

Studi Komparatif Mesh Hexahedral dan Tetrahedral pada Analisis Statis Crane Hook dengan ANSYS

Pramudya Febrianto^{1*}, M. Ghulam Muzakki¹, dan Azhari Sastranegara¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Universitas Presiden, Jababeka, Cikarang Utara, Jawa Barat, 17530, Indonesia
*pramudya.febrianto@student.president.ac.id

Abstract: In the process of moving goods, a crane hook is required as a heavy load attachment. To ensure the structural integrity and safety of the crane hook, design and analysis involving complex calculations and simulations are necessary to predict its behavior under specific load conditions and limitations. This research aims to determine the effectiveness of hexahedral and tetrahedral meshes in the static analysis of a crane hook using ANSYS software. The analysis process involves creating a crane hook model and applying different meshing techniques. The results of the analysis are compared to assess the accuracy and computational efficiency of each meshing technique. The findings of this research will make a significant contribution to the development of more accurate and efficient methods for analyzing crane hooks, thereby enhancing the safety and performance of this critical component in various industrial applications. The study utilizes various types of meshes, both low and high order, demonstrating their different capabilities in capturing stress distributions in complex structures such as crane hooks. Tetrahedral meshes of both low and high order provide similar results with good computational efficiency compared to low-order hexahedral meshes. Although high-order hexahedral meshes produce a more linear stress distribution, they require longer computational time. Furthermore, the research indicates that the choice of mesh type should be based on specific criteria of the analyzed case, considering the trade-off between result accuracy and computational efficiency.

Keywords: Crane hook; Static analysis; ANSYS

Abstrak: Dalam proses pemindahan barang, hook crane diperlukan sebagai pengait beban berat. Untuk memastikan integritas struktural dan keamanan *hook crane*, diperlukan desain dan analisis yang melibatkan perhitungan serta simulasi rumit guna memprediksi perilakunya dalam menangani beban tertentu dan kondisi terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keefektifan *mesh hexahedral* dan *tetrahedral* dalam analisis statis *hook crane* menggunakan *software ANSYS*. Proses analisis melibatkan pembuatan model *hook crane* dan penerapan teknik *meshing* yang berbeda. Hasil analisis dibandingkan untuk menilai keakuratan dan efisiensi waktu komputasi dari masing-masing teknik *meshing*. Temuan penelitian ini akan memberikan kontribusi penting dalam pengembangan metode yang lebih akurat dan efisien untuk menganalisis *hook crane*, meningkatkan keamanan dan kinerja komponen penting ini dalam berbagai aplikasi industri. Penelitian ini menggunakan berbagai jenis *mesh*, baik orde rendah maupun orde tinggi, dan menunjukkan kemampuan yang berbeda dalam menangkap distribusi tegangan pada struktur geometri *hook crane*. *Mesh tetrahedral* orde rendah dan tinggi memberikan hasil yang serupa dengan efisiensi komputasi yang baik dibandingkan dengan *mesh hexahedral* orde rendah. Meskipun *mesh hexahedral* orde tinggi menghasilkan distribusi tegangan yang lebih linear, penggunaannya memerlukan waktu komputasi yang lebih lama. Selain itu, penelitian ini menunjukkan bahwa pemilihan jenis *mesh* harus didasarkan pada kriteria spesifik dari kasus yang sedang dianalisis, dengan mempertimbangkan *trade-off* antara kepresisian hasil dan efisiensi komputasi.

Kata kunci : Hook Crane; Analisis statis; ANSYS

I. PENDAHULUAN

Hook crane merupakan komponen penting dalam proses industri sebagai alat pemindah barang dengan beban berat. Membutuhkan analisis yang tepat untuk memastikan integritas struktural dan aman, untuk menghindari risiko dalam fungsi pakainya [1]. Penggunaan kait derek tersebar luas di industri yang bergerak pada bidang seperti konstruksi, perkapalan, dan manufaktur, dimana kait crane dimanfaatkan sebagai alat angkat dan alat pemindah bahan yang memiliki muatan berat [2]. Dibutuhkan desain dan analisa pengait *crane* dalam melibatkan perhitungan serta simulasi yang rumit untuk memprediksi perilakunya dalam menangani beban tertentu dan kondisi yang dibatasi.

Proses analisa desain dimulai dari membuat simulasi yaitu dengan membuat *meshing*, yang melibatkan pembagian geometri yang dibagi menjadi beberapa bagian yang kecil dimana ini disebut sebagai *mesh*. *Mesh* memiliki geometri tertentu dan saling menyambung antara suatu titik atau *node*. Dalam analisis elemen hingga, ukuran *mesh* diperhatikan dikarenakan pengaruh dari keterkaitan erat yang mempunyai Ketepatan dan jumlah *mesh* yang diperlukan untuk menyatukan elemen pada suatu objek *hook* [3][4]. *Finite element Analys (FEA)* merupakan metode numerik yang diaplikasikan untuk tahu akan batasan dan analisis dari suatu respons struktural pada objek *hook* terhadap suatu beban atau gaya yang diberikan [5].

Dalam analisis FEA, *mesh* adalah elemen penting yang mempengaruhi akurasi hasil analisis. Dalam penelitian ini, kita akan membahas tentang penggunaan *mesh hexahedral* dan *tetrahedral* dalam analisis FEA menggunakan ANSYS [6]. Membandingkan efektivitas *mesh hexahedral* dan *tetrahedral* dalam analisis statis kait crane menggunakan ANSYS, perangkat lunak analisis elemen tak hingga yang banyak diaplikasikan. Analisis *hook* menggunakan metode elemen hingga seperti ANSYS melibatkan pembuatan *mesh* yang merepresentasikan geometri *hook*. Pemilihan teknik *meshing* dapat berdampak signifikan terhadap akurasi dan efisiensi analisis.

Mesh hexahedral dan *tetrahedral* merupakan dua macam teknik *meshing* yang umum sering dimanfaatkan dalam analisis elemen hingga. *Mesh hexahedral* terdiri dari elemen *hexahedral (lower-order* dan *higher-order)*, yang sesuai untuk memodelkan sebuah struktur geometri yang kompleks dan dapat memberikan hasil yang lebih akurat. Sebaliknya, *mesh tetrahedral* tersusun dari elemen-elemen *tetrahedral (lower-order* dan *higher-order)* yang sering digunakan untuk memodelkan geometri yang kompleks dengan permukaan yang melengkung atau tidak beraturan [7]. Kedua teknik *meshing* tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan, dan pilihan di antara keduanya bergantung pada persyaratan spesifik pada analisa desain *hook* ini.

