

ANALISIS KEKUATAN *BUCKET* DAN GAYA STATIS PADA *BUCKET BACKHOE* JOHN DEERE 310L TERHADAP VARIASI MATERIAL

*Juniar Putra Indra Kiswara¹, Sumar Hadi Suryo², Muchammad²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: jmisugi03@gmail.com; **E-mail: sumarhs.undip@gmail.com

Abstrak

Backhoe loader digunakan untuk berbagai macam tugas yaitu konstruksi, pembongkaran kecil, pemecahan aspal, dan menggali lubang atau penggalian. *Backhoe* merupakan alat utama dari *backhoe loader* yang digunakan untuk menggali material yang keras dan padat, biasanya tanah, atau untuk mengangkat beban berat. Bagian *backhoe* memiliki tiga segmen yaitu *boom*, *stick* dan *bucket*. Berbagai beban diterapkan di ujung *bucket* dan ke lengan *boom* dan penggali. *Bucket* harus menanggung beban impak tinggi selama proses penggalian, menghasilkan tegangan dan deformasi yang besar. Pemodelan *bucket* dan analisis elemen hingga tegangan *bucket* merupakan langkah awal dalam menentukan kekuatan *bucket* John Deere 310L. Selanjutnya material dievaluasi untuk menentukan nilai faktor keamanannya. tersebar di tiga lokasi: *idler point*, *hinge point*, dan ujung *bucket teeth*. Simulasi linear statis yang dilakukan dengan Ansys 2019 menghasilkan nilai tegangan von Mises sebesar 846,63 MPa, 721,1 MPa, dan 767,76 MPa untuk masing-masing dari tiga material yang diuji: Hardox 400, ASTM A36, dan SS 400. Simulasi linier statis yang dilakukan dengan Ansys 2019 dan berbagai material yang diuji menghasilkan nilai distribusi deformasi masing-masing sebesar 15,607 mm, 14,327 mm, dan 15,025 mm. Nilai faktor keamanan yang diuji untuk Hardox 400, ASTM A36, dan SS 400 masing-masing yaitu 1,1811, 0,3467; dan 0,3061; dalam simulasi linier statis yang dilakukan dengan Ansys. Sehingga dapat disimpulkan jenis material yang aman digunakan pada *bucket excavator* John Deere 310L adalah material Hardox 400 karena material tersebut memiliki nilai *safety factor* lebih dari satu, $\sigma > 1$.

Kata kunci: *bucket*, deformasi, fem, *safety factor*; von mises

Abstract

Backhoe loaders are used for a wide range of tasks, including digging or digging, minor demolition, breaking asphalt, and construction. The *backhoe* is the primary tool of the *backhoe loader*, which is used to lift heavy loads or dig hard, dense materials, typically soil. The *boom*, *stick*, and *bucket* are the three sections of the *backhoe* section. The *bucket's* end and the arms of the *boom* and digger are subjected to a variety of loads. During the excavation process, the *bucket* must bear heavy impact loads, causing significant stresses and deformations. The *bucket* modeling and finite element analysis of the *bucket* stress are the first steps in determining the strength of the John Deere 310L *bucket*. Next, the material is evaluated to determine the *safety factor's* value. spread out over three points: the *idler point*, the *hinge point*, and the end of the *bucket teeth*. For each of the three materials that were tested, von Mises stress values of 846.63 MPa, 721.1 MPa, and 767.76 MPa were obtained through static linear simulations conducted with Ansys. SS 400, Hardox 400, and ASTM A36 Simulation The various materials tested and the static linear test performed with Ansys produced deformation distribution values of 15.607 mm, 14.327 mm, and 15.025 mm, respectively. In a static linear simulation conducted with Ansys, the *safety factor* values tested for Hardox 400, ASTM A36, and SS 400 were 1.1811, 0.3467, and 0.3061, respectively. Because Hardox - 400 material has a *safety factor* value of more than one, > 1 , it can be concluded that this material is safe to use on the John Deere 310L excavator *bucket*.

Keywords: *bucket*, deformasi, fem, *safety factor*; von mises

1. Pendahuluan

Backhoe loader digunakan sebagai mesin utilitas untuk proyek konstruksi besar seperti jalan, bendungan, dan proyek infrastruktur perkotaan. Mereka juga dapat digunakan untuk penggalian umum, pengelolaan limbah, pembongkaran, dan penambangan, serta memuat truk dan hopper, penggalian dan pembersihan kanal, dan penggalian umum [1].

