

## ANALISA DEFLEKSI PADA ALAT ANGKAT SUAR BAKAR MENGGUNAKAN SOFTWARE AUTODESK INVENTOR DENGAN MODIFIKASI DESAIN IDEAL

Nurdiana Sobari<sup>1</sup>, Henry Carles<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

E-mail: nurdianasobari@gmail.com

**Abstrak--** *Suar bakar atau Flare adalah perangkat untuk membakar gas buang yang dihasilkan oleh plant oil and gas maupun industri lainnya yang menghasilkan limbah gas beracun. Flare pada umumnya diinstall pada ketinggian sesuai desain yang telah di tentukan. Untuk proses installasi pada plant onshore akan mudah mengangkat flare ini dengan crane. Namun pada plant offshore, flare biasanya akan diletakkan pada ujung platform sehingga crane yang berada pada ujung platform yang lain tidak dapat menjangkau ke posisi installasi flare. Hal ini menyebabkan kita harus mendesain device tambahan untuk mengangkat flare yang dikirim dari jalur laut menggunakan kapal dan mampu menderek ke atas hingga mencapai ujung platform. Dalam pembuatan alat angkat, analisa yang dilakukan akan muncul data keadaan platform di lapangan, material yang digunakan, dimensi alat dan perhitungan statis yang dilakukan. Perhitungan manual tanpa trial running analysis software menghasilkan defleksi ketika produk selesai dibuat ketika dilakukan load test. Pada tugas akhir ini akan melakukan perbandingan antara perhitungan manual yang sudah dilakukan dengan kalkulasi software serta perbaikan desain agar kedepannya dalam memfabrikasi alat angkat flare tidak menimbulkan defleksi kembali. Walaupun menurut perhitungan manual dinyatakan aman dan memang pada software dinyatakan aman, tetapi pada desain manual terjadi defleksi diatas angka yang diizinkan sebesar 66.73 mm dan dilakukan modifikasi sehingga defleksi mencapai angka 29.06 mm.*

**Kata kunci:** *Flare, davit pipe, mast, boom, defleksi, displacement.*

**Abstract--** *Flare is a mechanical set equipment for burning waste gas from oil and gas plants or other industries. The flare is usually installed at height as a design requirement. For the installation process at plant onshore it is easy, we can lift up the flare using cranes. But for installation process at plant offshore, the flare is usually placed at the far end of the platform, such that existing crane on the platform is unable to reach the flare area. It means that we must design another device for lifting up the flare (which was sent from sea by ship) and which can lift up to flare boom area. In the process of designing the lifting device, we must analyze as actual the flare boom area, material to be used, dimension and static analysis. Manual calculation without trial running analysis software have resulted in deflection when lifting device finished fabrication and have taken the load test. At this undergraduate thesis, we will do comparison between manual calculation (which was already done at actual) and software calculation and we will create design improvements, so that in the future we can manufacture the lifting device without causing deflection above maximum allowable value. Although according to manual calculation the design is satisfactory from the von Mises stress, the actual deflection result was 66.73 mm (above maximum allowable), and we will do modification that can reduce deflection to 29.06 mm.*

**Keywords:** *Flare, davit pipe, mast, boom, deflection, displacement.*

### 1. PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Suar bakar atau *Flare* adalah perangkat untuk membakar gas buang yang dihasilkan oleh *plant oil and gas* maupun industri lainnya yang menghasilkan limbah gas beracun atau yang membahayakan manusia dan lingkungan. Salah satu sumber utama gas ini dari pasokan minyak yang terperangkap di bawah tanah dan dilepaskan ketika minyak dibawa ke permukaan [1].

Gas yang terdapat pada proses pemisahan minyak dan gas ini sebagian besar

adalah Gas *Methane*, yang dimana gas *methane* merupakan gas rumah kaca yang tingkat bahayanya 21x lebih besar daripada karbondioksida. Selain gas *methane*, biasanya juga banyak mengandung CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S [2].

Maka dari itu, *Flare* pada umumnya diinstall pada ketinggian sesuai desain yang telah di tentukan salah satunya mempertimbangkan faktor *safety* pada manusia dan lingkungan sekitar, dilepas pada elevasi tertentu untuk mengurangi hal-hal yang tidak diinginkan seperti terpapar gas beracun maupun radiasi panas yang dihasilkan.