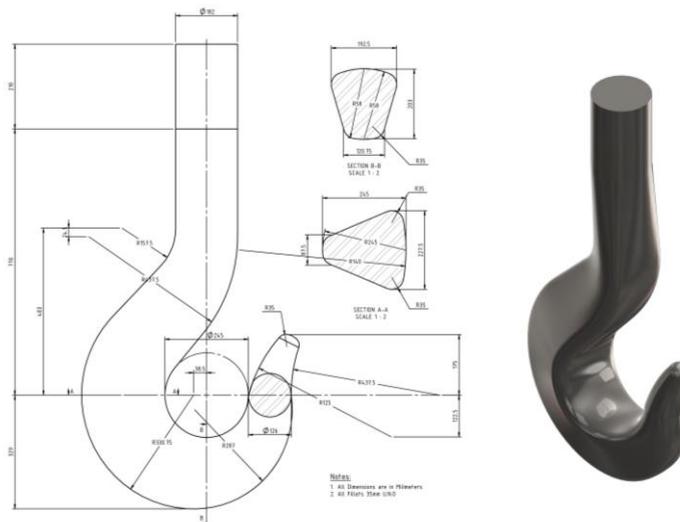
Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki keefektifan *mesh hexahedral* dan *tetrahedral* dalam analisis statis *hook* menggunakan ANSYS. Analisis akan melibatkan pembuatan model *hook crane* menggunakan ANSYS dan kemudian menerapkan teknik *meshing* yang berbeda pada model tersebut. Hasil analisis akan dibandingkan untuk menentukan teknik *meshing* mana yang memberikan hasil yang lebih akurat dan lebih efisien dalam hal waktu komputasi. Temuan dari penelitian ini akan berkontribusi pada pengembangan metode yang lebih akurat dan efisien untuk menganalisis *hook crane*, yang pada akhirnya akan meningkatkan keamanan dan keandalan komponen penting ini dalam berbagai aplikasi industri dalam penggunaan alat pemindah bahan.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis komparatif antara *mesh hexahedral* dan *tetrahedral* pada *hook crane* dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS Workbench. Proses penelitian ini dirancang melalui beberapa tahapan utama untuk menjamin keakuratan dan validitas hasil yang diperoleh. Tahapan metode penelitian tersebut adalah sebagai berikut:

1. Desain

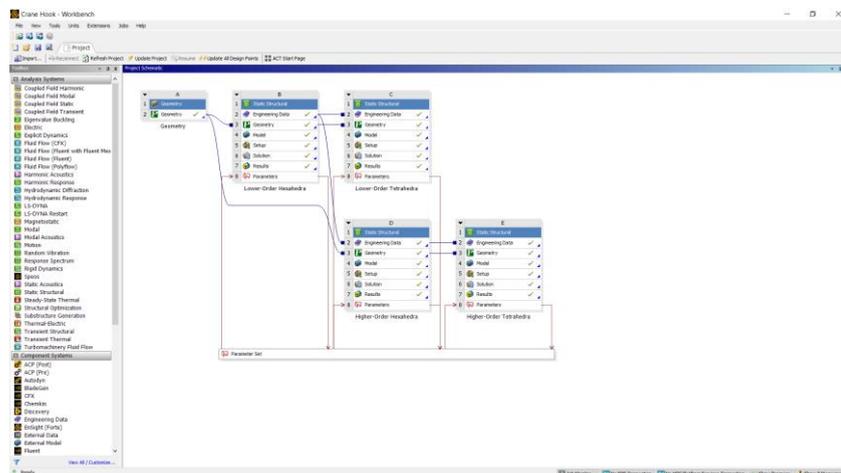
Proses penelitian dimulai dengan tahap desain *hook crane*. Mengacu pada standar industri dan kebutuhan spesifik, model *hook crane* dirancang menggunakan software SolidWorks 2022 SP5. Setiap aspek desain dipertimbangkan dengan seksama untuk memastikan kesesuaian geometri, kekuatan struktural, dan fungsi operasional yang optimal.



Gambar 1. Desain Hook Crane

2. ANSYS Workbench

ANSYS Workbench, sebuah platform simulasi yang dipilih untuk meneliti perbedaan antara *mesh hexahedral* dan *tetrahedral* dalam analisis statis *hook crane*. Perangkat lunak ini menawarkan berbagai fitur, seperti analisis struktural material, analisis perpindahan panas, dan proses *meshing*, yang relevan untuk penelitian kami. Kelebihan utama ANSYS Workbench adalah kemampuannya untuk menjalankan beberapa *solver* dalam satu paket, membuatnya efisien dalam analisis *mesh*. Dalam menggunakan alat ini, para insinyur harus mengikuti langkah-langkah tertentu, termasuk merancang, membagi *mesh*, menetapkan kondisi batas, dan membuat model matematika, untuk memastikan hasil analisis yang akurat.



Gambar 2. ANSYS Workbench

3. Material

Pada penelitian ini, Hook dibuat dari baja tempa (*Forged Steel*), yang dipilih karena kekuatan tariknya yang tinggi, ketangguhan yang baik, dan kemampuannya untuk menahan deformasi permanen, sehingga cocok untuk aplikasi beban berat dan kondisi operasi yang menuntut, serta komponen yang memerlukan ketahanan terhadap kelelahan dan ketegangan, sebagaimana dirangkum dalam tabel di bawah ini.

