

Analisis kekuatan dan Safe Working Load (SWL) pada single crane hook menggunakan SolidWorks

Zikri amal bhakti^{a,*}, Subekti^b

^aProgram Studi Teknik mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana
Jakarta, Indonesia

*Email: zikriamalbhaktii@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.23969/ksjme.v1i2.28230>

Abstract

The use of crane hooks in lifting operations requires special attention to structural strength and safety factors to prevent potentially fatal failures. This study aims to analyze the strength and determine the Safe Working Load (SWL) of a single crane hook with three cross-sectional variations: trapezoidal, circular, and rectangular. The Finite Element Method (FEM) was applied using SolidWorks 2018, and the results were validated through manual calculations. The material used was DIN 34CrNiMo6 alloy steel with a uniformly applied 5 Ton or 49.050 N load. The trapezoidal section showed the best performance, with a maximum stress of 720.44 MPa, deformation of 1.47 mm, a safety factor of 1.34, and a SWL of 13,573.61 N (1,383.65 kg). The rectangular section produced a maximum stress of 793.64 MPa, a deformation of 1.63 mm, a safety factor of 1.21, and a SWL of 11,965.24 N (1,219.70 kg). Meanwhile, the circular section showed the lowest performance, with a stress of 1,072.27 MPa, a deformation of 1.88 mm, a safety factor of 0.89, and a SWL of 8,701.47 N (887.00 kg). Therefore, the trapezoidal section is recommended as the safest and most optimal design for lifting applications.

Keywords: *crane hook, Safe Working Load (SWL), Finite Element Method (FEM), SolidWorks, DIN 34CrNiMo6.*

Abstrak

Penggunaan *crane hook* dalam industri pengangkatan beban memerlukan perhatian khusus terhadap kekuatan struktural dan faktor keselamatan untuk mencegah kegagalan yang dapat berakibat fatal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan dan menentukan nilai *Safe Working Load (SWL)* pada *single crane hook* dengan tiga variasi penampang, yaitu *trapezoidal*, *rectangular*, dan *circular*. Metode yang digunakan adalah *Finite Element Method (FEM)* dengan bantuan perangkat lunak *SolidWorks 2018*, dan hasilnya divalidasi melalui perhitungan manual. Material yang digunakan adalah baja paduan DIN 34CrNiMo6, dengan beban 5 Ton atau 49050 N yang diberikan secara merata. Hasil menunjukkan bahwa penampang *trapezoidal* memiliki performa terbaik dengan tegangan maksimum 720,44 MPa, deformasi 1,47 mm, faktor keamanan 1,34, dan SWL 13.573,61 N (1.383,65 kg). Penampang *rectangular* menunjukkan tegangan maksimum 793,64 MPa, deformasi 1,63 mm, faktor keamanan 1,21, dan SWL 11.965,24 N (1.219,70 kg). Sementara itu, penampang *circular* menunjukkan tegangan maksimum 1.072,27 MPa, deformasi 1,88 mm, faktor keamanan 0,89, dan SWL 8.701,47 N (887,00 kg). Berdasarkan hasil tersebut, penampang *trapezoidal* direkomendasikan sebagai desain yang paling aman dan optimal.

Kata kunci: *crane hook, Safe Working Load (SWL), Finite Element Method (FEM), SolidWorks, DIN 34CrNiMo6.*

PENDAHULUAN

Crane merupakan sistem mekanis yang banyak digunakan dalam proses pengangkatan beban di lapangan, terdiri dari rangka, penggerak, dan *hook* sebagai pengait utama. Setiap komponen dalam sistem ini harus berfungsi secara optimal untuk menjamin keselamatan dan keandalan dalam operasi pengangkatan beban [1]. Salah satu komponen krusial adalah *crane hook*, yang berfungsi sebagai penghubung langsung antara alat angkat dan beban. Kegagalan pada *crane hook*, seperti retak, patah, atau deformasi, masih sering terjadi di lapangan, dan umumnya disebabkan oleh kesalahan dalam pemilihan desain, bentuk geometri, dan material yang tidak sesuai [2]. Untuk menjamin keselamatan kerja, desain *crane hook* harus memenuhi standar internasional dan nasional, di antaranya ASME B30.10-2019 dan Permenaker RI No. 8 Tahun 2020, yang menetapkan faktor keamanan minimal 5 kali dari beban maksimum atau *Safe Working Load* (SWL) [3][4]. Oleh sebab itu, diperlukan evaluasi menyeluruh terhadap bentuk geometri penampang *crane hook* guna menentukan desain yang paling aman dan optimal.

Berbagai studi terdahulu telah dilakukan untuk menganalisis kekuatan dan tegangan pada *crane hook* dengan pendekatan metode elemen hingga atau *Finite Element Method* (FEM). Misalnya, Severianus et al. [5] menggunakan software Elmer untuk menganalisis tegangan, regangan, dan deformasi *crane hook* dari baja AISI 1045 dan ST 37. Dika et al. [6] juga melakukan analisis menggunakan software Autodesk Inventor dan ANSYS untuk mengevaluasi deformasi dan faktor keamanan pada variasi geometri *crane hook*. Namun, penelitian-penelitian tersebut umumnya terbatas pada satu bentuk penampang dan tidak memadukan simulasi dengan validasi perhitungan manual.

Dalam penelitian ini, digunakan metode FEM melalui perangkat lunak *SolidWorks* 2018 untuk mensimulasikan tegangan dan deformasi pada *crane hook* dengan tiga variasi bentuk penampang, yaitu *trapezoidal*, *rectangular*, dan *circular*. Untuk meningkatkan akurasi, hasil simulasi divalidasi dengan perhitungan manual menggunakan pendekatan teori balok lengkung (*curved beam theory*), yang dianggap lebih relevan karena *crane hook* termasuk elemen struktural lengkung yang tidak mengikuti distribusi tegangan linier seperti pada balok lurus [7]. Penggunaan metode FEM dengan menggunakan *SolidWorks* dan ansys telah banyak dilakukan di prodi Teknik mesin universitas

mercubuana, seperti analisis frame pada alat pengubah udara menjadi air [8],[9], analisis pada struktur MEMS [10], [11], analisis struktur pada mesin pencetak pupuk tablet [12] dan simulasi pada lengan robot untuk penderita diabetes [13].