Untuk proses instalasi pada *plant onshore* akan mudah mengangkat *flare* dengan menggunakan *mobile crane* (jika elevasi *flare* masih terjangkau oleh *mobile crane*) yang tersedia di darat.



**Gambar 1.** *Offshore Flare*

Namun pada *plant offshore*, *flare* biasanya akan diletakkan pada ujung *platform* sehingga *crane* yang terdapat pada ujung *platform* yang lain tidak dapat menjangkau ke posisi instalasi *flare* (Dapat dilihat pada Gambar 1). Hal ini menyebabkan kita harus mendesain *device* tambahan untuk mengangkat *flare* yang dikirim dari jalur laut menggunakan kapal dan mampu menderak ke atas hingga ke ujung *platform*.

Dalam mendesain alat angkat suar bakar, kalkulasi manual yang dilakukan untuk acuan fabrikasi di lapangan pada keadaan aktualnya mengalami defleksi pada saat dilakukan *load test* dengan beban 1000 kg. Tentu saja hal ini menjadi *punch list* yang diajukan *client* supaya alat angkat yang di fabrikasi harus masuk kategori defleksi yang diizinkan. Dari sini dapat disimpulkan bahwa kita harus melakukan analisa *running software* terlebih dahulu untuk melakukan simulasi dan membuat kita yakin akan desain kita layak untuk dijadikan acuan fabrikasi tanpa muncul kendala apapun.

Defleksi adalah perubahan bentuk yang dialami suatu material akibat dari pembebanan, baik itu dari arah vertikal maupun horizontal. Defleksi sangat berpengaruh terhadap kekuatan, terutama kemampuan menahan beban. Semakin besar angka defleksi terjadi, maka perubahan bentuk alat pun semakin besar. Jika perubahan bentuk semakin besar, maka alat tersebut dapat berubah fungsi (yang seharusnya bisa menahan beban, karena berubah bentuk menjadi tidak tahan akan beban) [3]

Agar desain tidak mengalami defleksi, maka cara yang dapat kita lakukan adalah mensimulasikan lewat *software solid modelling analysis*. Model tiga dimensi dapat digunakan untuk memverifikasi, memvisualisasikan, dan mensimulasikan operasi struktur masa depan

sebelum dibuat. Hal ini memungkinkan untuk menghilangkan segala penyimpangan dalam interaksi elemen individu dan untuk memperbaiki kesalahan [4]

Banyak *design modelling analysis* menggunakan *autodesk Inventor* yang dilakukan sehingga menghasilkan desain yang optimal. Isnugroho dkk [5] melakukan optimalisasi formula *Hammer Mill Hammers* (HMHs) menggunakan *Autodesk Inventor* dengan mensimulasikan 4 tipe formula (HMHs 1, HMHs 2, HMHs 3 dan HMHs 4) untuk menghasilkan formula optimal. Beban yang diterima masing masing HMHs adalah 21, 396 N dan momen nya adalah 1,326 Nmm. Material yang digunakan adalah *manganese steel*. *Hammer machine* yang digunakan menggunakan double rotor dan bekerja pada 2500 rpm. Hasil simulasi nya memperlihatkan maksimum von mises *stress* untuk HMHs 1,2,3 dan 4 berturut turut adalah 486.393 MPa, 22,928 MPa, 450,313 MPa, dan 285,768 MPa. *Displacement* dan *safety factor* nya berturut turut adalah 0,555 mm, 0,030 mm, 0,648 mm, 0,196 mm dan 0,740, 15, 0,799 dan 1,259. Simulasi ini menghasilkan bahwa HMHs 2 lah formula yang paling optimal.

Vasile George Cioata dan Imre Kiss [6] melakukan studi kasus mengoptimalkan sebuah *connecting rod*, sebuah komponen dari *spark-ignition engine* untuk mengurangi berat dan mengurangi momen inersia nya menggunakan *autodesk inventor 2016*. Karena *software* ini terdapat *tools* yang dapat melakukan analisa dinamis untuk menjelaskan reaksi dari sambungan *connecting rod* atau analisa elemen hingga untuk mengoptimalkan *connecting rod*. Hasil dari optimalisasi nya adalah mendapatkan *connecting rod* yang lebih ringan dan ramping, yang dimana menjadikan momen inersia lebih kecil dan mengurangi berat mesin, tahan terhadap tekanan, dan membuat yakin bahwa alat ini aman beroperasi.