Tabel 1. Sifat Mekanik dari Baja Tempa

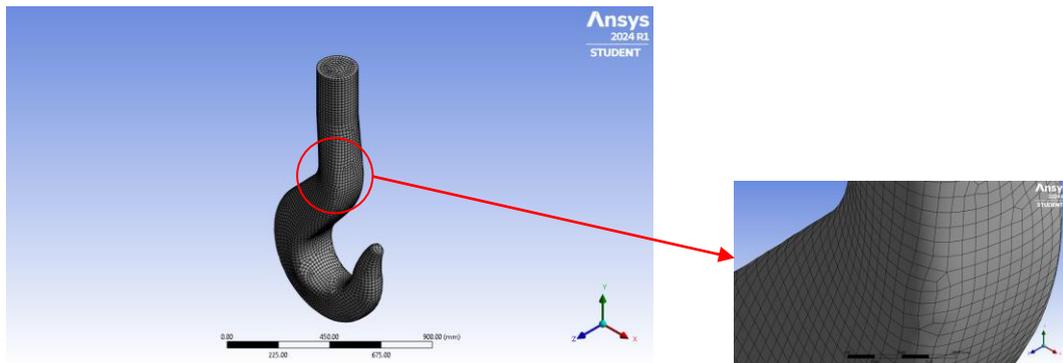
<i>Mechanical Properties</i>	<i>Value</i>
<i>Density</i>	7850 Kg/m ³
<i>Tensile Yield Strength</i>	450 MPa
<i>Young's modulus</i>	210 GPa
<i>Poisson's Ratio</i>	0.285
<i>Tensile ultimate Strength</i>	560 MPa

4. Meshing

Dalam studi komparatif ini, kami menggunakan berbagai jenis *mesh* untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi simulasi pada analisis statis *hook crane* menggunakan ANSYS. *Mesh* yang diterapkan meliputi *mesh hexahedral* orde rendah, *mesh tetrahedral* orde rendah, *mesh hexahedral* orde tinggi, dan *mesh tetrahedral* orde tinggi. Ukuran *mesh* bervariasi antara 15 hingga 35 mm dengan interval 1 mm untuk mengevaluasi konvergensi *mesh* tersebut. Penggunaan kombinasi berbagai jenis *mesh* ini memungkinkan analisis yang lebih mendetail dan optimal, serta memastikan keseimbangan antara ketelitian hasil dan efisiensi komputasi.

a. Mesh Hexahedral Orde Rendah

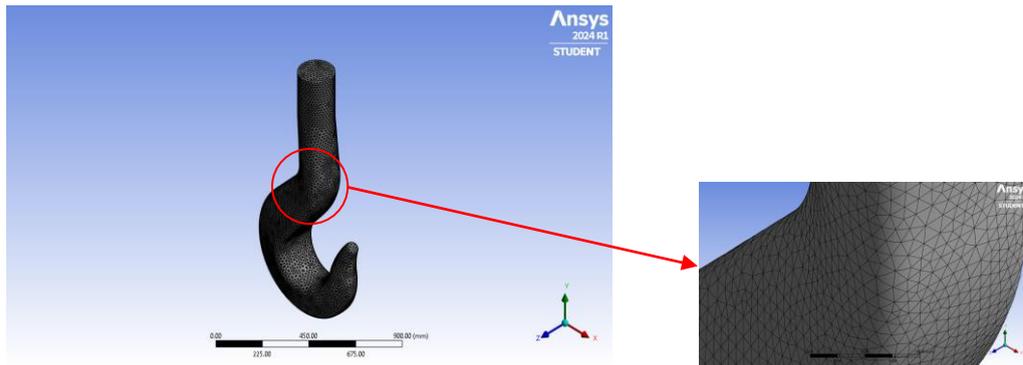
Mesh hexahedral orde rendah menggunakan elemen berbentuk kubus dengan node di setiap sudutnya. Jenis *mesh* ini lebih efisien dalam hal waktu komputasi karena membutuhkan lebih sedikit elemen untuk mengisi volume yang sama. *Lower-order hexahedral mesh* ideal untuk geometri yang sederhana dan memungkinkan pembagian yang teratur serta simetri yang baik. (Lihat Gambar 3)



Gambar 3. Hook Crane dengan Mesh Hexahedral Orde Rendah

b. Mesh Tetrahedral Orde Rendah

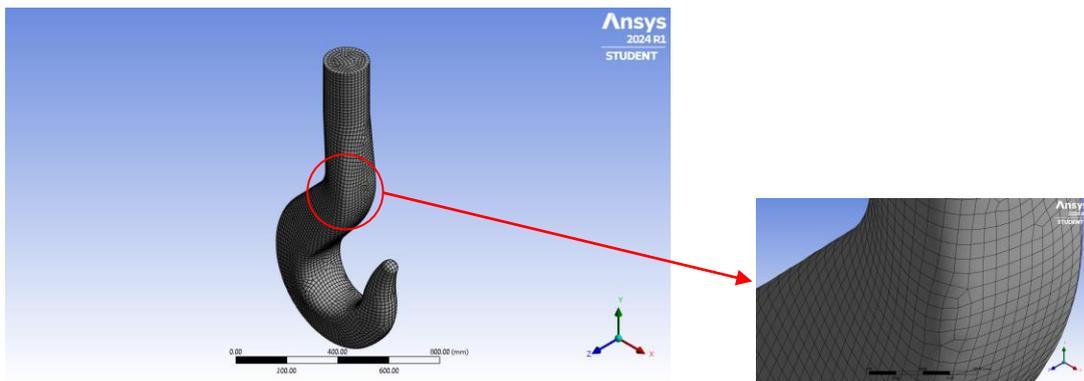
Mesh tetrahedral orde rendah terdiri dari elemen-elemen berbentuk *tetrahedron* dengan node di setiap sudutnya. *Tetrahedral mesh* ini lebih fleksibel dalam menyesuaikan dengan geometri kompleks, meskipun memerlukan lebih banyak elemen untuk mengisi volume yang sama, yang dapat meningkatkan waktu komputasi. Jenis *mesh* ini sangat berguna untuk struktur dengan bentuk yang tidak teratur dan kompleks. (Lihat Gambar 4)



Gambar 4. Crane Hook dengan Mesh Tetrahedral Orde Rendah

c. Mesh Hexahedral Orde Tinggi

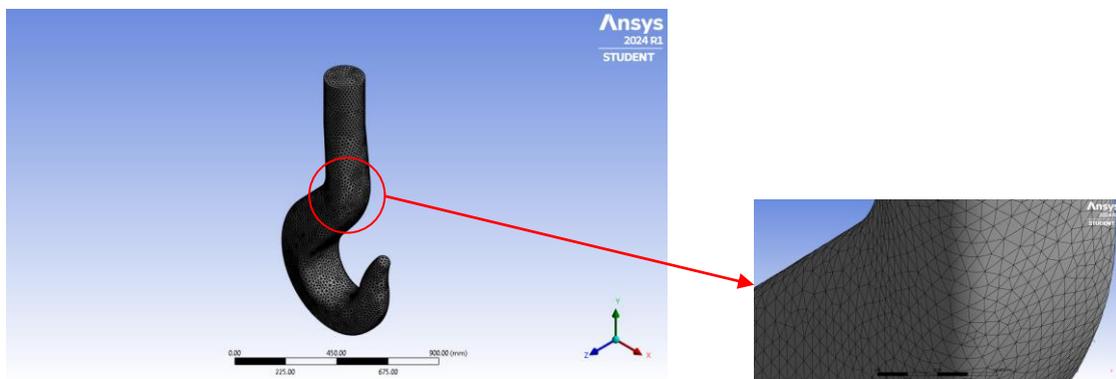
Mesh hexahedral orde tinggi menggunakan elemen berbentuk kubus dengan node tambahan di tengah setiap sisi, yang meningkatkan jumlah data dalam setiap elemen. Ini memungkinkan akurasi hasil simulasi yang lebih tinggi, terutama untuk analisis yang memerlukan detail tinggi. Meskipun lebih akurat, *higher-order hexahedral mesh* memerlukan lebih banyak sumber daya komputasi dibandingkan dengan *lower-order hexahedral mesh*. (Lihat Gambar 5)