Penelitian ini menganalisis kekuatan dan menentukan *Safe Working Load* (SWL) pada *single crane hook* dengan tiga variasi penampang *trapezoidal*, *rectangular*, dan *circular* dengan kondisi pembebanan yang sama sebesar 5 Ton atau 49.050 N, menggunakan material baja DIN 34CrNiMo6. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi bentuk penampang *crane hook* yang paling optimal berdasarkan analisis kekuatan dan *Safe Working Load* (SWL) dari tiga jenis geometri yang divalidasi melalui simulasi FEM dan perhitungan manual, sesuai standar ASME B30.10-2019 dan Permenaker RI No. 8 Tahun 2020.

METODOLOGI

Gambar 1 merupakan diagram alir dari penelitian pada analisis kekuatan dan *Safe Working Load* (SWL) pada *single crane hook* menggunakan *SolidWorks*. Diagram alir tersebut menggambarkan tahapan penelitian dan analisis struktur *crane hook* yang dilakukan secara bertahap dan terintegrasi antara pemodelan, simulasi, serta validasi hasil. Proses diawali dengan tahap mulai, dilanjutkan dengan identifikasi masalah yang bertujuan untuk menentukan fokus kajian, yaitu analisis tegangan dan deformasi pada *crane hook* dengan variasi bentuk penampang. Setelah itu dilakukan studi literatur untuk memperoleh dasar teori, metode analisis, serta standar yang relevan terkait desain dan analisis *crane hook*. Tahap berikutnya adalah pengumpulan data, yang meliputi data dimensi *crane hook*, data material, dan data standar yang digunakan sebagai acuan perancangan dan analisis.

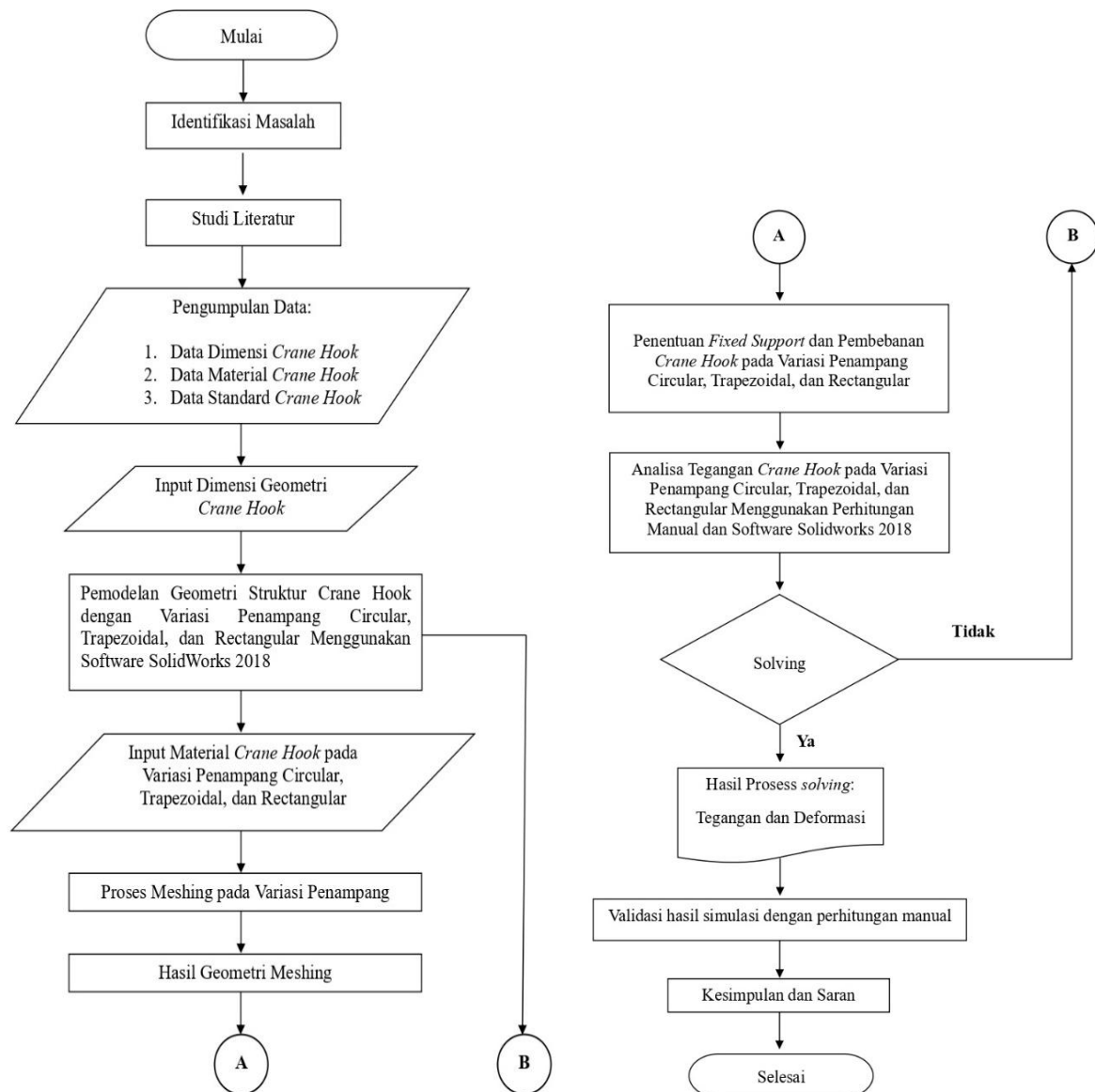
Berdasarkan data yang telah dikumpulkan, dilakukan input dimensi geometri *crane hook*, kemudian dilanjutkan dengan pemodelan geometri struktur *crane hook* menggunakan variasi penampang berbentuk *circular*, *trapezoidal*, dan *rectangular* dengan bantuan perangkat lunak *SolidWorks* 2018. Setelah pemodelan geometri selesai, dilakukan input material *crane hook* sesuai dengan variasi penampang yang dianalisis. Tahap selanjutnya adalah proses meshing, yaitu pembagian elemen hingga pada model geometri, yang bertujuan untuk mempersiapkan model agar dapat dianalisis secara numerik. Hasil dari tahap ini

adalah geometri meshing yang siap digunakan dalam proses simulasi.

