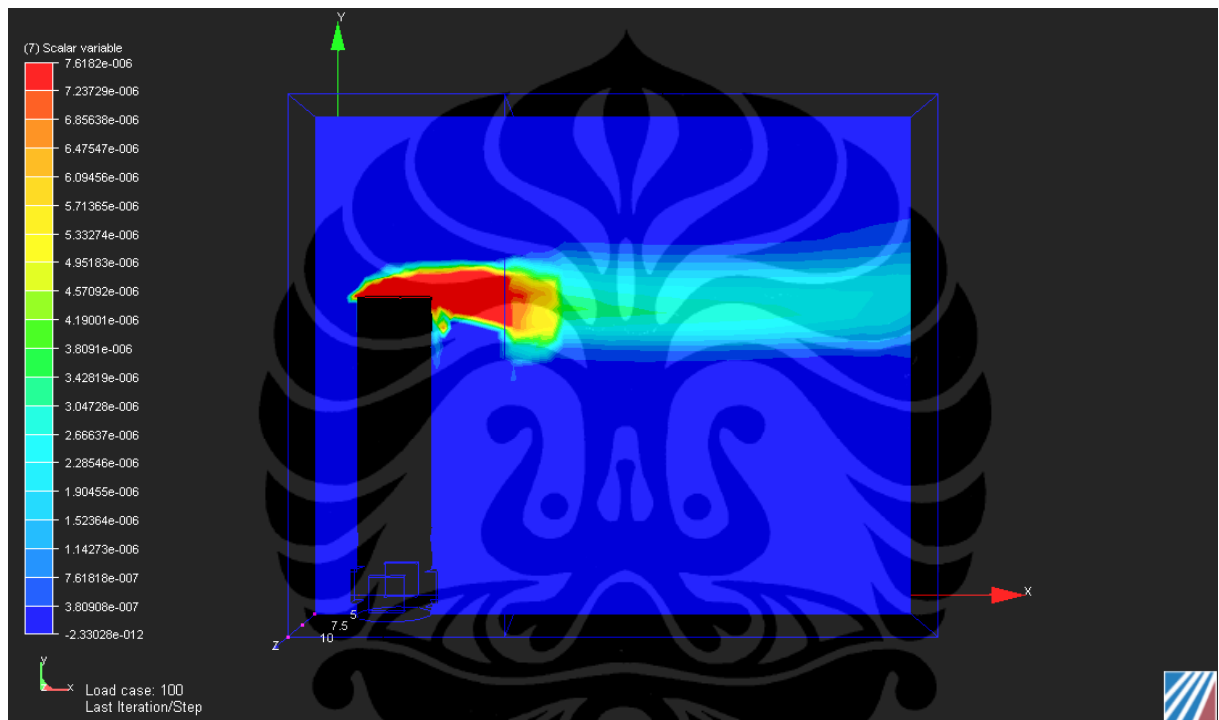
Gambar 4.7. Simulasi CFD 9 MMSCFD Gas Normal

4.2 HASIL DESAIN DITINJAU DARI ASPEK LINGKUNGAN

Kondisi gas khusus yang mempunyai kandungan gas H_2S mencapai 700 mg/m^3 menyebabkan bahaya untuk lingkungan operasi. Sesuai dengan peraturan menteri lingkungan hidup bahwa kandungan gas H_2S yang dapat dilepas ke udara adalah sebesar 35 mg/m^3 , maka proses pembakaran tersebut harus dapat mencapai kandungan maksimum H_2S sesuai yang ditetapkan oleh menteri lingkungan hidup tersebut. Penanganan yang digunakan adalah menggunakan pembakaran gas H_2S dimana reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :

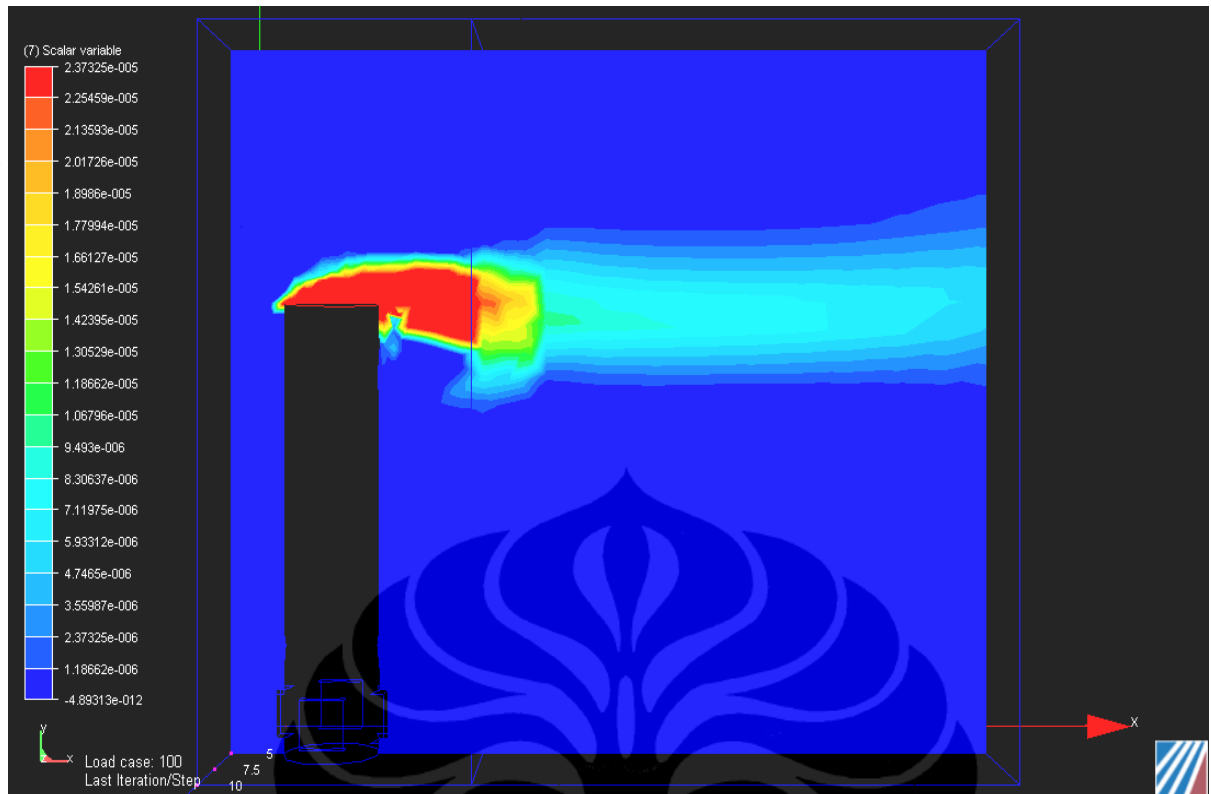


Perhitungan dan simulasi dapat dilakukan menggunakan proses simulasi hysys dan dapat ditunjukkan secara visual menggunakan simulasi *computational fluid dynamic* (CFD). Simulasi CFD dilakukan berdasarkan kondisi operasi masing masing kondisi yaitu mempunyai kandungan 700 mg/m^3 H_2S dengan laju alir 3, 6, dan 9 MMSCFD. Hasil simulasi CFD yang berupa distribusi konsentrasi H_2S keluar *stack* dapat dilihat pada Gambar 4.8, 4.9 dan Gambar 4.10.



