

ANALISIS KEGAGALAN PADA KOMPONEN BOOM EXCAVATOR TIPE LIEBHERR R9250

*Ulya Ramdhani Fikri¹, Sri Nugroho², Yusuf Umardani²

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: ulyaramdhanifikri@students.undip.ac.id

Abstrak

Salah satu jenis alat berat yang terbuat dari mesin di atas roda khusus yang dilengkapi dengan *arm*, *boom* dan *bucket* merupakan bagian dari *excavator*. *Excavator* dipergunakan untuk menggali atau mengangkut suatu material seperti tanah, batubara, pasir, dan lain-lain. Pada *excavator* terdapat satu komponen yang berperan penting dalam fungsinya tersebut adalah *boom*, dimana komponen ini mengalami kegagalan berupa patah di area *bottom mounting pin*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui mekanisme kegagalan *boom* dengan melakukan beberapa metode seperti pengamatan visual, pengujian komposisi kimia, pengujian metalografi, pengujian kekerasan dan simulasi FEM dengan menggunakan *software Ansys 2020*. *Boom* yang digunakan merupakan Liebherr R9250. Hasil pengamatan visual menunjukkan kegagalan yang dialami *boom* berupa kegagalan fatik dikarenakan tidak ada deformasi plastis yang signifikan serta serangkaian *beach marks* pada permukaan retak yang menunjukkan perambatan retak. Dari pengujian komposisi kimia, *boom* memenuhi standar material ST 52 Grade 3. Dari hasil pengujian metalografi menunjukkan material berfasa ferit dan perlit. Hasil pengujian kekerasan menunjukkan nilai kekerasan rata-rata 221,6 HV pada bagian *initial crack*. Pada hasil simulasi FEM menunjukkan tegangan *von mises* tertinggi berada tepat pada lokasi terjadinya patahan.

Kata kunci : analisis kegagalan; *boom*; kegagalan fatik

Abstract

One type of heavy equipment made of machines on special wheels equipped with arm, boom and bucket is part of the excavator. Excavators are used to dig or transport a material such as soil, coal, sand, and others. In the excavator, there is one component that plays an important role in its function, namely the boom, where this component failed in the form of a fracture in the bottom mounting pin area. This study aims to determine the mechanism of boom failure by performing several methods such as visual observation, chemical composition testing, metallographic testing, hardness testing and FEM simulation using Ansys 2020 software. The boom used is Liebherr R9250. Visual observation results show that the failure experienced by the boom is a fatigue failure due to no significant plastic deformation and a series of beach marks on the crack surface indicating crack propagation. From the chemical composition test, the boom complies with ST 52 Grade 3 material standards. The metallographic test results show that the material has ferrite and pearlite phases. The results of the hardness test showed an average hardness value of 221.6 HV in the initial crack section. The FEM simulation results show that the highest von Mises stress is at the location of the fracture.

Keywords : *boom*; failure analysis; fatigue failure

1. Pendahuluan

Analisis kegagalan adalah metode investigasi yang dilakukan secara sistematis yang bertujuan untuk mencari tahu penyebab terjadinya kegagalan pada suatu komponen atau peralatan. Hasil yang diharapkan dari analisis kegagalan adalah rekomendasi atau solusi untuk mengatasi kegagalan yang terjadi. Dalam mempelajari kegagalan komponen, harus mempertimbangkan sebab-sebab atau alasan terjadinya kegagalan secara luas. Analisis kegagalan dimulai dengan mengevaluasi semua bukti yang ada, kemudian membuat hipotesis atau kemungkinan yang menyebabkan kegagalan tersebut. Apabila kegagalan yang terjadi dapat diduplikasi pada simulasi terkontrol dalam laboratorium, kegagalan yang terjadi akan jauh lebih mudah dipelajari [1]. Kegagalan komponen banyak terjadi pada komponen yang bergerak secara terus-menerus dan dikenai beban.

Excavator adalah salah satu alat berat yang sering digunakan dalam kegiatan pertambangan dan konstruksi. Alat berat yang sering dikenal dengan *backhoe* ini, merupakan mesin penggali yang biasanya digunakan untuk mengeruk bahan tambang, menggali tanah, meratakan tanah, mengeruk sungai, dan membongkar jalan. Tujuan dari penggunaan *excavator* tersebut adalah untuk memudahkan manusia dalam mengerjakan pekerjaannya, sehingga hasil yang di harapkan dapat tercapai dengan lebih mudah dengan waktu yang relatif lebih singkat. *Excavator* berasal dari peralatan pemindah

tanah yang paling banyak digunakan di industri konstruksi dan pertambangan, dan mereka akan terus memainkan peran penting di antara kendaraan jalan raya di tahun yang akan datang [2].