Cipto dkk [7] melakukan *stress analysis* terhadap *frame* alat pengupas kulit kacang menggunakan *software autodesk inventor*. *Frame* pada alat pengupas kacang berfungsi sebagai support struktur untuk komponen alat pengupas kacang, seperti *top funnel*, *funnel retaining frame*, *lid on peeler shaft*, *pulley*, *sieve shaft*, *sieve* dan badan mesin. Material *frame* menggunakan *mild steel* besi *equal angle* berukuran 45 x 45 x 5, *yield strength* nya 3,002E + 04 Psi dan *tensile strength* nya adalah 5.004E + 0.4 Psi. *Strength analysis* nya dilakukan menggunakan *software autodesk inventor 2015*. *Frame* mesin diberikan beban aksial sebesar 500 N, 600 N, 700 N, 800 N, 900 N dan 1000 N. Hasil analisa yang diperoleh adalah maksimum *stress*

berada pada beban 1000 N, sebanyak 16.85 Mpy, dan maksimum deformasi pada beban 1000 N adalah 0.07727 mm.

Md. Zahid Hasan dkk [8] melakukan analisa struktural dinamis pada sepasang *spur gears* (roda gigi kecepatan). Karena desain pada gear harus presisi untuk mengakuratkan daya transmisi. Sepasang spur gear dengan rasio 2:1 sudah di desain untuk perpindahan sudut (*angular displacement*) ke gigi yang digerakkan untuk diterapkan dalam pengaturan praktis dan analisis elemen hingga dilakukan untuk menentukan berbagai fenomena seperti tegangan, regangan, perpindahan (*displacement*), tekanan kontak, gaya reaksi, faktor keamanan dan lain sebagainya. Untuk mengamati daya tahan (*durability*) dan keberlanjutan (*sustainability*) roda gigi yang dirancang. Material, kendala geometris dan beban diterapkan mempertimbangkan pengaturan dalam aplikasi nyata di lapangan. Dari hasil simulasi, terbukti bahwa, daya tahan (*durability*) dan keberlanjutan (*sustainability*) pasangan roda gigi yang dirancang adalah melebihi requirement yang dibutuhkan.

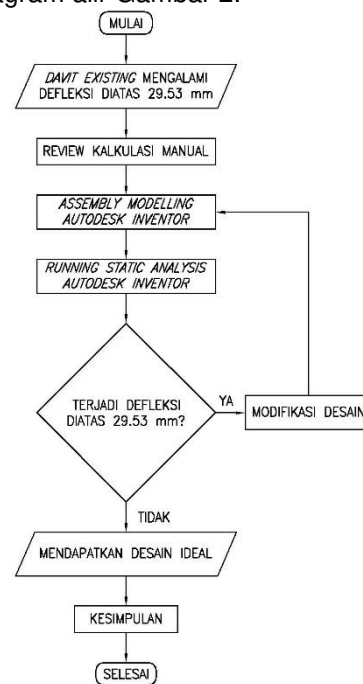
Sunardi [9] melakukan optimalisasi desain *frame* sepeda menggunakan *software autodesk inventor 2015*. *Frame* yang ia analisa adalah *frame* yang digunakan pada sepeda tipe *mustang hybrid* dengan material *Hi-Ten (High Tensile Steel)*. Densitas dari material ini adalah relatif tinggi dibandingkan dengan material lain seperti *aluminum alloy*, *carbon fiber*, dan *titanium*. Lalu *frame* ini perlu di re desain untuk mengoptimalkan masa, tekanan, deformasi dan faktor keamanan. Pertama *research* ini akan mengukur dimensi dari *frame* sepeda mustang. Berikutnya, ketika sudah di gambar, lalu di simulasi menggunakan *autodesk inventor professional 2015*. Hasil dari optimasi desain menunjukkan bahwa tekanan maksimal dan deformasi (*displacement*) nya adalah 14,75 MPa dan 0,01617 mm. Minimal faktor safety dan massa nya adalah 14,94 dan 3,1323 kg. *Frame* sepeda optimal ditemukan pada modifikasi frame 5 dengan stress maksimum 8,40 MPa, maksimum *displacement* 0,01782 mm dan minimum safety factor 15 dan minimum massa nya adalah 3,1343 kg.

