

Stress Analysis Material Lift Arm Excavator Menggunakan Aplikasi Autodesk Inventor 2020

Maulana Sulaiman Siregar⁽¹⁾,

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negri Bengkalis

Jl. Bathin Alam, Sungai Alam, Bengkalis – Riau, 28712.

Email: maulanasulaimansiregar@gmail.com

Abstrak

Lift arm merupakan komponen penting pada *excavator* yang berfungsi untuk mengangkat dan memindahkan material pada pekerjaan konstruksi dan pertambangan. Penelitian ini bertujuan menganalisis distribusi tegangan dan deformasi pada material *lift arm excavator* menggunakan aplikasi *Autodesk Inventor*, dengan metode elemen hingga (*Finite Element Method/FEM*). Model 3D *lift arm* dibuat, kemudian diberikan beban kerja sesuai kondisi nyata untuk mengetahui respons struktur. Hasil simulasi menunjukkan tegangan maksimum *Von Mises* sebesar 90,57 MPa, jauh di bawah batas leleh material (207 MPa), dengan faktor keamanan minimum 2,29. *Displacement* maksimum yang terjadi hanya 0,66 mm, menandakan struktur sangat kaku dan aman digunakan. Distribusi tegangan terfokus di area *pin constraint*, tetapi tidak melebihi batas aman. Dengan demikian, desain *lift arm* dinyatakan layak, efisien, dan memenuhi standar keamanan untuk aplikasi pada *excavator*. Rekomendasi diberikan untuk inspeksi rutin pada area tumpuan utama guna menjaga keandalan struktur.

Pendahuluan

Excavator merupakan salah satu alat berat yang sangat penting dalam bidang konstruksi dan pertambangan, terutama untuk pekerjaan penggalian dan pemindahan material. Salah satu komponen utama *excavator* adalah *lift arm* yang berfungsi untuk mengangkat dan menggerakkan beban kerja. Dalam operasionalnya, lift arm mengalami berbagai gaya dan tekanan yang dapat menyebabkan kerusakan atau kegagalan struktural jika tidak dirancang dengan baik. Oleh karena itu, analisis stress pada lift arm menjadi sangat penting untuk memastikan kekuatan dan keamanannya. *Autodesk Inventor* sebagai perangkat lunak CAD dan CAE menyediakan fasilitas simulasi analisis stress yang dapat membantu dalam mendesain dan mengevaluasi performa *lift arm* secara virtual sebelum pembuatan fisik.

Masalah yang dihadapi adalah bagaimana mengetahui distribusi tegangan dan titik-titik lemah pada *lift arm excavator* saat menerima beban kerja. Tanpa analisis yang tepat, risiko kegagalan mekanis dapat meningkat, yang berakibat pada kerusakan alat berat dan potensi kecelakaan kerja. Oleh karena itu, diperlukan metode analisis yang efektif dan efisien untuk mengidentifikasi area yang mengalami stress tinggi dan melakukan optimasi desain.

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisis stress pada material *lift arm excavator* menggunakan aplikasi *Autodesk Inventor* untuk mengetahui distribusi tegangan dan deformasi akibat beban kerja. Hasil analisis ini diharapkan dapat digunakan sebagai dasar dalam perbaikan desain *lift arm* agar lebih kuat, aman, dan efisien dalam operasionalnya.

Metode Penelitian

Jenis metode yang digunakan dalam analisis *stress* material *lift arm excavator* menggunakan aplikasi *Autodesk Inventor* adalah **Metode Elemen Hingga (Finite Element Method/FEM)**. Metode ini melibatkan pembuatan model 3D komponen yang dianalisis, kemudian dilakukan simulasi untuk mengetahui distribusi tegangan, regangan, dan deformasi akibat beban kerja. *Autodesk Inventor* digunakan untuk pemodelan 3D, sementara simulasi FEM bisa dilakukan langsung di *Autodesk Inventor*.

Secara umum langkah-langkah metode yang digunakan adalah:

- Membuat model 3D *lift arm excavator* di *Autodesk Inventor*
- Menentukan material dan sifat mekanik material yang digunakan
- Menerapkan beban dan kondisi tumpuan sesuai kondisi kerja nyata
- Melakukan mesh pada model untuk pembagian elemen hingga
- Menjalankan simulasi analisis stress untuk mendapatkan nilai tegangan *von mises*, deformasi, dan *safety factor*
- Mengevaluasi hasil simulasi untuk mengetahui titik kritis dan potensi kegagalan struktur

Metode ini telah banyak diterapkan pada analisis struktur alat berat seperti *crane*, robot, dan alat pengangkat lainnya dengan hasil yang akurat dan efisien dalam perancangan dan optimasi desain.

