

EVALUASI KAPASITAS BUCKET DAN ANALISIS GAYA STATIS PADA MINI HIDROLIK BACKHOE EXCAVATOR CAT 302-CR

*Hosea Sutan M. Hutagalung¹, **Sumar Hadi Suryo², Bambang Yuniyanto²

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

Abstrak

Excavator hidrolik memiliki variasi *Bucket* yang dapat digunakan sesuai kepentingan suatu proyek. Biasanya *Bucket Excavator* bekerja di bawah gerakan siklik selama proses penggalian. Karena sifat pekerjaan yang berulang ini, tegangan siklik dapat terjadi pada beberapa bagian Excavator. Untuk mengetahui kekuatan *Bucket* maka dilakukan pemodelan *Bucket* terlebih dahulu dan menganalisis tegangan *Bucket* menggunakan metode elemen hingga kemudian dilanjutkan dengan melakukan evaluasi untuk mengetahui nilai *safety factor* dan melakukan simulasi untuk mendapatkan umur kelelahan (*Life Cycle Fatigue*) dari *Bucket*. Hasil penelitian ini didapatkan distribusi gaya yang berpengaruh pada *Bucket excavator* yang ada di 3 titik, yaitu ujung *Bucket teeth* (A4), idler point (A11) dan Hinge point (A3). Nilai tegangan (von mises) pada jenis material Hardox-400, ASTM A36, dan SS 400 berturut-turut adalah 401,02 MPa, 399,41 MPa 401,32 MPa. Nilai displacement pada jenis material Hardox-400, ASTM A36, dan SS 400 berturut-turut adalah 1,2212 mm, 1,2212 mm, 1,2278 mm. Sedangkan nilai *safety factor* pada jenis material Hardox-400, ASTM A36, dan SS 400 berturut-turut adalah 2,54, 0,61, dan 0,58. Dan setelah dilakukan simulasi untuk mendapatkan umur kelelahan dari *bucket* maka diperoleh nilai pada jenis material Hardox-400, ASTM A36, dan SS 400 berturut-turut adalah 13734 siklus, 2716 siklus, dan 2676 siklus. Sehingga material yang dapat dikatakan aman untuk digunakan sebagai *bucket* yaitu Hardox - 400 karena nilai *safety factor* nya ≥ 1 .

Kata kunci: bucket excavator; displacement; life cycle fatigue; safety factor; tegangan von mises

Abstract

Excavators have a variety of buckets that can be used according to the needs of a project. bucket Excavators must be strong enough to work reliably in tough working conditions. Usually Bucket excavator works under cyclic motion during the excavation process. Due to the repetitive nature of this work, cyclic stresses may occur in some parts of the Excavator. To determine the strength of the bucket is modeled bucket first and analyzed the bucket using the finite element method, then followed by an evaluation to determine the value of the safety factor and perform simulations to get the life cycle fatigue of the bucket. The results of this study obtained the distribution of forces that affect the bucket excavator bucket teeth (A4), idler point (A11) and Hinge point (A3). The stress values (von mises) on the Hardox-400, ASTM A36, and SS 400 materials are 401.02 MPa, 399.41 MPa 401.32 MPa, respectively values Displacement for Hardox-400, ASTM A36, and SS 400 materials are 1.2212 mm, 1.2212 mm, 1.2278 mm, respectively. While the safety factor for Hardox - 400, ASTM A36, and SS 400 materials are 2.54, 0.61, and 0.58, respectively. And after a simulation is carried out to get the life cycle fatigue of bucket, the values for the Hardox - 400, ASTM A36, and SS 400 material types are 13734 cycles, 2716 cycles, and 2676 cycles, respectively. So that the material that can be said to be safe to use as a bucket is Hardox - 400 because of its safety factor value ≥ 1 .

Keywords: displacement; excavator bucket; life cycle fatigue; safety factor; von mises stress

1. Pendahuluan

Industri pertambangan, kehutanan, dan konstruksi melibatkan fungsi penggalian. Selama beberapa dekade terakhir, investasi dan upaya substansial telah dilakukan dalam mengembangkan solusi mekanis untuk melakukan kegiatan ini [1].

