

ANALISIS TEGANGAN, REGANGAN DAN DEFORMASI *CRANE HOOK* DARI MATERIAL BAJA AISI 1045 DAN BAJA ST 37 MENGGUNAKAN *SOFTWARE ELMER*

Severianus Wunda, Albert Zicko Johannes, Redi K. Pingak, Atika S. Ahab
Prodi Fisika, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, jln. Adisucipto-Penfui,
Email : severianus.wunda.98@gmail.com

Abstrak

Penelitian tentang tegangan, regangan dan deformasi *crane hook* (kait tunggal) dari material baja Aisi 1045 dan baja ST 37 Menggunakan Metode Elemen Hingga merupakan suatu solusi yang dilakukan untuk menganalisa kekuatan *crane hook* agar terhindar dari kegagalan kerja sehingga struktur *crane hook* tetap dalam keadaan aman. Dalam proses analisa tegangan, regangan dan deformasi *crane hook* dapat menggunakan *software* elemen hingga *Elmer*. Pada penelitian ini melakukan simulasi pada *crane hook* jenis kait tunggal, dengan memvariasi jenis material penyusunnya, yakni menggunakan *crane hook* baja AISI 1045 dan *crane hook* baja ST 37. Pada hasil simulasi *software* elemen hingga pada untuk pembebanan 20,000 kg, *crane hook* baja AISI 1045 diperoleh tegangan maksimum pada arah sumbu x sebesar 3.0×10^7 Pa, y sebesar 1.7×10^7 Pa, z sebesar 6.2×10^7 Pa dan *crane hook* ST 37 diperoleh tegangan normal maksimum arah sumbu x sebesar 3.1×10^7 Pa, y sebesar 1.9×10^7 Pa, z sebesar 6.4×10^7 Pa. Regangan yang terjadi pada kedua *crane hook* tersebut adalah *crane hook* baja AISI 1045 sebesar 0.625×10^{-4} dan *crane hook* baja ST 37 sebesar 0.606×10^{-4} . Nilai deformasi yang diperoleh dari kedua *crane hook* adalah *crane hook* baja AISI 1045 3.4×10^2 mm dan *crane hook* baja ST 37 3.3×10^2 mm. Nilai *Von Mises* kedua material adalah *hook* baja AISI 1045 sebesar 5.9×10^7 dan *crane hook* baja ST 37 sebesar 6.0×10^7 . Nilai *safety faktor* kedua material adalah *crane hook* baja AISI 1045 sebesar 5.294 dan *crane hook* baja ST 37 sebesar 5.416. Berdasarkan nilai *safety faktor* kedua *crane hook* dapat diambil kesimpulan bahwa struktur *crane hook* baja AISI 1045 lebih aman dibandingkan dengan *crane hook* baja ST 37.

Kata Kunci : Metode Elemen Hingga, *Crane Hook*, Tegangan, Regangan, Deformasi, *Von Mises*, *Safety Faktor*.

Abstract

Research on stress, strain, and deformation of AISI 1045 and ST 37 crane hooks (single hook) using Finite Element Method is a solution to analyze the strength of the crane hook for the safety properties. This research was conducted to analyze stress, strain, and crane hook deformation using *FreeCAD*, *ElmerGUI*, and *ParaView* finite element method software which were prepared for the accuracy and efficient time.. The crane hook was simulated to AISI 1045 steel hook cranes and ST 37 steel hook cranes which have different material properties. In the finite element software simulation results of 20,000 kg load, the AISI 1045 steel hook crane has the maximum stress in the x , y , z -axis of 3.0×10^7 Pa, 1.7×10^7 Pa, and 6.2×10^7 Pa, respectively, and the ST 37 crane hook has the maximum normal stress in x , y , z axis, of 3.1×10^7 Pa, 1.9×10^7 Pa, and 6.4×10^7 Pa, respectively. The strains occur on both crane hooks which were 0.625×10^{-4} for and 0.606×10^{-4} for ST 37. The deformations of the crane hook have been determined with results, 3.4×10^2 mm for AISI 1045 and 3.3×10^2 mm for ST 37. Two safety factor standards of the crane hooks have been determined in this work. The AISI 1045 steel hook crane has 5,294 and the ST 37 steel hook crane has 5,416 safety factors. The *Von Mises* values for AISI 1045 was 5.9×10^7 and ST 37 was 6.0×10^7 . Based on the safety factor of the two crane hooks, it can be concluded that the structure of the AISI 1045 steel hook crane is safer than the ST 37 steel hook crane

