

ANALISIS STRUKTUR KABEL SLING PENGUAT PIPA SUAR

Medy Rioma¹, Soeharsono², Jamal M Afiff²

¹Pascasarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti

²Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti

Jl. Kyai Tapa No.1 Jakarta, Indonesia

E-mail: medymesin@gmail.com

Abstrak -- Proses pengolahan gas bumi, minyak bumi dan petrokimia menghasilkan gas buang yang umumnya dibakar dengan menggunakan pipa suar (*flare stack*). Pipa Suar dapat mencegah dan mengurangi kondisi yang berpotensi berbahaya di permukaan tanah seperti kebisingan, panas, asap, dan bau, di mana sumber api terletak dekat dengan unit proses. Pipa suar harus mampu menahan beban yang diterima olehnya. Untuk itu pipa suar dan kabel sling harus di desain agar mampu menahan beban angin, beban gempa, beban tekanan dalam pipa, panas dari gas yang dibakar pada pipa suar, beban operasi yang diterima, beban tarikan kabel sling dan beban dari pipa suar itu sendiri. Analisis perhitungan dan standar aturan yang digunakan menggunakan *Standard API 537 Second Edition, December 2008* dan *ASME STS-1-2011*. Analisis menggunakan sebuah perangkat lunak untuk merancang pipa suar. Analisis dilakukan dengan 4 kasus penelitian, kasus penelitian pertama adalah pipa suar dengan ketinggian 100 ft. Modifikasi tinggi pipa suar menjadi ketinggian 164 ft. Modifikasi penelitian terdapat 3 kasus penelitian yaitu dengan tiga perbedaan penentuan posisi kabel sling. Hasil yang didapat adalah mengetahui gaya dan ratio kegagalan yang terjadi di pipa suar dan kabel sling dibebberapa kasus penelitian. Hasil penelitian ini diperoleh kesimpulan bahwa faktor beban angin berpengaruh dalam kegagalan pada pipa suar. Penentuan posisi kabel sling berpengaruh meredam gaya yang terjadi pada pipa suar. Penentuan modifikasi yang dipilih adalah modifikasi yang mudah dilakukan dengan syarat *stress ratio* kekuatan material masih dibawah 1.

Kata kunci : Pipa Suar (*Flare Stack*), Kabel Sling, Pengolahan Gas Bumi, Minyak dan Petrokimia

Abstract -- The processing of natural gas, petroleum and petrochemical produce exhaust gas is generally burned at flare stack. Flare Stack can prevent and mitigate potentially hazardous conditions on the ground such as noise, heat, smoke, and odor, where the source of the fire is located close to the process unit. Flare stack should be able to withstand the load received by him. The flare stack and cable sling should be designed to be able to withstand wind loads, earthquake loads, loads of pressure in the pipes, heat from the gas is burned in the flare stack, operating expenses were acceptable, pretensions cable slings and a load of Flare stack itself. Analysis of calculation and regulatory standards that are used with the *Standard API 537 Second Edition, December 2008* and *ASME STS-1-2011*. The analysis uses a software for designing flare stack. The analysis was performed with four case studies, case studies are the first flare stacke with a height of 100 ft. Modifications high altitude flare stack into 164 ft. Modification of research there are three cases: with three different positioning sling cables. The results obtained are aware of style and the failure ratio in the flare stack and cable sling some research model. The results of this study we concluded that the wind load factor influential in the failure of the flare stack. Positioning the sling cables dampen influential force that occurs in the flare stack. Determination of selected modifications are modifications that easy to do with the stress ratio requirements of material strength is still below 1.

Keywords: *Flare Stack, Cable Slings, Natural Gas Processing, Oil and Petrochemicals.*

PENDAHULUAN

Pembakaran adalah suatu proses reaksi kimia yang melibatkan *fuel*, panas dan oksigen. Proses industri di pengilangan minyak bumi, pengolahan gas, petrokimia, dan pembangkit listrik menggunakan penanganan pembakaran yang memiliki karakteristik yang unik. Pembakaran digunakan secara langsung dan tidak langsung untuk menghasilkan produk yang diinginkan dalam proses industri.

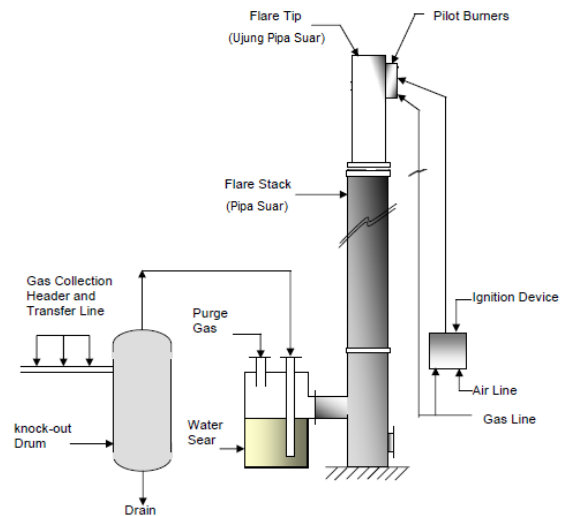
Pipa Suar (*flare stack*) adalah salah satu jenis unit pembakaran (*flaring*). Beberapa komponen penting dari pipa suar adalah keberadaan *pilot gas* yang akan menyalurkan *fuel gas* agar flare dapat beroperasi secara kontinyu, dan *ingitor gas*. Keberadaan *water seal* dan *KO drum* berfungsi sebagai *safety tool* yang akan memisahkan kembali fasa liquid dan fasa gas sehingga hanya fasa gas yang akan dibakar dalam pipa suar. Selain itu keberadaan *water seal* dan *KO drum* juga berperan untuk mencegah terjadinya temperatur yang terlalu tinggi yang dapat membahayakan proses pembakaran dan untuk mencegah terhisapnya *flame* ke *header* utama. Sistem pipa suar dapat dilihat pada Gambar 1 *Flare Stack System*. [5]