Excavator hidrolik juga bisa dibidang penggali tanah. *Excavator hidrolik* memiliki banyak variasi jenis, misalnya roda penggerak yang menggunakan rantai ataupun yang menggunakan roda seperti yang ada pada kendaraan pada umumnya, dan juga memiliki variasi alat yang dapat digunakan sesuai kepentingan kegiatan tersebut. Dalam suatu kegiatan yang dilakukan, pemilihan dari jenis, alat dan ukuran dari Excavator tentunya memiliki peran yang penting dalam pengaplikasiannya, hal ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dari suatu kegiatan sehingga keuntungan ekonomis dapat dicapai [2].

Bucket Excavator harus cukup kuat untuk bekerja dengan andal dalam kondisi kerja yang berat. Biasanya *Bucket Excavator* bekerja di bawah gerakan siklik selama proses penggalian. Karena sifat pekerjaan yang berulang ini, tegangan

siklik dapat terjadi pada beberapa bagian *Excavator*. Tingkat tegangan yang tinggi, mengakibatkan kerusakan atau kegagalan pada *Bucket* itu sendiri, sehingga hal ini dapat mengurangi produktifitas dari *Excavator*. Optimisasi dilakukan untuk mengurangi nilai stress dan deformasi akibat kegiatan siklik tersebut, sehingga dapat mengurangi biaya pembuatan suatu komponen dan juga meningkatkan performansi dari mesin [3].

Maka dari itu, penulis tertarik untuk melakukan pembahasan pada *Bucket excavator* ini untuk mengetahui volume dan gaya statis yang terjadi saat *Bucket excavator* melakukan gaya *digging*.

2. Metode Penelitian

2.1 Variasi Penelitian

Pada penelitian ini, terdapat tiga bahan material yang akan dibandingkan besar nilai tegangannya, nilai *safety factor*, dan umur kelelahan (*Life Cycle Fatigue*).

A. Material Hardox – 400

Tabel 1. *Mechanical Properties Hardox - 400* [4]

No.	Mechanical Properties	Nilai
1	Modulus Elastisitas (Gpa)	210
2	Possion Ratio	0.29
3	Massa Jenis (kg/mm ³)	7473.57
4	Yield Strength (MPa)	1000
5	Tensile Strength (MPa)	1250

B. Material ASTM A36

Tabel 2. *Mechanical Properties ASTM A36* [5]

No.	Mechanical Properties	Nilai
1	Modulus Elastisitas (GPa)	200
2	Possion Ratio	0.32
3	Massa Jenis (kg/mm ³)	7850
4	Yield Strength (MPa)	250
5	Tensile Strength (MPa)	475

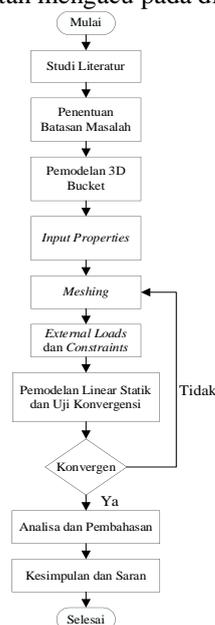
C. Material SS 400

Tabel 3. *Mechanical Properties SS 400* [6]

No.	Mechanical Properties	Nilai
1	Modulus Elastisitas (GPa)	200
2	Possion Ratio	0.26
3	Massa Jenis (kg/mm ³)	7860
4	Yield Strength (MPa)	235
5	Tensile Strength (MPa)	400

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 Penelitian

2.3 Proses Pemodelan 3D Bucket Excavator

Pembuatan desain *Bucket excavator* menggunakan Software CAD dengan menggunakan pendekatan dari model aslinya. Software CAD yang digunakan untuk memodelkan adalah Solidworks 2019.