Keywords: Finite Element Method, *Crane hook*, Stress, Strain, Deformation, *Von Mises*, *Safety factor*

PENDAHULUAN

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi telah banyak membawa pengaruh dalam mempermudah pekerjaan manusia, yakni dalam meningkatkan kualitas dan kuantitas suatu hasil produksi. Terutama dalam bidang konstruksi dan industri, teknologi memiliki peran yang

sangat besar. *Crane hook* merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengangkat, menurunkan dan memindahkan suatu barang yang dapat digerakan secara vertikal dan horizontal yang dapat dioperasikan secara manual atau motor listrik[1].

Dalam praktek penggunaan *crane hook* pada dunia konstruksi dan industri *crane hook* sering mengalami kegagalan fungsi pakainya, seperti mengalami pecah, retak dan patah. Oleh karena itu merancang *crane hook*, perlu dilakukan analisa terlebih dahulu agar dapat mengetahui kekuatan, keuletan dan ketangguhan material tersebut. Analisa kekuatan pada struktur *crane hook* merupakan suatu solusi agar terhindar dari kegagalan kerja sehingga struktur *crane hook* tetap dalam keadaan aman.

Baja karbon AISI 1045 merupakan salah satu jenis baja karbon rendah (0.43 – 0.50% C weight) yang digunakan di pasaran karena memiliki banyak keunggulan. Baja AISI 1045 mengandung logam komposisi perlit dan ferit. Struktur ferit terdistribusi sepanjang batas butiran perlit secara homogen. Logam ini memiliki sifat mekanik yang unggul dalam kekerasan dan keuletan. Baja AISI 1045 umumnya memiliki nilai kekuatan tarik antara 570 hingga 700 MPa, dan nilai kekerasan antara 170 hingga 210 brinell[2].

Baja St 37 adalah baja karbon sedang yang setara dengan AISI 1045, dengan komposisi kimia Karbon : 0.5 %, Mangan : 0.8 %, Silikon : 0.3 % ditambah unsure lainnya. Dengan kekerasan ± 170 HB dan kekuatan tarik 650 - 800 N/mm²[3].

Dalam penelitian ini peneliti memilih untuk merancang atau mendesain *crane hook* dari baja AISI 1045 dan baja ST 37. Alasan yang mendasari peneliti mengambil baja AISI 1045 dan baja ST 37 karena baja tersebut banyak dipergunakan dalam bidang teknik atau industri. Baja tersebut memiliki kekerasan yang tinggi sehingga cocok untuk digunakan untuk membuat suatu komponen (*crane hook*) yang membutuhkan kekerasan, keuletan dan ketahanan terhadap gesekan dan beban.

Desain bentuk *crane hook* sesuai dengan kapasitas angkat dan beban yang diberikan dapat disimulasikan secara tepat metode elemen hingga. Karena jika *crane hook* di rancang atau didesain dengan perhitungan yang kurang tepat dapat membahayakan dalam penggunaannya.

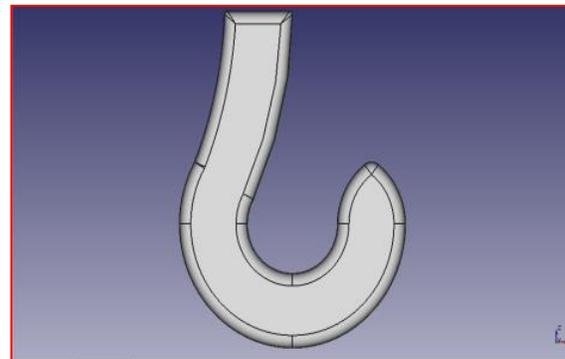
Metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis dari suatu gejala fisis. Tipe masalah teknis dan matematis fisis yang dapat diselesaikan dengan

metode elemen (*Finite Element Method*) hingga terbagi dalam dua kelompok, yaitu kelompok analisa struktur dan kelompok masalah-masalah non struktur.

