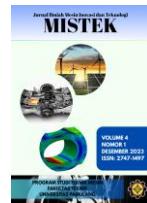




JURNAL TEKNIK MESIN MISTEK

MESIN INOVASI DAN TEKNOLOGI



DESAIN *BOOM EXCAVATOR* SEBAGAI PENGHUBUNG ANTARA *ARM* DENGAN *UPPER STRUCTURE EXCAVATOR* PROTOTIPE TEKNIK MESIN UNPAM

M. Iqbal Muzakki¹, Kusdi Prijono², Nur Rohmat³, Hery Adrial⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No.1, Tangerang Selatan, Indonesia

E-mail : iqbal.muzakki1@gmail.com¹

Masuk : 30 Oktober 2023

Direvisi : 20 November 2023

Disetujui : 08 Desember 2023

Abstrak: Boom merupakan komponen utama pada lengan excavator yang berfungsi sebagai penghubung antara *arm* dan *upper structure*, sekaligus memberikan jangkauan gerak vertikal maupun horizontal yang lebih luas bagi *bucket*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis desain *boom excavator* menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor Professional. Proses penelitian meliputi perancangan model 2D dan 3D serta analisis tegangan dan regangan terhadap variasi beban statik. Simulasi dilakukan dengan tiga variasi pembebahan, yaitu 400 N (40 kg), 600 N (60 kg), dan 800 N (80 kg). Hasil simulasi menunjukkan nilai *Von Mises stress* pada segitiga penopang hidrolik masing-masing sebesar 24,99 MPa, 37,48 MPa, dan 49,98 MPa, dengan perpindahan berturut-turut 0,0286 mm, 0,0428 mm, dan 0,0571 mm. Sementara itu, hasil simulasi kekuatan *boom* terhadap *arm* menghasilkan *Von Mises stress* sebesar 120,2 MPa, 180,3 MPa, dan 240,4 MPa, dengan perpindahan 0,1971 mm, 0,2956 mm, dan 0,3941 mm. Nilai *safety factor* masing-masing adalah 2,06 (aman), 1,38 (aman), dan 1,03 (tidak aman). Berdasarkan hasil analisis, *boom* dengan ketebalan pelat 2 mm menggunakan material Steel ASTM A36 dinyatakan aman untuk menahan beban statik hingga 60 kg pada prototipe *boom excavator* Teknik Mesin UNPAM.

Kata Kunci: Autodesk Inventor Professional, Boom, Simulasi, Beban statik, ASTM A36.

Abstract: The boom is a major component of the excavator arm that connects the arm to the upper structure, providing a wider vertical and horizontal working range for the bucket. This study aims to design and analyze the excavator boom using Autodesk Inventor Professional software. The research process includes designing 2D and 3D models and performing stress and strain analyses under static load variations. Simulations were conducted with three load variations: 400 N (40 kg), 600 N (60 kg), and 800 N (80 kg). The simulation results show that the Von Mises stress values on the hydraulic support triangle were 24.99 MPa, 37.48 MPa, and 49.98 MPa, with corresponding displacements of 0.0286 mm, 0.0428 mm, and 0.0571 mm. Meanwhile, the Von Mises stress values on the boom-to-arm structure were 120.2 MPa, 180.3 MPa, and 240.4 MPa, with displacements of 0.1971 mm, 0.2956 mm, and 0.3941 mm, respectively. The safety factors obtained were 2.06 (safe), 1.38 (safe), and 1.03 (unsafe). Based on the analysis, the boom structure made of Steel ASTM A36 with a plate thickness of 2 mm is considered safe to withstand static loads up to 60 kg for the UNPAM Mechanical Engineering excavator boom prototype.

Keywords: Autodesk Inventor Professional, Boom, Simulation, Static Load, ASTM A36.

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi saat ini berlangsung sangat pesat, seiring dengan kemajuan peradaban manusia. Salah satu bidang yang merasakan dampak signifikan dari perkembangan tersebut adalah pekerjaan infrastruktur berskala besar, yang menuntut efisiensi, ketepatan waktu, dan hasil kerja yang optimal. Dalam pelaksanaannya, pekerjaan konstruksi modern tidak dapat lagi mengandalkan tenaga manusia secara manual menggunakan peralatan konvensional, karena keterbatasan efisiensi dan kemampuan dalam menghadapi beban kerja yang berat. Oleh sebab itu, penggunaan alat berat menjadi solusi utama untuk meningkatkan produktivitas dan efektivitas kerja di lapangan [1].