Hasil Dan Pembahasan

Hasil penelitian dan pembahasan berdasarkan simulasi statik pada struktur *lift arm* yang terbuat dari baja (*Steel, Mild, Welded*) menggunakan *Autodesk Inventor 2020*. Data dan grafik diambil dari laporan yang telah dianalisis yaitu :

Spesifikasi Material dan Model

- Material: *Steel, Mild, Welded*
- Massa Jenis: 7,85 g/cm³
- *Yield Strength*: 207 MPa
- *Ultimate Tensile Strength*: 345 MPa
- *Modulus Young*: 220 GPa
- Massa Total: 5.685,28 kg
- *Volume*: 724.239.000 mm³

Kondisi Operasi

- Gaya Gravitasi: 9.810 mm/s² (arah Y, ke bawah)
- Beban Utama: 380.000 N (arah Y, ke bawah)
- Tipe Analisis: *Static Analysis*

Hasil Simulasi

- Tegangan *Von Mises Maksimum*: 90,57 MPa
- Tegangan *Von Mises Minimum*: 0,095 MPa
- Tegangan Principal Pertama (maks): 94,68 MPa
- Tegangan Principal Ketiga (min): -39,68 MPa
- *Displacement Maksimum*: 0,6628 mm
- *Displacement Minimum*: 0,0000668 mm
- *Safety Factor Minimum*: 2,29
- *Safety Factor Maksimum*: 15

Analisis Displacement

Displacement maksimum yang terjadi adalah **0,6628 mm**, menunjukkan bahwa struktur hanya mengalami deformasi kecil di bawah beban yang diberikan. Nilai ini sangat kecil dibandingkan dimensi total struktur, sehingga tidak mempengaruhi fungsi utama dari *lift arm*.

Faktor Keamanan

Faktor keamanan minimum yang diperoleh adalah **2,29**. Artinya, struktur mampu menahan beban lebih dari dua kali lipat dari beban kerja maksimum sebelum mencapai titik leleh material. Standar umum untuk faktor keamanan pada struktur mekanik adalah minimal 1,5–2, sehingga desain ini sudah memenuhi standar keamanan.

Distribusi Gaya dan Momen

Tiga pin constraint digunakan untuk menahan struktur. Berikut adalah ringkasan gaya reaksi pada masing-masing pin:

Pin Constraint 1: 784.377 N

Pin Constraint 2: 298.644 N

Pin Constraint 3: 298.579 N

Grafik Hasil Simulasi

1. Grafik Tegangan *Von Mises*

Grafik tegangan *Von Mises* menggambarkan distribusi tegangan akibat beban kerja pada struktur *lift arm*.

Nilai maksimum: 90,57 MPa

Nilai minimum: 0,095 MPa

Pada grafik, area dengan warna merah atau gradasi warna hangat menunjukkan daerah dengan tegangan tertinggi, sedangkan warna biru atau gradasi dingin menunjukkan daerah dengan tegangan rendah.

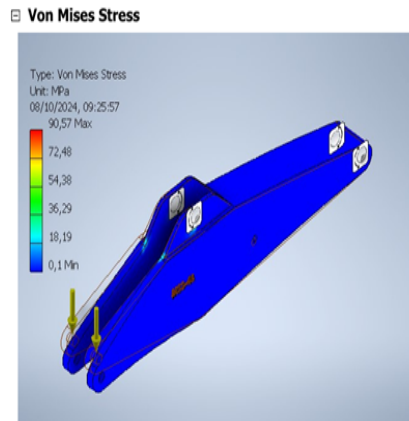
Tegangan tertinggi umumnya terletak di sekitar titik tumpu (*pin constraint*) dan area yang langsung menerima beban 380.000 N.

Tegangan terendah tersebar di bagian struktur yang jauh dari titik pembebanan dan tumpuan.

Tidak terdapat konsentrasi tegangan ekstrem (*stress concentration*) yang melebihi *yield strength material* (207 MPa), sehingga tidak ada risiko deformasi plastis pada struktur.

Nilai tegangan maksimum hanya mencapai sekitar 44% dari batas leleh material, sehingga struktur masih sangat aman.

Distribusi tegangan yang merata menandakan desain struktur sudah efisien dalam menyalurkan beban kerja.



Warna biru menunjukkan tegangan rendah, warna merah tegangan tinggi (maksimum 90,57 MPa).

2. Grafik *Displacement*

Grafik *displacement* menunjukkan seberapa besar perpindahan (deformasi) yang terjadi pada struktur akibat beban yang diberikan.

Displacement maksimum: 0,6628 mm

Displacement minimum: 0,0000668 mm

Pada grafik, warna merah menandakan perpindahan terbesar, sedangkan warna biru menandakan perpindahan terkecil.

