

## PENGARUH BEBAN SIMULASI PADA DESAIN BUCKET EXCAVATOR MENGUNAKAN FEA

### THE EFFECT OF SIMULATION LOAD ON EXCAVATOR BUCKET DESIGN USING FEA

<sup>1</sup>Muhammad Isro Diyanto, <sup>2</sup>Mohamad Nasrun

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang

Jl. Surya Kencana No.1, Tangerang Selatan, Indonesia

E-mail : [dosen01293@unpam.ac.id](mailto:dosen01293@unpam.ac.id)<sup>1</sup>, [dosen01284@unpam.ac.id](mailto:dosen01284@unpam.ac.id)

#### ABSTRAK

Penggunaan excavator saat ini sudah sangat umum digunakan. Efektivitas kerja yang tinggi membuat excavator sangat membantu dalam kemajuan bidang konstruksi dan pertambangan. Agar dapat menunjang kerja maksimal maka excavator harus selalu dalam kondisi yang baik. Salah satu hal yang penting dalam excavator adalah bucket. Salah satu jenis attachment excavator yang umum digunakan. Dalam penggunaannya Bucket adalah keranjang yang berfungsi untuk menunjang fungsi utama excavator yaitu untuk mengeruk, mengangkat atau memindahkan suatu benda yang memiliki beban seperti tanah atau bebatuan. Oleh karena itu dalam penulisan skripsi ini, penulis berfokus pada analisis simulasi desain bucket tetapi dengan contoh 3 variasi pembebanan yaitu 200 kg, 250 kg dan 300 kg. Metode yang digunakan pada skripsi ini adalah metode Finite Element analysis (FEA) dan model desain bucketnya dirancang dan di simulasikan menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor profesional, dari 3 variasi pembebanan tersebut menghasilkan nilai tegangan sebagai berikut yaitu pembebanan 200 kg menghasilkan 64.7 MPa, lalu pembebanan 250 kg menghasilkan 80.87 MPa dan pembebanan 300 kg Menghasilkan 97.07 MPa. Pembebanan tersebut juga menghasilkan nilai perpindahan sebagai berikut yaitu pembebanan 200 kg menghasilkan 0.6396 mm. Lalu pembebanan 250 kg menghasilkan 0.7995 mm. Dan pembebanan 300 kg menghasilkan 0.9593 mm. Serta pembebanan tersebut juga menghasilkan safety factor sebagai berikut yaitu pembebanan 200 kg menghasilkan 11.72 ul. Lalu pembebanan 250 kg menghasilkan 9.37 ul. Dan pembebanan 300 kg menghasilkan 7.81 ul.

**Kata kunci:** Excavator, Bucket, Simulasi, Beban.

#### ABSTRACT

Excavators are now very common. Their high efficiency makes them a significant contributor to the advancement of construction and mining. To ensure optimal performance, excavators must always be in good condition. One of the most important components of an excavator is the bucket, a commonly used type of excavator attachment. Bucket is a basket that serves to support the main function of the excavator, namely to dig, lift or move an object that has a load such as soil or rocks. Therefore, in writing this thesis, the author focuses on the analysis of bucket design simulation but with examples of 3 loading variations, namely 200 kg, 250 kg and 300 kg. The method used in this thesis is the Finite Element analysis (FEA) method and the bucket design model is designed and simulated using Autodesk Inventor Professional software, from the 3 loading variations it produces the following stress values, namely a load of 200 kg produces 64.7 MPa, then a load of 250 kg produces 80.87 MPa and a load of 300 kg produces 97.07 MPa. The loading also produces a displacement value The following displacements are obtained, namely a 200 kg load produces 0.6396 mm. Then a 250 kg load produces 0.7995 mm. And a 300 kg load produces 0.9593 mm. And these loads also produce safety factors as follows, namely a 200 kg load produces 11.72 ul. Then a 250 kg load produces 9.37 ul. And a 300 kg load produces 7.81 ul.

**Keywords:** : Excavator, Bucket, Simulation, Load.

## I. PENDAHULUAN

Pengembangan teknologi dalam bidang konstruksi yang semakin maju, tidak akan terlepas dari teknologi dan desain karena mempunyai peranan yang sangat penting dalam

rekayasa serta pembangunan konstruksi dengan baja pada zaman modern seperti saat ini banyak melibatkan unsur desain khususnya dalam bidang rancang bangun yang sangat memerlukan keterampilan yang sangat tinggi agar mendapatkan hasil yang maksimal atau desain dengan kualitas baik dan sesuai dengan standar yang berlaku. Lingkup penggunaan teknis desain dalam konstruksi itu sangat luas meliputi pembuatan excavator, sarana alat berat dan sebagainya.