Berbagai proyek seperti pembangunan gedung, jembatan, dan jalan raya membutuhkan dukungan alat berat dalam pelaksanaannya. Salah satu jenis alat berat yang paling sering digunakan adalah excavator, yang berfungsi untuk menggali tanah, membuat parit, serta memindahkan material ke *dump truck* atau *trailer*. Excavator memiliki konstruksi utama berupa

bagian atas (*upper structure*) yang terdiri dari *boom*, *arm*, dan *bucket* [2].

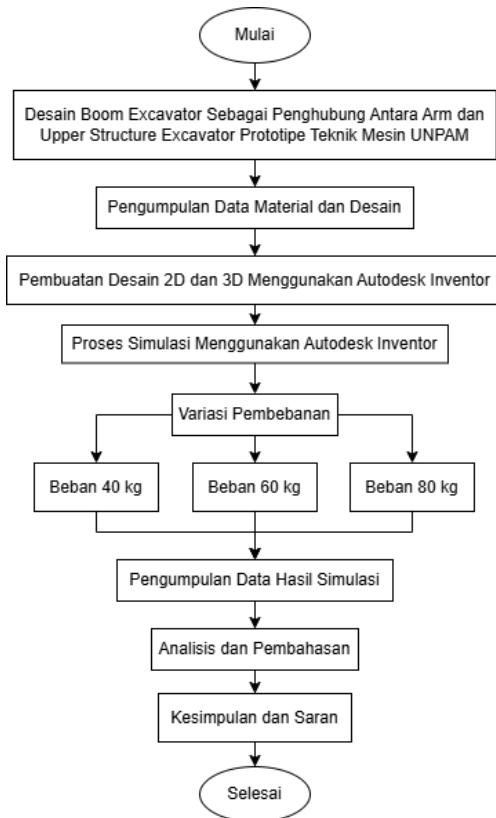
Komponen *boom* berperan sebagai lengan utama yang menghubungkan *upper structure* dengan *arm*. Fungsinya adalah mengayunkan *arm* lebih jauh atau lebih tinggi, sehingga jangkauan kerja *bucket* menjadi lebih luas baik secara vertikal maupun horizontal [3]. Dengan kemampuan tersebut, *boom* memungkinkan excavator bekerja secara efektif di area terbatas, serta mendukung kestabilan dan kekuatan struktur saat melakukan penggalian dan pemindahan material berat [4].

Perkembangan teknologi digital dalam bidang desain dan manufaktur turut mendukung proses rekayasa alat berat seperti excavator. Perangkat lunak rekayasa seperti Autodesk Inventor memungkinkan perancang melakukan pemodelan 2D dan 3D, simulasi numerik, serta analisis kekuatan struktur sebelum proses produksi dilakukan. Dengan simulasi ini, potensi kegagalan desain dapat diminimalkan, dan efisiensi material maupun biaya dapat ditingkatkan [5], [6].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini berjudul “Desain Boom Excavator Sebagai Penghubung Antara *Arm* dengan *Upper Structure Excavator* Prototipe Teknik Mesin UNPAM”. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh desain *boom excavator* yang optimal dan layak digunakan pada prototipe excavator skala laboratorium, dengan memperhatikan kekuatan material, tegangan, dan faktor keamanan terhadap beban statik.

METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan sistematis yang meliputi pengumpulan data, perancangan model, simulasi numerik, serta analisis hasil terhadap kelayakan desain *boom excavator*. Tujuan utama penelitian ini adalah memperoleh rancangan *boom* yang optimal dan aman digunakan sebagai penghubung antara *arm* dengan *upper structure* pada prototipe excavator Teknik Mesin UNPAM. Diagram alir pada Gambar 1 menunjukkan tahapan proses penelitian mulai dari perancangan *boom excavator* hingga tahap analisis hasil.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tahap awal penelitian diawali dengan pengumpulan data, yang mencakup inspeksi lapangan, pengambilan data visual, pengumpulan data desain teknik, pengujian sampel material, serta studi literatur yang relevan untuk mendukung pembuktian hipotesis dan proses desain. Material utama yang digunakan adalah baja ASTM A36, yaitu baja struktural karbon canai panas yang memiliki kekuatan luluh minimum 36 ksi (~250 MPa), mudah dilas, serta umum digunakan dalam berbagai aplikasi konstruksi baja [7]. Material ini juga dapat diberi pelapisan galvanis atau *coating* untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi.

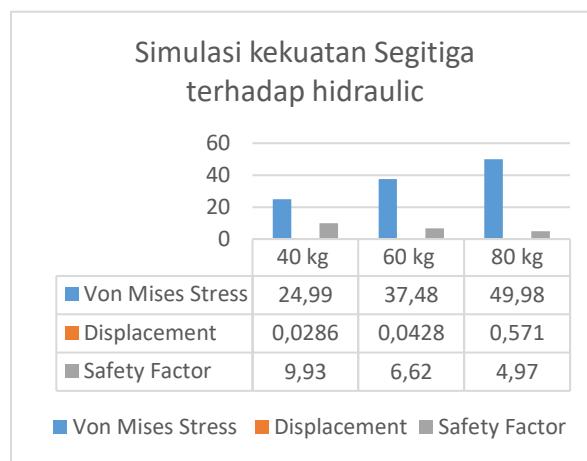
Tahap berikutnya adalah perancangan model desain 2D dan 3D, yang dilakukan menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor Professional. Perangkat lunak ini memungkinkan perancang untuk melakukan pemodelan padat (*solid modeling*) berbasis fitur parametrik, sehingga setiap perubahan desain dapat disesuaikan tanpa perlu menggambar ulang. Model *boom* yang telah dibuat kemudian disiapkan untuk proses analisis dan simulasi.

Tahap simulasi numerik dilakukan menggunakan Autodesk Inventor untuk mengetahui kekuatan dan deformasi struktur *boom excavator* terhadap tiga variasi beban statik, yaitu 400 N (40 kg), 600 N (60 kg), dan 800 N (80 kg). Hasil simulasi meliputi *Von Mises stress*, *displacement*, dan *safety factor* pada setiap variasi pembebangan.

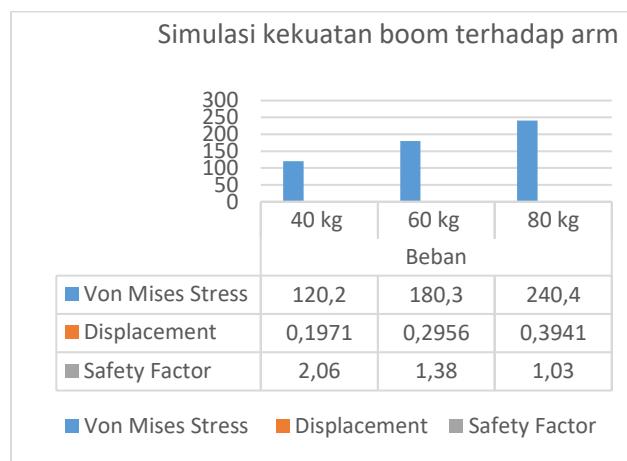
Setelah simulasi selesai, dilakukan pengumpulan data hasil simulasi untuk dianalisis lebih lanjut pada tahap analisa dan pembahasan, sehingga dapat diketahui batas aman dan kelayakan desain *boom*. Langkah terakhir adalah penarikan kesimpulan dan pemberian saran sebagai acuan untuk pengembangan desain selanjutnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi yang dilakukan menghasilkan tiga parameter utama, yaitu *Von Mises Stress*, *Displacement*, dan *Safety Factor*. Nilai-nilai tersebut diplot ke dalam grafik untuk membandingkan respon struktur terhadap tiga variasi pembebangan (40 kg, 60 kg, dan 80 kg) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Hasil simulasi Kekuatan Segitiga terhadap Hidraulik pada Variasi Beban 40 kg, 60 kg, dan 80 kg