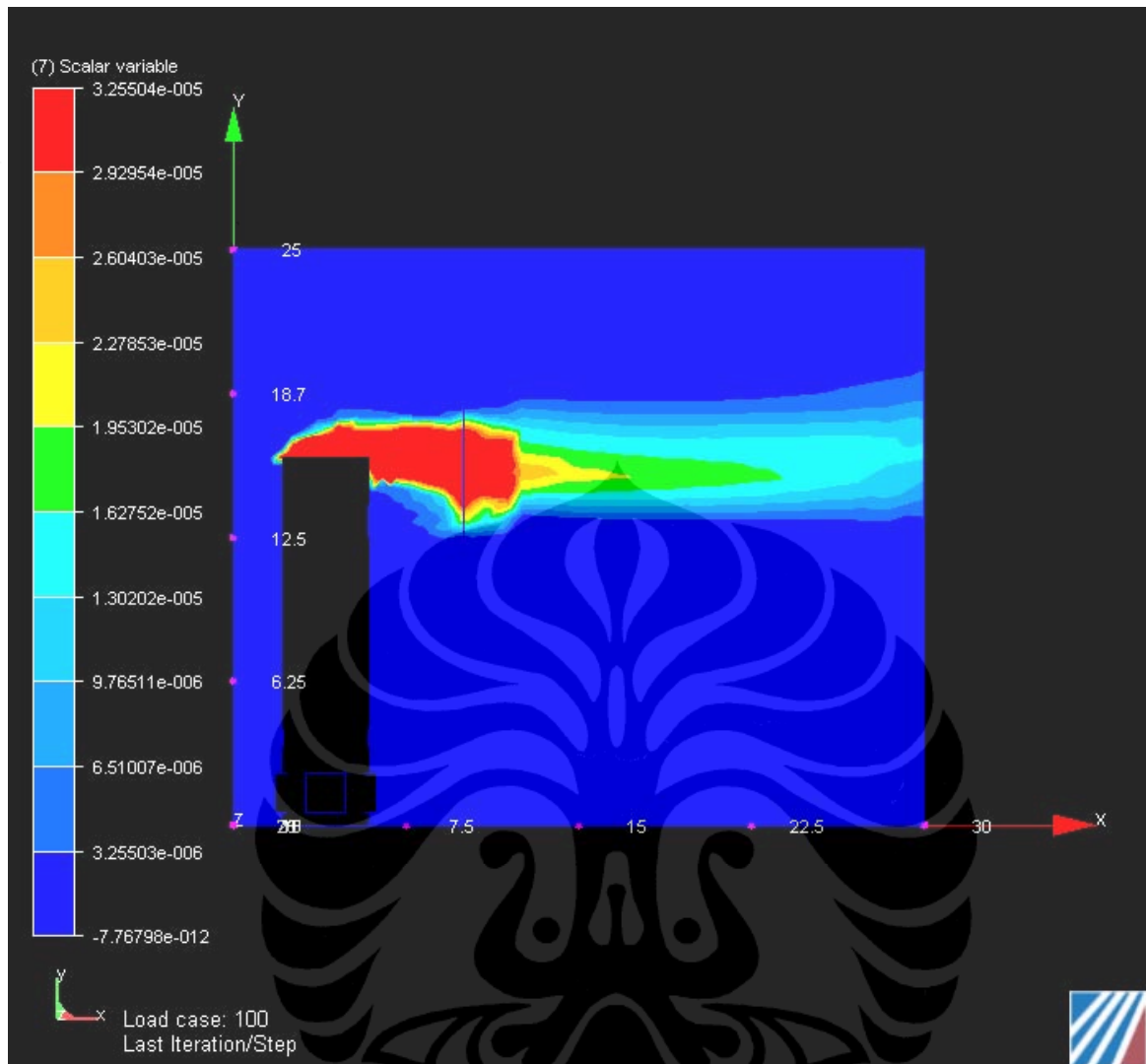
Gambar 4.8. Simulasi CFD 3 MMSCFD Gas Khusus

Dari Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa kondisi konsentrasi H_2S yang terdistribusi pada saat keluar dari *stack* dan di lingkungan sekitar mempunyai konsentrasi dibawah 35 mg/m^3 . Berdasarkan dari pengamatan warna dapat dilihat bahwa konsentrasi H_2S yang tertinggi adalah pada angka dibawah 8 mg/m^3 (ppm), dan dengan pengaruh kecepatan tiupan angin yang terjadi disekitar *stack* menyebabkan konsentrasi terpecah dan terdistribusi menjadi konsentrasi yang lebih rendah sampai sekitar 1 mg/m^3 (ppm). Oleh sebab itu dapat disimpulkan bahwa konsentrasi H_2S yang dilepas ke lingkungan masih dalam batas aman yang ditentukan oleh menteri lingkungan hidup.