Pada tahun 2014 Kurniawan telah melakukan penelitian dengan cara memvariasi *crane hook* dalam tiga (3) jenis, yaitu kait tunggal, kait tanduk ganda dan snackles dari baja AISI 4140. Berdasarkan hasil simulasi dan perhitungan analitik dapat diambil kesimpulan bahwa struktur *crane hook* (kait) masih dalam batas aman. Hal ini dikarenakan kekuatan luluh material yang digunakan pada jenis AISI 4140 *alloy steel* sebesar 415 MPa. Namun dari ketiga jenis kait pada pembebanan 20.000 Kg, kait tunggal memiliki potensi kegagalan paling besar[4].

TEORI

Crane adalah alat yang digunakan untuk mengangkat dan memindahkan muatan dari satu tempat ketempat lain dengan menggunakan metode katrol dan kait (*hook*) sebagai pengaitnya. *Crane* adalah salah satu alat berat (*heavy equipment*) yang digunakan sebagai alat pengangkat /pemindah bahan dalam proyek konstruksi. *Crane* bekerja dengan mengangkat material yang akan dipindahkan dengan memindahkan secara horizontal, kemudian menurunkan material ditempat yang diinginkan. *Crane* memiliki bentuk dan kemampuan angkat yang besar dan mampu berputar hingga 360° dan jangkauan lengan yang mencapai puluhan meter. *Crane* biasa digunakan dalam pekerjaan proyek, industri, konstruksi, perbengkelan, pergudangan, dan lain – lain[5].



Gambar 1. Kait Tunggal hasil pemodelan software *FreeCAD*

Bentuk dari *crane hook* berbeda-beda tergantung dari fungsi atau kegunaannya saat di lapangan. Bentuk *crane hook* secara keseluruhannya banyak mengalami modifikasi yang fungsinya adalah disesuaikan dengan kebutuhan dari user saat digunakan atau diaplikasikan di lapangan. Jenis *crane hook* yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis kait tunggal.

METODE ELEMEN HINGGA

Metode elemen hingga, selanjutnya disebut sebagai MEH, adalah metode numerik yang digunakan untuk memecahkan permasalahan dalam bidang rekayasa, analisa struktur, analisa tegangan, perpindahan panas dan masa dan medan elektromagnetik, menganalisis data mengenai perubahan bentuk akibat deformasi, tekanan dan kecepatan fluida. Permasalahan – permasalahan yang melibatkan bentuk geometri, kondisi pembebanan dan sifat mekanik material yang kompleks tidak mungkin untuk dipecahkan dengan menggunakan persamaan atau rumus matematis yang biasanya disebut dengan penyelesaian analitis [6]. Secara umum MEH terdiri dari lima langkah dasar yaitu :

1. Menentukan daerah-daerah yang meliputi penempatan titik-titik nodal, penomoran titik-titik nodal dan penentuan koordinatnya.
2. Menentukan derajat atau orde persamaan pendekatan linear atau kuadratik. Persamaan harus dinyatakan sebagai fungsi nodal.
3. Menyusun sistem persamaan-persamaan.
4. Menyelesaikan sistem persamaan-persamaan.
5. Menghitung kuantitas yang dicari. Kuantitas dapat merupakan komponen tegangan dan lain-lain.

Persamaan dalam Metode Elemen hingga biasanya ditulis[7] :

$$[k] \{u\} = \{F\} \quad (1)$$

Dimana :

$[k]$ = Matrik kekakuan

$\{u\}$ = Vektor kolom dengan komponen matrik berupa nilai nodal

$\{F\}$ = Gaya yang bekerja pada nodal

Analisis struktur metode elemen hingga menggunakan software *Elmer*. *Elmer* adalah software metode elemen hingga yang berfungsi untuk menyelesaikan matriks kekakuan dari material *crane hook* untuk menentukan tegangan, deformasi dan *von mises*. Pada software *elmer* data spesifikasi material *crane hook* dan besar beban yang diterima. Setelah semua data material dimasukan ditentukan titik atau bagian *crane hook* yang akan diberi pembebanan. Kemudian dilakukan *running* dan software tersebut menampilkan hasil *running* berupa grafik konvergensi. Dari hasil *running* ini kita dapat mengetahui nilai tegangan, deformasi dan *von mises* yang terjadi pada *crane hook*[8]

Baja karbon AISI 1045 merupakan salah satu jenis baja karbon rendah (0.43 – 0.50% C berat) yang digunakan di pasaran karena kemampuan menahan beban yang cukup tinggi. Baja AISI 1045 merupakan logam yang terdiri dari perlit dan ferit. Struktur ferit terdistribusi sepanjang batas butiranperlit secara homogen. Baja AISI 1045 umumnya memiliki nilai kekuatan tarik antara 570 MPa hingga 700 MPa, dan nilai kekerasan antara 170 hingga 210 Brinell [9].