Sistem pembakaran pada industri migas berfungsi sebagai salah satu alat pengendalian pencemaran udara yang akan dikelola buangan fasa gas terutama hidrokarbon yang biasanya berasal dari kegiatan rutin proses plant seperti *heater treater*. Selain itu juga, pipa suar berfungsi sebagai *safety* proses kondisi *power failure* maupun kondisi darurat seperti *compressor shutdown*. agar kondisi tersebut tidak membahayakan proses di setiap unit.

TINJAUAN PUSTAKA

Penentuan diameter ujung pipa suar umumnya berdasarkan kecepatan aliran dari gas. Meskipun harus di perhitungkan juga faktor penurunan tekanannya (*pressure drop*). Ukuran pipa suar ini juga harus memenuhi standar emisi udara yang di tetapkan oleh

pemerintah agar pada saat diaplikasikan tidak ada pencemaran suara, bising, asap dan bau yang membuat ketidaknyamanan pada lingkungan sekitar.



Gambar 1 *Flare Stack System* [5]

Faktor utama yang mempengaruhi dalam merancang sistem flare adalah laju aliran, komposisi, temperatur, tekanan tersedia, dampak lingkungan dan syarat keselamatan [4].

Ketinggian pipa suar ditentukan berdasarkan batasan dari permukaan tanah terhadap intensitas radiasi termal, luminositas, kebisingan, ketinggian struktur sekitarnya, dan dispersi dari gas buang. Selain itu, pertimbangan juga harus diberikan untuk dispersi dalam kasus kemungkinan kegagalan emisi pembakaran. Dalam Penentuan tinggi pipa suar, ukuran untuk intensitas panas maksimum adalah $1,500 \sim 2,000 \text{ Btu/hr-ft}^2$ saat pembakaran pada tingkat desain maksimal. Pada tingkat intensitas panas ini, pekerja masih bisa berada di daerah radiasi pembakaran pipa suar untuk batas waktu tertentu saja. Namun, jika pekerja diminta untuk tetap berada di wilayah tersebut untuk melaksanakan tugasnya, desain tingkat radiasi pembakaran pipa suar yang direkomendasikan tidak termasuk radiasi matahari adalah 500 Btu/hr-ft^2 . Intensitas radiasi matahari adalah $250 \sim 330 \text{ Btu/hr-ft}^2$. Tinggi pipa suar dapat ditentukan juga oleh kebutuhan

untuk dispersi yang aman saat gas pembakaran mati tiba-tiba.

Perencanaan pembebanan adalah pendefinisian beban-beban yang bekerja pada pipa suar sesuai dengan standar *ASME STS-1 2011 Steel Stacks*. Seluruh beban yang telah didefinisikan akan bekerja pada pipa suar ini. Beban-beban yang bekerja pada pipa suar ini antara lain: Beban Mati, Beban Hidup, Beban Angin, Beban Gempa, Beban Panas Radiasi, Beban Operasional.

Beban Mati (*Dead Load - D*)

Beban mati terdiri dari massa pipa suar sendiri, massa tangga, massa kabel sling dan massa lainnya yang terdapat di pipa suar yang mempengaruhi kekuatan pipa dan kabel sling.

Beban Hidup (*Live Load - L*)

Beban hidup adalah beban yang dikarenakan penggunaan seperti orang yang akan naik ke pipa suar di setiap tempat transit yang terdapat pada pipa suar. Nilai minimum beban hidup berdasarkan *ASME STS-1 2011*, 50 psf (2395 N/m²).

Beban Angin (*Wind Load - W*)

Pengaruh beban angin pada pipa suar tergantung pada kecepatan angin dan lokasi pipa suar berada, beban angin diperhitungkan berdasarkan *ASCE7 (American Society of Civil Engineers - 7)* yang besarnya adalah:

$$F = p * A_f = (q_z * G * C_f) * A_f \quad (1)$$

Dimana,

F = beban angin (N)

p = tekanan angin (N/m²)

q_z = tekanan kecepatan di ketinggian z

G = Faktor efek hembusan

C_f = Koefisien gaya

A_f = Luasan yang diproyeksikan angin dalam keadaan normal

Beban Gempa (*Seismic Load - S*)

Beban gempa diperhitungkan berdasarkan standar *UBC 1997 (Uniform Building Code 1997)* dan *SNI-1726-2012* (Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung).

Beban Panas Radiasi (*Thermal Load - T*)

Beban panas radiasi terjadi karena pembakaran yang terjadi di ujung pipa suar, beban panas diperhitungkan berdasarkan kekuatan material pipa suar yang digunakan yaitu material *Carbon Steel A 106 gr.B* untuk pipa suar dan material *Steinless Steel A 240 - 310S* untuk ujung pipa suar.

Beban Operasional (*Operating Load - OP*)

Beban operasional biasa terjadi jika unit proses sudah berjalan, ini terjadi karena faktor dari tekanan dalam pipa, beban dari pipa yang masuk yang mengalami penekanan. Beban ini diperoleh dari perhitungan *pipe stress analysis* menggunakan *software CAESAR II*.