Bagian *backhoe* memiliki 3 segmen yaitu *boom*, *stick* (lengan) dan *bucket*. *Bucket* adalah komponen kunci dan utama dari mesin konstruksi berat seperti *backhoe*. *Bucket* harus menanggung beban impak tinggi selama proses penggalian, menghasilkan tegangan dan deformasi yang besar [2].

Bucket excavator harus memiliki kekuatan yang memadai untuk, melakukan pengerjaan dengan andal dalam kondisi kerja yang *intens*. Selama proses penggalian, *bucket excavator* biasa bergerak dalam siklus. Beberapa bagian

excavator mengalami *cyclic stress* akibat sifat pekerjaan yang berulang. Tingkat tegangan yang tinggi, mengakibatkan kerusakan atau kegagalan pada *bucket* itu sendiri, sehingga hal ini dapat mengurangi produktifitas dari *excavator* [3].

Bucket excavator ini terbuat dari besi padat yang memiliki gigi dibagian ujung *bucket* yang menonjol dari ujung tajamnya, untuk membantu proses penggalian. Dalam penggunaan *excavator* pada suatu bidang industri terdapat beberapa jenis *bucket*. Perbedaan tersebut dikelompokkan sesuai kebutuhan, sehingga eksavator dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan jenis *bucket*-nya [4]

Bucket excavator sangat berperan dalam pengoperasian yaitu saat melakukan penggalian. Untuk menentukan kekuatan dari *bucket excavator*, dapat dilakukan analisa statis gaya reaksi pada saat *bucket excavator* dengan diberikan beban dan diisi volume dari material yang akan dimuat. Dari analisis statis, daerah tegangan tinggi dapat diketahui ketika *backhoe loader* berada dalam kondisi beban yang berbeda, sedangkan pemberian beberapa perubahan desain dapat meningkatkan minimalisasi tegangan [5]. Hasil dari analisa ini digunakan untuk evaluasi dari *bucket excavator* dinilai terhadap kehandalannya sesuai dengan spesifikasi kebutuhan dalam penggunaannya. Maka dari itu, penulis tertarik untuk melakukan pembahasan pada *bucket excavator* ini untuk mengetahui gaya statis yang terjadi saat *bucket excavator* melakukan gaya *digging* serta variasi material *bucket* terhadap kekuatan, dan *safety factor*.

2. Material dan Metode Penelitian

2.1 Variasi Penelitian

Dalam penelitian ini, terdapat tiga bahan material yang akan dianalisis linear statik sehingga diketahui nilai tegangannya dengan memperhatikan nilai *safety factor*.

A. Material Hardox 400

Tabel 1. Mechanical Properties Material Hardox 400. [6]

No.	Mechanical Properties	Nilai	Satuan
1.	Densitas	7473,57	Kg/m ³
2.	Modulus elastisitas	210	GPa
3.	Rasio poisson	0,29	-
4.	Kekuatan luluh	1000	MPa
5.	Tegangan maksimum	1250	MPa

B. Material ASTM A36

Tabel 2. Mechanical Properties Material ASTM A36. [7]

No.	Mechanical Properties	Nilai	Satuan
1.	Densitas	7850	Kg/m ³
2.	Modulus Elastisitas	200	GPa
3.	Rasio poisson	0,32	-
4.	Kekuatan luluh	250	MPa
5.	Tegangan maksimum	475	MPa