Gambar 5. Hook Crane dengan Mesh Hexahedral Orde Tinggi

d. Mesh Tetrahedral Orde Tinggi

Mesh tetrahedral orde tinggi menggunakan elemen-elemen tetrahedral dengan node tambahan di sepanjang setiap sisi dan di dalam elemen. Hal ini meningkatkan resolusi dan akurasi hasil analisis, terutama pada geometri yang sangat kompleks. Namun, seperti *higher-order hexahedral mesh*, metode ini juga membutuhkan lebih banyak waktu dan daya komputasi. (Lihat Gambar 6)

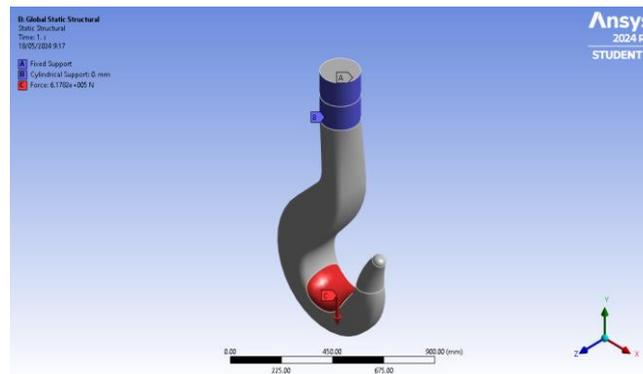


Gambar 6. Hook Crane dengan Mesh Tetrahedral Orde Tinggi

5. Pemuatan (Beban) dan Kondisi Batas

Pemuatan (beban) dan kondisi batas menjadi aspek penting dalam studi komparatif *mesh hexahedral* dan *tetrahedral* pada analisis statis *hook crane* dengan ANSYS. Pemuatan diterapkan dengan beban 63 Ton untuk mensimulasikan gaya eksternal selama operasionalnya.

Kondisi batas memastikan bagaimana *hook crane* terhubung dengan lingkungannya. Dalam analisis ini, terdapat dua jenis kondisi batas: dukungan tetap, mengunci *hook crane* pada titik tertentu untuk mencegah gerakan translasi dan rotasi, serta dukungan silinder, memberikan pembatasan lebih spesifik sesuai dengan struktur silinder.



Gambar 7: Global Static Structural

6. Solusi

Dalam analisis struktural *hook crane* menggunakan ANSYS, solusi diperoleh dengan menyesuaikan model geometri dengan *mesh* yang telah ditentukan sebelumnya. Berdasarkan *mesh hexahedral* dan *tetrahedral* yang telah dibuat, simulasi dilakukan untuk memperkirakan tanggapan *hook crane* terhadap beban yang diterapkan dan kondisi batas yang telah ditetapkan.

ANSYS menggunakan pendekatan metode elemen hingga (*Finite Element Method*) untuk menghitung tegangan, regangan, dan deformasi yang dialami oleh *hook crane*. Selama proses solusi, perhitungan dilakukan pada setiap elemen *mesh* untuk memperoleh gambaran yang akurat tentang tanggapan struktural secara keseluruhan.

Hasil dari analisis struktural memberikan pemahaman yang mendalam tentang distribusi tegangan, regangan, dan deformasi dalam *hook crane*. Informasi ini dapat digunakan untuk mengevaluasi keandalan struktural *hook crane*, mengidentifikasi daerah kritis yang mungkin memerlukan perbaikan atau modifikasi desain, serta memastikan bahwa *hook crane* memenuhi persyaratan keamanan dan kinerja yang diinginkan.

Dengan demikian, solusi yang diperoleh dari analisis struktural ini menjadi landasan penting untuk memahami perbedaan dan keunggulan antara penggunaan *mesh hexahedral* dan *tetrahedral* dalam analisis statis *hook crane*. Informasi ini memberikan pandangan yang mendalam tentang bagaimana masing-masing jenis *mesh* mempengaruhi tanggapan dari struktural *hook crane*, yang dapat menjadi dasar untuk pengambilan keputusan dalam pemilihan *mesh* yang optimal untuk aplikasi yang spesifik.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

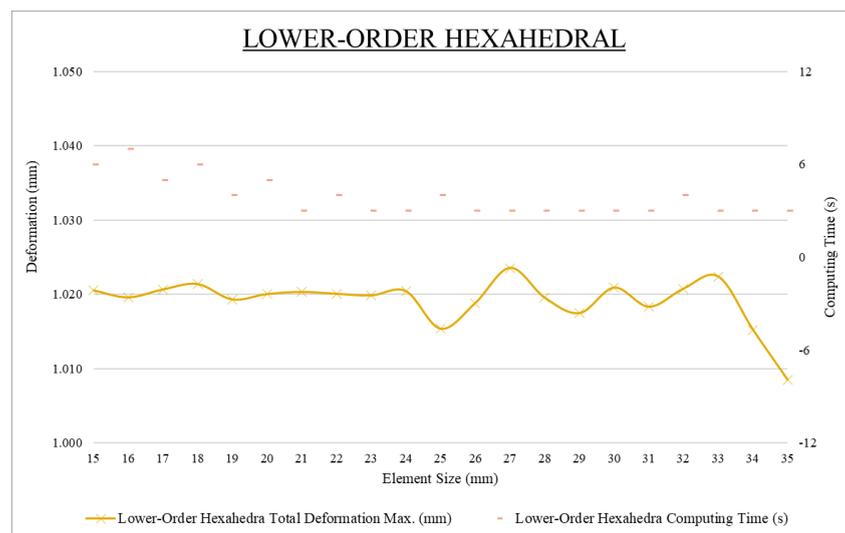
Dalam bab ini, disajikan temuan dari studi komparatif tentang penggunaan *mesh hexahedral* dan *tetrahedral* dalam analisis statis *hook crane* menggunakan ANSYS. Urutan hasil dari masing-masing jenis *mesh* diuraikan untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang dampak penggunaannya dalam konteks analisis struktural.