Beban Tarikan Kabel Sling (PT)

Beban tarikan kabel adalah beban yang diakibatkan tarikan awal kabel sling, nilainya adalah 6 – 12% dari tarikan putus kabel.

Kombinasi Beban (*Combination Load*)

Kombinasi pembebanan yang ditinjau dalam analisis mengacu pada standar *ASME STS-1 2011 Steel Stacks* sesuai tabel 1.

Tegangan yang Di Izinkan

Berikut formula untuk menentukan tegangan yang diijinkan berlaku untuk pipa suar tersedia dengan persamaan *ASME STS-1 2011 Steel Stacks*.

$$\frac{t}{D} \leq \frac{10F_y}{E} \quad (2)$$

Dimana,

t = ketebalan pipa suar (in)
 D = diameter pipa suar (in)
 F_y = kekuatan tarik (psi)
 E = Modulus Elastisitas (psi)

Material pipa suar harus memenuhi persyaratan dari *American Institute of Steel Construction (AISC)* spesifikasi untuk desain, fabrikasi, dan pengangkatan dari baja struktural. Untuk pipa suar memenuhi persyaratan empat kasus berikut beban harus dipenuhi agar aman.

Tabel 1 Kombinasi Pembebanan

No	Deskripsi	Arah (Deg)	FS	D	L	OP	TC	TH	W	S	PT
1	Beban Mati	All	1,5	1	0	0	0	0	0	0	1
2	Pretension Wire	All	1,5	1	0	0	0	0	0	0	1
3	Live	All	1,5	1	1	0	0	0	0	0	1
4	Operating	All	1,5	1	0	1	0	0	0	0	1
5	Thermal Cold	All	1,5	1	0	0	1	0	0	0	1
6	Thermal Hot	All	1,5	1	0	0	0	1	0	0	1
7	Wind	0°	1,5	1	0	0	0	0	1	0	1
8	Wind	30°	1,5	1	0	0	0	0	1	0	1
9	Wind	60°	1,5	1	0	0	0	0	1	0	1
10	Seismic	0°	1,5	1	0	0	0	0	0	1	1
11	Seismic	30°	1,5	1	0	0	0	0	0	1	1
12	Seismic	60°	1,5	1	0	0	0	0	0	1	1
13	Wind Comb Hot w Live	0°	1,5	1	0,75	1	0	1	0,75	0	1
14		30°	1,5	1	0,75	1	0	1	0,75	0	1
15		60°	1,5	1	0,75	1	0	1	0,75	0	1
16	Wind Comb Hot no Live	0°	1,5	1	0	1	0	1	1	0	1
17		30°	1,5	1	0	1	0	1	1	0	1
18		60°	1,5	1	0	1	0	1	1	0	1
19	Wind Comb Cold w Live	0°	1,5	1	0,75	1	1	0	0,75	0	1
20		30°	1,5	1	0,75	1	1	0	0,75	0	1
21		60°	1,5	1	0,75	1	1	0	0,75	0	1
22	Wind Comb Cold no Live	0°	1,5	1	0	1	1	0	1	0	1
23		30°	1,5	1	0	1	1	0	1	0	1
24		60°	1,5	1	0	1	1	0	1	0	1
25		0°	1,5	1	1	1	0	1	0	0,7	1
26	Seismic Comb Hot	30°	1,5	1	1	1	0	1	0	0,7	1
27		60°	1,5	1	1	1	0	1	0	0,7	1
28	Seismic Comb Cold	0°	1,5	1	1	1	1	0	0	0,7	1
29		30°	1,5	1	1	1	1	0	0	0,7	1
30		60°	1,5	1	1	1	1	0	0	0,7	1

Kasus 1 (Tegangan Longitudinal Tekan)

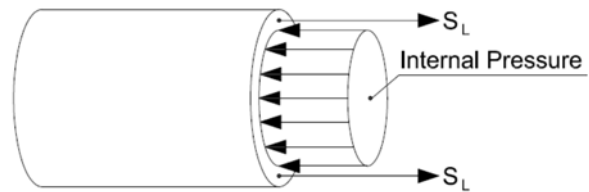
Tegangan longitudinal tekan f_a adalah tegangan yang ditimbulkan oleh gaya tekan internal (P) yang bekerja pada dinding pipa searah sumbu pipa (gambar 2), yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$f_a = \frac{PA_i}{A_m} = \frac{Pd_i^2}{(d_o^2 - d_i^2)} = \frac{Pd_i^2}{4td_m} = \frac{Pd_o}{4t} \quad (3)$$

A_m = luas penampang pipa = $\pi [d_o^2 - d_i^2] / 4$ (in²)

A_i = luas permukaan dalam pipa (in²)

d_o = diameter luar pipa (in)
 d_i = diameter dalam pipa (in)
 t = tebal pipa (in)



Gambar 2 Tegangan Longitudinal Tekan

Tegangan longitudinal tekan pipa suar tidak melebihi batas yang diizinkan, S_{cl} , dengan persamaan ASME STS-1 2011.

$$f_a \leq S_{cl} \quad (4)$$

S_{cl} = Tegangan Longitudinal Tekan yang diijinkan (psi)