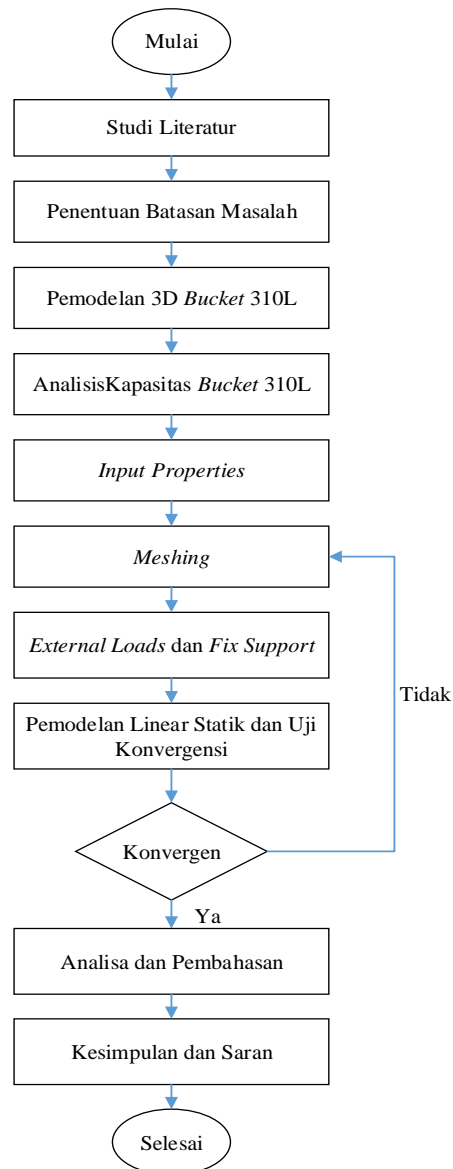
C. Material SS 400

Tabel 3. Mechanical Properties Material SS 400. [8]

No.	Mechanical Properties	Nilai	Satuan
1.	Densitas	7860	Kg/m ³
2.	Modulus Elastisitas	225	GPa
3.	Rasio poisson	0,26	-
4.	Kekuatan luluh	235	MPa
5.	Tegangan maksimum	400	MPa

2.2 Diagram Alir Penelitian

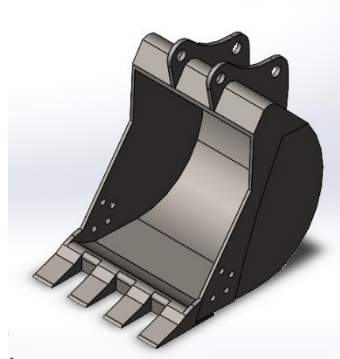
Pada penelitian ini langkah-langkah kegiatan mengacu pada diagram alir yang bisa dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir

2.3 Proses Pemodelan 3D Bucket Excavator

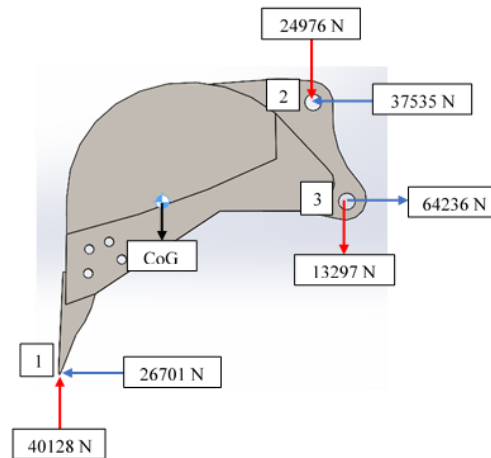
Pembuatan desain *bucket* menggunakan *software* CAD dengan menggunakan pendekatan dari model aslinya. *Software* CAD yang digunakan untuk memodelkan *bucket* yaitu Solidworks 2019.



Gambar 2. Model 3D Bucket 310L

2.4 Analisis Gaya Statis

Analisis gaya statis pada *bucket* terdapat tiga titik yang harus dihitung untuk gaya reaksinya sehingga dapat diperoleh reaksi gaya dan arahnya sesuai dengan beban yang diberikan. Mengikuti referensi perhitungan kapasitas *bucket* yang dilakukan sebelumnya dengan memilih *digging force* pada *bucket* dari katalog maka dapat dilihat pada diagram benda bebas berikut:



Gambar 3. Diagram Benda Bebas *Bucket*.

Berikut adalah perhitungan gaya statis pada tiga titik pada *bucket*: [9]

- a. Analisa gaya statis pada titik 1

$$F1 = F1x \cdot \cos(\alpha_1)$$

$$F1x = F1 \cdot \cos(\alpha_1) = 48200 \text{ N} \cdot \cos 56,36^\circ = 26701 \text{ N}$$

$$F1 = F1y \cdot \sin(\alpha_1)$$

$$F1y = F1 \cdot \sin(\alpha_1) = 48200 \text{ N} \cdot \sin 56,36^\circ = 40128 \text{ N}$$