Gambar 2. Model 3D Bucket

2.4 Analisis Bucket Capacity

Analisis *Bucket capacity* dilakukan untuk menentukan gaya *bucket force* yang tepat berdasarkan dari data *catalog* yang nantinya akan dijadikan sebagai input pada proses simulasi. Berikut merupakan dimensi dari *Mini Bucket Excavator 302-CR*. [7]

Tabel 4. Dimensi *Bucket Excavator*

PArea (mm ³)	Wf (mm)	Wr (mm)	Lb (mm)
300033,5	478	508	528

$$V_s = PArea \left(\frac{W_f + W_r}{2} \right) \quad V_e = \left(\frac{L_b W_f^2}{4} - \frac{W_f^3}{12} \right)$$

$$V_s = 147916515,5 \text{ mm}^3 \quad V_e = 29257281,79 \text{ mm}^3$$

$$V_h = V_s + V_e$$

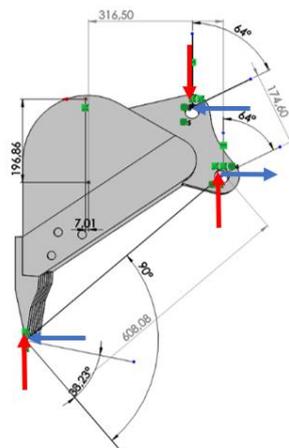
$$V_h = 177173797,3 \text{ mm}^3$$

$$V_h \approx 0,177173797 \text{ m}^3$$

Dari perhitungan di atas didapatkan besar *Bucket capacity* sebesar 0,177173797m³ dan data yang dipakai merupakan *Bucket, arm, dan boom* dengan ukuran standar gaya maksimum.

2.5 Analisis Gaya Statis

Analisis pada *Bucket* terdapat tiga titik yang harus dihitung untuk gaya reaksinya. Mengikuti referensi perhitungan kapasitas *Bucket* yang dilakukan sebelumnya dengan memilih gaya breakout dari katalog yaitu 19.6 kN pada sudut 38,23° untuk kondisi maksimal pada konfigurasi 30°.



Gambar 3. Diagram Benda Bebas Pembebanan

- *Bucket curling force* (Fb)

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

$$F_b = 19.6 \text{ kN}/4$$

$$F_b = 4.9 \text{ kN}$$

Mencari resultan gaya pada sumbu x:

$$F_x = \cos(38.23) \times F_b$$

$$F_x = \cos(38.23^\circ) \times 4.9$$

$$F_x = 3,849 \text{ kN}$$

Mencari resultan gaya pada sumbu y:

$$F_y = \sin(38.23) \times F_b$$

$$F_y = \sin(38.23) \times 4.9$$

$$F_y = 3,032 \text{ kN}$$

Jadi nilai gaya yang diinput pada proses simulasi yaitu:

$$F_x = 3,849 \text{ kN} \quad F_y = 3,032 \text{ kN}$$

Dengan menetapkan momen $\Sigma M = 0$ pada titik A3 maka gaya F11 dapat diperhitungkan dengan persamaan berikut:

$$F_4 \cdot I_4 - F_{gb} \cdot I_{gb} = F_{11} \cdot I_{11}$$

Dimana F_4 merupakan *Bucket curling force* yang bekerja pada ujung *bucket*, F_{gb} diartikan sebagai beban massa dari *Bucket*, I_4 , I_{gb} , dan I_{11} merupakan jarak dari titik yang berpengaruh terhadap gaya dengan titik yang dijadikan sebagai pusat momen. [8]

2.6 Analisis Struktur (Desain Awal)

Analisis struktur desain awal menggunakan pemodelan linear statik menggunakan Software Ansys 2019 yang hasilnya digunakan untuk menentukan daerah kritis.

a. Import Geometri

Tahapan pertama dalam simulasi linear statik adalah untuk import geometri dari Software Ansys.

b. Meshing Control

Pada tahapan ini dilakukan penentuan metode Meshing untuk 3D modelling dengan menentukan parameter.

c. Pemberian Constraint

Pemberian *constraint* atau tumpuan pada bagian *Bucket hinge* yang berhubungan langsung dengan arm excavator dengan menggunakan fixed constraint.

d. Pemberian Gaya

Setelah dibuat tumpuan maka dilakukan pemberian gaya pada *Bucket* untuk menentukan jenis analisis linear *static*.

e. Penentuan Material

Pada tahapan ini dilakukan penentuan jenis material yang digunakan dengan hasil pengujian dan pemberian properties.

f. Analisis Processing

Proses *running* analisis ini dilakukan dengan mengklik Solve (F5) yang ditunjukkan pada gambar. Setelah dilakukan proses analisis maka dilanjutkan dengan evaluasi material yang dilihat pada di bawah.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Analisis Gaya Statik

Analisis gaya statik dengan menggunakan perhitungan manual yang bertujuan untuk mengetahui besar gaya yang terjadi di setiap joint dari *bucket* excavator. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5, Tabel 6, dan Tabel 7 di bawah.