Baja ST 37 merupakan baja karbon kelas rendah, karena mempunyai kandungan karbon kurang dari 0,3% dan lebih dari 99% besi. Tabel di bawah menunjukkan kandungan unsur-unsur pembentuk baja ST-37[10].

Teori Von Mises

Teori *Von Mises* atau teori energi distorsi (σ') diperkenalkan oleh Huber (1904) dan kemudian disempurnakan oleh *Von Mises* dan Henchy. Teori *Von Mises* didefinisikan bahwa “Kegagalan dioreksi terjadi pada keadaan tegangan multiaksial bilamana energi distorsi per unit volume sama atau lebih besar dari energi distorsi per unit volume pada saat terjadinya kegagalan dalam pengujian tegangan uniaksial sederhana terhadap specimen dari material yang sama.”[11]

Kegagalan akan terjadi bila :

$$\sigma' \leq \frac{S_y}{F_s} \quad (2)$$

Dimana :

$S_y = \text{Tensile Yield Strength}$

$F_s = \text{Safety Factor}$

Faktor Keamanan(Safety Factor)

Faktor Keamanan (*Safety factor*) adalah faktor yang digunakan untuk mengevaluasi agar perencanaan elemen mesin terjamin keamanannya dengan dimensi yang minimum [12](Awali,2015).

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma}$$

$S_y =$ Kekuatan tarik benda kerja (Mpa)

$\sigma =$ Von misses (Mpa)

METODE PENELITIAN

Penelitian tentang analisa tegangan, regangan dan deformasi *crane hook* (kait tunggal) dari material baja aisi 1045 dan baja st 37 menggunakan metode elemen hingga. Adapun prosedur penelitiannya sebagai berikut[12]:

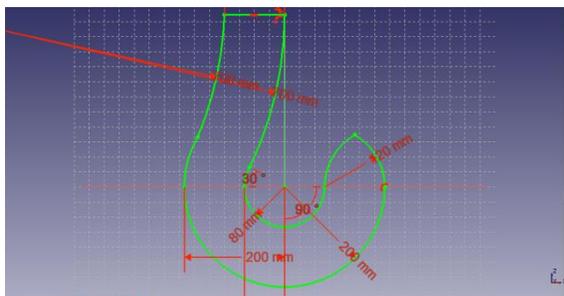
1. Studi literatur

Sebelum melakukan analisa kekuatan struktur *crane hook* (kait) ini, perlu dilakukan studi literatur. Studi literature yang dimaksud adalah melihat kasus-kasus yang sering terjadi pada struktur *crane hook*

2. Mencari data spesifikasi *Crane Hook* Baja AISI 1045 dan Baja ST 37

Tabel 1. sifat mekanik Baja AISI 1045[13]

Properties	Value
<i>Tensile Strenght, Yield</i>	310 MPa / 45000 psi
<i>Ultimate Tensile Strenght</i>	565 MPa / 81900 psi
<i>Young's Modulus</i>	200 GPa / 29000 ksi
<i>Poisson's Ratio</i>	0.290
<i>Density</i>	7,87 g/cc



Gambar 2. Model dan geometri

Tabel 2. sifat mekanik Baja ST 37 [14]

Properties	Value
<i>Tensile Strenght, Yield</i>	325 MPa
<i>Ultimate Tensile Strenght</i>	460 MPa
<i>Young's Modulus</i>	210 GPa / 29000 ksi
<i>Poisson's Ratio</i>	0.3
<i>Density</i>	8,05 g/cc

3. Prosedur Simulasi :

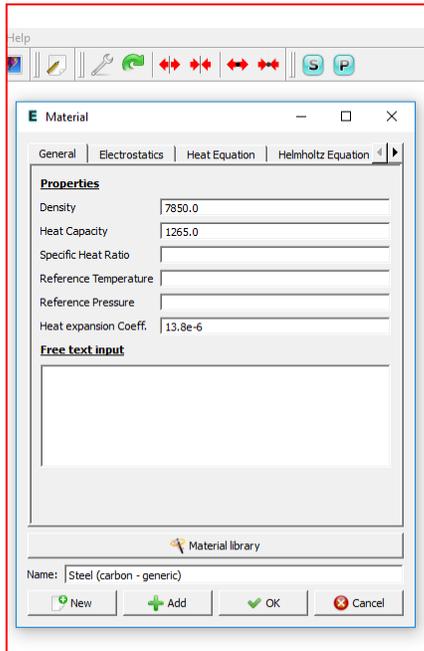
- a. Proses pemodelan geometri *Crane Hook* menggunakan *FreeCAD*
- b. *Meshing*, yaitu membagi geometri ini menjadi bagian-bagian kecil berupa garis yang terhubung pada node-node yang tersebar di seluruh geometri benda.