- b. Analisa gaya statis pada titik 2

$$\sum M3 = 0$$

$$F1 \cdot l1 + Fgb \cdot lgb - F2 \cdot l2 = 0$$

$$F2 = \frac{F1 \cdot l1 - Fgb \cdot lgb}{l2}$$

$$F2 = \frac{48200 \text{ N} \cdot 1,00458 \text{ m} - 1855,41 \text{ N} \cdot 0,55053 \text{ m}}{0,30619 \text{ m}}$$

$$F2 = 45085 \text{ N}$$

$$F2x = F1 \cdot \sin(\alpha_2) = 45085 \text{ N} \cdot \sin 56,36^\circ = 37535 \text{ N}$$

$$F2y = F1 \cdot \cos(\alpha_2) = 45085 \text{ N} \cdot \cos 56,36^\circ = 24976 \text{ N}$$

- c. Analisa gaya statis pada titik 3

$$\sum Fx = 0$$

$$-F1x - F2x + F3x = 0$$

$$F3x = 26701 \text{ N} + 37535 \text{ N}$$

$$F3x = 64236 \text{ N}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$F1y - F2y - Fg - F3y = 0$$

$$F3y = 40128 \text{ N} - 24976 \text{ N} - 1855,41 \text{ N}$$

$$F3y = 13297 \text{ N}$$

- d. *Bucket curling force* (Fb)

Jumlah *teeth* pada *bucket* adalah sebanyak 4, dengan demikian beban Fb yang diterima *teeth* adalah dibagi 4, yaitu:

$$Fb = F1/4$$

$$Fb = 48200\text{N}/4 = 12050\text{N}$$

Mencari resultan gaya pada sumbu x:

$$Fbx = Fb \cdot \cos(\alpha_1)$$

$$Fbx = 12050 \text{ N} \cdot \cos 56,36^\circ = 6675 \text{ N}$$

Mencari resultan gaya pada sumbu y:

$$Fby = Fb \cdot \sin(\alpha_1)$$

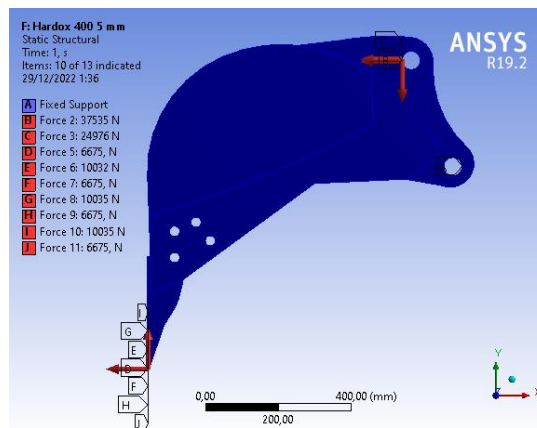
$$Fby = 12050 \text{ N} \cdot \sin 56,36^\circ = 10032 \text{ N}$$

Jadi nilai gaya yang diinput pada proses simulasi yaitu gaya pada titik 2 sumbu x ke arah kiri sebesar $F2x = 37535\text{ N}$, gaya pada titik 2 sumbu y ke arah bawah sebesar $F2y = 24976\text{ N}$, gaya pada masing masing *teeth bucket* sumbu x ke arah kiri dan sumbu y ke arah atas masing masing sebesar $Fbx = 6675\text{ N}$ dan $Fby = 10032\text{ N}$.

2.5 Proses Analisis Struktur

Analisis struktur desain awal menggunakan pemodelan linear statis menggunakan *software* Ansys yang hasilnya digunakan untuk menentukan daerah kritis.

1. *Meshing Control*
 Pada tahapan ini dilakukan penentuan metode *meshing* untuk 3D *modelling* dengan menentukan parameter.
2. Pemberian *Fix Support*
 Pemberian *fix support* atau tumpuan pada bagian *bucket hinge* yang berhubungan langsung dengan *arm excavator*.
3. Pemberian Gaya
 Setelah dibuat tumpuan maka dilakukan pemberian gaya pada *bucket* untuk menentukan jenis analisis linear statis.
4. Penentuan Material.
 Pada tahapan ini dilakukan penentuan jenis material yang digunakan dan pemberian *properties*.
5. Input Evaluasi Material
 Dalam penelitian ini, material *bucket* dievaluasi terhadap deformasi, *stress (von mises)*, *strain (von misses)*, dan *safety factor*.



Gambar 3. Reaksi Gaya dan Arah Gaya.