Besar S_{cl} adalah:

$$S_{cl} = \frac{E \cdot t \cdot Y}{4D \cdot (FS)} \quad (5)$$

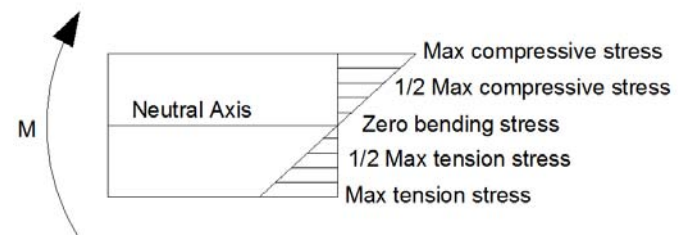
Y = Koefisien Faktor

FS = Faktor Keamanan

Kasus 2 (Kombinasi Tegangan Longitudinal Tekan dan Bending)

Tegangan Bending (f_b) adalah tegangan yang ditimbulkan oleh momen (M) yang bekerja diujung-ujung pipa. Dalam hal ini tegangan yang terjadi dapat berupa Tegangan Bending Regang (*Tensile Bending*) dan Tegangan Bending Tekan (*Compression Bending*). Tegangan bending maksimum pada permukaan pipa dan nol pada sumbu pipa, karena tegangan tersebut merupakan fungsi jarak dari sumbu ke permukaan pipa (c). Hal ini dapat digambarkan sebagai berikut:

$$f_b = \frac{Mc}{I_{section}} \quad (6)$$



Gambar 3 Tegangan Bending

Kombinasi tegangan Longitudinal tekan dan bending pada pipa suar tidak melebihi batas yang di izinkan, S_{bl} , dengan persamaan ASME STS-1 2011.

$$\frac{Pd_o}{4t} + \frac{MD}{2I_{section}} \leq S_{bl} \quad (7)$$

$$S_{bl} = \frac{F_y (1-0,3K_s)Y}{(F.S)} \quad (8)$$

M = Momen pipa suar (lbf-in)

$I_{section}$ = Momen inersia (in⁴)

S_{bl} = tegangan longitudinal tekan dan bending yang di ijjinkan (psi)

K_s = koefisien tegangan keliling

Kasus 3 (Tegangan Melingkar / Circumferential Stress)

Tegangan Tangensial atau Tegangan Melingkar (*Circumferential Stress* atau *Hoop Stress*), yaitu tegangan yang searah dengan garis singgung penampang pipa. Tegangan Melingkar f_c di pipa suar karena tekanan angin q_z , antara penguat dengan jarak tertentu I_s , f_c ditentukan dengan menggunakan persamaan ASME STS-1 2011.

$$f_c = \frac{q_z D}{288t} \quad (9)$$

Tegangan Melingkar pipa suar tidak melebihi batas yang di izinkan, S_{cc} .

$$S_{cc} = \frac{1,30EK \left(\frac{t}{D}\right)^{1,5}}{(FS) \left(\frac{I_s}{D}\right)} \quad (10)$$

$$\text{Jika } 0 \leq \frac{t}{D} \leq \frac{2,8F_y}{E}, K = 1$$

S_{cc} = tegangan melingkar yang di ijjinkan (psi)

I_s = jarak antara stiffener melingkar (in)

Kasus 4 (Kombinasi Tegangan Longitudinal dan Tegangan Melingkar / Circumferential Stress)

Kombinasi Tegangan Longitudinal dan Tegangan Melingkar / *Circumferential Stress* dengan persamaan ASME STS-1 2011.

$$\frac{\left(\frac{P}{A}\right) + \frac{MD}{2I_{section}}}{S_{bl}} + \left(\frac{f_c}{S_{cc}}\right)^2 \leq 1 \quad (11)$$

Faktor untuk Keamanan

Pipa suar dirancang untuk faktor keamanan minimum (FS) untuk pertimbangan beban – beban yang diberikan pada Tabel 2

Tabel 2 Kombinasi Beban dan Safety Faktor [1]

Kombinasi Beban	FS
Beban Mati + Beban Hidup + Lainnya + Panas Radiasi + Angin	1,5
Beban Mati + Beban Hidup + Lainnya + Panas Radiasi + Gempa	1,5
Beban Konstruksi	1,33

Maksimum Defleksi

Tidak semua Aturan membatasi defleksi pipa suar, biasanya terserah kepada kebijaksanaan desainer. Disarankan bahwa jika ada batasan defleksi diperlukan oleh aturan desain *API-537 'Flare Details for General Refinery and Petrochemical Service'*. Kriteria ini menyatakan bahwa untuk pipa suar dengan penguat kabel sling adalah $H / 100$, maksimum defleksi yang di izinkan 12" per 100 ft atau 30,5 centimeter per 30,5 meter.

Aplikasi Software

Merancang pipa suar memiliki kompleksitas yang cukup tinggi, oleh karena itu penggunaan *tools* sebagai bantuan untuk mendesain sangat menguntungkan desainer. Merancang pipa suar dapat digunakan *software* MECASTACK ® yang berguna dan membantu untuk memudahkan pekerjaan.

MECASTACK ®

MecaStack adalah perangkat lunak yang paling banyak digunakan di dunia untuk merancang chimney dan pipa suar dengan penguat kabel sling. Mudah untuk menggunakan dengan berbasis Windows yang memungkinkan desainer untuk dengan cepat membuat model pipa suar. Mecastack diciptakan oleh Meca Enterprise dimana digunakan untuk menghitung kekuatan struktur. *output* aplikasi Mecastack pada pipa suar berupa *Allowable stress, actual stress, deflections, details base plate, guy lugs details, guy wires*.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian kekuatan struktur pipa suar dengan kable sling menggunakan

software Mecastack untuk mengolah data struktural, MecaStack adalah perangkat lunak yang digunakan di dunia untuk merancang chimney dan pipa suar dengan penguat kabel sling.