Tabel 5. Gaya Statik *Bucket* dengan Material Hardox - 400

Joints	x/y (N)	x (N)	Y (N)
Fb [C.G]	1141,9821	0	1141,9821
A4	19600	15396,44656	12128,86777
A11	66190,89728	29016,17955	59491,9844
A3	83305,17681	44412,62611	70478,87007

Tabel 6. Gaya Statik *Bucket* dengan Material ASTM A36

Joints	x/y (N)	x (N)	Y (N)
Fb [C.G]	765,18	0	765,18
A4	19600	15396,44656	12128,86777
A11	66873,93202	29315,60227	60105,89195
A3	84303,42897	44712,04882	71469,57972

Tabel 7. Gaya Statik *Bucket* dengan Material SS 400

Joints	x/y (N)	x (N)	Y (N)
Fb [C.G]	771,066	0	771,066
A4	19600	15396,44656	12128,86777
A11	66863,26238	29310,92501	60096,30214
A3	84287,82853	44707,37156	71454,10391

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. Pada proses uji konvergensi material yang digunakan yaitu sesuai dengan material yang telah dilakukan analisis statik sebelumnya.

Tabel 8. Uji Konvergensi Material Hardox – 400

No.	Element Size	vonMises (MPa)	Elements
1	5	401.02	200730
2	7.5	389.96	90244
3	10	398.41	55438
4	12.5	379.58	36994
5	15	399.14	25471

Tabel 9. Uji Konvergensi Material ASTM A36

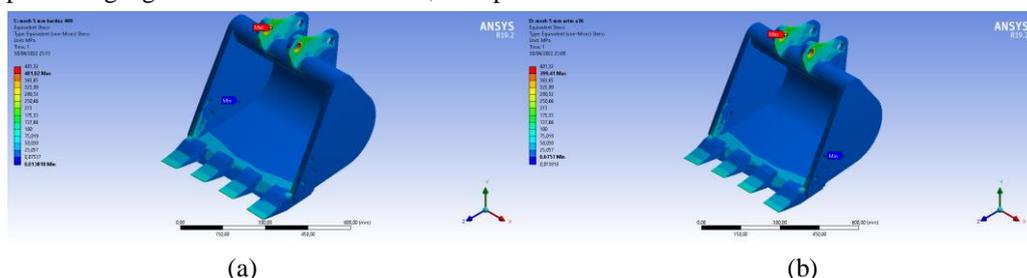
No.	Element Size	vonMises (MPa)	Elements
1	5	399.41	200730
2	7.5	384.72	90244
3	10	406.72	55438
4	12.5	382.61	36994
5	15	324.89	25471

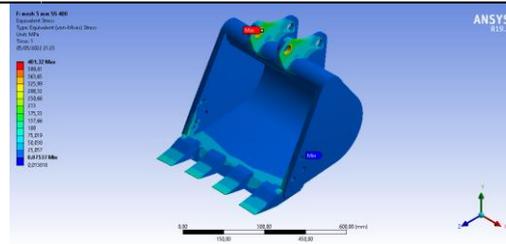
Tabel 10. Uji Konvergensi Material SS 400

No.	Element Size	vonMises (MPa)	Elements
1	5	401.32	200730
2	7.5	384.69	90244
3	10	406.7	55438
4	12.5	382.58	36994
5	15	324.87	25471

3.3 Hasil Simulasi Linear Statik

Tujuan dari simulasi linier statik adalah untuk menentukan apakah material yang digunakan tidak akan mengalami kegagalan, dan analisis statik linier dapat digunakan untuk mendapatkan tegangan von Mises pada *Bucket* excavator. Pada hasil simulasi ini untuk *Bucket* dengan material Hardox – 400 didapatkan tegangan von mises sebesar 401,02 MPa, untuk *Bucket* dengan material ASTM A36 didapatkan tegangan von mises sebesar 399,41 MPa, untuk *Bucket* dengan material SS 400 didapatkan tegangan von mises sebesar 401,32 Mpa.