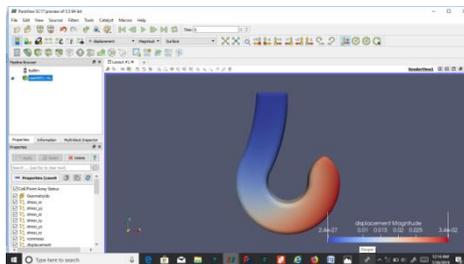
Gambar 3. Hasil *Meshing*

- c. Simulasi menggunakan *software Elmer* dimulai dengan menginput data material dengan data spesifikasi material baja AISI 1045 dan baja ST 37(Tabel 1 dan Tabel 2.).
- d. Penentuan jenis tumpuan dan jenis pembebanan (*Boundary Condition*).
- e. *Solve / run simulate*, pada proses ini data-data yang dimasukan pada tahap sebelumnya akan diolah untuk mendapatkan hasil analisa pada tool simulasi.
- f. Post processing, merupakan proses akhir dari penyelesaian metode elemen hingga. Hasil simulasi *ParaView* akan ditampilkan berupa gambar dan data total deformasi, tegangan dan regangan

maksimum hasil komputasi pada proses simulate.



Gambar 4. Menginput data material



Gambar 5. Hasil ParaView

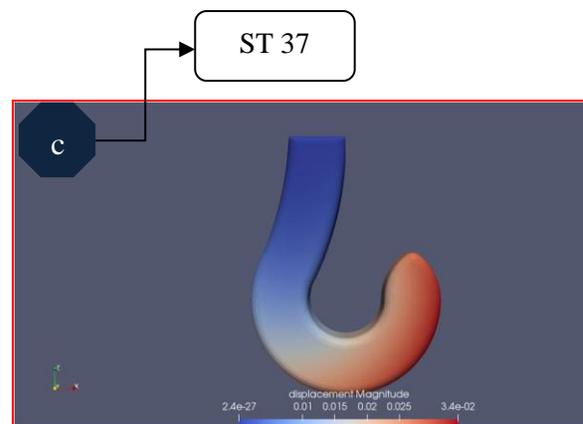
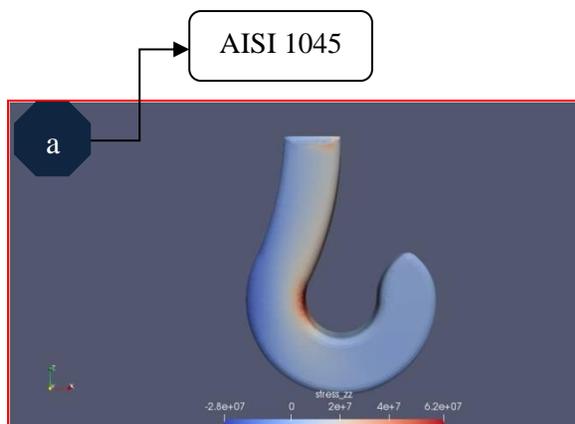
HASIL DAN PEMBAHASAN