Metode penelitian ini dilakukan dengan :

- Pembuatan rancangan awal model pipa suar untuk penelitian ini sesuai data – data yang sudah dikumpulkan dengan ketinggian awal 100 ft (30,5 meter).
- Melakukan simulasi pembebanan sesuai beban – beban yang terjadi pada pipa suar dan kabel sling.
- Melakukan simulasi pembebanan untuk ketinggian 164 ft (50 meter).

Modifikasi dan Pemilihan Kriteria

Modifikasi dan perancangan kembali pipa suar dan kabel sling. Perubahan berupa penambahan tinggi dari 100 ft (30.5 meter) menjadi 164 ft (50 meter). Penambahan tinggi dikarenakan laju aliran bertambah di pipa suar karena eksplorasi sumur di kilang bertambah, tabel 3 merupakan hasil perhitungan dari *software flarenet*.

Tabel 3 Perbandingan Perhitungan untuk Kasus #1 dan Kasus #3

ITEM	Satuan	Kasus #1	Kasus #3
Data			
Laju Aliran	MMSCFD	55	300
Laju Aliran Massa	lb/hr	152500	735000
Temperatur	°F	90	90
Temperatur Lingkungan	°F	100	
Kelembaban Udara	%	95	
Kecepatan Angin	mph	7.11	
Diameter Ujung Pipa Suar	Inch	16	
Panjang Ujung Pipa Suar	ft	10	
Diameter Pipa Suar	inch	16	
Panjang Pipa Suar + Ujung Pipa Suar	ft	100	164

Rancangan awal penentuan material, diameter dan tebal pipa suar.

Pipa menggunakan material carbon steel dengan spesifikasi A 106 gr.B [7]. Berdasarkan perhitungan proses diameter pipa suar adalah pipa 16 inch, dengan tebal pipa ukuran standar 0.375 inch (9,53 mm). Tinggi pipa suar 100 ft (30.5 meter) termasuk ujung pipa suar yang menggunakan material berbeda untuk ketahanan temperatur tinggi yaitu material Stainless steel dengan spesifikasi A 240-310S [7].

Desain awal penentuan diameter kabel sling.

Untuk menentukan diameter kabel sling seperti halnya menentukan dasar pipa suar, berdasarkan pengalaman desainer dalam mendesain dalam kasus ini ditentukan diameter kabel sling adalah 0.875 inch (22,23 mm) dengan jari – jari bentangan 52.5 ft (16 meter), mempunyai dua level dengan masing – masing ketinggian level #1 85.3 ft (26 meter) dan level #2 55.77 ft (17 meter)..

Pembebanan

Pembebanan yang terjadi pada pipa suar ditentukan untuk program Mecastack. Pemberian beban seperti beban panas pipa suar, beban angin, beban gempa, beban dari pipa suar itu sendiri, beban operasional dan beban tarikan kabel sling.

Beban Panas Pipa Suar

Tabel 4 adalah temperatur yang terjadi pada pipa suar pada kondisi maksimum.

Tabel 4 – Temperatur untuk kasus #1

Elevation [ft]	Temperature [F] at Various Distance [ft]																
	-200	-175	-150	-125	-100	-75	-50	-25	0	25	50	75	100	125	150	175	200
100	131.4	142.0	155.4	170.0	183.9	197.4	212.2	226.9	209.5	188.6	142.1	128.5	121.1	116.6	113.7	111.7	110.3
90	129.5	138.2	148.8	160.2	171.1	181.0	190.0	194.2	178.8	154.4	137.1	126.4	120.1	116.0	113.4	111.5	110.2
80	127.6	134.9	143.4	152.4	160.9	168.2	173.4	173.4	161.5	145.2	132.9	124.5	119.1	115.5	113.0	111.3	110.0
70	125.9	132.0	138.9	146.1	152.7	158.0	161.0	159.3	150.3	138.6	129.5	122.8	118.1	114.9	112.7	111.1	109.9
60	124.4	129.4	135.1	140.9	146.0	149.9	151.5	149.4	142.4	133.7	126.7	121.2	117.2	114.4	112.3	110.8	109.7
50	122.9	127.2	131.9	136.5	140.6	143.4	144.2	142.0	136.6	129.9	124.3	119.8	116.4	113.9	112.0	110.6	109.5
40	121.6	125.2	129.1	132.8	136.0	138.1	138.4	136.4	132.1	126.8	122.3	118.6	115.6	113.4	111.7	110.4	109.4
30	120.3	123.4	126.6	129.7	132.2	133.7	133.8	132.0	128.5	124.3	120.6	117.5	114.9	112.9	111.4	110.2	109.2
20	119.2	121.8	124.5	127.0	129.0	130.1	130.0	128.5	125.6	122.2	119.2	116.5	114.2	112.5	111.1	110.0	109.1
10	118.1	120.4	122.7	124.7	126.3	127.1	126.9	126.6	123.2	120.5	117.9	115.6	113.6	112.1	110.8	109.8	108.9
0	117.2	119.1	121.0	122.7	124.0	124.6	124.4	123.2	121.2	118.9	116.7	114.8	113.1	111.7	110.5	109.6	108.8

Sesuai hasil perhitungan dari desain proses, temperatur yang terjadi akan di-input sebagai beban panas untuk pipa suar.