1. Analisis dengan Mesh Hexahedral Orde Rendah

Dalam analisis menggunakan *mesh hexahedral* orde rendah, distribusi tegangan yang diperoleh cenderung tidak linear, terutama pada bentuk geometri kompleks. Kendati waktu komputasi relatif singkat, hasil analisis seringkali kurang presisi karena keterbatasan dalam menangkap detail-detail kecil pada geometri dan distribusi tegangan.

Tabel 2. Parameter Set Lower-Order Hexahedral

Element Size (mm)	Number of Nodes	Total Deformation (mm)	Total von-Mises Stress Max. (Mpa)	Safety Factor Min.	Computing Time (s)
15	24686	1.021	164.46	2.80	6
16	21823	1.020	163.86	2.81	7
17	18434	1.021	162.41	2.83	5
18	15491	1.021	161.66	2.85	6
19	13756	1.019	161.31	2.85	4
20	12301	1.020	162.27	2.83	5
21	11819	1.020	163.34	2.82	3
22	9684	1.020	163.97	2.81	4
23	8767	1.020	161.85	2.84	3
24	7740	1.020	159.78	2.88	3
25	7071	1.015	162.39	2.83	4
26	5900	1.019	159.31	2.89	3
27	5815	1.024	161.06	2.86	3
28	5113	1.020	163.90	2.81	3
29	4473	1.017	162.92	2.82	3
30	4691	1.021	163.50	2.81	3
31	3763	1.018	157.89	2.91	3
32	3692	1.021	162.49	2.83	4
33	3558	1.022	162.98	2.82	3
34	3206	1.015	159.26	2.89	3
35	3148	1.008	157.86	2.91	3



Gambar 8. Diagram Analisis Mesh Hexahedral Orde Rendah

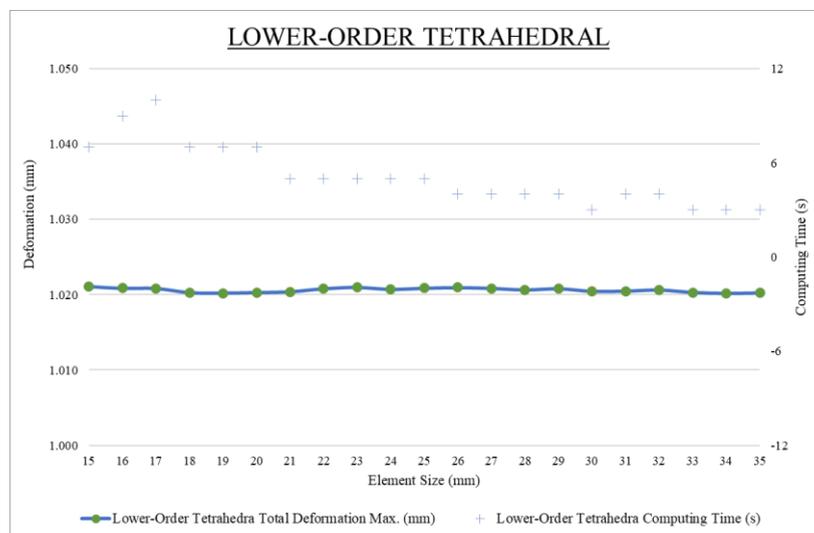
2. Analisis dengan Mesh Tetrahedral Orde Rendah

Analisis menggunakan *mesh tetrahedral* orde rendah menghasilkan distribusi tegangan yang cukup akurat, bahkan pada bentuk geometri yang kompleks. Waktu komputasi relatif cepat, dengan

hasil terlama mencapai 10 detik. Mesh ini efisien dalam menangkap detail-detail penting dalam tegangan dan deformasi.

Tabel 3. Parameter Set Lower-Order Tetrahedral

Element Size (mm)	Number of Nodes	Total Deformation (mm)	Total von-Mises Stress Max. (Mpa)	Safety Factor Min.	Computing Time (s)
15	106381	1.021	167.65	2.74	7
16	90901	1.021	167.78	2.74	9
17	79317	1.021	167.49	2.75	10
18	69485	1.020	167.95	2.74	7
19	61388	1.020	167.41	2.75	7
20	53943	1.020	167.21	2.75	7
21	48523	1.020	167.14	2.75	5
22	42766	1.021	167.47	2.75	5
23	37455	1.021	167.10	2.75	5
24	34032	1.021	167.00	2.75	5
25	31303	1.021	166.93	2.76	5
26	28401	1.021	167.15	2.75	4
27	26154	1.021	166.17	2.77	4
28	23801	1.021	166.28	2.77	4
29	21970	1.021	166.50	2.76	4
30	20677	1.020	166.73	2.76	3
31	19170	1.020	164.98	2.79	4
32	17635	1.021	166.69	2.76	4
33	16522	1.020	162.62	2.83	3
34	15527	1.020	165.15	2.79	3
35	14653	1.020	168.34	2.73	3



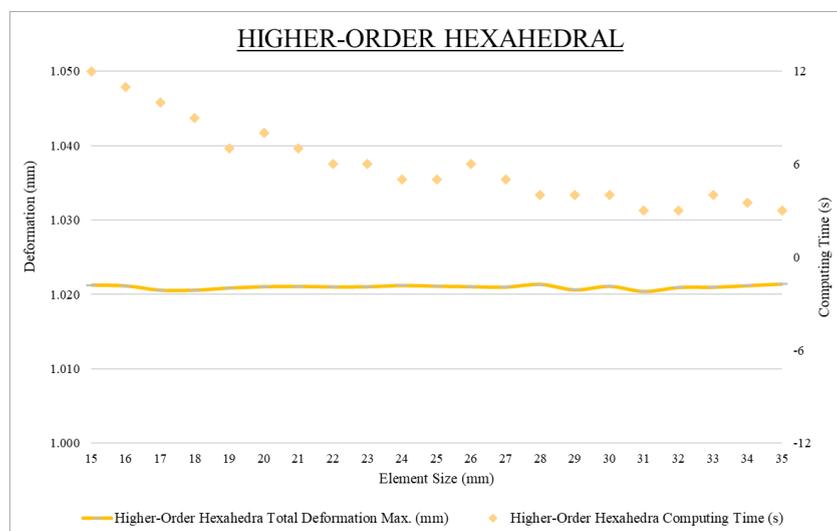
Gambar 9. Diagram Analisis Mesh Tetrahedral Orde Rendah

3. Analisis dengan Mesh Hexahedral Orde Tinggi

Hasil analisis menggunakan mesh hexahedral orde tinggi menunjukkan distribusi tegangan yang lebih linear. Namun, penggunaan mesh ini memerlukan waktu komputasi yang lebih lama karena kompleksitas tambahan dalam pemodelan. Keunggulan utama adalah kemampuannya untuk menangkap perubahan detail geometri dan distribusi tegangan dengan lebih baik.