Gambar 4.9. Simulasi CFD 6 MMSCFD Gas Khusus

Pengamatan warna yang terlihat pada Gambar 4.7 dapat dilihat bahwa konsentrasi H_2S yang tertinggi adalah dibawah 24 mg/m^3 (ppm), dan dengan pengaruh kecepatan tiupan angin yang terjadi disekitar *stack* menyebabkan konsentrasi terpecah dan terdistribusi menjadi konsentrasi yang lebih rendah sampai sekitar 5 mg/m^3 (ppm). Oleh sebab itu dapat disimpulkan bahwa konsentrasi H_2S yang dilepas ke lingkungan masih dalam batas aman yang ditentukan oleh menteri lingkungan hidup.

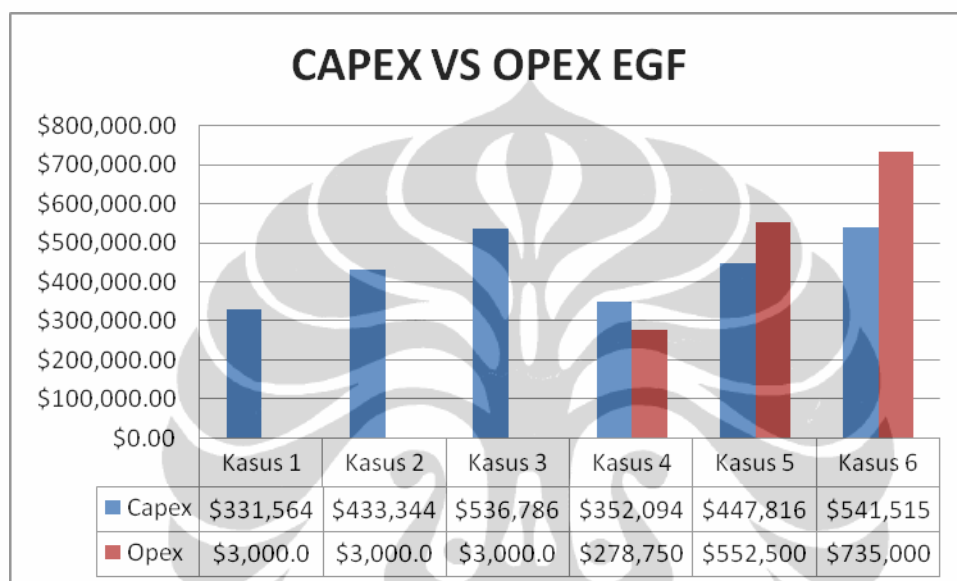


Gambar 4.10. Simulasi CFD 9 MMSCFD Gas Khusus

Demikian juga dari pengamatan warna pada Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa konsentrasi H_2S yang tertinggi adalah dibawah 33 mg/m^3 (ppm), dan dengan pengaruh kecepatan tiupan angin yang terjadi disekitar *stack* menyebabkan konsetrasi terpecah dan terdistribusi menjadi konsentrasi yang lebih rendah sampai sekitar 10 mg/m^3 (ppm). Oleh sebab itu dapat disimpulkan bahwa konsentrasi H_2S yang dilepas ke lingkungan masih dalam batas aman yang ditentukan oleh menteri lingkungan hidup.

4.3 PEMBAHASAN EKONOMI

Pemilihan desain yang sudah dilakukan akan menjadi basis perhitungan nilai ekonomi masing masing kondisi operasi. Perhitungan berdasarkan dua buah kategori utama yaitu biaya investasi awal dan biaya operasi dan perawatan. Nilai keekonomian *enclosed ground flare* untuk keenam kondisi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.11