Beban Angin

Beban angin diperhitungkan berdasarkan standar ASCE 7-05 dengan ketentuan:

- Kecepatan angin : 36,0 m/s

- *Exposure*
: C
- Kategori struktural
: 3
- Faktor pengaman
: 1,15
- Faktor bentuk untuk pemipaan
: 1,2
- Faktor bentuk untuk tangga dan platform : 2,0

Beban mati

Beban mati terdiri dari massa pipa suar sendiri, massa tangga, massa kabel sling dan massa lainnya yang terdapat pada pipa suar yang mempengaruhi kekuatan pipa dan kabel sling.

Tabel 5 Daftar Beban Komponen Pipa Suar

Komponen	Massa, [lb]
Pipa 16 inch Sch STD	5648
Tangga	2074
Tempat singgah (Platform)	2910
Pemipaan	478
Ujung pipa suar (Flare Tip)	882
Dasar pipa suar (Base plate)	110
Guy Lugs	702
Total	12806

Beban hidup

Beban hidup adalah beban yang dikarenakan penggunaan seperti orang yang akan naik ke pipa suar di setiap tempat transit yang terdapat pada pipa suar. Nilai beban hidup sesuai standar ASME STS-1 2011 adalah 50 psf (2.494 N/m²).

Beban Gempa

Beban gempa diperhitungkan berdasarkan standar UBC 1997.

- *Seismic Zone*
= 2B
- *Soil Profile Type*
= SC
- *Importance Factor*
= 1,250

- *R Factor*
= 2,900

Static Force Procedure (Full Method):

- *Z* = 0,200
- *Seismic Coefficient Ca* = 0,240
- *Seismic Coefficient Cv* = 0,320
- *Period of Vibration (T)* = 0,492 Sec
- *W (Total Beban Mati)* = 12805 lb
- $V = (Cv * I * W) / (R * T) = 3590$ lb
- $V_{max} = 2.5 * Ca * I * W / R = 3311$ lb
- $V_{min} = 0.11 * Ca * I * W = 422$ lb
- *Final Base Shear*
= 3312 lb

Beban Operasional

Beban operasional biasa terjadi jika unit proses sudah berjalan, ini terjadi karena faktor dari tekanan dalam pipa, beban dari pipa yang masuk yang mengalami penekanan. Beban operasional yang diinput seperti berikut:

Tabel 6 Beban Operasi

Keterangan	Ketinggian	Shear Load	Vertical Load	Moment
	m	N	N	N-m
<i>Beban Operasi</i>	16.4	500.18	800.29	1140.3

Beban Tarikan Kabel Sling

Beban Tarikan kabel sling diperhitungkan sesuai tabel 7

Tabel 7 Beban Tarikan Kabel Sling

Set #	Wire Dia. (inch)	Breaking Strength (kip)	% Value Pretensions	Value Pretensions (kip)
1	0,875	62,28	8	4,99
2	0,875	62,28	8	4,99

Hasil dan Pembahasan

Penelitian menggunakan *software Mecastack*, hasil utama dari suatu analisis struktur pada sistem pipa suar adalah Tegangan yang terjadi pada sistem masih dibawah batas yang diijinkan oleh standar yang digunakan dalam segala kondisi

beban. Pada bab ini akan dilakukan analisis struktur perhitungan *software Mecastack*. Analisis tersebut mencakup: tegangan yang diijinkan di setiap ketinggian pipa suar, tegangan tekan yang terjadi di setiap ketinggian pipa suar, defleksi yang diijinkan dan defleksi yang terjadi di pipa suar. Struktur pipa suar yang akan di analisis antara lain:

1. Pipa suar dengan ketinggian 100 ft, dengan pendukung kabel sling dua tingkatan, dengan jarak ketinggian masing – masing tingkatan adalah tingkatan pertama 85,3 ft dan tingkatan kedua 55,77 ft dengan bentangan jari – jari kabel sling 52,49 ft.
2. Pipa suar dengan ketinggian 164 ft, dengan pendukung kabel sling sebagai berikut:

Tabel 8 Tingkatan kabel sling untuk pendukung pipa suar

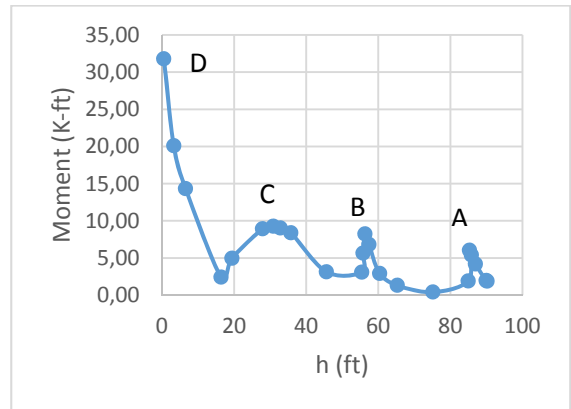
Kasus	Kabel Sling (jumlah tingkatan)	Tingkatan #1 / Jari - jari (ft)	Tingkatan #2 / Jari - jari (ft)	Tingkatan #3 / Jari - jari (ft)
2a	2	147,64 / 85,3	85,3 / 85,3	-
2b	3	147,64 / 85,3	85,3 / 52,49	55,77 / 52,49
2c	3	147,64 / 85,3	85,3 / 85,3	55,77 / 52,49