Tahapan selanjutnya ditandai dengan konektor A, yang mengarahkan proses ke penentuan fixed support dan pembebanan crane hook pada masing-masing variasi penampang. Setelah kondisi batas dan pembebanan ditetapkan, dilakukan analisis tegangan crane hook pada variasi penampang circular, trapezoidal, dan rectangular menggunakan perhitungan manual serta simulasi dengan SolidWorks 2018. Proses analisis kemudian memasuki tahap solving, yaitu proses komputasi untuk memperoleh hasil simulasi. Apabila proses

solving belum berhasil, maka dilakukan perbaikan dan pengulangan hingga solusi diperoleh.

Setelah proses solving berhasil, dihasilkan hasil proses solving berupa distribusi tegangan dan deformasi pada masing-masing variasi penampang. Hasil simulasi tersebut kemudian divalidasi dengan perhitungan manual untuk memastikan keakuratan dan keandalan hasil analisis numerik. Tahap akhir penelitian adalah penarikan kesimpulan dan penyusunan saran berdasarkan hasil analisis dan validasi yang telah dilakukan, sebelum proses penelitian dinyatakan selesai.

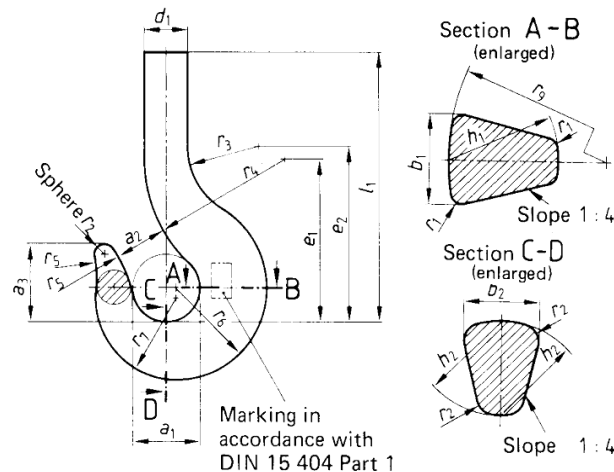


Gambar 1. Diagram alir penelitian

Dalam simulasi dan Menganalisis kekuatan struktur *single crane hook* ditentukan oleh dimensi dan material yang digunakan.

Dimensi crane hook

Dimensi *single crane hook* yang dirancang mengacu pada standar DIN 15401 Typ RSN.



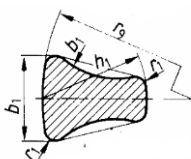
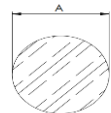
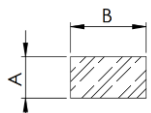
Gambar 2. Drawing single crane hook Berdasarkan DIN 15401

Tabel 1. Dimensi single crane hook berdasarkan DIN 15401

WLL (TON)	a ₁	a ₂	a ₃	b ₁	b ₂	d ₁	e ₁	e ₂	f ₁	g ₁	
5	43	34	49	29	24	24	102	108	26	10,5	
	h ₁	h ₂	l ₁	r ₁	r ₂	r ₃	r ₄	r ₅	r ₆	r ₇	r ₉
	37	31	167	4	6	48	90	90	53	48	74

Model geometri penampang *single crane hook* dengan bentuk *trapezoidal*, *rectangular*, dan *circular* dibuat dengan luas penampang yang hampir sama, yang dimensinya mengacu pada standar DIN 15401.

Tabel 2. Dimensi model single crane hook

Dimensi Model				
I. Trapezoidal				
	b ₁	h ₁	r ₉	r ₁
	(mm)			
	29	37	74	4
				Luas Penampang (mm ²)
				696,02
II. Circular				
	A			
	(mm)			
	29,77			
				Luas Penampang (mm ²)
				696,06
III. Rectangular				
	A			
	(mm)			
	18,65			
				Luas Penampang (mm ²)
				37,32
				696,018

Material crane hook

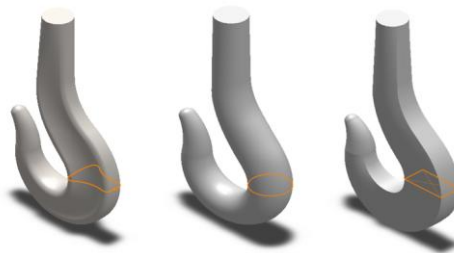
Material yang digunakan dalam ketiga model *crane hook* mengacu pada penelitian yang dijelaskan oleh Branco et al. (2019) dalam buku *Mechanical Fatigue of Metals*, yaitu DIN 34CrNiMo6.

Tabel 3. Material properties

<i>Properties</i>	<i>Value</i>
<i>Yield Strength</i>	967 MPa
<i>Ultimate Tensile Strength</i>	1035 MPa
<i>Young's Modulus</i>	209.8 GPa
<i>Poisson's Ratio</i>	0.296

Pemodelan crane hook Menggunakan Solidworks

Crane hook dimodelkan menggunakan *SolidWorks* 2018 untuk analisis tegangan dan deformasi berdasarkan dimensi yang telah ditentukan.



Gambar 2. Model 3D crane hook

Meshing sensitivity

Meshing sensitivity terhadap tiga model *crane hook* dengan penampang *trapezoidal*, *rectangular*, dan *circular* analisis sensitivitas dipilih menggunakan ukuran mesh 4 mm.