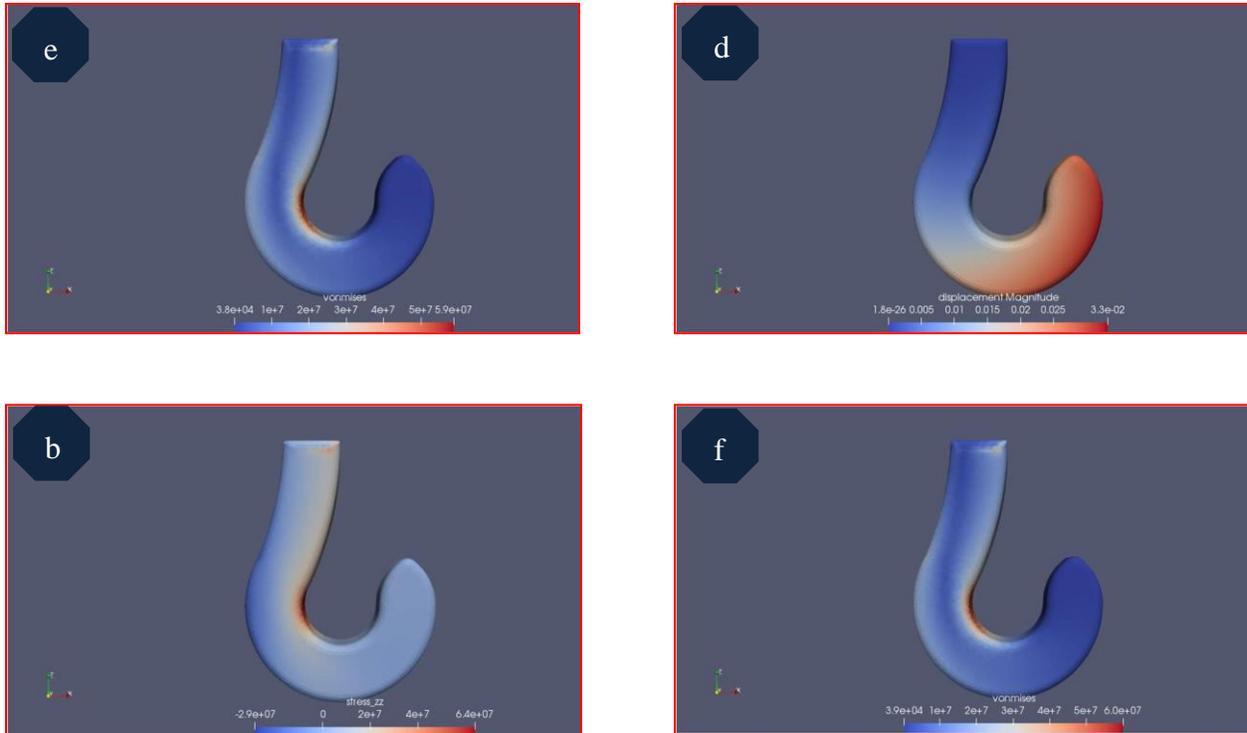
Hasil Analisa Tegangan, Deformasi dan *Von mises* pada *crane hook* baja AISI 1045 *crane hook* baja ST 37 software metode elemen hingga pada pembebanan 20 ton.

Pembebanan yang diberikan pada *crane hook* baja AISI 1045 dan *crane hook* baja ST 37 adalah 20.000 kg atau 20 ton. Beban ini kemudian dikonversikan ke dalam satuan Newton, dengan nilai konversi 1 kg = 9,81 N. Dengan demikian, beban maksimum yang diterima rangka adalah 196200 N. Tumpuan pada *crane hook* ditentukan pada bagian yang mengalami kontak langsung dengan sistem (beban).

Pada hasil simulasi dengan menggunakan *software Elmer* pada struktur kait tunggal didapat nilai tegangan normal maksimum (*maximum principal stress*) yaitu sebesar $2,7731 \times 10^8$ Pa yang berada di daerah lengkungan kait.

Dilihat dari hasil simulasi menggunakan software elemen hingga pada gambar 6.a dan 6.b serta Tabel 3 diperoleh nilai tegangan pada *crane hook* baja AISI 1045 arah sumbu ZZ adalah sebesar 6.2×10^7 Pa dan *crane hook* baja ST 37 arah sumbu ZZ sebesar 6.4×10^7 Pa yang berada pada lengkungan *crane hook* yang berwarna merah. Daerah tersebut merupakan titik – titik kritis akibat pembebanan. Daerah kritis tersebut merupakan daerah kemungkinan terbesar terjadinya kegagalan *crane hook*





Gambar 6.a). Tegangan *crane hook* baja AISI 1045. b). Tegangan *crane hook* baja ST 37. c). Deformasi *crane hook* baja AISI 1045. d). Deformasi *crane hook* baja ST 37. e). *Von mises* *crane hook* baja AISI 1045. f). *Von mises* *crane hook* baja ST 3

Pada gambar 5.c dan 5.d serta tabel 4 merupakan nilai deformasi maksimum *crane hook* baja AISI 1045 sebesar 3.4×10^2 dan deformasi maksimum *crane hook* baja ST 37 3.3×10^2 yang berada dibagian lengkung kait tunggal yang berwarna merah *crane hook*. Bagian ini akan mengalami deformasi paling besar akibat adanya pembebanan yang diberikan. Dari kedua material tersebut *crane hook* baja AISI 1045 mengalami deformasi paling besar pada pembebanan 20.000 kg atau 20 ton.