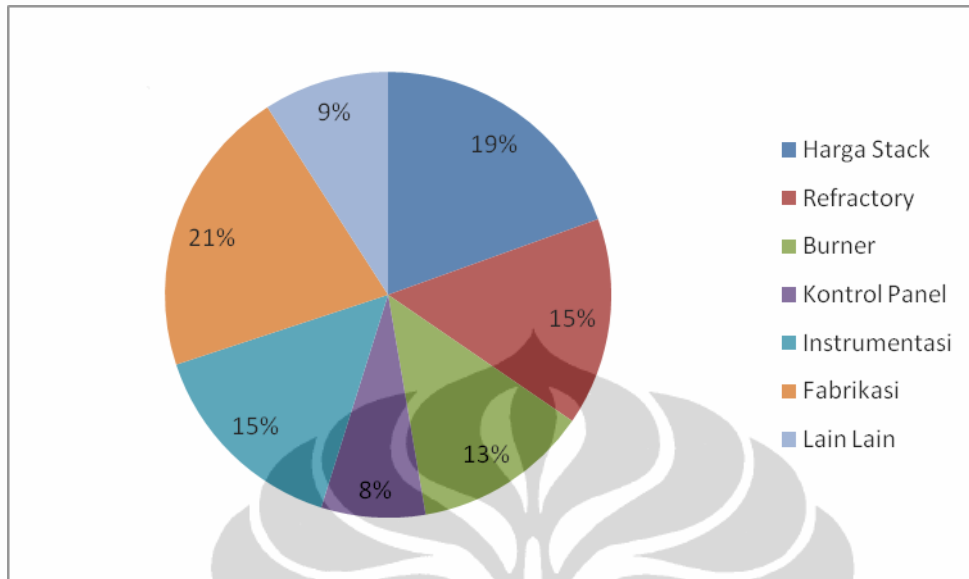


Gambar 4.11. CAPEX VS OPEX EGF

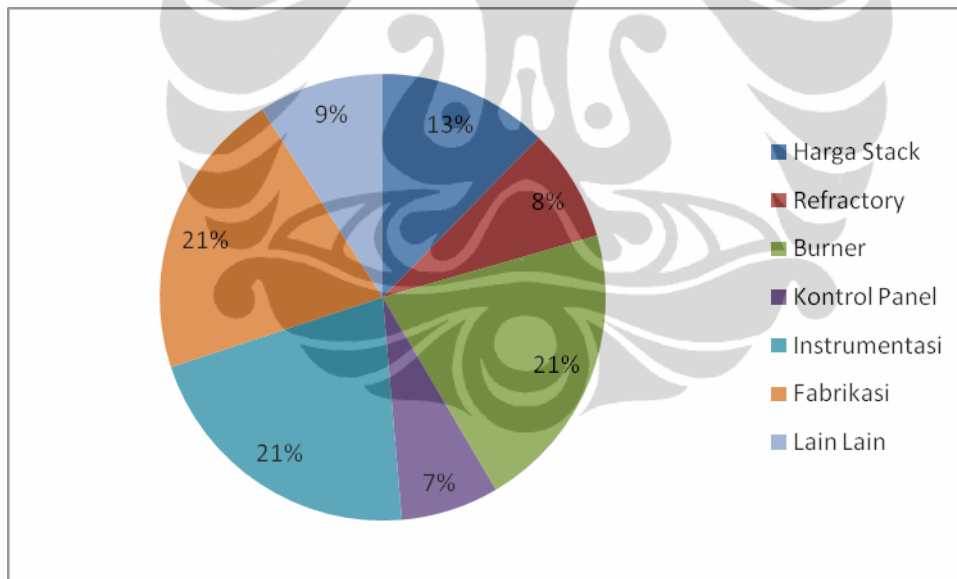
Secara umum, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 4.11 nilai CAPEX (biaya investasi awal) untuk *enclosed ground flare* akan semakin besar jika laju alir yang digunakan semakin tinggi. Hal ini berlaku baik untuk aliran gas normal (kasus 1, 2, dan 3) maupun gas khusus (kasus 4, 5, dan 6). Dari segi nilainya, CAPEX untuk gas normal maupun gas khusus mempunyai perbedaan harga yang relatif tidak terlalu besar pada laju alir gas yang sama.