Kegagalan struktur pada bucket dapat menyebabkan kerugian besar baik dari sisi operasional maupun keselamatan kerja. Oleh karena itu, penting dilakukan analisis kekuatan struktur sejak tahap perancangan agar bucket yang dihasilkan mampu menahan beban kerja sesuai kondisi aktual di lapangan. Dengan berkembangnya teknologi rekayasa, Finite Element Analysis (FEA) atau analisis elemen hingga menjadi metode yang umum digunakan dalam simulasi beban pada struktur mekanik. Melalui FEA, distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan dapat dianalisis secara mendetail berdasarkan kondisi beban tertentu. Hal ini memungkinkan insinyur untuk mengevaluasi dan mengoptimalkan desain sebelum tahap manufaktur, sehingga dapat meminimalkan risiko kegagalan dan meningkatkan efisiensi desain. Excavator merupakan salah satu jenis alat berat yang memiliki peranan dan fungsi sangat penting, excavator digunakan untuk menggali tanah, membuat parit, bahkan membantu evakuasi korban bencana alam dan melakukan penggalian hingga mengangkut muatan material ke dalam dump truck atau loading, hingga memecahkan batu atau breaker. Excavator juga adalah jenis alat berat yang secara umum digunakan untuk melakukan penggalian pada tanah dan memindahkan tanah atau material lainnya ke dalam truk muatan. Excavator terdiri dari beberapa bagian utama. Bagian excavator itu sendiri terdiri dari boom, arm, dan keranjang atau bucket di dalam rumah atau ruang control yang ditempatkan pada kendaraan yang berputar. Kendaraan berputar tersebut berada di atas undercarriage, yang terdiri dari track dan shoe yang mendukung excavator dalam proses mobilitas (Dhaval kumah Apatel,2015). Dalam pengajuan skripsi ini akan dilakukan studi Analisis Desain pada bucket excavator menggunakan FEA, untuk memastikan hasil konstruksi dan kondisi yang optimal pada alat berat. Metode survey digunakan untuk mencari kondisi optimal pada software Autodesk inverter.

## **II. METODE PELAKSANAAN**

Metodologi penelitian ini pada umumnya adalah Penelitian ini menggunakan simulasi dan eksperimentasi. Pengumpulan data untuk penelitian ini dimulai dengan inspeksi lapangan, pengumpulan data visual, data desain teknik, sampel bahan uji,

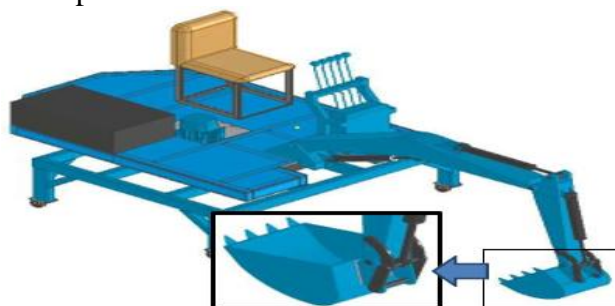
pengujian, penelitian, dokumentasi pendukung yang menunjukkan keakuratan asumsi penelitian, pengolahan data, dan analisis untuk mendukung kelangsungan operasional. Serta proses memutuskan pendekatan tertentu untuk menangani permasalahan ketika menerapkan temuan penelitian. Penelitian jangka panjang membutuhkan strategi yang lebih efektif atau terstruktur. Saya tidak hanya berpegang pada teori saja dalam penelitian ini. Namun, saya juga belajar cara bagaimana melakukan analisis ini dan cara menginterpretasikan datanya. Tujuan metodologi penelitian ini adalah untuk membantu peneliti melakukan penelitian yang berkualitas tinggi, andal, bermanfaat, dan relevan. Setidaknya penelitian akan mencari solusi penulis untuk masalah tersebut.

#### A. Tahap Penelitian

Pada penelitian ini, dilakukan analisis elemen hingga (FEM) menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor Professional untuk mengevaluasi kekuatan dan keamanan desain bucket. Pemodelan 3D bucket dilakukan terlebih dahulu menggunakan fitur *3D part modeling* pada Autodesk Inventor. Selanjutnya, analisis dilakukan dengan tiga parameter utama yaitu:

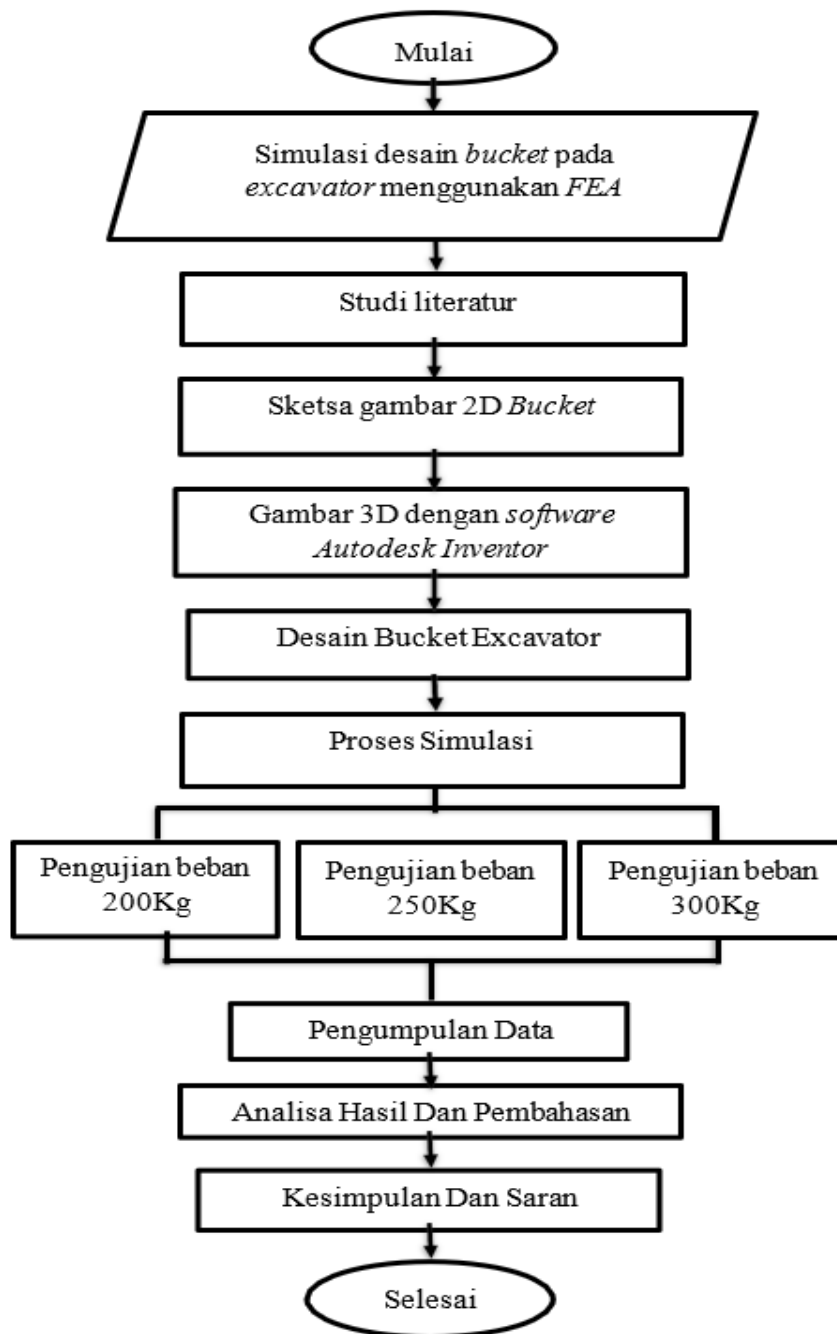
1. Tegangan Von Mises Untuk mengetahui distribusi tegangan maksimum yang terjadi pada bucket akibat pembebanan.
2. Perpindahan (Displacement) Untuk mengamati deformasi atau perubahan bentuk akibat beban kerja yang dikenakan.
3. Safety Factor (Faktor Keamanan) Untuk menilai apakah struktur bucket mampu menahan beban kerja tanpa mengalami kegagalan, dengan membandingkan tegangan kerja terhadap kekuatan material.

Simulasi dilakukan dalam tiga variasi pembebanan berbeda yang diijinkan, untuk melihat respon struktur terhadap perubahan beban. Hasil simulasi akan dibandingkan dan dianalisis untuk menentukan apakah desain bucket tersebut telah memenuhi standar kekuatan dan keamanan. Visualisasi dari model 3D bucket yang digunakan dalam simulasi dapat dilihat pada Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Desain 3D bucket excavator

Pada penelitian ini, dilakukan analisis elemen hingga (*Finite Element Method* – FEM) terhadap komponen bucket menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor Professional. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan struktural bucket terhadap beban kerja yang diberikan, serta mengetahui respon material terhadap tegangan, perpindahan, dan faktor keamanan. Langkah awal dilakukan dengan melakukan pemodelan 3D bucket menggunakan fitur *Part Modeling* yang tersedia di dalam Autodesk Inventor. Model 3D ini selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk proses simulasi, terlihat gambar 2



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

## B. Tahapan Simulasi

Dengan menggunakan perangkat lunak Autodesk inventor, membuat model bucket 2D dan 3D, mencakup memilih jenis material, menentukan titik tumpu (fixed), menetapkan pembebanan, melakukan proses meshing, dan menganalisis simulasi pada langkah proses simulasi analisis kekuatan desain.