Tabel 4. Parameter Set Higher-Order Hexahedra

<i>Element Size (mm)</i>	<i>Number of Nodes</i>	<i>Total Deformation (mm)</i>	<i>Total von-Mises Stress Max. (Mpa)</i>	<i>Safety Factor Min.</i>	<i>Computing Time (s)</i>
15	106249	1.021	167.86	2.74	12
16	90089	1.021	167.29	2.75	11
17	79474	1.021	167.02	2.75	10
18	64882	1.021	166.86	2.76	9
19	58457	1.021	166.96	2.76	7
20	53889	1.021	167.44	2.75	8
21	49641	1.021	167.13	2.75	7
22	40974	1.021	166.88	2.76	6
23	36769	1.021	167.05	2.75	6
24	31151	1.021	166.67	2.76	5
25	29151	1.021	166.06	2.77	5
26	26943	1.021	168.70	2.73	6
27	27274	1.021	167.57	2.75	5
28	21661	1.021	168.08	2.74	4
29	19930	1.021	168.62	2.73	4
30	20846	1.021	168.63	2.73	4
31	16422	1.020	171.28	2.69	3
32	15471	1.021	168.63	2.73	3
33	16815	1.021	162.92	2.82	4
34	15189	1.021	166.30	2.77	4
35	13563	1.021	169.68	2.71	3



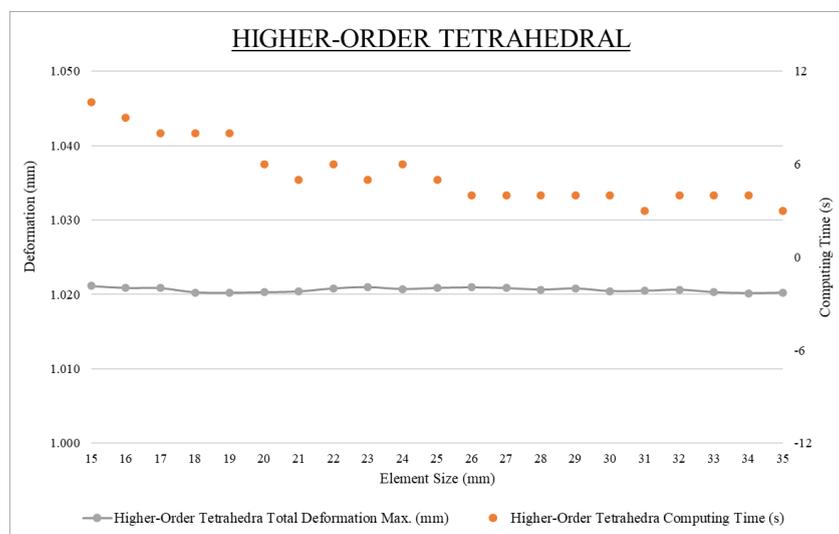
Gambar 10. Diagram Analisis Mesh Hexahedral Orde Tinggi

4. Analisis dengan Mesh Tetrahedral Orde Tinggi

Analisis menggunakan *mesh tetrahedral* orde tinggi memberikan hasil yang lebih presisi, terutama pada bentuk geometri yang kompleks. Waktu komputasi mungkin lebih lama dibandingkan dengan *mesh tetrahedral* orde rendah, namun distribusi tegangan yang diperoleh cenderung lebih akurat.

Tabel 5. Parameter Set Higher-Order Tetrahedral

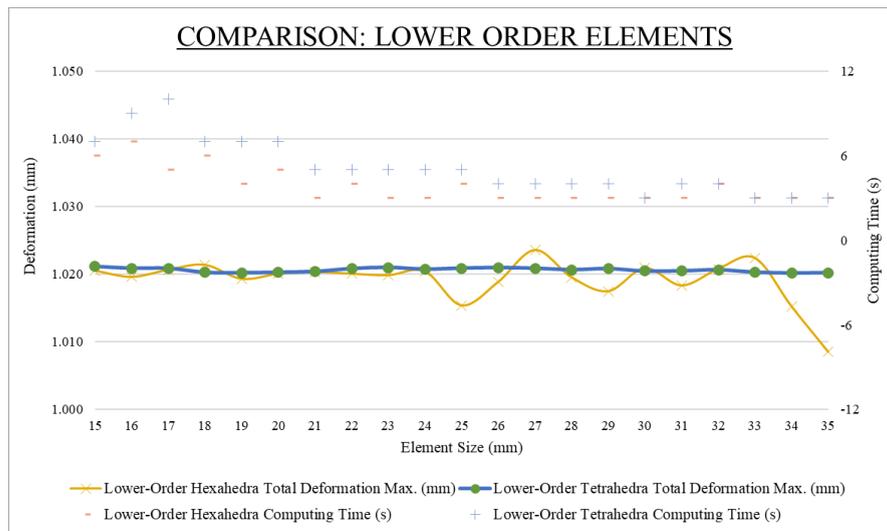
Element Size (mm)	Number of Nodes	Total Deformation (mm)	Total von-Mises Stress Max. (Mpa)	Safety Factor Min.	Computing Time (s)
15	106495	1.021	167.67	2.74	10
16	90901	1.021	167.78	2.74	9
17	79317	1.021	167.49	2.75	8
18	69485	1.020	167.95	2.74	8
19	61388	1.020	167.41	2.75	8
20	53943	1.020	167.21	2.75	6
21	48523	1.020	167.14	2.75	5
22	42766	1.021	167.47	2.75	6
23	37455	1.021	167.10	2.75	5
24	34032	1.021	167.00	2.75	6
25	31303	1.021	166.93	2.76	5
26	28401	1.021	167.15	2.75	4
27	26154	1.021	166.17	2.77	4
28	23801	1.021	166.28	2.77	4
29	21970	1.021	166.50	2.76	4
30	20677	1.020	166.73	2.76	4
31	19170	1.020	164.98	2.79	3
32	17635	1.021	166.69	2.76	4
33	16522	1.020	162.62	2.83	4
34	15527	1.020	165.15	2.79	4
35	14653	1.020	168.34	2.73	3