Tabel 4. Meshing sensitivity crane hook penampang trapezoidal

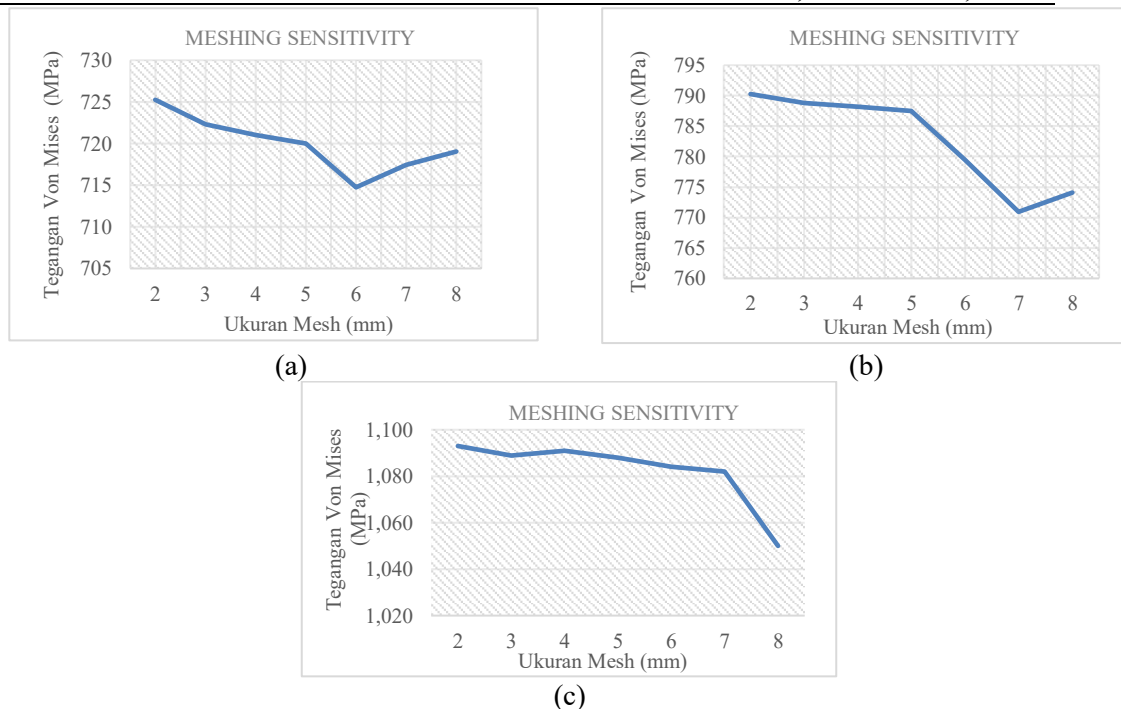
Ukuran Mesh	Nodes	Element	Tegangan von Mises (MPa)	Deformasi Total (mm)	Diff (%)
2	212223	147307	725,25	0,901	-
3	70031	47181	722,29	0,901	0,41%
4	35613	23242	721,01	0,901	0,18%
5	18261	11584	719,99	0,899	0,14%
6	12547	7768	714,74	0,878	0,73%
7	11058	6775	717,42	0,9	0,37%
8	9409	5733	719,02	0,898	0,22%

Tabel 5. Meshing sensitivity crane hook penampang rectangular

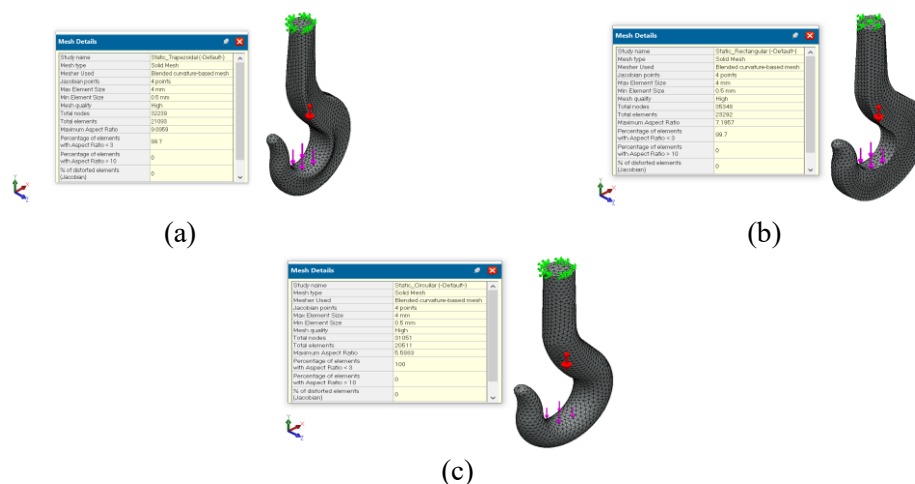
Ukuran Mesh	Nodes	Element	Tegangan von Mises (MPa)	Deformasi Total (mm)	Diff (%)
2	239530	167219	790,26	0,919	-
3	78232	53102	788,75	0,918	0,19%
4	35348	23292	788,14	0,918	0,08%
5	20135	12969	787,48	0,918	0,08%
6	12198	7643	779,41	0,918	1,02%
7	7527	4534	770,93	0,917	1,09%
8	5083	2980	774,09	0,917	0,41%

Tabel 6. Meshing sensitivity crane hook penampang circular

Ukuran Mesh	Nodes	Element	Tegangan von Mises (MPa)	Deformasi Total (mm)	Diff (%)
2	196307	136387	1.093	1,42	-
3	67420	45692	1.089	1,42	0,37%
4	31051	20511	1.091	1,42	0,18%
5	16885	10864	1.088	1,42	0,27%
6	10351	6489	1.084	1,42	0,37%
7	6678	4070	1.082	1,42	0,18%
8	4576	2705	1.050	1,41	2,96%



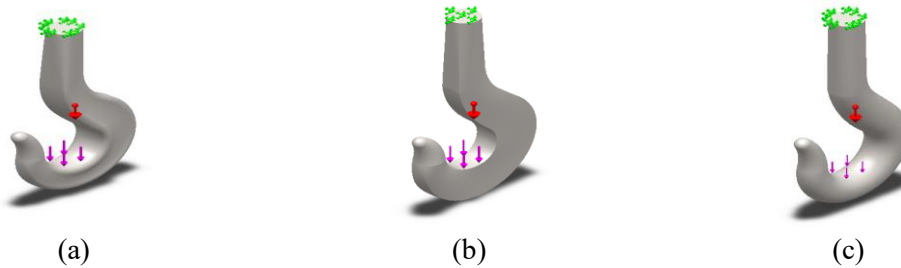
Gambar 3. Grafik meshing sensitivity dari model crane hook dengan penampang (a) trapezoidal (b) rectangular, dan (c) circular