### 1. Pemilihan jenis material

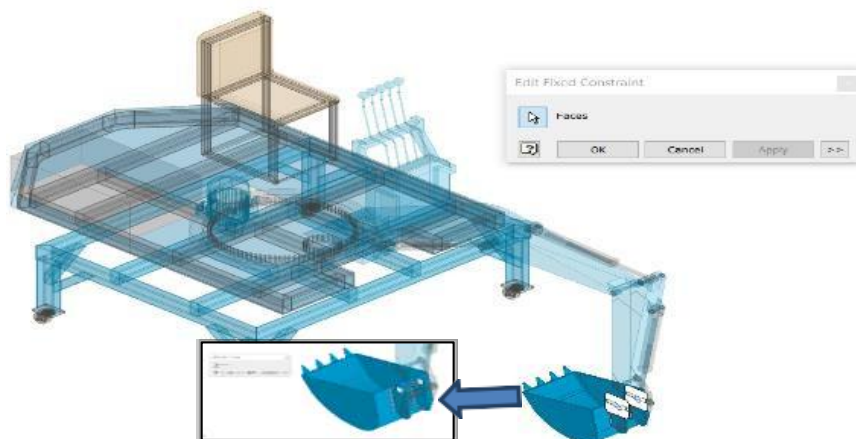
Material setiap bagian dipilih selama proses pemodelan. Selama proses pengujian, informasi di setiap bagian ini akan diperiksa kembali. Iron dan Cast adalah bahan yang digunakan untuk pemodelan 3D excavator bucket, dan spesifikasi bahannya tercantum di bawah ini.

Tabel 1. Jenis Material

Iron, Cast	
Mass Density	7.15 g/cm <sup>3</sup>
Yled Strength	758 Mpa
Ultimate Tensile Strength	884 Mpa
Young's Modulus	120.5 Gpa
Poisson's Ratio	0.3 ul
Shear Modulus	46.3462Gpa

### 2. Menentukan Constraint / titik tumpuan

Tahap selanjutnya melibatkan penggunaan *fixed contrains* untuk mengidentifikasi contrains atau titik tumpu yang digunakan untuk menjadi referensi posisi bucket. Dengan bantuan tool fixed contrains, dapat ditemukannya titik tumpu bawah, yang terletak di poros bucket 3D ekskavator, gambar 3 berikut



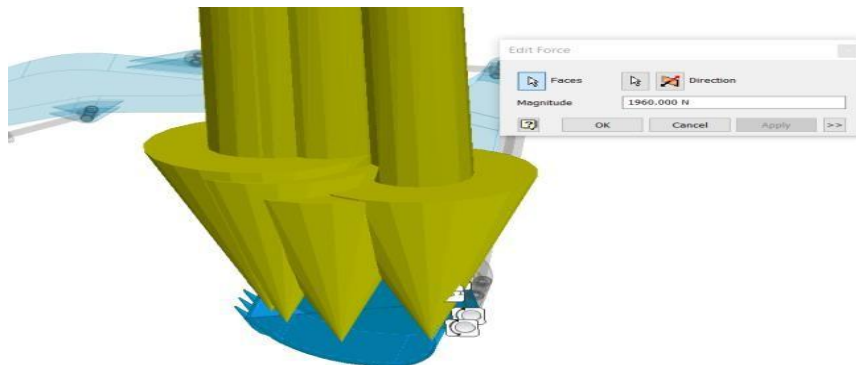
Gambar 3. Penentuan posisi fixed constrain pada bucket 3D excavator

### 3. Menentukan pembebanan pada 3D bucket excavator

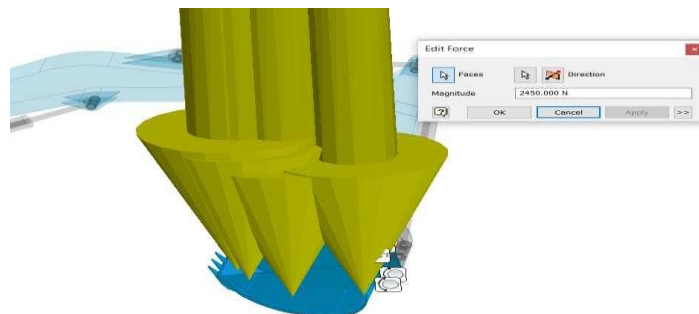
Sebagai tahap berikut untuk mengetahui pembebanan. Kita membuat asumsi bahwa bucket akan terkena beban untuk menentukan kekuatannya terhadapnya. Tiga variasi beban digunakan dalam analisis beban bucket berikut tabel 2 dan pembebanan terlihat gambar 4, Gambar 5, gambar 6 berikut