Kontribusi biaya komponen CAPEX untuk gas normal dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan Gas Khusus pada Gambar 4.13. CAPEX gas normal terbesar adalah biaya untuk *stack* dan fabrikasi dan CAPEX gas khusus terbesar adalah biaya *burner* dan fabrikasi. Gas khusus juga mempunyai biaya instrumentasi yang lebih mahal dikarenakan sistem kontrol yang cukup kompleks dibandingkan gas normal. Demikian juga untuk gas khusus

mempunyai biaya *burner* yang lebih mahal dikarenakan burner tersebut mempunyai kompleksitas yang tinggi dan tipe bahan yang khusus.



Gambar 4.12 Kontribusi Biaya Komponen Capex Gas Normal

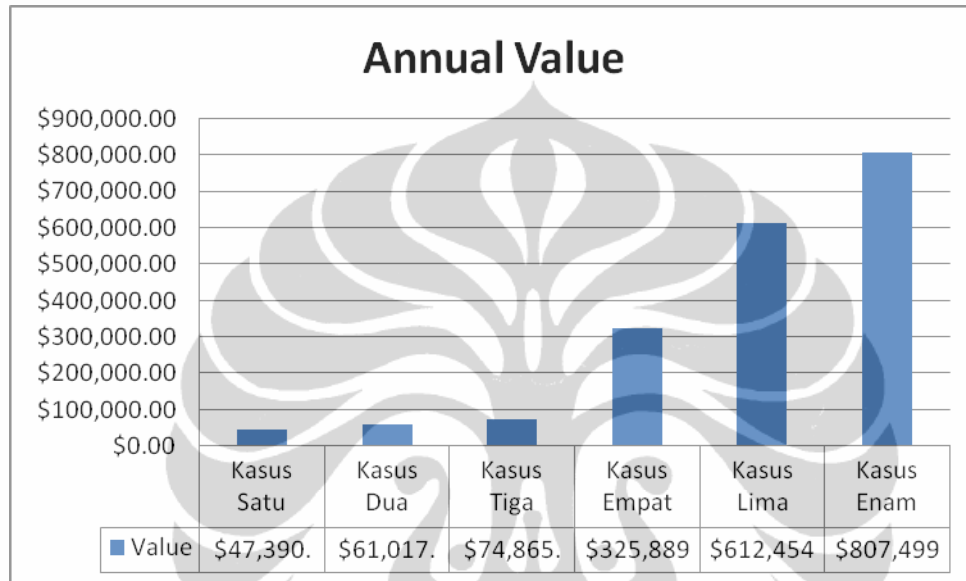


Gambar 4.13 Kontribusi Biaya Komponen Capex Gas Khusus

Berdasarkan nilai biaya operasi dan perawatan (OPEX) per tahun yang ditunjukkan pada Gambar 4.11, tipe gas normal dan gas khusus mempunyai perbedaan yang sangat signifikan, karena gas normal tidak memerlukan penambahan *fuel* selama

beroperasi sedangkan gas khusus membutuhkan penambahan *fuel* selama beroperasi. Penambahan *fuel* dengan laju alir sekitar 0,15 sampai 0,4 MMSCFD pada gas khusus menyebabkan biaya *fuel* yang tinggi. Estimasi biaya *fuel* adalah \$5/mmbtu

Penilaian keekonomian *enclosed ground flare* pada enam kondisi tersebut berdasarkan *annual value*, selama 20 tahun alat operasi dan suku bunga 12% dapat dilihat pada Gambar 4.14