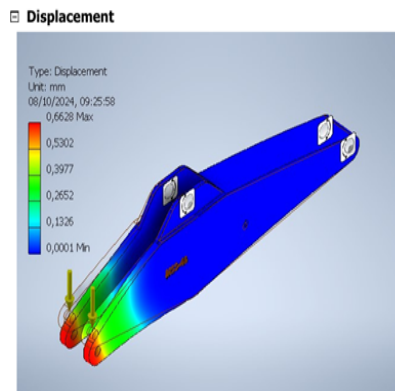
Perpindahan terbesar terjadi di ujung lengan (area yang paling jauh dari tumpuan), sesuai dengan teori mekanika struktur.

Perpindahan terkecil terjadi di sekitar titik tumpu (*pin constraint*), karena bagian ini dikunci secara struktural.

Nilai perpindahan sangat kecil dibandingkan dimensi total struktur, sehingga tidak akan mempengaruhi fungsi dan kestabilan *lift arm*.

Kekakuan struktur sangat baik, karena perpindahan maksimum masih jauh di bawah batas toleransi deformasi untuk aplikasi mekanik.

Tidak ada indikasi terjadinya defleksi berlebih yang dapat menyebabkan kegagalan fungsi.



Displacement tertinggi terjadi pada ujung lengan, namun tetap di bawah 1 mm.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi statik menggunakan *Autodesk Inventor 2020* terhadap struktur *lift arm* berbahan baja *mild steel* (*Steel, Mild, Welded*), dapat disimpulkan beberapa poin penting sebagai berikut:

1. Kekuatan dan Keamanan Struktur

Tegangan maksimum *Von Mises* yang terjadi pada struktur adalah 90,57 MPa, jauh di bawah batas *yield strength* material yaitu 207 MPa. Ini berarti struktur masih memiliki margin keamanan yang besar dan tidak berisiko mengalami deformasi permanen pada kondisi beban kerja yang dianalisis.

Faktor keamanan minimum yang tercapai adalah 2,29, yang sudah memenuhi bahkan melebihi standar industri (umumnya 1,5–2). Artinya, struktur *lift arm* mampu menahan beban lebih dari dua kali lipat dari beban kerja maksimum sebelum mengalami kegagalan.

2. Kekakuan dan Perpindahan Struktur

Displacement maksimum yang terjadi hanya 0,66 mm, menandakan struktur sangat kaku dan perpindahan akibat beban sangat kecil. Nilai ini sangat aman dan tidak akan mempengaruhi fungsi maupun presisi kerja dari *lift arm*.

3. Distribusi Beban dan Tegangan

Distribusi tegangan terfokus pada area sekitar *pin constraint* dan titik tumpu, sesuai dengan prediksi mekanika struktur. Tidak ditemukan konsentrasi tegangan ekstrem yang dapat memicu kegagalan lokal.

Reaksi gaya terbesar terjadi pada *Pin Constraint 1* (784.377 N), sehingga area ini perlu mendapat perhatian khusus dalam desain detail dan inspeksi berkala.

4. Efisiensi Material

Dengan massa total 5.685,3 kg dan *volume* 724.242.000 mm³, struktur ini dinilai efisien secara material, mengingat kekuatan dan kekakuan yang dihasilkan sangat baik untuk aplikasi *lift arm*.

5. Saran

Desain *lift arm* ini dinyatakan layak dan aman untuk diimplementasikan pada aplikasi nyata.

Disarankan untuk melakukan perawatan dan inspeksi rutin terutama pada bagian *pin constraint* yang menahan beban terbesar.

Jika diperlukan efisiensi lebih lanjut, area dengan faktor keamanan sangat tinggi bisa dioptimalkan untuk mengurangi berat tanpa mengurangi kekuatan.

Daftar Pustaka

- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2015). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (10th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Hibbeler, R. C. (2017). *Mechanics of Materials* (10th ed.). Pearson Education.
- Logan, D. L. (2016). *A First Course in the Finite Element Method* (6th ed.). Boston: Cengage Learning.
- Autodesk, Inc. (2020). *Autodesk Inventor 2020 Help Documentation*. Diakses dari: <https://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2020/ENU/>
- Juvinall, R. C., & Marshek, K. M. (2012). *Fundamentals of Machine Component Design* (5th ed.). Wiley.
- Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T., & Mazurek, D. F. (2015). *Mechanics of Materials* (7th ed.). McGraw-Hill Education.
- Chandrupatla, T. R., & Belegundu, A. D. (2012). *Introduction to Finite Elements in Engineering* (4th ed.). Pearson.
- Prabhu, T. J. (2016). *Design of Machine Elements*. Oxford University Press.
- Suryosatyo, H. (2008). *Analisis Struktur dengan Metode Elemen Hingga*. Jakarta: Erlangga.