Tabel 2. Pembebanan pada 3D excavator

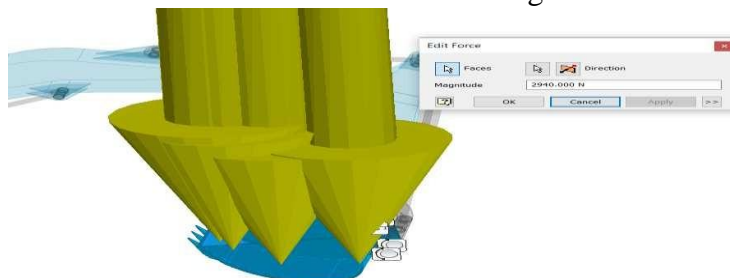
No	Beban (m)	Gravitasi (g)	Newton (w)
			$w = m \times g$
1	200 kg	9.8 m/s <sup>2</sup>	1,960 N
2	250 kg	9.8 m/s <sup>2</sup>	2,450 N
3	300 kg	9.8 m/s <sup>2</sup>	2.940 N



Gambar 4. Pembebanan 200 kg



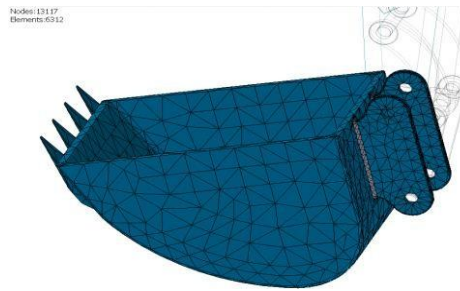
Gambar 5. Pembebanan 250 kg



Gambar 6. Pembebanan 300 kg

#### 4. Meshing

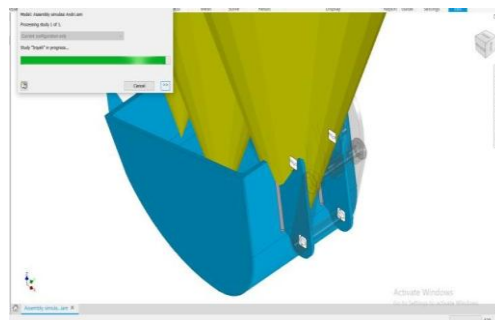
Sebelum menjalankan simulasi pada bucket excavator, geometri dibagi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dan disatukan. Komponen yang lebih kecil ini digabungkan untuk membentuk geometri objek. Ukuran meshing akan semakin mendekati angka sebenarnya jika semakin kecil, namun prosedur simulasi berjalan akan memakan waktu lebih lama. Hal ini dapat dilihat pada proses meshing cylinder hidrolik.pada gambar 7. membentuk jumlah node sebanyak 13117 dan elements 6312.



Gambar 7. Setelah proses meshing

#### 5. Simulate (Proses penyelesaian simulasi analisis)

Setelah mesh selesai, simulasi dijalankan untuk mendapatkan hasil Von misses, displacement, dan safety factor. menggunakan perintah Simulate di perangkat lunak Autodesk Inventor, lalu running simulate untuk menjalankan simulasi, terlihat gambar 8



Gambar 8. Proses running simulate

End Simulate Tahapan simulasi dilakukan melalui fitur Stress Analysis pada perangkat lunak Autodesk Inventor Professional. Setelah pembebanan dan material didefinisikan, pengguna memilih menu "Simulate", kemudian menjalankan perintah "Run Simulation". Setelah simulasi dijalankan, perangkat lunak akan menghitung distribusi tegangan, perpindahan maksimum, serta nilai faktor keamanan berdasarkan geometri, pembebanan, dan properti material. Hasil visualisasi simulasi ditampilkan dalam bentuk kontur warna pada model, yang memudahkan dalam mengidentifikasi .

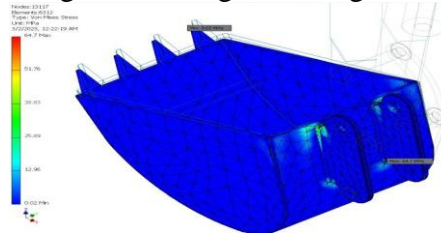
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Penelitian Analisis Simulasi

Hasil analisis simulasi yang diperoleh dari penelitian yang menggunakan software autodesk inventor berupa nilai Tegangan maksimum (von mises stress), perpindahan (displacement) dan safety factor .

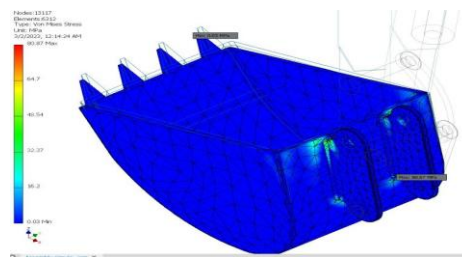
##### 1. Von Mises Stress

Nilai tegangan von Mises yaitu berasal dari gagasan kegagalan yang disebabkan oleh distorsi energi. Desain akan gagal jika nilai von Misses Stress lebih besar dari tegangan luluh material. Temuan analisis von Mises dapat dilihat pada simulasi tegangan dengan mengamati perubahan warna yang terjadi, dimana warna merah menunjukkan tekanan paling besar sedangkan warna biru tidak mengalami tekanan sama sekali. seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.1. Nilai tegangan von Mises pada bucket excavator dihitung dari hasil simulasi pada bucket excavator dengan 3 variasi beban yaitu 200 kg, 250 kg, dan 300 kg, terlihat gambar 10