3 Pembahasan dan Analisis

3.1 Hasil Analisis Gaya Statis

Analisis gaya statis dengan menggunakan perhitungan manual bertujuan untuk mengetahui besar gaya yang terjadi disetiap *joint* dari *bucket excavator*.

1. Gaya Statis *Bucket* dengan Material Hardox 400
 Hasil perhitungan gaya statis pada titik-titik *bucket* dengan nilai CoG sebesar 1855,41 N disajikan pada Tabel 5.

Tabel 4. Gaya Statis *Bucket* Material Hardox 400.

Joint Bucket	Gaya x (N)	Gaya y (N)	Resultan Gaya (N)
1	26701	40128	48200
2	37535	24976	45085
3	64236	13297	65598

2. Gaya Statis *Bucket* dengan Material ASTM A36
 Hasil perhitungan gaya statis pada titik-titik *bucket* dengan nilai CoG sebesar 1948,86 N disajikan pada Tabel 6.

Tabel 5. Gaya Statis *Bucket* Material ASTM A36.

Joint Bucket	Gaya x (N)	Gaya y (N)	Resultan Gaya (N)
1	26701	40128	48200
2	43229	28765	45085
3	69931	9414	70562

3. Gaya Statis *Bucket* dengan Material SS 400
 Hasil perhitungan gaya statis pada titik-titik *bucket* dengan nilai CoG sebesar 1951,35 N disajikan pada Tabel 7.

Tabel 6. Gaya Statis *Bucket* Material SS 400.

Joint Bucket	Gaya x (N)	Gaya y (N)	Resultan Gaya (N)
1	26701	40128	48200
2	40312	26824	41925
3	67014	11353	65598

3.2 Uji Konvergensi

Uji konvergensi digunakan untuk menentukan jumlah elemen yang sesuai untuk dilanjutkan dengan proses optimasi yang terlebih dahulu dilakukan dengan perbaikan *mesh* secara bertahap dan setiap kenaikan elemen pada daerah tertentu sehingga didapat hasil yang konvergen.

Tabel 7. Uji Konvergensi Material Hardox 400.

No.	Elements Size (mm)	Elements	von Mises (mm)
1.	5	353680	845,2
2.	7,5	153068	849,11
3.	10	69015	846,63
4.	12,5	43713	824,82
5	15	30786	829,77

Tabel 8. Uji Konvergensi Material ASTM A36.

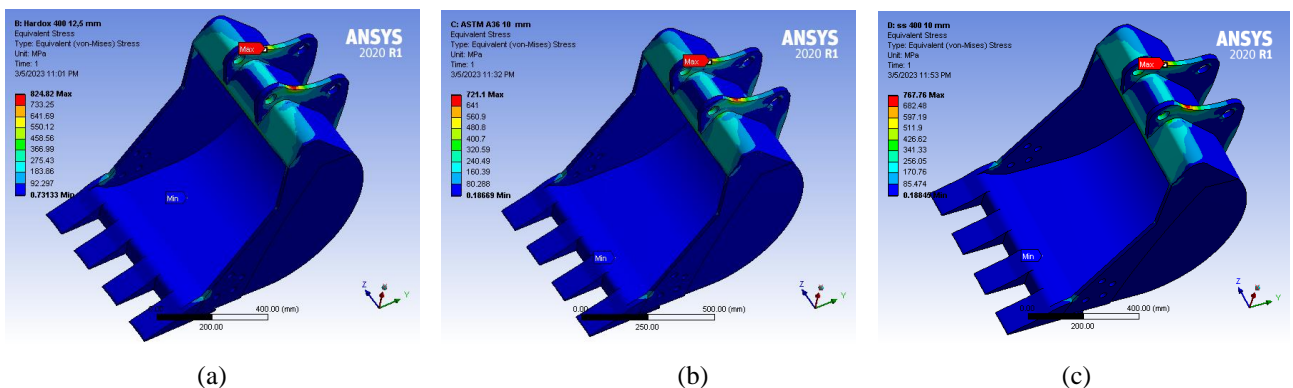
No.	Elements Size (mm)	Elements	von Mises (mm)
1.	5	353680	718,48
2.	7,5	153068	722,87
3.	10	69015	721,1
4.	12,5	43713	701,24
5	15	30786	707,03

Tabel 9. Uji Konvergensi Material SS 400.