Gambar 3. Hasil Simulasi Kekuatan *Boom* terhadap *Arm* pada Variasi Beban 40 kg, 60 kg, dan 80 kg

Von Mises Stress

Von Mises stress merupakan tegangan ekuivalen yang digunakan untuk menentukan batas kegagalan material berdasarkan teori distorsi energi. Jika nilai *Von Mises stress* melebihi kekuatan luluh (*yield strength*) material, maka desain berpotensi mengalami kegagalan struktural. Pada hasil simulasi, distribusi tegangan divisualisasikan dengan gradasi warna, di mana warna merah menunjukkan daerah dengan tegangan tertinggi dan warna biru menunjukkan daerah dengan tegangan rendah.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada bagian segitiga penopang hidrolik, nilai *Von Mises stress* maksimum berturut-turut adalah 24,99 MPa untuk beban 40 kg, 37,48 MPa untuk beban 60 kg, dan 49,98 MPa untuk beban 80 kg. Sementara pada bagian boom terhadap lengan *arm*, nilai *Von Mises stress* maksimum adalah 120,2 MPa, 180,3 MPa, dan 240,4 MPa untuk masing-masing beban 40 kg, 60 kg, dan 80 kg. Sebagian besar area *boom excavator* berwarna biru, yang menunjukkan bahwa tegangan yang terjadi masih berada dalam batas aman material.

Displacement (Perubahan Bentuk)

Displacement menunjukkan besarnya perubahan bentuk atau lendutan yang terjadi pada struktur setelah diberikan pembebanan. Warna merah pada hasil simulasi menggambarkan area dengan perpindahan maksimum, sedangkan warna biru menunjukkan perpindahan minimum.

Dari hasil simulasi, *displacement* maksimum pada segitiga hidrolik adalah 0,0286 mm (40 kg), 0,0428 mm (60 kg), dan 0,571 mm (80 kg). Sedangkan pada *boom* terhadap *arm*, *displacement* maksimum adalah 0,1971 mm, 0,2956 mm, dan 0,3941 mm untuk masing-masing variasi beban. Hasil ini menunjukkan bahwa deformasi yang terjadi relatif kecil, sehingga desain *boom* dinilai masih aman terhadap perubahan bentuk yang berlebihan.

Factor of Safety

Safety factor merupakan rasio antara kekuatan luluh material terhadap tegangan maksimum yang terjadi. Nilai *safety factor* yang lebih besar dari 1 menunjukkan bahwa struktur masih dalam kondisi aman terhadap beban statik. Pada simulasi, warna biru menggambarkan bagian yang paling aman, sedangkan warna merah menunjukkan area yang mendekati batas kegagalan.

Hasil simulasi *safety factor* pada segitiga hidrolik menunjukkan nilai 9,93 (40 kg), 6,62 (60 kg), dan 4,97 (80 kg), yang semuanya masih dalam kategori aman. Sedangkan pada *boom* terhadap *arm*, nilai *safety factor* adalah 2,06 (aman) untuk beban 40 kg, 1,38 (aman) untuk beban 60 kg, dan 1,03 (tidak aman) untuk beban 80 kg.

Analisis Perhitungan Faktor Keamanan

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah Steel ASTM A36, dengan nilai *yield strength* sebesar 248,225 MPa. Nilai batas aman beban statik untuk material ini berkisar antara 1,2 – 2,0.

Tabel 1. Hasil Simulasi Kekuatan Segitiga Terhadap Hidrolik

Beban	<i>Von Mises Stress</i> (MPa)	<i>Displacement</i> (mm)	<i>Safety Factor</i>	Keterangan
40 kg	24,99	0,0286	9,93	Aman
60 kg	37,48	0,0428	6,62	Aman
80 kg	49,98	0,571	4,97	Aman

Tabel 2. Hasil Simulasi Kekuatan Boom Terhadap Arm

Beban	<i>Von Mises Stress</i> (MPa)	<i>Displacement</i> (mm)	<i>Safety Factor</i>	Keterangan
40 kg	120,2	0,1971	2,06	Aman
60 kg	180,3	0,2956	1,38	Aman
80 kg	240,4	0,3941	1,03	Tidak Aman

Berdasarkan hasil simulasi dan perhitungan, dapat diketahui bahwa nilai *Von Mises stress* meningkat seiring dengan bertambahnya beban yang diterapkan. Hal ini sesuai dengan teori dasar mekanika material, di mana tegangan berbanding lurus dengan gaya pembebanan.