Gambar 4 Hasil meshing model crane hook penampang ukuran mesh 4 mm penampang (a) trapezoidal (b) rectangular, dan (c) circular

Beban dan Kondisi Batas

Kondisi batas pada tiga jenis penampang *crane hook* diberi perlakuan yang sama, yaitu dengan penerapan beban eksternal sebesar 5 Ton atau 49.050 N yang ditunjukkan oleh panah ungu, serta gaya gravitasi sebesar 9,81 m/s² yang divisualisasikan dengan panah merah ke bawah. Sementara itu, tumpuan tetap (*fixed support*) diberikan pada bagian atas *crane hook*, yang ditunjukkan dengan warna hijau, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kondisi pembebanan dan tumpuan *crane hook* penampang (a) *trapezoidal* (b) *rectangular*, dan (c) *circular*

Teori dan perhitungan balok lengkung

Crane hook dianalisis sebagai balok lengkung dengan distribusi tegangan hiperbolik dan sumbu netral yang bergeser dari pusat penampang, untuk menentukan lokasi sumbu netral pada balok lengkung, dapat dilihat persamaan (1) [7], [2].

$$R = \frac{A}{\int_A \frac{dA}{r}} \quad (1)$$

Tegangan normal pada permukaan dalam dihitung menggunakan pendekatan balok lengkung, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (2) [7], [2].

$$\sigma_i = \frac{Mc_i}{Aer_i} \quad (2)$$

Sedangkan untuk tegangan normal pada permukaan luar dihitung menggunakan pendekatan balok lengkung, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (3) [7], [2].

$$\sigma_o = \frac{Mc_o}{Aer_o} \quad (3)$$

Tegangan total σ_{total} pada penampang *crane hook* merupakan penjumlahan antara tegangan normal $\sigma_{i/o}$ dan tegangan geser τ , dirumuskan pada persamaan (4) [7], [2].

$$\sigma_{total} = \sigma_{i/o} + \tau \quad (4)$$

Untuk tegangan tarik dihitung menggunakan persamaan (5) [7], [2].

$$\sigma_t = \frac{p}{A} \quad (5)$$

Factor of safety (FOS) dan Safe Working Load (SWL)

Factor of Safety (FOS) digunakan untuk menentukan tingkat keamanan *crane hook* terhadap beban kerja, nilai Factor of Safety (FOS) dihitung menggunakan persamaan (6) [7], [3].

$$FOS = \frac{\sigma_{izin}}{\sigma_{total}} \quad (6)$$

Berdasarkan nilai Factor of Safety (FOS), dapat dihitung Safe Working Load (SWL) sebagai batas aman beban yang dapat diangkat tanpa menyebabkan kegagalan struktur, menggunakan persamaan (7) [7], [4], [3].

$$SWL = \frac{\text{Beban Maksimum}}{FOS} \quad (7)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan manual

Hasil perhitungan manual pada *crane hook* dengan menggunakan teori balok lengkung untuk tiga jenis penampang, dapat dilihat pada tabel 7, 8, dan 9.

Tabel 7. Perhitungan tegangan *crane hook* penampang trapezoidal

No	Keterangan	Nilai	Unit
1	Beban (P)	49050	N
2	Luas Penampang (A)	696,02	mm ²
3	Radius penampang dalam (r _i)	21,5	mm
4	Radius penampang luar (r _o)	55,65	mm
Dimensi Penampang:			
5	h	37	mm
	bo	16	mm
	bi	29	mm
6	Radius sumbu pusat (r _c)	38,22	mm
7	Radius sumbu netral (r _n)	35,44	mm
8	Jarak dari sumbu pusat ke sumbu netral (e)	2,78	mm
9	Jarak dari sumbu netral ke penampang luar (c _o) (r _o - r _n)	20,21	mm
10	Jarak dari sumbu netral ke penampang dalam (c _i) (R _n -R _i)	13,94	mm
11	Momen bending pada Section A (M ₁) (P. rc)	1874618,33	N.mm
12	Tegangan Normal (σ _i)	628,404	MPa
13	Tegangan Tarik (σ _t)	70,472	MPa
14	Tegangan total (σ _T)	698,876	MPa

Tabel 8. Perhitungan tegangan *crane hook* penampang rectangular

No	Keterangan	Nilai	Unit
1	Beban (P)	49050	N
2	Luas Penampang (A)	696,02	mm ²
3	Radius penampang dalam (r _i)	21,5	mm
4	Radius penampang luar (r _o)	58,5	mm
5	Dimensi Penampang:		
	h	37,32	mm
6	Radius sumbu pusat (r _c)	40,16	mm

No	Keterangan	Nilai	Unit
7	Radius sumbu netral (r_n)	37,28	mm
8	Jarak dari sumbu pusat ke sumbu netral (e)	2,88	mm
9	Jarak dari sumbu netral ke penampang luar (c_o) ($r_o - r_n$)	21,22	mm
10	Jarak dari sumbu netral ke penampang dalam (c_i) ($R_n - R_i$)	15,78	mm
11	Momen bending pada Section A (M_1) ($P \cdot r_c$)	1969848	N.mm
12	Tegangan Normal (σ_i)	722,347	N/mm ²
13	Tegangan Tarik (σ_t)	70,472	N/mm ²
14	Tegangan total (σ_T)	792,819	N/mm ²