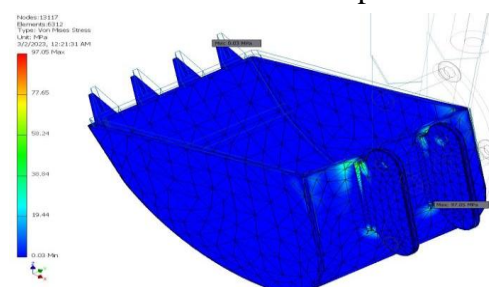


Gambar 10. Simulasi Von Misses pembebanan 200 kg

Von mises pada cylinder bucket dengan beban 200 kg menghasilkan nilai max yaitu 64,7 MPa ditunjukkan pada warna merah dan min 0,02 MPa ditunjukkan pada warna biru, terlihat gambar 11 dan gambar 12



Gambar 11. Simulasi Von Misses pembebanan 250 kg



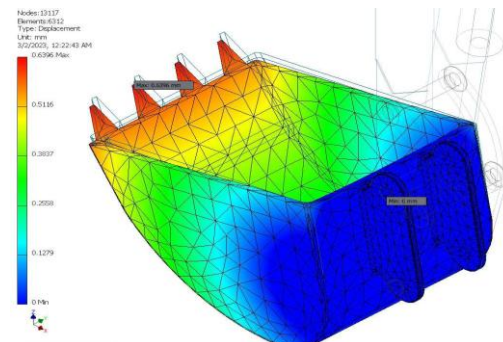
Gambar 12. Simulasi Von Misses pembebanan 300 kg



Von mises pada cylinder bucket dengan beban 250 kg menghasilkan nilai max yaitu 80,87 MPa ditunjukan pada warna merah dan min 0,03 MPa ditunjukan pada warna biru. Von mises pada Cylinder bucket dengan beban 300 kg menghasilkan nilai max yaitu 97,07 MPa ditunjukan pada warna merah dan min 0,03 MPa ditunjukan pada warna biru. Berdasarkan hasil simulasi Von Misses Stress dengan 3 variasi beban berbeda yaitu 200 kg, 250 kg, dan 300 kg. menjadikan nilai tegangan pada pembebanan 200 kg yaitu 64,7 MPa, nilai tegangan pada 250 kg yaitu 80,87 MPa, dan nilai tegangan pada 300 kg yaitu 97,07 MPa.

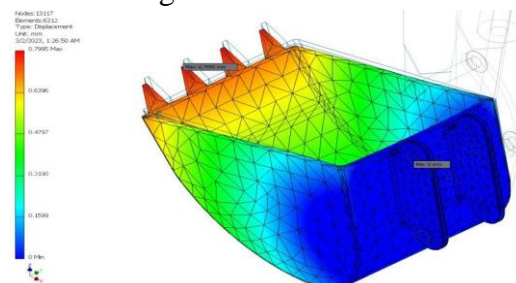
## 2. Displacement

Setelah melakukan pembebanan, Dsplacement menunjukkan perubahan bentuk atau penyimpangan dari desain. Dengan mengamati perubahan warna yang terjadi pada desain, dimungkinkan untuk menentukan nilai perpindahan yang muncul pada simulasi tegangan. Perubahan jarak terjauh dari posisi awal ditunjukkan dengan rona merah. seperti yang dapat dilihat pada gambar 13. dari simulasi yang dilakukan dengan 3 variasi beban 200 kg, 250 kg dan 300 kg sebagai berikut :



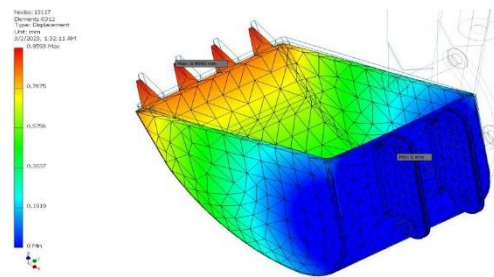
Gambar 13. displacement dengan beban 200 kg

Displacement pada Cylinder bucket dengan beban 200 kg menghasilkan nilai max yaitu 0,6396 mm ditunjukan pada warna merah dan min 0 mm ditunjukan pada warna biru, terlihat gambar 14 dan gambar 15



Gambar 14. Displacement dengan beban 250 kg

Displacement pada Cylinder bucket dengan beban 30 kg menghasilkan nilai max yaitu 0,7995 mm ditunjukan pada warna merah dan min 0 mm ditunjukan pada warna biru.