Meskipun demikian, hingga beban 60 kg struktur *boom* masih menunjukkan nilai *safety factor* di atas 1, yang berarti desain masih mampu menahan beban dengan aman. Pada pembebanan 80 kg, nilai *safety factor* mendekati 1, menandakan batas maksimum kekuatan desain telah tercapai.

Nilai *displacement* yang relatif kecil pada semua variasi beban menunjukkan bahwa deformasi yang terjadi bersifat elastis dan tidak menyebabkan perubahan bentuk permanen. Dengan demikian, desain *boom excavator* ini dinilai layak digunakan untuk prototipe skala laboratorium dengan batas beban hingga 60 kg.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan Autodesk Inventor Professional, desain *boom excavator* pada prototipe Teknik Mesin UNPAM dinyatakan masih berada dalam batas aman terhadap variasi beban statik. Nilai *Von Mises stress* maksimum masih di bawah batas luluh material ASTM A36, sedangkan nilai *displacement* yang dihasilkan relatif kecil dan bersifat elastis. Nilai *safety factor* menunjukkan bahwa struktur masih aman hingga beban 60 kg, namun mendekati batas kekuatan material pada beban 80 kg. Dengan demikian, desain *boom* dengan ketebalan pelat 2 mm dinilai layak digunakan untuk prototipe skala laboratorium.

Sebagai tindak lanjut, disarankan untuk meningkatkan kekuatan struktur dengan menambah ketebalan pelat atau memperkuat sambungan *boom-arm*, serta melakukan pengujian fisik pada prototipe guna memvalidasi hasil simulasi numerik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. O. Elgendi and A. A. Mohy, "An impact of equipment selection on construction projects: Case study of a road project in Egypt," *J. Appl. Eng. Sci.*, vol. 20, no. 4, pp. 1271–1281, 2022, doi: 10.5937/jaes0-38963.
- [2] N. S. Patil and V. M. Malbhage, "FEA Analysis and Optimization of Boom of Excavator," *Int. Conf. Ideas, Impact Innov. Mech. Eng. (ICIIIME 2017)*, vol. 5, no. 6, pp. 625–632, 2017.
- [3] A. Sastranegara and Z. Azhar, "Design Improvement of Pindad Mini Excavator Boom Using Finite Element Method," *J. Mech. Eng. Mechatronics*, vol. 5, no. 1, pp. 38–47, 2020.
- [4] W. Caesarendra *et al.*, "Analysis of Stress on Boom Excavator v EC650BE Using Finite Element Method," *6th International Conference on Mechanical Engineering and Robotics Research, ICMERR 2021*. pp. 110–116, 2021. doi: 10.1109/ICMERR54363.2021.9680847.
- [5] F. Popescu, R. M. Chivu, K. Uzuneanu, and I. Ion, "Design and finite element analysis of a circular steel profile frame using Autodesk Inventor," in *Materials Science and Engineering Conference Series*, AA(Department of Thermal Systems and Automotive Engineering, "Dunarea de Jos" University, Galati, Romania), AB(Department of Thermal Systems and Automotive Engineering, "Dunarea de Jos" University, Galati, Romania), AC(Department of Thermal Systems and Au: IOP, Oct. 2022, p. 12069. doi: 10.1088/1757-899X/1262/1/012069.
- [6] A. C. C. de Sousa, F. S. Oliveira, and S. P. T. Borges, "Stress and strain analysis using Autodesk Inventor software in soil-cement brick," *Res. Soc. Dev.*, vol. 10, no. 14, p. e381101422028, 2021, doi: 10.33448/rsd-v10i14.22028.
- [7] A. Suprayogi and P. H. Tjahjanti, "Analisa Surface Preparation Pada Plat Baja ASTM A36," in *Seminar Nasional dan Gelar Produk*, Mataram: Universitas Mataram, 2017, pp. 188–196.