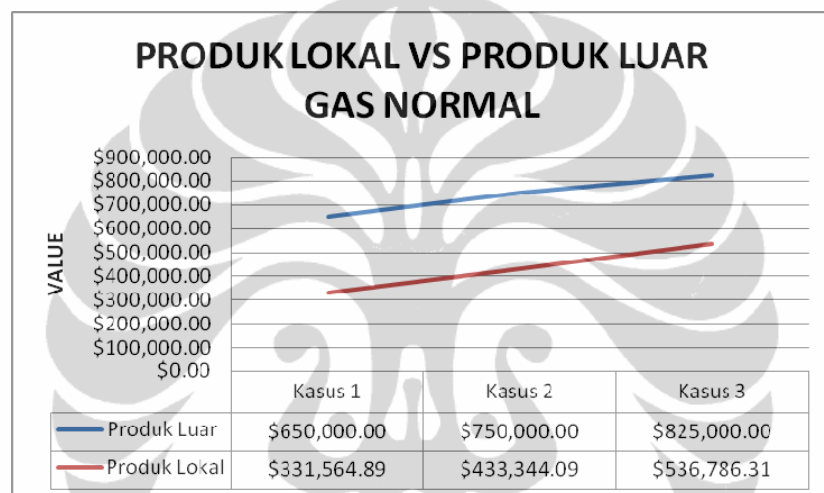


Gambar 4.14 Annual Value

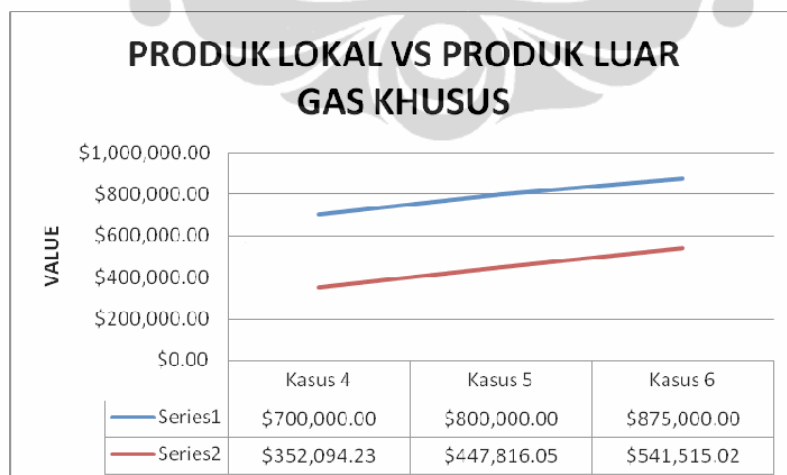
Dari Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa biaya yang dikeluarkan per tahun selama umur alat beroperasi mempunyai perbedaan yang signifikan antara gas normal dan gas khusus. Penanganan gas normal yang hanya membakar gas tanpa adanya atau dibutuhkan penambahan gas lain menjadi faktor terpenting yang meningkatkan biaya secara signifikan. Dalam pengoperasian *enclosed ground flare* yang mempunyai karakteristik gas khusus mempunyai nilai heating value dibawah 300 BTU/SCF mutlak dibutuhkan penambahan gas untuk dapat membakar gas tersebut. Oleh karena itu gas khusus akan memerlukan biaya untuk mensuplai gas secara terus menerus selama operasi alat dan juga mempengaruhi biaya secara keseluruhan.

Produk lokal yang digunakan jika dibandingkan dengan produk luar cenderung lebih murah. Penggunaan kandungan lokal yang cukup tinggi dan biaya sumber daya manusia yang cenderung lebih murah menyebabkan produk lokal mempunyai nilai yang

lebih ekonomis dibandingkan produk luar. Permasalahan untuk produk luar yang akan digunakan di Indonesia mempunyai biaya tambahan yang lebih tinggi dikarenakan biaya pengiriman yang dibutuhkan ke Indonesia yang cukup besar, sehingga produk lokal mempunyai keekonomisan yang lebih tinggi. Nilai perbandingan produk luar dan produk lokal untuk gas normal dan gas khusus dapat dilihat pada Gambar 4.15 dan Gambar 4.16. Secara umum produk lokal lebih murah sekitar 30 sampai 40 % dibandingkan produk luar. Hal tersebut merupakan keunggulan utama untuk bersaing dengan produk luar, sehingga produk lokal dapat lebih banyak digunakan pada industri yang membutuhkan.



Gambar 4.15 Produk Lokal VS Produk Luar, Kasus Gas Normal



Gambar 4.16 Produk Lokal VS Produk Luar, Kasus Gas Khusus