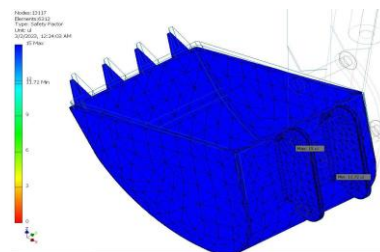


Gambar 15. Displacement dengan beban 300 kg

Displacement pada Cylinder bucket dengan beban 300 kg menghasilkan nilai max yaitu 0,9593 mm ditunjukkan pada warna merah dan min 0 mm ditunjukkan pada warna biru. Berdasarkan hasil simulasi Displacement dengan 3 variasi beban yang berbeda yaitu 200 kg, 250 kg, dan 300 kg. memberikan nilai perubahan bentuk dengan berat 200 kg yaitu 0,6396 mm, beban 250 kg yaitu 0,7995 mm, dan beban 300 kg yaitu 0,9593 mm.

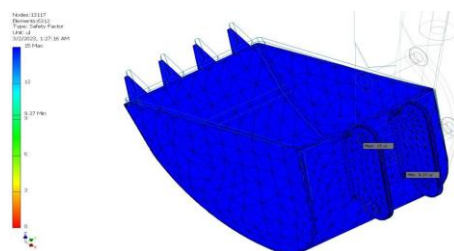
### 3. *Safety factor*

Safety Factor adalah metrik yang digunakan untuk menilai tingkat keamanan komponen elemen mesin. Safety Factor yang layak harus lebih besar dari 1 dan dalam rentang faktor 1 hingga 15 untuk mencegah kegagalan cylinder boom hydraulic excavator. Bagian yang paling aman dilambangkan dengan warna biru, dan bagian yang melebihi batas aman dilambangkan dengan warna merah. Berdasarkan hasil simulasi dengan 3 variasi beban yang berbeda yaitu 200 kg, 250 kg, dan 300 kg didapatkan nilai terlihat gambar 16, gambar 17 dan gambar 18.



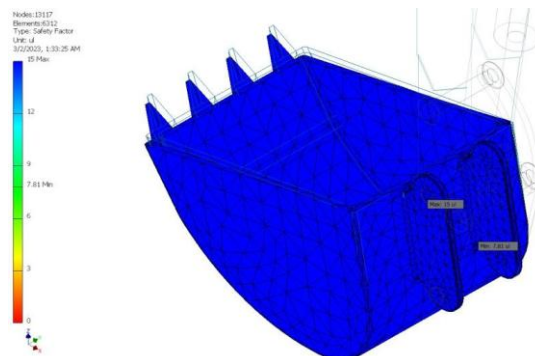
Gambar 16. Safety factor dengan beban 200 kg

*Safety Factor* pada *Cylinder bucket* dengan beban 200 kg menghasilkan nilai *max* yaitu 15 ditunjukkan pada warna biru dan min 11,72 mm ditunjukkan pada warna merah.



Gambar 17. Safety factor dengan beban 250 kg

Safety Factor pada Cylinder bucket dengan beban 250 kg menghasilkan nilai max yaitu 15 ditunjukan pada warna biru dan min 9,37 mm ditunjukan pada warna merah. Safety Factor pada Cylinder bucket dengan beban 35 kg menghasilkan nilai max yaitu 15 ditunjukan pada warna biru dan min 7,81 mm ditunjukan pada warna merah. Berdasarkan hasil simulasi safety factor dengan menggunakan 3 variasi beban yang berbeda (200 kg, 250 kg, dan 300 kg). memberikan nilai safety factor dengan pembebanan 200 kg sebesar 11,72mm, beban 250 kg sebesar 9,37mm, dan beban 300 kg sebesar 7,81mm.



Gambar 18. Safety factor dengan beban 35 kg

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada BAB IV, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil simulasi Von Misses Stress dengan 3 variasi beban berbeda yaitu 200 kg, 250 kg, dan 300 kg. menjadikan nilai tegangan pada pembebanan 200 kg yaitu 64,7 Mpa ditunjukan pada warna merah dan min 0,02 MPa ditunjukan pada warna biru., nilai tegangan pada 250 kg yaitu 80,87 Mpa ditunjukan pada warna merah dan min 0,03 MPa ditunjukan pada warna biru, dan nilai tegangan pada 300 kg yaitu 97,07 MPa ditunjukan pada warna merah dan min 0,03 MPa ditunjukan pada warna biru.
2. Berdasarkan hasil simulasi Dsiplacement dengan 3 variasi beban yang berbeda yaitu 200 kg, 250 kg, dan 300 kg. memberikan nilai perubahan bentuk dengan berat 200 kg yaitu 0,6396 mm menghasilkan nilai max yaitu 0,6396 mm ditunjukan pada warna merah dan min 0 mm ditunjukan pada warna biru., beban 250 kg yaitu 0,7995 mm ditunjukan pada warna merah dan min 0 mm ditunjukan pada warna biru, dan beban 300 kg yaitu 0,9593 mm ditunjukan pada warna merah dan min 0 mm ditunjukan pada warna biru.