No.	Elements Size (mm)	Elements	von Mises (mm)
1.	5	353680	766,02
2.	7,5	153068	769,93
3.	10	69015	767,76
4.	12,5	43713	745,66
5	15	30786	752,12

3.3 Hasil Simulasi Linear Statis *von Mises Bucket*

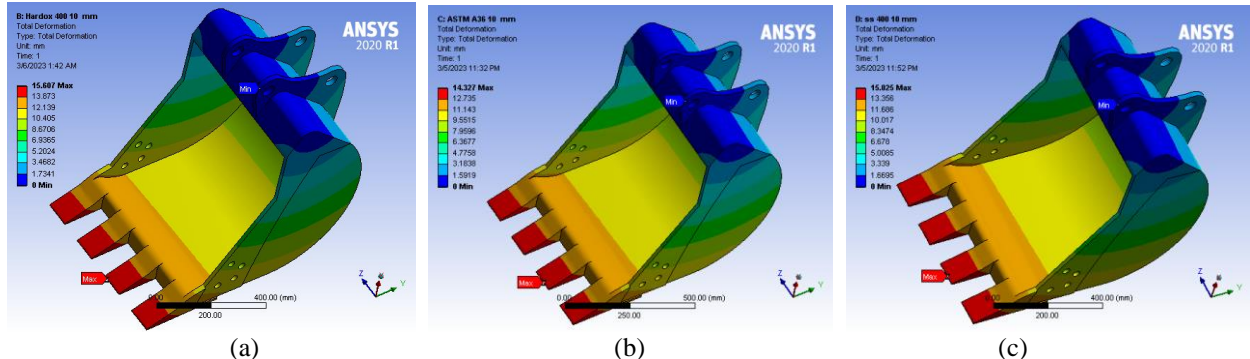
Simulasi linear statis dengan menggunakan *software* Ansys bertujuan untuk mengetahui apakah material yang digunakan akan mengalami kegagalan atau tidak dan dapat dilakukan analisa linear statis untuk mendapatkan tegangan *von mises*. *Bucket* dengan material Hardox 400 didapatkan nilai tegangan *von mises* yaitu 846,63 MPa, *Bucket* dengan material ASTM A36 didapatkan nilai tegangan *von mises* yaitu 721,21 MPa, *Bucket* dengan material SS 400 didapatkan tegangan *von mises* sebesar 767,76 MPa



Gambar 4. Hasil Distribui Tegangan *Bucket* (a) Hardox 400, (b) ASTM A36, (c) SS 400

3.4 Hasil Simulasi Linear Stasis Deformasi *Bucket*

Data visual dan gradasi warna menyertai hasil deformasi, dengan warna biru mewakili deformasi terkecil dan merah mewakili terbesar. *Bucket* dengan material Hardox 400 didapatkan nilai deformasi sebesar 15,607 mm, *Bucket* dengan material ASTM A36 didapatkan nilai deformasi sebesar 14,327 mm, *Bucket* dengan material SS 400 didapatkan nilai deformasi sebesar 15,025 mm.



Gambar 5. Hasil Distribusi Deformasi (a) Hardox 400 (b) ASTM A36 (c) SS 400

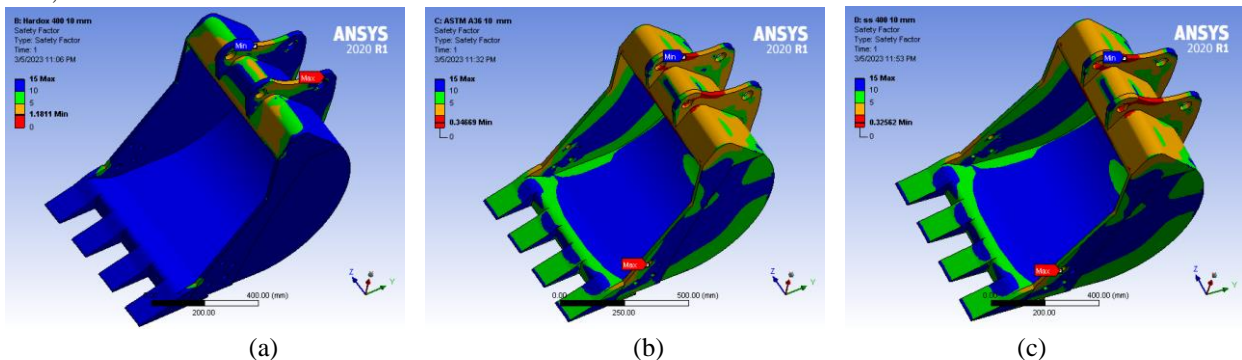
3.5 Hasil Simulasi Linear Stasis *Safety Factor*