Berli dkk [10] melakukan perancangan dan analisis kekuatan *frame* sepeda lipat menggunakan *autodesk inventor*. Untuk menjamin kekuatan dan keamanan ketika digunakan, kekuatan *frame* dihitung dan di analisis menggunakan metode elemen hingga. Material *frame* yang dipilih dari hasil perancangan adalah alumunium 6061-T6. Perancangan menghasilkan sepeda lipat dengan

dimensi kondisi terlipat adalah 765 x 742 x 328 mm. Analisis kekuatan *frame* memberikan tegangan von mises maksimum sebesar 96,32 MPa, *displacement* maksimum sebesar 6,925 mm, dan faktor keamanan minimum sebesar 2,8. Angka-angka hasil analisis kekuatan tersebut adalah angka tertinggi dari keseluruhan angka hasil perhitungan. Hal ini disebabkan oleh konsentrasi tegangan pada *frame* yang mengalami diskontinuitas geometri. Meskipun demikian, semua angka tersebut masih berada pada interval yang aman ditinjau dari tegangan ijin requirement.

**2. METODOLOGI**

Penelitian ini merupakan penelitian analisa, membandingkan antara hitungan manual dengan menggunakan *software*, seperti terlihat pada diagram alir Gambar 2.



**Gambar 2.** Diagram Alir

Hal pertama yang dilakukan adalah mengecek ulang hitungan manual apakah sudah memenuhi requirement atau belum. Perhitungan manual meliputi:

1. Modulus Elastisitas:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \tag{1}$$

Dimana:

- E = Modulus Elastisitas (N/m<sup>2</sup>)
- σ = Tegangan Normal (N/m<sup>2</sup>)
- ε = regangan normal

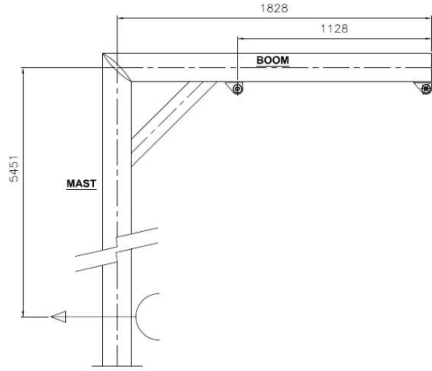
2. Momen Inersia

$$I = \left(\frac{\pi}{64}\right) * (D_o^4 - D_i^4) \quad (2)$$

Dimana:

- I = Momen Inersia (in<sup>4</sup>, mm<sup>4</sup>)
- Do = Outside Diameter (mm)
- Di = Inside Diameter (mm)

3. Beban



Gambar 3. Boom & Mast

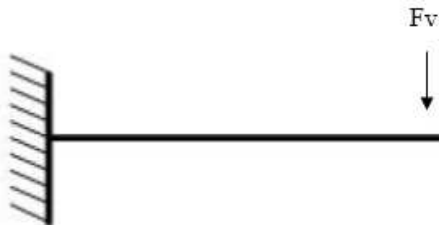
$$P = W_L + W_1 \quad (3)$$

Dimana:

- P = Beban Aksial (N)
- W<sub>L</sub> = Berat Flare Tip (kg)
- W<sub>1</sub> = Berat Davit (Boom+Mast) (kg)

4. Jenis Beban dan Tumpuan

Jenis Beban yang cocok untuk diterapkan pada *davit pipe* adalah beban terpusat di ujung, dengan tumpuan kantilever, karena satu sisi di las dan satu sisi lainnya bebas.



Gambar 4. Batang Kantilever dengan tumpuan jepit dan beban terpusat

Kita juga harus memasukan *Vertical Impact Factor* (C<sub>v</sub>) dan *Horizontal Impact Factor* (C<sub>n</sub>) untuk memperhitungkan gaya yang terjadi secara vertikal maupun horizontal [11]:

$$\text{Vertical Impact Factor } (C_v) = 1,5$$

$$\text{Horizontal Impact Factor } (C_n) = 0,5$$

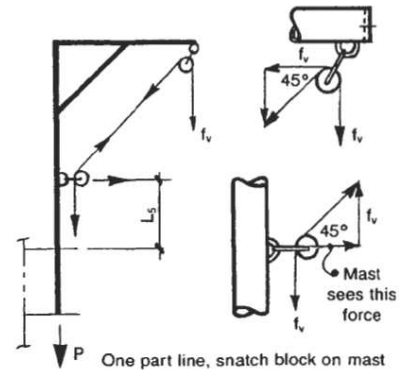
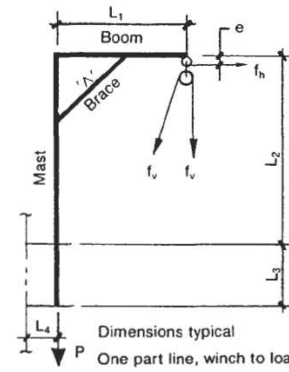
Vertical Force (fv)