Tabel 3. Perbandingan tegangan maksimum *crane hook* baja AISI 1045 dan *crane hook* baja ST 37

Arah	<i>crane hook</i> baja ST 37 (Pa)	<i>crane hook</i> baja AISI 1045 (Pa)
XX	3.0×10^7	3.1×10^7
YY	1.7×10^7	1.9×10^7
ZZ	6.2×10^7	6.4×10^7

Tabel 4. Perbandingan nilai deformasi dan *von mises* *crane hook* baja AISI 1045 dan *crane hook* baja ST 37

Material	<i>von mises</i>	Deformasi
<i>crane hook</i> baja AISI 1045	5.9×10^7	3.4×10^2
<i>crane hook</i> baja ST 37	6.0×10^7	3.3×10^2

Tabel 5. Perbandingan nilai Regangan dan *Safety Factor* *crane hook* baja AISI 1045 dan *crane hook* baja ST 37

Material	Regangan	<i>Safety Factor</i>
<i>crane hook</i> baja AISI 1045	0.625×10^{-4}	5.41667
<i>crane hook</i> baja ST 37	0.606×10^{-4}	5.294237

Dari hasil perhitungan deformasi kemudian dapat dihitung nilai regangan yang

dapat dilihat pada tabel 5. Diperoleh data regangan paling besar hingga paling kecil dari kedua jenis kait berturut-turut adalah *Crane Hook* Baja AISI 1045 sebesar 0.625×10^{-4} dan Regangan *Crane Hook* Baja ST 37 sebesar 0.606×10^{-4} .

Deformasi terjadi sebagai akibat material menerima gaya atau beban. Sekecil apapun beban yang bekerja, material akan mengalami regangan dan perubahan bentuk serta ukuran. Semakin rendah nilai deformasi, maka semakin kuat suatu material. Nilai deformasi berbanding lurus dengan besarnya nilai tegangan maksimum (*maximum principal stress*) pada kedua jenis *crane hook*. Dari data-data yang diperoleh dapat diketahui bahwa semakin besar tegangan normal maksimum (*maximum principal stress*) yang timbul akibat adanya pembebanan maka akan semakin besar pula kemungkinan kegagalan yang terjadi dan defleksi yang akan terbentuk.

Dari data Tegangan *von mises* maka dapat dihitung nilai *safety factor* kedua jenis *crane hook* yaitu *Crane Hook* Baja AISI 1045 dan *Crane Hook* Baja ST 37 diperoleh data bahwa *Crane Hook* Baja AISI 1045 memiliki nilai *safety factor* lebih kecil dari *Crane Hook* Baja ST 37. Dari data ini dimaksudkan bahwa kerja *Crane Hook* Baja AISI 1045 daripada kerja *Crane Hook* Baja ST 37 pada pembebanan 20 Ton atau 196200 N, *Crane Hook* Baja ST 37 memiliki peluang lebih besar terjadinya kegagalan kerja. Nilai *safety factor* dalam penelitian ini memiliki nilai yang bagus, menurut teori Mott untuk perancangan struktur yang menerima beban statis dengan tingkat kepercayaan tinggi nilai *safety factor*-nya adalah 1,25 hingga 2,0. Berdasarkan data *safety factor* yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa kedua *crane hook* berbahan material tersebut memiliki tingkat kepercayaan tinggi dalam keamanan struktur.

Berdasarkan hasil dari simulasi yang dilakukan bahwa ada sedikit perbedaan antara *crane hook* baja AISI 1045 dan *crane hook* baja ST 37, hal ini terlihat pada nilai tegangan, nilai regangan, nilai deformasi dan nilai *safety factor* dari *crane hook* baja AISI 1045 dan *crane hook* baja ST 37. Didapat bahwa tegangan yang terjadi pada bagian kritis *crane hook* baja AISI 1045 dan *crane hook* ST 37, dimana nilai tegangan akibat pembebanan yang dialami material kedua *crane*

hook tersebut jauh lebih kecil dari tegangan luluh kedua material tersebut yaitu sebesar 310 MPa dan *crane hook* baja ST 37 adalah 325 MPa. Dari perbandingan semua data tersebut dapat dikatakan bahwa kedua *crane hook* tersebut dalam keadaan “aman” untuk digunakan dalam pembebanan 20 ton atau 20.000 kg.