Safety factor pada *Bucket* memiliki peran yang penting agar kita dapat mengetahui tingkat keamanan suatu struktur apabila diberi suatu beban. *Safety factor* dikatakan aman jika nilai tegangan maksimum *von mises* tidak melebihi batas nilai kekuatan yang diijinkan dalam hal ini nilai *yield strength* dari material [10].

Tabel 10. Nilai *Safety Factor* pada *Bucket*

No.	Jenis Material	Von Mises (MPa)	Allowable Stress (MPa)	Safety Factor	Keterangan
1.	Hardox 400	846,63	1000	1,1811	Safe
2.	ASTM A36	721,1	250	0,3467	Unsafe
3.	SS 400	767,76	235	0,3061	Unsafe

Berikut hasil simulasi linear stasis *safety factor* dengan tiga variasi material yaitu material Hardox 400, ASTM A36, dan SS 400.



Gambar 6. Hasil *Safety Factor* (a) Hardox 400 (b) ASTM A36 (c) SS 400

4. Kesimpulan

Distribusi gaya yang berpengaruh pada bucket excavator John Deere 310L tersebar di tiga titik, yaitu titik 1 pada *bucket teeth*, titik 2 pada *idler point*, dan titik tiga pada *hinge point*. Setelah simulasi linear stasis yang dilakukan dengan Ansys menghasilkan nilai tegangan *von Mises* sebesar 846,63 MPa, 721,1 MPa, dan 767,76 MPa untuk masing-masing dari tiga material yang diuji: Hardox 400, ASTM A36, dan SS 400. Kemudian untuk nilai distribusi deformasi dari tiga material tersebut masing-masing sebesar 15,607 mm, 14,327 mm, dan 15,025 mm.

Nilai faktor keamanan yang diuji untuk Hardox 400, ASTM A36, dan SS 400 masing-masing adalah 1,1811, 0,3467, dan 0,3025. Setelah dilakukan evaluasi *safety factor* terhadap material yang diuji dapat disimpulkan jenis material yang aman digunakan pada *bucket excavator* John Deere 310L adalah material Hardox 400 dikarenakan material tersebut memiliki nilai *safety factor* lebih dari satu, $\sigma > 1$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mahesh, A. (2015) 'Static Force Analysis of Mini Hydraulic Backhoe Excavator And Evaluation of Bucket Capacity, Digging Force Calculations', (January), pp. 25–32.
- [2] Purushothaman, P. (2012) 'Backhoe Loader Finite Element Analysis', (August). doi: 10.13140/2.1.4973.7601.
- [3] Mughal, K.H., dkk. (2021). Numerical Evaluation of Contemporary Excavator Bucket Designs using Finite Element Analysis. *Jurnal Kejuruteraan*. 33(3). 579-591.
- [4] Septiawan, R. et al. (2016) 'Karakterisasi Material Bucket Teeth Excavator Backhoe'
- [5] C. K., M., and Ikbalahemad, M. R. (2015). Development of Backhoe Machine by 3D Modelling using CAD Software and Verify the Structural Design by using Finite Element Method
- [6] Sheet, D. and Plate, A. R. (1999) 'Abrasion Resistant Plate', pp. 10–11
- [7] Rahman, A. *et al.* (2022) 'Optimasi Desain Dan Analisis Tegangan Bucket Excavator Cat 390F L', 10(2), pp. 207–216.
- [8] Asmara, S., P., & Yudo, H. (2019). Desain Kapal Keruk Perairan Dangkal Menggunakan Bucket Elevator. Vol. 16 (84).
- [9] Mahesh, A. (2015) 'Static Force Analysis of Mini Hydraulic Backhoe Excavator And Evaluation Of Bucket Capacity, Digging Force Calculations', (January), pp. 25–32.
- [10] Wicaksono, D. S. et al. (2021) 'Analisa Tegangan Dan Optimasi Desain Arm Excavator Tipe Cat 320D Menggunakan Solidworks'.