Berdasarkan hasil simulasi safety factor dengan menggunakan 3 variasi beban yang berbeda (200 kg, 250 kg, dan 300 kg). memberikan nilai safety factor dengan pembebanan

200 kg sebesar min 11,72 ditunjukkan pada warna merah., beban 250 kg sebesar 9,37mm min ditunjukkan pada warna merah, dan beban 300 kg sebesar min 7,81mm ditunjukkan pada warna merah.

## B. SARAN

- 1) Optimalisasi Desain Struktur Disarankan untuk melakukan modifikasi geometri bucket, terutama pada area yang mengalami konsentrasi tegangan tinggi, agar dapat meningkatkan faktor keamanan dan memperpanjang umur pakai komponen.
- 2) Penggunaan Material Alternatif Penelitian selanjutnya dapat mengeksplorasi penggunaan material alternatif dengan kekuatan lebih tinggi dan berat lebih ringan untuk meningkatkan efisiensi struktur.
- 3) Penambahan Kondisi Beban Nyata Simulasi sebaiknya dilakukan dengan lebih banyak variasi kondisi beban, termasuk beban dinamis dan kombinasi gaya kerja, agar lebih mendekati kondisi operasional di lapangan.
- 4) Validasi Eksperimental Hasil simulasi menggunakan FEA sebaiknya divalidasi dengan uji fisik atau eksperimen untuk mendapatkan data pembandingan serta meningkatkan akurasi hasil simulasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- ASTM. (2010). *Standard Test Method for Ash in a Graphite Sample C 561*. ASTM International.
- ASTM. (2015). *Standard Practice for Determining Equivalent Boron Contents of Nuclear Materials C1233*. ASTM International.
- Florena, F. F., et al. (2016). *Floatability study of graphite ore from southeast Sulawesi (Indonesia)*. AIP Conference Proceedings, 1712.
- IAEA. (2010). *High Temperature Gas Cooled Reactor Fuels and Materials*. IAEA TECDOC 1645.
- IAEA. (2012). *Advances in High Temperature Gas Cooled Reactor Fuel Technology*. IAEA TECDOC CD 1674.
- Joni, I. M., et al. (2013). *Synthesis and dispersion of nanoparticles, and Indonesian graphite processing*. AIP Conference Proceedings, 1554, 20–26.
- Leco Corporation. (2014). *CS 744 Carbon and Sulphur Analyzer Instruction Manual*, Version 1.9.x, Part Number 200-749.
- Mustika, D., et al. (2019). *Purification of Indonesian Natural Graphite by Acid Leaching Method as Nuclear Fuel Matrix: Physical Characterization*. International Journal of Chemistry, 11(1).
- Mustika, D., Torowati, Dimyati, A., Sudirman, Fisli, A., Joni, I. M., & Langenati, R. (2020). *Purification of Indonesian Natural Graphite as Candidate for Nuclear Fuel Matrix by Acid Leaching Method: Chemical Characterization*. Urania, 26(3), 167–176.
- Panatarani, C., Maulana, A. O., Rianto, A., & Joni, I. M. (2016). *Preparation of graphite oxide by sodium cholate intercalation and sonication from Indonesian natural graphite*. AIP Conference Proceedings, 1712.

- Setiadipura, T., Bakhri, S., Sunaryo, G. R., & Wisnusubroto, D. S. (2018). *Cooling passive safety features of Reaktor Daya Eksperimental*. AIP Conference Proceedings, 1984.
- Setiadipura, T., Irwanto, D., & Zuhair. (2015). *Preliminary Neutronic Design of High Burnup OTTO Cycle Pebble Bed Reactor*. Atom Indonesia, 41(1), 7–15.
- Shen, K., et al. (2015). *Advantages of Natural Microcrystalline Graphite Filler Over Petroleum Coke in Isotropic Graphite Preparation*. Carbon, 90, 197–206.
- Sukandarrumidi. (2016). *Bahan Galian Industri*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Tang, C., Tang, Y., Zhu, J., Zou, Y., Li, J., & Ni, X. (2002). *Design and manufacture of the fuel element for the 10 MW high temperature gas-cooled reactor*. Nuclear Engineering and Design, 218(1–3), 91–102.
- Xie, W., et al. (2016). *Fixed Carbon Content and Reaction Mechanism of Natural Microcrystalline Graphite Purified by Hydrochloric Acid and Sodium Fluoride*. International Journal of Mineral Processing, 155, 45–54.
- Yeo, S., Yun, J., Kim, S., Cho, M. S., & Lee, Y. W. (2018). *Fabrication methods and anisotropic properties of graphite matrix compacts for use in HTGR*. Journal of Nuclear Materials, 499, 383–393.
- Zhao, H., Liang, T., Zhang, J., He, J., Zou, Y., & Tang, C. (2006). *Manufacture and characteristics of spherical fuel elements for the HTR-10*. Nuclear Engineering and Design, 236(5–6), 643–647.