$$fv = C_v \times P = N \quad (4)$$

Horizontal Force (fn)

$$fn = C_n \times P = N \quad (5)$$

5. Bending Moment Pada Davit (M<sub>1</sub>)



Gambar 5. Davit Type

Langkah berikutnya adalah menentukan *Bending Moment* Pada Davit (M<sub>1</sub>)

$$M_1 = f_v L_1 + 0.5 W_1 L_1 + f_n L_2 \quad (6)$$

(6)

Dimana:

- M<sub>1</sub> = Moment of Davit Mast (Nmm)
- f<sub>v</sub> = Vertical Force (N)
- L<sub>1</sub> = Length of Boom (mm)
- W<sub>1</sub> = Weight of Davit (kg)
- f<sub>n</sub> = Horizontal force (N)
- L<sub>2</sub> = Length of Mast (mm)

6. Masukan properties material

- Material yang digunakan untuk *davit pipe* adalah : *Pipe ASTM SA 106 Gr. B Sch 160* (untuk pipa 6 inch dan 8 inch) dan *Sch. 40* untuk pipa 4 inch. Serta *plat ASTM A36 Thickness 20 dan 25 mm*.

- *Yield Stress (Fy)* : *yield Stress* dari *Pipe 6 inch ASTM SA 106 Gr. B Sch 160* adalah 399 N/mm<sup>2</sup>

7. Allowable Axial Stress (Fa)

$$Fa = \frac{\left[1 - \frac{(Kl/r)^2}{2C_c^2}\right] Fy}{5/3 + \frac{3(Kl/r)}{8C_c} - \frac{(Kl/r)^3}{8C_c^2}} \text{ for } \frac{Kl}{r} < Cc \quad (7)$$

Dimana:

$$C_c = \left[ \frac{12\pi^2 E}{F_y} \right]^{1/2}$$

- E = Modulus Young elastisitas (Mpa)  
 K = effective length factor (faktor panjang efektif)  
 l = panjang boom/ mast, tergantung mana yang akan di hitung (mm)  
 r = radius of gyration (radius rotasi) (mm)

8. Allowable Bending Stress ( $F_b$ )

$$F_b = 0.84 - 1.74 (F_y/D_o)/(E * t_p) \quad (8)$$

Dimana:

- $F_y$  = Yield Stress (N/mm<sup>2</sup>)  
 $D_o$  = outside diameter (mm)  
 E = Modulus Elastisitas (N/mm<sup>2</sup>)  
 $t_p$  = thickness pipe davit (mm)

9. Cross Sectional Area ( $A_1$ )

$$A_1 = \left( \frac{\pi}{4} \right) * (D_o^2 - D_i^2) \quad (9)$$

Dimana:

- $D_o$  = Diameter luar (mm)  
 $D_i$  = Diameter dalam (mm)

10. Section Modulus ( $Z_1$ )

$$Z_1 = \left( \frac{\pi}{32D_o} \right) * (D_o^4 - D_i^4) \quad (10)$$

Dimana:

- $D_o$  = Diameter luar (mm)  
 $D_i$  = Diameter dalam (mm)

11. Radius of Gyration (r)

$$r = \left( \frac{I}{A_1} \right)^{0.5} \quad (11)$$

Dimana:

- I = Momen Inersia (mm<sup>4</sup>)  
 $A_1$  = Cross Section Area (mm<sup>2</sup>)

12. Axial Stress at Mast/ boom ( $f_a$ )

$$f_a = \frac{P}{A_1} \quad (12)$$

Dimana:

- P = Beban Aksial (N)  
 $A_1$  = Cross Section Area (mm<sup>2</sup>)

13. Bending Stress at Mast/ Boom ( $f_b$ )

$$f_b = \frac{M_1}{Z_1} \quad (13)$$

Dimana:

- $M_1$  = Moment (Nmm)  
 $Z_1$  = Section Modulus (mm<sup>3</sup>)

14. Combined Stress

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} \leq 1 \quad (14)$$

Dimana:

- $f_a$  = Axial Stress (N/mm<sup>2</sup>)  
 $F_a$  = Allowable Axial Stress (N/mm<sup>2</sup>)  
 $f_b$  = Bending Stress (N/mm<sup>2</sup>)  
 $F_b$  = Allowable Bending Stress (N/mm<sup>2</sup>)

15. Result atau hasil akhir

Jika hasil kalkulasi  $\leq 1$ , maka kalkulasi dinyatakan *satisfactory* atau memuaskan. Dan bila kalkulasi manual sudah didapatkan hasil yang memuaskan, maka kita siap masukan data berupa dimensi hasil *sketch* dan material kedalam *assembly modelling autodesk Inventor* untuk mendapatkan hasil analisa berupa von mises stress, displacement dan safety factor.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pembuatan assembly modelling davit pipe sesuai sketch dan hitungan manual:



Gambar 6. Assembly Modelling

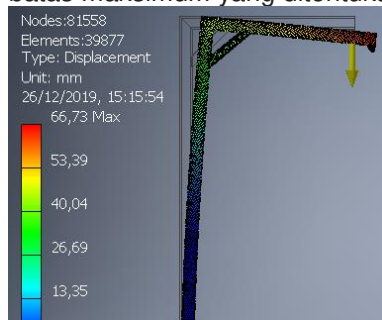
Langkah berikutnya adalah membuat *study static analysis* dengan memasukan *material* dan *properties* nya sesuai dengan kalkulasi manual, menentukan tumpuan fix pada support, beri beban pada ujung davit seberat 1000 kg / 9806,

65 N, penentuan contacts pada masing masing part dan mesh view sampai pada akhirnya kita running analysis dan mendapati hasil seperti ini :

**Tabel 1.** Ringkasan Hasil Kalkulasi

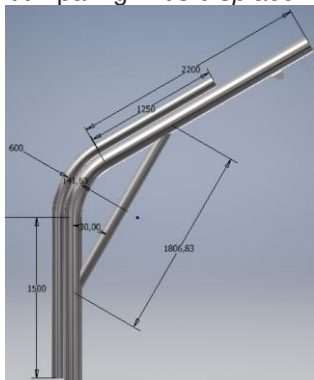
Name	Minimum	Maximum
Volume	105680000 mm <sup>3</sup>	
Mass	829,587 kg	
Von Mises Stress	0,123898 MPa	239,971 MPa
1st Principal Stress	-59,2223 MPa	370,371 MPa
3rd Principal Stress	-248,483 MPa	149,726 MPa
Displacement	0 mm	66,7324 mm
Safety Factor	1,45851 ul	15 ul

Hasil analisa diatas menunjukkan von mises *stress* yang tidak luluh jika hanya diberikan beban 1000 kg, *safety factor* minimal 1,4 dan maks 15. Hanya saja kekuarungannya adalah *displacement* mencapai maksimum 66,73 kg (diatas batas maksimum yang ditentukan user).



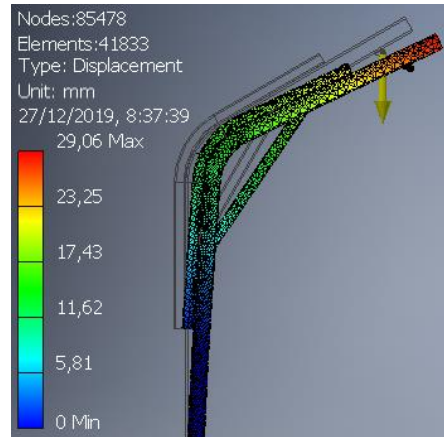
**Gambar 7.** Displacement

Maka dari itu kita harus membuat modifikasi agar model yang kita buat menjadi ideal, dengan modifikasi berfokus kepada *mast davit* yang merupakan titik paling kritis *displacement* terjadi.



**Gambar 8.** Modifikasi *design davit pipe*

Modifikasi dilakukan dengan cara menambah luasan area *davit mast* dengan merubah sambungan antara *davit mast* dan *boom* menjadi radius dan dibelokkan 30 derajat keatas. Support 4” menjadi lebih panjang dan ada tambahan pipa 4” di sepanjang *davit mast* dan *boom* agar *davit* menjadi lebih *rigid*.