Gambar 11. Diagram Analisis Mesh Tetrahedral Orde Tinggi

5. Perbandingan Mesh Orde Rendah

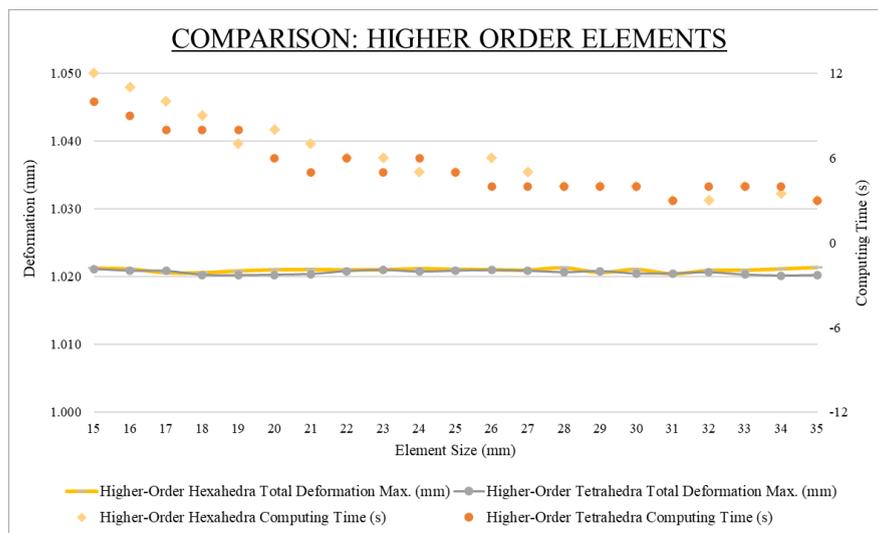
Perbandingan antara jenis mesh orde rendah menunjukkan bahwa *lower-order tetrahedral mesh* dan *higher-order tetrahedral mesh* memiliki hasil yang hampir serupa dengan deviasi minimal dan efisiensi komputasi yang baik dibandingkan dengan *lower-order hexahedral mesh*.



Gambar 12. Diagram Perbandingan Elemen Orde Rendah

6. Perbandingan Mesh Orde Tinggi

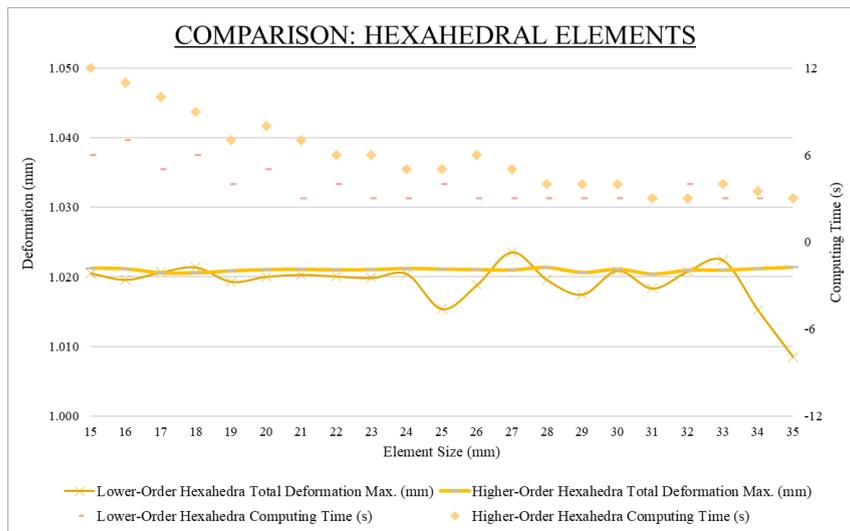
Perbandingan antara jenis *mesh* orde tinggi menunjukkan bahwa *higher-order hexahedral mesh* menunjukkan hasil yang lebih linear, namun memerlukan waktu komputasi yang lebih lama dibandingkan dengan *higher-order tetrahedral mesh*.



Gambar 13. Diagram Perbandingan Elemen Orde Tinggi

7. Perbandingan Mesh Hexahedral

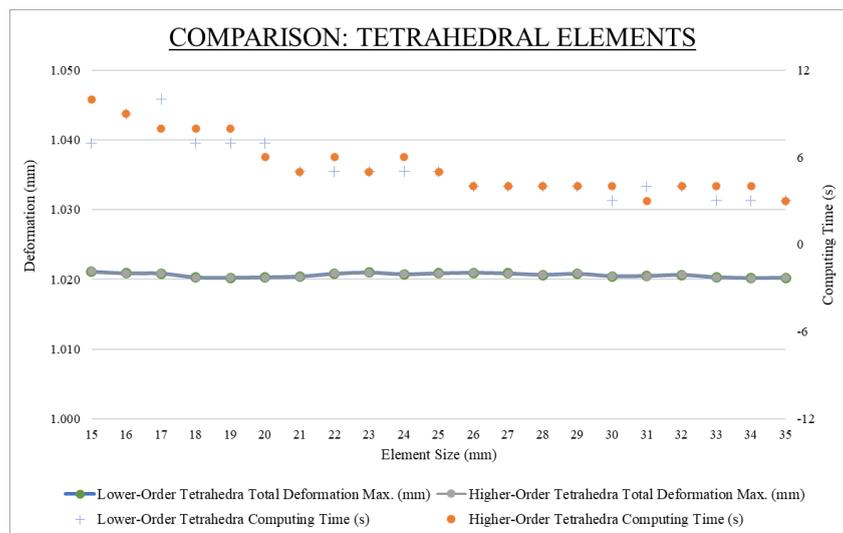
Dalam perbandingan antara *mesh hexahedral*, terlihat bahwa *mesh hexahedral* orde tinggi cenderung memberikan hasil yang lebih linear dibandingkan dengan *mesh hexahedral* orde rendah, namun dengan waktu komputasi yang lebih lama.