Penelitian Pipa Suar dengan Ketinggian 100 ft (30,5 meter)

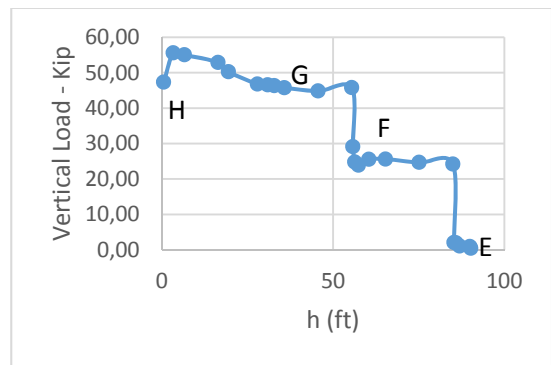
Stress ratio tertinggi terjadi pada ketinggian 0,5 ft (152,4 mm) yaitu 0,634 terjadi pada saat kombinasi pembebanan *Wind Comb Hot no Live (load number 16)*.

Pada gambar 4 dapat dilihat ada 4 titik yang cukup mempengaruhi moment yang terjadi pada pipa suar. Titik A dan B adalah titik dimana kabel sling tingkat pertama dan kedua berada, titik C dan D adalah titik

dimana *platform* berada, dititik ini terdapat beban yang cukup besar pada pipa suar.

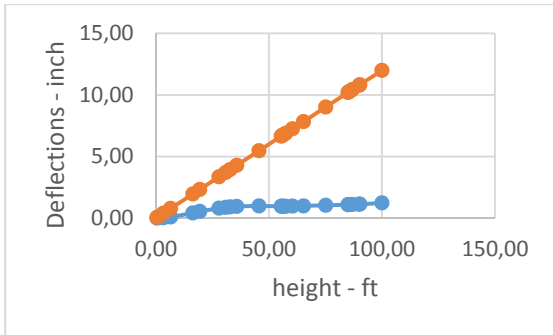


Gambar 4 Grafik *Moment – h*



Gambar 5 *Vertical Load – h*

Pada gambar 5 dapat dilihat ada 4 titik yang jadi perhatian, pada titik E dan F beban vertikal terjadi peningkatan yang besar ini dikarenakan ada penambahan beban yang besar dari gaya tarik kabel sling di titik tersebut , pada titik G peningkatan beban meningkat secara linear dan dititik H ada penurunan beban karena dititik tersebut terdapat *support* untuk dasar pipa suar.



Gambar 6 Grafik tinggi pipa suar – defleksi yang terjadi (kasus 1)

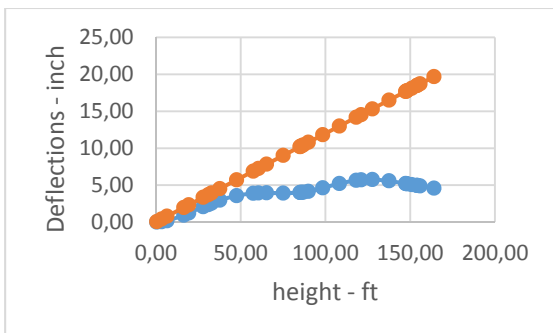
Dari grafik dapat dilihat defleksi yang terjadi di pipa suar masih sangat aman dari defleksi yang diijinkan.

Penelitian Pipa Suar dengan Ketinggian 164 ft (50 meter)

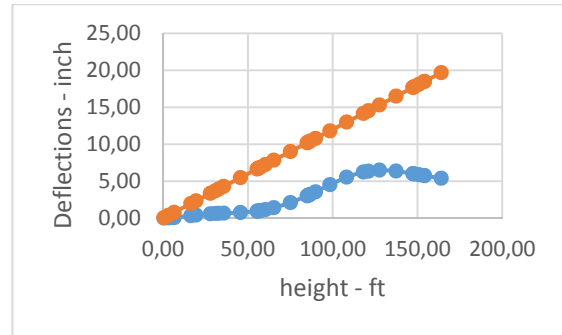
Hasil perhitungan tegangan tekan untuk kasus 2a, pada kasus ini ditemukan kegagalan di ketinggian 0 – 6,56 ft, *stress ratio* di ketinggian tersebut lebih dari 1. Kegagalan terjadi pada saat kombinasi pembebanan *Wind Comb Hot w Live (load number 13)*

Hasil perhitungan tegangan tekan untuk kasus 2b, pada kasus ini struktur pipa suar aman dengan maksimum *stress ratio* 0,649 diketinggian 84,97 ft.

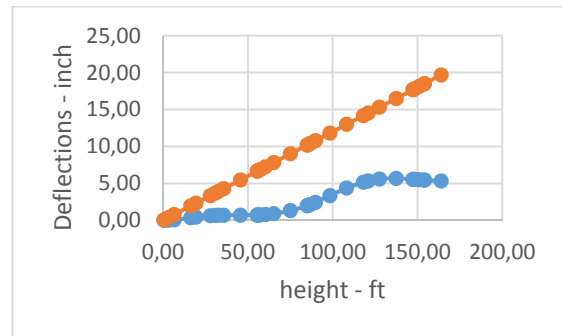
Hasil perhitungan tegangan tekan untuk kasus 2c, pada kasus ini struktur pipa suar aman dengan maksimum *stress ratio* 0,672 diketinggian 84,97 ft (titik yang sama dengan kasus 2b).