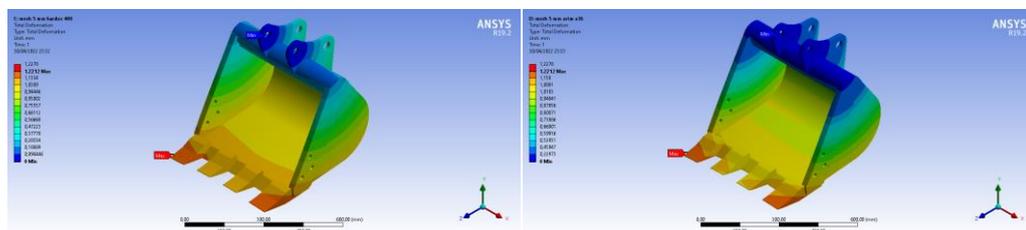


(c)

Gambar 4. Distribusi Tegangan *Bucket*; (a) Hardox – 400, (b) ASTM A36, (c) SS 400

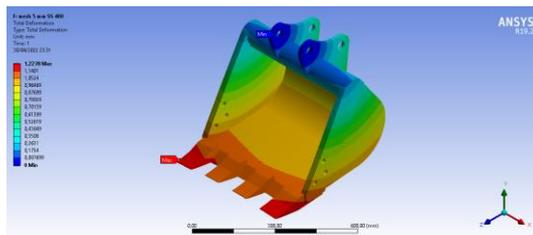
3.4 Hasil Deformasi (*Displacement*) pada *Bucket*.

Hasil deformasi ditampilkan berupa data visual yang disertai gradasi warna dengan warna biru yang mengalami deformasi terkecil dan yang merah mengalami deformasi terbesar. Hasil analisis statik berupa data visual yang ditampilkan untuk *Bucket* dengan material Hardox – 400 didapatkan nilai deformasi sebesar 1,2212 mm, untuk *Bucket* dengan material ASTM A36 didapatkan nilai deformasi sebesar 1,2212 mm, untuk *Bucket* dengan material SS 400 didapatkan nilai deformasi sebesar 1,2278 mm.



(a)

(b)



(c)

Gambar 5. Deformasi (*Displacement*) *Bucket*; (a) Hardox – 400, (b) ASTM A36, (c) SS 400

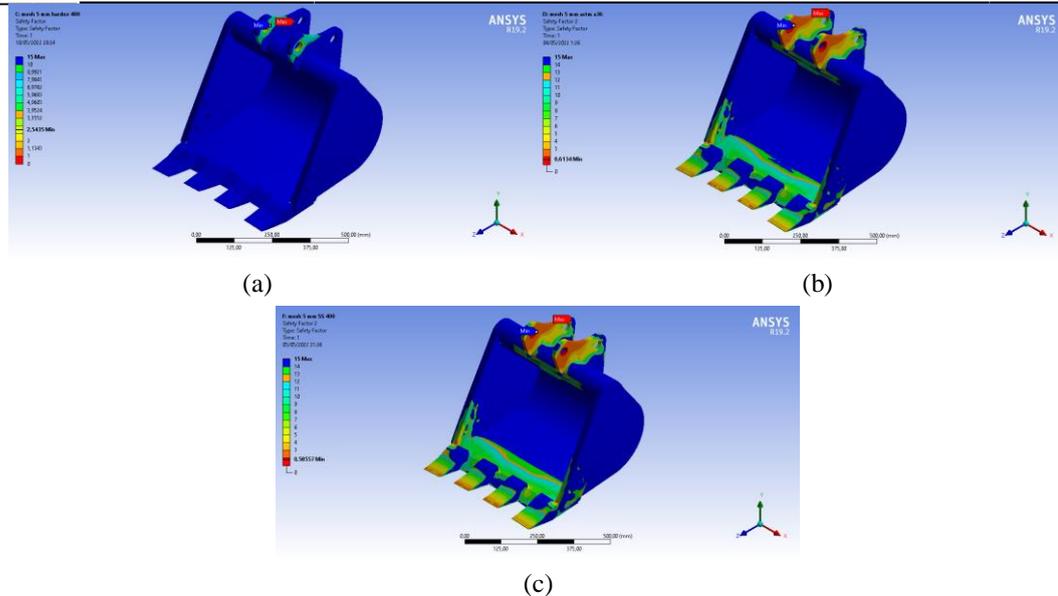
3.5 Hasil Uji *Safety Factor*

Hasil Uji *Safety Factor* pada *Bucket* memiliki peran 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.