Tabel 9. Perhitungan tegangan crane hook penampang circular

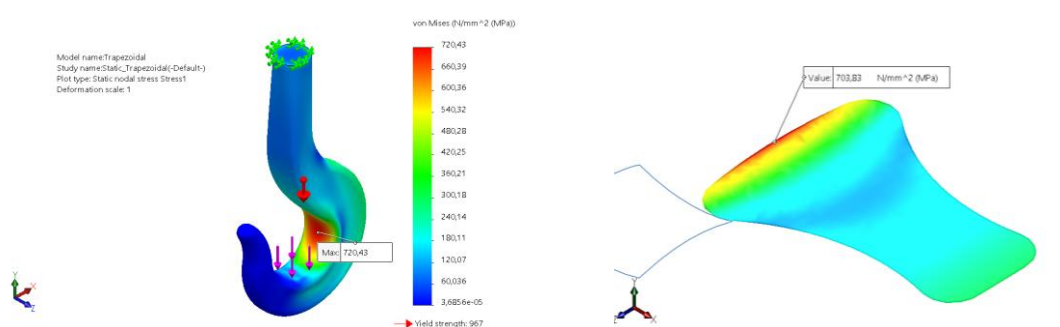
No	Keterangan	Nilai	Unit
1	Beban (P)	49050	N
2	Luas Penampang (A)	696,02	mm ²
3	Radius penampang dalam (r_i)	21,5	mm
4	Radius penampang luar (r_o)	51,27	mm
5	Dimensi Penampang:		
	R	14,885	mm
6	Radius sumbu pusat (r_c)	36,39	mm
7	Radius sumbu netral (r_n)	34,79	mm
8	Jarak dari sumbu pusat ke sumbu netral (e)	1,59	mm
9	Jarak dari sumbu netral ke penampang luar (c_o) ($r_o - r_n$)	16,48	mm
10	Jarak dari sumbu netral ke penampang dalam (c_i) ($R_n - R_i$)	13,29	mm
11	Momen bending pada Section A (M_1) ($P \cdot r_c$)	1784684,25	N.mm
12	Tegangan Normal (σ_i)	995,813	N/mm ²
13	Tegangan Tarik (σ_t)	70,472	N/mm ²
14	Tegangan total (σ_T) = ($\sigma_i + \sigma_t$)	1066,285	N/mm ²

Hasil Analisis tegangan menggunakan Solidworks

Analisis tegangan statis pada software *SolidWorks* menggunakan kriteria simulasi *von Mises stress*.

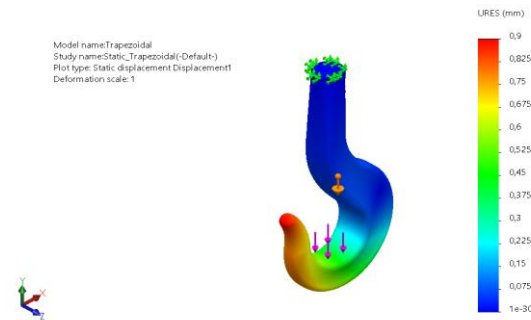
Penampang trapezoidal

Hasil simulasi menunjukkan tegangan maksimum *von Mises* sebesar 720,43 MPa pada struktur *crane hook* dan 703,83 MPa pada penampang, masih di bawah tegangan luluh material (967 MPa), sehingga dinyatakan aman. Kontur tegangan memperlihatkan area tegangan tinggi (merah) dan rendah (biru), yang ditunjukkan pada gambar 6.



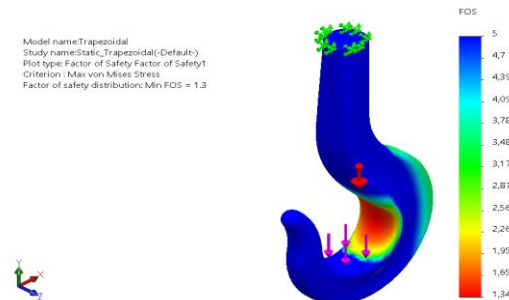
Gambar 6. Tegangan von Mises pada crane hook penampang trapezoidal

Sementara itu, hasil simulasi deformasi total menunjukkan perpindahan maksimum sebesar 0,9 mm, terjadi di ujung bawah *hook* yang langsung menerima beban, Hasil dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Deformasi total pada crane hook penampang trapezoidal

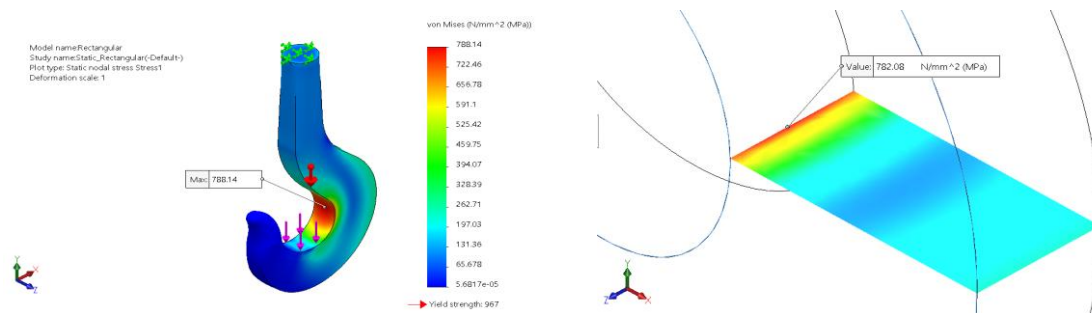
Dari keseluruhan simulasi, diperoleh nilai minimum faktor keamanan (*safety factor*) sebesar 1,34, yang berada pada area dengan tegangan maksimum. Distribusi faktor keamanan ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Factor of safety (FOS) pada crane hook penampang trapezoidal

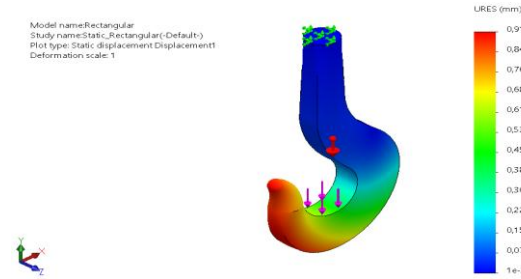
Penampang rectangular

Hasil simulasi menunjukkan tegangan maksimum *von Mises* sebesar 708,14 MPa pada struktur *crane hook* dan 782,08 MPa pada penampang, masih di bawah tegangan luluh material (967 MPa), sehingga dinyatakan aman. Kontur tegangan memperlihatkan area tegangan tinggi (merah) dan rendah (biru), yang ditunjukkan pada gambar 9.