Gambar 7 Grafik tinggi pipa suar – defleksi yang terjadi (kasus 2a)



Gambar 8 Grafik tinggi pipa suar – defleksi yang terjadi (kasus 2b)



Gambar 9 Grafik tinggi pipa suar – defleksi yang terjadi (kasus 2c)

Dari grafik gambar 7, gambar 8, dan gambar 9, dapat dilihat defleksi yang terjadi di pipa suar untuk masing – masing kasus masih sangat aman dari defleksi yang diijinkan.

Pembahasan

Pada kasus 1 untuk pipa suar ketinggian 100 ft dengan pendukung kabel sling 2 tingkat secara menyeluruh untuk kekuatan struktur aman digunakan.

Pada kasus 2a untuk pipa suar ketinggian 164 ft dengan pendukung kabel sling 2 tingkat, ditemukan kegagalan pada kasus ini ditemukan kegagalan di ketinggian 0 – 6,56 ft. Kegagalan terjadi pada saat kombinasi pembebanan *Wind Comb Hot w Live (load number 13)*.

Mengatasi kegagalan kasus 2a ini dengan menambah kekuatan pada pipa suar, yaitu dengan cara mengganti ketebalan pipa dari sebelumnya sepanjang 19,685 ft / 6 meter, sebelumnya pipa suar menggunakan pipa 16 inch Sch STD (ketebalan 0.375 inch / 9,53 mm), diganti dengan pipa 16 inch sch 40 (ketebalan 0,5 inch / 12,7 mm). Setelah pipa diganti

dengan ketebalan yang lebih besar, pipa suar sudah aman digunakan.

Pada kasus 2a juga ditemukan kegagalan pada rancangan *guy lug* pada kabel sling tingkat #1 dengan *stress ratio* 1,07. Kegagalan terjadi di titik pengelasannya, ketebalan pengelasan 0,3 inch, untuk mengatasi kegagalan tersebut, ketebalan pengelasan ditambah menjadi 0,4 inch. Hasil dari penambahan ketebalan pengelasan, rancangan *guy lug* sudah aman digunakan.

Pada kasus 2b dan 2c juga ditemukan kegagalan pada rancangan *guy lug* pada kabel sling. Kegagalan terjadi di titik pengelasannya, ketebalan pengelasan 0,3 inch, untuk mengatasi kegagalan tersebut, ketebalan pengelasan ditambah menjadi 0,4 inch. Hasil dari penambahan ketebalan pengelasan, rancangan *guy lug* sudah aman digunakan.

Kesimpulan

Dari hasil perhitungan *software Mecastack* untuk kekuatan struktur pipa suar, dengan menggunakan empat (4) kasus yang dilakukan pada penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kasus 1 ketinggian 100 ft, pipa suar secara menyeluruh aman digunakan dengan *stress ratio* maksimum untuk tegangan tekan 0,479.
2. Kasus 2a ketinggian 164 ft ditemukan kegagalan pada tegangan tekan di tiga titik dengan *stress ratio* maksimum 1,25 .
3. Kasus 2b ketinggian 164 ft untuk tegangan tekan pipa suar aman digunakan, dengan *stress ratio* maksimum 0,775.
4. Kasus 2c ketinggian 164 ft untuk tegangan tekan pipa suar aman digunakan, dengan *stress ratio* maksimum 0,763.

Dari ketiga kasus diatas untuk pemilihan modifikasi pipa suar, dilihat dari kesimpulan perhitungan - perhitungan yang sudah dikeluarkan *software mecastack* maka kasus 2b yang dipilih untuk modifikasi nanti karena mudah dalam modifikasi di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

1. ASME STS-1. 2011. *Steel Stacks*,
2. *Standard API 537 Second Edition, December 2008. Flare Details for General Refinery and Petrochemical Service*,
3. *Standard API 521 Sixth Edition, January 2014. Pressure-Relieving and Depressuring Systems*,
4. *Baukal JR. Charles, 2001, The John Zink Combustion Hand Book, hal 589.*
5. *KLM Technology Group, 2007, Flare Selection and Sizing*,
6. *Stone. Diana, 1995, New York: U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, Chapter 7 Flares*,
7. *ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section IIA, 2013, Ferrous Material Specifications, hal 145, 161, 189, 377, 535, 959*,
8. Widarsono. Bambang, 2013, Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi, Cadangan dan Produksi Gas Bumi Nasional: Sebuah Analisis atas Potensi dan Tantangannya 47:115-126,
9. *Guigard, Selma E, 2000, Heat Radiation From Flares*,
10. Nurdianti, Ulfa, 2013, Studi Keandalan Struktur Gedung Tinggi Tidak Beraturan Menggunakan *Pushover Analysis* Pada Tanah Medium,
11. Kementrian Pekerjaan Umum, 2010, Peta *Hazard Gempa* Indonesia 2010

- Sebagai Acuan Dasar Perencanaan dan Perancangan Infrastruktur Tahan Gempa,
12. Badan Standardisasi Nasional, 2012, SNI 1726:2012, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur bangunan Gedung dan non Gedung,
 13. *MecaStack, Meca Enterprises 2013, Software for the Design and Analysis Structural Flare Stack Guy Wire Support,*
 14. *Flaresim, Flaresim LTD 2015, Software for the Design and Analysis of Flare System,*
 15. *Uniform Building Code 1997 Volume 2.*
 16. *ASCE 7-05, 2006, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures,*