Nilai *Safety Factor* dikatakan tidak aman (*unsafe*) apabila nilai *Safety Factor* berada diantara nol sampai satu, $0 < \sigma < 1$. Dikatakan aman (*safe*) apabila nilai *Safety Factor* lebih dari satu, $\sigma > 1$.

Tabel 11. Nilai *Safety Factor* pada *Bucket*

No.	Jenis Material	vonMises (MPa)	Allowable Stress (MPa)	Safety Factor	Keterangan
1	Hardox - 400	401,02	1020	2,54	Safe
2	ASTM A36	399,41	245	0,61	Unsafe
3	SS 400	401,32	235	0,58	Unsafe

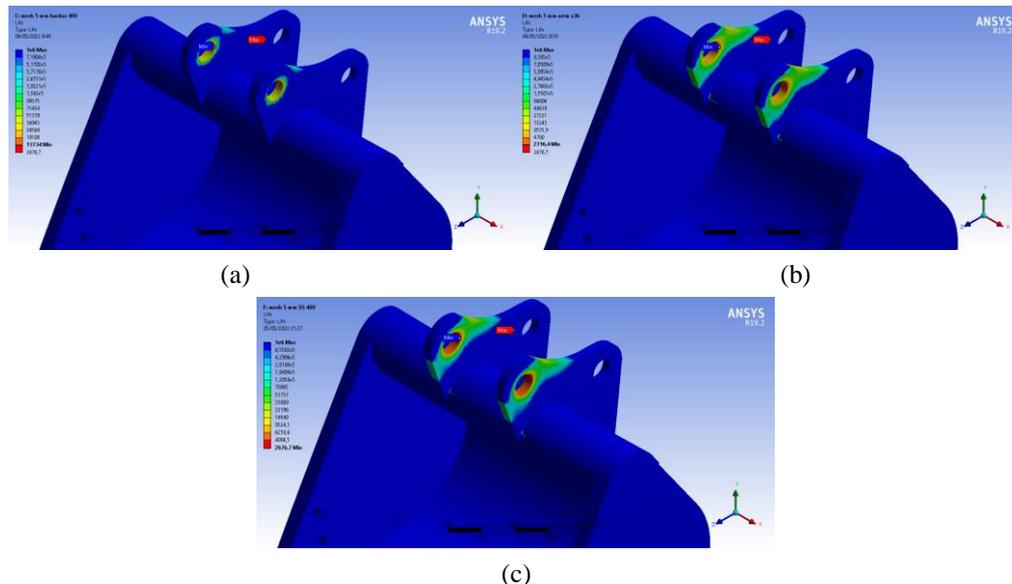


Gambar 6. Safety Factor Bucket; (a) Hardox – 400, (b) ASTM A36, (c) SS 400

3.6 Evaluasi Life Cycle Fatigue

Life Cycle Fatigue (Umur kelelahan) adalah istilah yang digunakan dalam pengujian kelelahan dan mengacu pada deformasi dan perilaku kegagalan material di bawah pembebanan yang terus diberikan. Uji umur kelelahan dengan amplitudo pembebanan konstan disebut sebagai uji S-N. Amplitudo tegangan yang dapat ditoleransi ditentukan dengan menggunakan jumlah siklus yang sesuai. Jika pembebanan amplitudo konstan, ini mewakili jumlah siklus sampai bagian tersebut akan gagal karena kelelahan. Jika pemuatan tidak konstan, ini mewakili jumlah blok pemuatan hingga kegagalan.