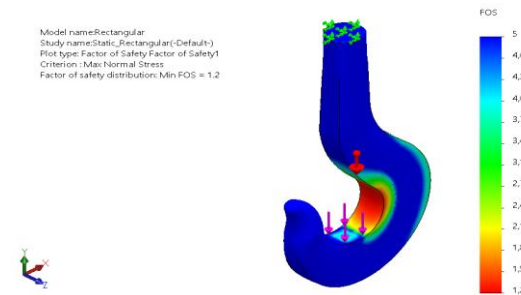
Gambar 9. Tegangan von Mises pada crane hook penampang rectangular

Sementara itu, hasil simulasi deformasi total menunjukkan perpindahan maksimum sebesar 0,918 mm, terjadi di ujung bawah *hook* yang langsung menerima beban, Hasil dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Deformasi total pada crane hook penampang rectangular

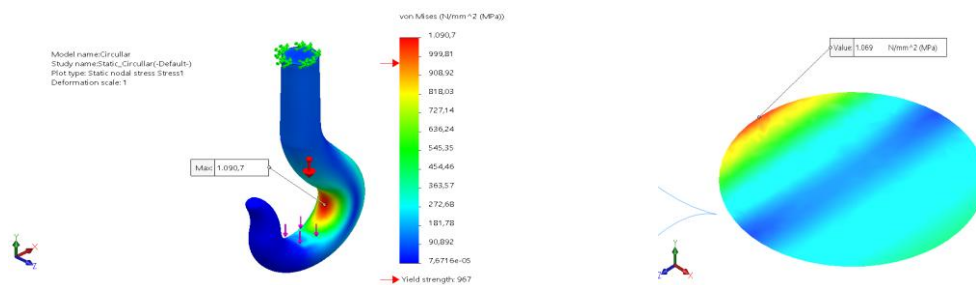
Dari keseluruhan simulasi, diperoleh nilai minimum faktor keamanan (*safety factor*) sebesar 1,21, yang berada pada area dengan tegangan maksimum. Distribusi faktor keamanan ditampilkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Factor of safety (FOS) pada crane hook penampang rectangular

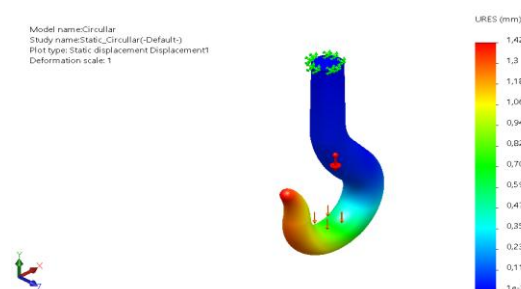
Penampang circular

Hasil simulasi menunjukkan tegangan maksimum *von Mises* sebesar 1090,7 MPa pada struktur *crane hook* dan 1069 MPa pada penampang. Kedua nilai berada di atas batas tegangan luluh material, yaitu 967 MPa, yang mengindikasikan bahwa desain mengalami kegagalan plastis. Kontur tegangan memperlihatkan area tegangan tinggi (merah) dan rendah (biru), yang ditunjukkan pada gambar 12.



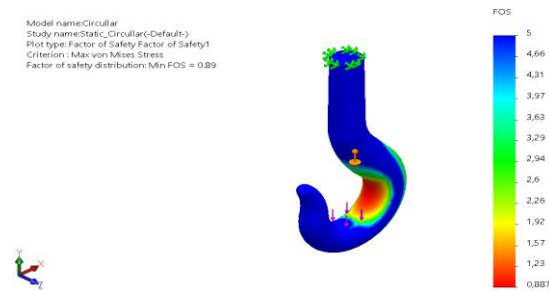
Gambar 9. Tegangan von Mises pada crane hook penampang circular

Sementara itu, hasil simulasi deformasi total menunjukkan perpindahan maksimum sebesar 1,42 mm, terjadi di ujung bawah *hook* yang langsung menerima beban, Hasil dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Deformasi total pada crane hook penampang circular

Dari keseluruhan simulasi, diperoleh nilai minimum faktor keamanan (*safety factor*) sebesar 0,887, yang berada pada area dengan tegangan maksimum. Distribusi faktor keamanan ditampilkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Factor of safety (FOS) pada crane hook penampang circular

Perbandingan hasil simulasi SolidWorks dengan perhitungan manual

Hasil perbandingan analisis tegangan pada crane hook menunjukkan bahwa selisih antara perhitungan manual dan simulasi SolidWorks 2018, memiliki nilai error di bawah 5%. Hal ini mengindikasikan bahwa hasil simulasi cukup akurat dan sebanding dengan perhitungan manual, hasil nilai error dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. Validasi nilai nilai tegangan penampang crane hook

Penampang	Nilai Tegangan Penampang		Error (%)
	Perhitungan Manual (MPa)	Software Solidworks 2018 (MPa)	
<i>Trapezoidal</i>	698,876	703,83	0,7%
<i>Rectangular</i>	792,819	782,08	1,4%
<i>Circular</i>	1066,285	1069	0,3%

Factor of safety (FOS) & Safe Working Load (SWL)

Evaluasi terhadap faktor keamanan (FOS) dilakukan melalui perhitungan manual dan simulasi *SolidWorks* 2018. Sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11. *Factor of safety* (FOS) crane hook dengan variasi penampang

Penampang	Factor of safety (FOS)	
	Perhitungan Manual	Solidworks 2018
<i>Trapezoidal</i>	1,38	1,34
<i>Rectangular</i>	1,22	1,21
<i>Circular</i>	0,91	0,89

Penampang *trapezoidal* menunjukkan margin keamanan tertinggi, sedangkan penampang *circular* memiliki FOS di bawah 1, yang mengindikasikan bahwa desain tersebut tidak aman untuk menahan beban maksimum sebesar 49.050 N. Perhitungan SWL yang mengacu pada Permenaker No. 8 Tahun 2020 yang menetapkan faktor keamanan minimum 5:1. Nilai SWL tiap penampang ditunjukkan pada Tabel 12.