Gambar 14. Diagram Perbandingan Elemen *Hexahedral*

8. Perbandingan Mesh Tetrahedral

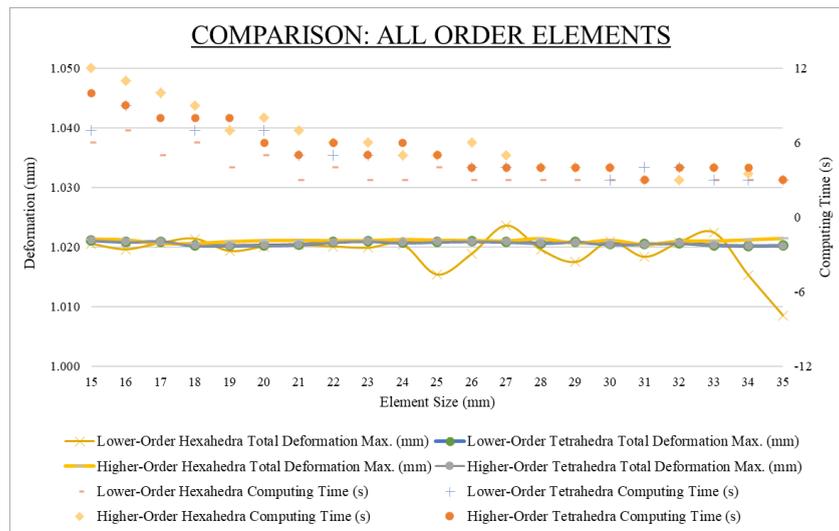
Perbandingan antara *mesh tetrahedral* menunjukkan bahwa *mesh tetrahedral* orde rendah dan *mesh tetrahedral* orde rendah memiliki efisiensi komputasi yang baik dan hasil yang hampir serupa, sementara *mesh tetrahedral* orde tinggi cenderung memberikan hasil yang lebih presisi.



Gambar 15. Diagram Perbandingan Elemen *Tetrahedral*

9. Perbandingan Keseluruhan

Meskipun terdapat perbedaan dalam pemilihan jenis *mesh*, hasil analisis dari semua *mesh* tetap dapat diandalkan dalam konteks analisis keamanan dan keakuratan desain. Pemilihan jenis *mesh* harus didasarkan pada kriteria spesifik dari kasus yang sedang dianalisis, dengan mempertimbangkan *trade-off* antara kepresisian hasil dan efisiensi komputasi.



Gambar 13. Diagram Perbandingan Semua Elemen

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa:

- a. Analisis menggunakan berbagai jenis *mesh*, baik orde rendah maupun orde tinggi, menunjukkan kemampuan yang berbeda dalam menangkap distribusi tegangan pada struktur yang kompleks seperti *hook crane*.
- b. *Mesh tetrahedral* orde rendah dan *mesh tetrahedral* orde tinggi memberikan hasil yang hampir serupa dengan deviasi yang minimal dan efisiensi komputasi yang baik dibandingkan dengan *mesh hexahedral* orde rendah.
- c. *Mesh hexahedral* orde tinggi cenderung menghasilkan distribusi tegangan yang lebih linear, namun memerlukan waktu komputasi yang lebih lama dibandingkan dengan jenis *mesh* lainnya.
- d. Perbandingan antara *mesh hexahedral* menunjukkan bahwa *mesh hexahedral* orde tinggi memberikan hasil yang lebih linear dibandingkan dengan *mesh hexahedral* orde rendah, namun dengan kompromi waktu komputasi yang lebih lama.
- e. Dalam penelitian ini, meskipun terdapat perbedaan dalam pemilihan jenis *mesh*, semua jenis *mesh* yang digunakan tetap memberikan hasil analisis yang dapat diandalkan untuk menilai keamanan dan keakuratan desain *hook crane*. Secara khusus, mesh dengan ukuran elemen antara 15-35 mm terbukti mampu memberikan hasil yang aman dan akurat. Penggunaan ukuran elemen dalam rentang ini memastikan detail yang cukup dalam simulasi, sehingga menghasilkan analisis yang dapat diandalkan untuk evaluasi struktural *hook crane*.
- f. Oleh karena itu, pemilihan jenis mesh harus dilakukan berdasarkan kriteria spesifik dari kasus yang sedang dianalisis, dengan mempertimbangkan *trade-off* antara kepresisian hasil dan efisiensi komputasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Wunda, A. Z. Johannes, R. K. Pingak, dan A. S. Ahab, "Analisis Tegangan, Regangan dan Deformasi Crane Hook dari Material Baja AISI 1045 dan Baja ST 37 Menggunakan Software Elmer," *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, vol. 4, no. 2, Okt. 2019.
- [2] J. W. Dikaa, A. Suwito, S. Sunardi, dan T. Sugiarti, "Analisis Deformation, Stress, dan Safety Factor pada Geometric Properties Crane Hook," *Jurnal Transmisi*, vol. 18, no. 1, 2022.
- [3] F. Widyaningrum, G. Jatisukamto, dan N. Ilminnafik, "Analisis Struktur Statis Provision Crane dengan Software Ansys 16.2," *Jurnal Rotor*, vol. 11, no. 1, Apr. 2018.
- [4] M. G. Fajrin, H. Widianoro, dan Zainuddin, "Analisis Elemen Hingga Bagian Penekuk pada Mesin Pembuat Begel Baja Tulangan 8 mm," *Jurnal Suara Teknik*, vol. 13, no. 1, Jul. 2022.
- [5] I. Dumyati dan S. Nurhaji, "Modeling dan Simulasi Finite Element Analysis pada Segitiga T Sepeda Motor Menggunakan Software Ansys 2023," *Jurnal Quantum Teknik*, vol. 5, no. 1, Okt. 2023.
- [6] M. A. Wicaksono dan I. Sukmana, "Study Analisis Elemen Tetrahedron dan Hexahedron Plat Tulang Material Magnesium AZ31B dengan Finite Element Method (FEM)," *Jurnal Infotekmesin*, vol. 13, no. 01, Jan. 2022.
- [7] A. B. Prasetyo, F. Fauzun, A. A. Azmi, D. S. Pamuji, dan R. Yaqin, "Pengaruh Perbedaan Mesh Terstruktur dan Mesh Tidak Terstruktur Pada Simulasi Sistem Pendinginan Mold Injeksi Produk Plastik," *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XIII*, Nov. 2018, pp. 400-406.