**Gambar 9.** Displacement Hasil Modifikasi

Setelah running model hasil modifikasi, kita mendapati hasil displacement menjadi maksimum 29,06 mm (dibawah maksimum yang ditentukan *client*). Adapun perbandingan desain nya sebagai berikut:

**Tabel 2.** perbandingan hasil kalkulasi

DAVIT	VON MISES STRESS		DEFLEKSI		FAKTOR SAFETY		MASSA
	MINIMUM	MAKSIMUM	MINIMUM	MAKSIMUM	MINIMUM	MAKSIMUM	
EXISTING	0,12 MPa	239,97 MPa	0 mm	67,73 mm	1,45 ul	15 ul	829,58 KG
REDESIGN	0,03 MPa	166,91 MPa	0 mm	29,05 mm	2,09 ul	15 ul	947,17 KG

**4. KESIMPULAN**

- Pada zaman teknologi seperti sekarang ini, menganalisa desain secara manual memang pekerjaan yang bagus untuk dilakukan. Tetapi pada akhirnya kita juga harus menggunakan analisa *software* yang ada untuk membuat kita yakin apakah desain yang sudah kita buat benar benar kuat terhadap gaya yang diberikan dengan metode *running analysis* yang memungkinkan kita menerima informasi estimasi kekuatan statis desain kita terhadap beban yang diberikan. Dengan kata lain *software* bisa berfungsi sebagai pembanding dan tolak ukur dari desain yang telah kita buat. Dengan hitungan komputasi yang canggih ia bisa menyajikan data estimasi pengaruh beban terhadap desain yang kita buat.
- Dengan bantuan *software autodesk Inventor*, kita dapat memodifikasi dan membuat kita yakin akan desain yang telah kita buat telah aman beroperasi pada beban yang diberikan. Terbukti pada kasus permasalahan ini, kemungkinan defleksi maksimum dapat teratasi dari 66,73 mm menjadi 29, 06 mm (berkurang 44%).

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Iyorakpo, J., & Odibikuma, P. W. (2015). Impact of gas flaring on the built environment: the case of Ogba/ Egbema/ Ndoni local Govt area, Rivers State, Nigeria. *European Scientific Journal*, 11, 83–95
- [2] Syam, A. (2018). Analisa Kelebihan Tekanan Pada Saat Pembakaran Gas Berlebih Pada Flare. *Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy*. 2
- [3] Akbar, A., & Isworo, H. (2018). Analisis defleksi engine stand Suzuki Vitara dengan metode simulasi. *Jurnal Sains Dan Terapan Politeknik Hasnur*, 06(April), 13–16.
- [4] Abramczyk, N., Żuk, D., & Lesnau, A. (2018). The use of parametric structure modelling in the design process. *Journal of KONES*, 25(3), 541–548.
- [5] Isnugroho K., Birawidha D. C., Hendronursito Y. (2016). *Optimizing Hammer Mill Hammers (HMMs) Forms By Using Autodesk Inventor*. AIP Conference Preceedings 1746, 020071 (2016). 1
- [6] Vasile G. C., Kiss I. (2017). *Dynamic Analysis and parametric optimisation of the connecting rod*. *Machine Design*, Vol.9 (2017) No.1, ISSN 1821-1259. 29
- [7] Cipto et al. (2019). *Stress analysis on the frame of peanut skin peeler using autodesk inventor software*. IOP Conference Series: Earth and Enviromental Science 343 012164. 1
- [8] Md. Zahid et al. (2019). *Dynamic Structural Analysis of a pair of meshed spur gears*. *Journal of modern manufacturing system and technology 03 (2019) 050-057*. 50
- [9] Sunardi (2017). Optimalisasi Desain Frame Sepeda Menggunakan Software Autodesk Inventor 2015. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik* Vol. 20, No.2, 187-192 November 2017. 187
- [10] Kamiel, B. P., Nugraha, G. A., Sunardi. (2018). Perancangan dan Analisis kekuatan frame sepeda lipat menggunakan *autodesk Inventor*. *Jurnal material dan proses manufaktur* Vol. 2 No.2 126-135. 126
- [11] Moss, D. R. (1997). Pressure Vessel Design Manual: Illustrated Procedures for Solving Major Pressure Vessel Design Problems. *Environmental Monitoring and Assessment*.