Tabel 12. Nilai SWL untuk penggunaan aktual crane hook pada setiap variasi penampang

Penampang	SWL	
	(N)	(kg)
<i>Trapezoidal</i>	13573,61	1383,65

Penampang	SWL	
	(N)	(kg)
<i>Rectangular</i>	11965,24	1219,698
<i>Circular</i>	8701,47	887

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, tegangan maksimum pada penampang *trapezoidal*, *rectangular*, dan *circular* hasil perhitungan manual dengan teori batang lengkung diperoleh sebesar 720,44 MPa, 793,64 MPa, dan 1.072,27 MPa. Hasil simulasi menggunakan *SolidWorks* 2018 menghasilkan tegangan maksimum masing-masing sebesar 703,83 MPa, 782,08 MPa, dan 1.069 MPa, dengan nilai deformasi sebesar 0,9 mm, 0,918 mm, dan 1,42 mm. Selisih antara hasil manual dan simulasi menunjukkan nilai error terkecil sebesar 0,3% dan terbesar 2,3%, yang menunjukkan bahwa simulasi memiliki tingkat akurasi yang baik dan valid untuk analisis desain. Namun, penampang *circular* melebihi batas tegangan luluh material DIN 34CrNiMo6 sebesar 967 MPa dan memiliki faktor keamanan (FOS) sebesar 0,89, yang mengindikasikan kegagalan plastis. Sementara itu, nilai FOS yang diperoleh untuk penampang *trapezoidal* dan *rectangular* masing-masing sebesar 1,34 dan 1,21, yang masih berada di bawah standar minimum faktor keamanan 5 berdasarkan ASME B30.10 dan Permenaker No. 8 Tahun 2020. Setelah disesuaikan dengan standar tersebut, diperoleh nilai *Safe Working Load* (SWL) sebesar 13.573,61 N (1.383,65 kg) untuk penampang *trapezoidal*, 11.965,24 N (1.219,70 kg) untuk *rectangular*, dan

8.701,47 N (887,00 kg) untuk *circular*. Berdasarkan seluruh hasil tersebut, penampang *trapezoidal* memiliki tegangan kerja yang paling rendah, deformasi paling kecil, faktor keamanan tertinggi, serta nilai SWL terbesar, sehingga dapat disimpulkan sebagai desain *crane hook* yang paling aman dan optimal untuk digunakan dalam aplikasi pengangkatan beban.

KONTRIBUSI PENULIS

Zikri Amal Bhaktia berkontribusi dalam perumusan konsep dan tujuan penelitian, pemodelan geometri *single crane hook*, penentuan parameter pembebanan dan kondisi batas, serta pelaksanaan simulasi kekuatan dan analisis *Safe Working Load* (SWL) menggunakan perangkat lunak *SolidWorks*. Selain itu, penulis pertama bertanggung jawab atas analisis hasil simulasi, interpretasi data, serta penyusunan draf utama naskah. Subekti berkontribusi dalam studi literatur terkait analisis kekuatan struktur dan standar keselamatan *crane hook*, validasi hasil simulasi melalui pendekatan teoritis atau perhitungan pendukung, serta penelaahan dan penyempurnaan naskah secara kritis untuk memastikan ketepatan metodologi, konsistensi ilmiah, dan kejelasan penyajian hasil. Seluruh penulis telah membaca dan menyetujui versi akhir naskah yang diajukan untuk publikasi.

REFERENSI

- [1] Rudenko, N. (1964). *Mesin Pengangkat*. Erlangga.
- [2] Onur, Y. A. (2018). "Computer Aided Lifting Hook Modeling and Stress Analysis", *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (Journal of Science and Technology)*.
- [3] ASME B30.10-2019. *Hooks Safety Standard*. The American Society of Mechanical Engineers, New York.
- [4] Permenaker RI No. 8 Tahun 2020. *Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pesawat Angkat dan Angkut*. Kementerian Ketenagakerjaan Republik Indonesia.
- [5] Wunda, S., Johannes, A. Z., Pingak, R. K., & Ahab, A. S. (2019). Analisis Tegangan, Regangan dan Deformasi Crane Hook dari Material Baja Aisi 1045 dan Baja St 37 Menggunakan Software Elmer. *Jurnal Fisika*, 4.
- [6] J. W. Dika, A. Suwito, S. Sunardi, & T. Sugiarti, "Analisis Deformation, Stress, dan Safety Factor pada Geometric Properties Crane Hook," *Jurnal Transmisi*, vol. 18, no. 1, pp. 11–18, 2022.
- [7] Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (8th ed.). McGraw-Hill.
- [8] Ishlah, N. W., Rega, S. J., Rohman, T., & Subekti, S. (2024). Analysis of air-to-water converter frame using ANSYS simulation. *JTTM: Jurnal Terapan Teknik Mesin*, 5(2), 271-276.
- [9] Rohman, T., Ishlah, N. W., Rega, S. J., & Subekti, S. (2024). Arduino performance in control

- systems for converting air-to-water. *JTTM: Jurnal Terapan Teknik Mesin*, 5(2), 241-249.
- [10] Indah, N., Yunas, J., Hamzah, A. A., Latif, R., Khaerudini, D. S., & Subekti. (2024, September). Analyzing the vibration and mechanical properties of the MEMS membrane with planar spring arms design for energy harvesting. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 3115, No. 1, p. 060002). AIP Publishing LLC.
- [11] Suryadi, A., Subekti, S., & Indah, N. (2024). Investigation of harvesting energy vibrations due to the feed process on milling machines. *JTTM: Jurnal Terapan Teknik Mesin*, 5(1), 83-89.
- [12] Nugroho, P. A., Subekti, S., & Iswahyudi, A. (2023). Design of organic fertilizer pellet machine with a capacity of 170.90 Kg/Hour using verein deutscher ingenieure 2222 method. *JTTM: Jurnal Terapan Teknik Mesin*, 4(2), 163-171.
- [13] Setiawan, A. B., & Hammid, A. (2019, December). Simulation of robot arm for diabetes mellitus patients. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1424, No. 1, p. 012041). IOP Publishing.