Dari perbandingan kedua *crane hook* tersebut dapat diketahui bahwa *crane hook* baja ST 37 lebih lemah dari baja AISI 1045, sehingga *crane hook* baja ST 37 lebih mudah mengalami kegagalan fungsi dibanding *crane hook* baja AISI 1045. Baja *crane hook* baja AISI 1045 memiliki kandungan karbon dari material lebih tinggi dibanding *crane hook* baja ST 37. Pertambahan kandungan karbon ini meningkatkan kekuatan material baja.

Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil diperoleh menggunakan *software* metode elemen hingga dan analisis yang telah dilakukan terhadap nilai tegangan, regangan, deformasi dan *safety factor* maka diambil kesimpulan bahwa kedua material *crane hook* tersebut masih dalam batas aman pada pembebanan 20.000 kg atau 20 ton. Dan berdasarkan nilai *safety factor* penggunaan *crane hook* baja ST 37 lebih mudah mengalami kegagalan fungsi dibanding dengan *crane hook* baja AISI 1045

Saran

Saran yang dapat diberikan adalah :

1. Untuk analisa menggunakan *software* elemen hingga (Elmer) sebaiknya diperhatikan proses *meshing*, dikarenakan semakin kecil bagian *meshing* yang terbentuk maka akan semakin mendekati nilai sebenarnya.
2. Pada saat membuat geometri *crane hook* sebaiknya memperhatikan gambar secara detail agar perhitungan akan menjadi semakin lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Agus, Chiron Moch. 2014. *Modul Ajar Metode Elemen Hingga*. Universitas Brawijaya.

2. Mustofa,Zainal.2016. *Analisa Pengaruh Pendingin Terhadap Kekerasan Bahan Aisi 1045 Pada Proses Heat Treatment*. Kediri : UN PGRI. Skripsi.
3. Kirono, Sasi dan Azhari Amri. 2009. *Pengaruh Tempering Pada Baja St 37 Yang Mengalami Karburasi Dengan Bahan Padat Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro*. Universitas Muhammadiyah Jakarta.
4. Kurniawan, Anggi.2014. *Analisa Kekuatan Struktur Crane Hook Dengan Perangkat Lunak Elemen Hingga Untuk Pembebanan 20 Ton*.Universitas Bengkulu.
5. Ibit.Fauzi, Helmi. 2013. *Analisis Tegangan Pada Frame Mobil Listrik Sinosi Menggunakan Metode Elemen Hingga* . Skripsi.
6. Susatio, Yerri. 2004. *Dasar – dasar Metode Elemen Hingga*. Yogyakarta
7. Mustofa,Zainal.2016. *Analisa Pengaruh Pendingin Terhadap Kekerasan Bahan Aisi 1045 Pada Proses Heat Treatment*. Kediri : UN PGRI. Skripsi
8. Junaidi .2018. *Karakteristik Material Baja At 37 dengan Temperatur dan waktu Pada Uji Heat Treatment Menggunakan Furnace*. Unibersitas Harapan Medan
9. Wijatmaja Puja, IGN. 2008. *Elemen Mesin 1*. ITB : Departemen Teknik Mesin.
10. Awali, Jatmoko. 2013. *Analisa kegagalan poros dengan pendekatan metode elemen hingga*. Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Metro.
11. Agus, Chiron Moch. 2014. *Modul Ajar Metode Elemen Hingga*. Universitas Brawijaya.
12. Wiratama, Joseph Rama dan Soeharsono. 2012. *Perancangan Semi Gantry Crane Kapasitas 10 Ton Dengan Bantuan Software*. Skripsi.
13. AZom. 2012. *AISI 1045 Medium Carbon*.Sumber : <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6130> (diakses 25 November 2018).
14. Hebei-Jinshi. 2015. *ST37-2 Carbon Steel*. Sumber : [.https://www.steel-sections.com/steelsections/st37-2-angle-steel.html](https://www.steel-sections.com/steelsections/st37-2-angle-steel.html) (diakses 25 November 2018)