Hasil evaluasi Uji *Life Cycle Fatigue* ditampilkan berupa data visual yang disertai gradasi warna dengan warna biru yang memiliki umur pemakaian lebih panjang dan yang merah umur pemakaiannya lebih pendek. Hasil evaluasi Uji *Life Cycle Fatigue* yang ditampilkan pada Gambar 13. didapatkan nilai pakai terbanyak yaitu pada material Hardox - 400 dengan jumlah 13734 siklus, material ASTM A36 sebanyak 2716 siklus dan untuk material SS 400 yaitu sebanyak 2676 siklus. Dari hasil analisis uji Life Cycle dan Safety Factor didapatkan material yang baik untuk *Bucket* yaitu Hardox - 400 karena nilai dari Safety Factor nya ≥ 1 dan Life Cycle yang lebih panjang.



Gambar 7. Evaluasi Uji Life Cycle Fatigue Bucket; (a) Hardox – 400, (b) ASTM A36, (c) SS 400

4. Kesimpulan

Distribusi gaya yang berpengaruh pada *Bucket* excavator ada di 3 titik, yaitu ujung *Bucket teeth* (A4), *Idler point* (A11) dan *Hinge point* (A3). Adapun Nilai tegangan von mises pada jenis material Hardox - 400, ASTM A36, dan SS 400 berturut-turut adalah 401,02 MPa, 399,41 MPa, 401,32 MPa. Nilai displacement pada jenis material Hardox - 400, ASTM A36, dan SS 400 berturut-turut adalah 1,2212 mm, 1,2212 mm, 1,2278 mm. Sedangkan nilai safety factor pada

jenis material Hardox - 400, ASTM A36, dan SS 400 berturut-turut adalah 2,54, 0,61, dan 0,58. Setelah dilakukan evaluasi safety factor terhadap material, kemudian dievaluasi nilai lifetime dari material untuk melihat umur pakai *Bucket* berdasarkan jenis materialnya. Nilai yang didapatkan dari jenis material Hardox - 400, ASTM A36, dan SS 400 berturut-turut adalah 13734 siklus, 2716 siklus, dan 2676 siklus.

Untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan *Bucket* dapat menggunakan material Hardox - 400 karena nilai safety factor nya ≥ 1 .

5. Daftar Pustaka

- [1] Suryo, S. H., dkk. (2020). “*Analysis And Topology Optimization Structural Design Excavator Bucket Tooth Using Finite Element Method*”. AIP Conference Proceedings. 1-11. <https://doi.org/10.1063/5.0000531>
- [2] Singh, S. & Verghase, L. (2017). “*Review On Fea and Optimization Of Backhoe Loader In Hydraulic Excavator*”. International Journal Of Recent Technology Science & Management. 2(1). 10-15. ISSN: 2455-9679.
- [3] Mughal, K.H., dkk. (2021). “*Numerical Evaluation of Contemporary Excavator Bucket Designs using Finite Element Analysis*”. Jurnal Kejuruteraan. 33(3). 579-591. [https://doi.org/10.17576/jkukm-2021-33\(3\)-18](https://doi.org/10.17576/jkukm-2021-33(3)-18).
- [4] Hadi, S., dkk. (2018). Design and analysis of trapezoidal bucket excavator for backhoe. SHS Web of Conferences, EDP Sciences.
- [5] Putra, A. D., Rohman, M., & Wahab, A. (2020). “*Analisis Desain Excavator Bucket Menggunakan Metode Elemen Hingga dengan Material Baja*”. Jurnal Transmisi. 16(2). 65-68.
- [6] Asmara, S., P., & Yudo, H. (2019). Desain Kapal Keruk Perairan Dangkal Menggunakan Bucket Elevator. Vol. 16 (84).
- [7] Patel, B.P. & Prajapati, J.M. (2012). “*Evaluation Of Bucket Capacity, Digging Force Calculations and Static Force Analysis of Mini Hydraulic Backhoe Excavator*”. Machine Design. 4(1). 59-66. ISSN 1821-1259.
- [8] SAE International. (1990). SAE J1179: “*Hydraulic Excavator and Backhoe Digging Force*”. Warrendale: SAE.
- [9] Kentli, A. 2020. “*Topology Optimization Applications on Engineering Structures*”. IntechOpen. 1-23
- [10] Reddy, B. G., & Babu, P. V. 2018. “*Structural Analysis of Excavator Bucket with Different Design Modifications*” International Journal & Magazine of Engineering, Technology, Management and Research. 5(2). 131-141.