Perangkat kerja pada *excavator* terdiri dari *boom*, *arm*, *bucket*, *arm cylinder*, *boom cylinder*, dan *bucket cylinder* [3]. Komponen *boom* pada *excavator* berguna untuk menggerakkan dan mengayunkan *arm* sekaligus *bucket* saat melakukan pekerjaan, berkat dengan adanya *boom* ini jarak ayunan *bucket* bisa lebih jauh sehingga mampu menunjang fungsi lebih luas. Sehingga *boom excavator* merupakan salah satu komponen yang paling penting dari *excavator* karena digunakan untuk menggerakkan *arm* naik turun, menahan beban dari *arm*, *bucket*, dan beban dari luar. Oleh karena itu agar berfungsi sebagaimana mestinya, *boom excavator* harus dibuat dengan material yang berkualitas dan tahan lama sehingga mampu bekerja tanpa mengalami kerusakan. Beberapa komponen *excavator* perlu adanya *maintenance* setelah digunakan dalam masa pakai, hal ini dapat mengakibatkan biaya operasional meningkat [4].

Dalam kasus komponen *boom excavator* tipe Liebherr R9250 yang akan diuji pada penelitian ini, *boom* mengalami patah pada bagian *bottom mounting boom*. Bagian *bottom mounting boom* merupakan bagian ujung bawah *boom* yang berfungsi sebagai dudukan komponen *boom* untuk dapat bergerak mengayun. Kemungkinan terjadinya patahan pada *bottom mounting boom* diakibatkan kegagalan lelah serta perawatan yang kurang tepat pada komponen *boom*.

Dari komponen tersebut akan dilakukan beberapa pengujian untuk menganalisis mekanisme dan penyebab dari kegagalan tersebut. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian spektrometri, pengujian metalografi, pengujian kekerasan, serta uji visual.

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1 Alat dan Bahan

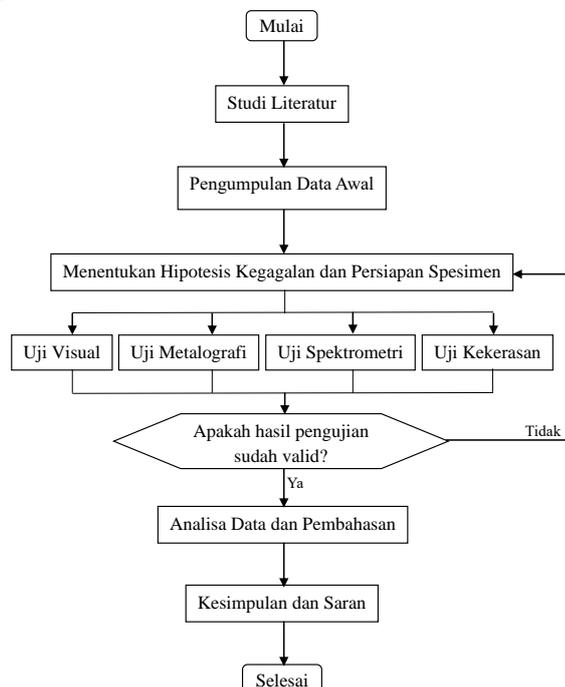
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian analisis kegagalan *boom excavator* dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Alat dan Bahan

Alat	Bahan
Mesin <i>Grinding and Polishing</i>	<i>Boom Excavator Liebherr R9250</i>
Mikroskop Optik	Katalis dan Resin
Spektrometer	<i>Metal Polish Cream</i>
<i>Vickers Microhardness Tester</i>	Reaktan untuk Etsa
Gelas <i>Beaker</i>	
Mesin Gerinda	
Pipet	
Amplas	
Kain Beludru	

2.2 Metode Penelitian

Diagram alir dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penjelasan singkat dari diagram alir diatas dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Studi literatur dilakukan dengan mencari beberapa jurnal, thesis, interview ahli terkait, ataupun buku yang terkait dengan studi Analisis Kegagalan *Boom Excavator*. Studi literatur dilakukan untuk memperoleh sumber referensi serta validasi terhadap penelitian yang akan dilakukan.
2. Pengumpulan Data Awal
Pengumpulan data dilakukan dengan tujuan mengetahui komponen yang digunakan, mendapatkan hipotesis terhadap kegagalan yang dialami komponen, serta mengetahui metode pengujian yang tepat untuk melakukan analisis kegagalan pada komponen.
3. Menentukan Hipotesis Kegagalan dan Persiapan Spesimen
Penentuan hipotesis dilakukan untuk memperkirakan jenis dan penyebab kegagalan yang terjadi pada *boom excavator*. Penentuan hipotesis dilakukan dengan mengacu pada referensi yang ada. Setelah itu dilakukan persiapan spesimen untuk dilakukan pengujian.
4. Uji Spektrometri
Uji spektrometri atau uji komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui unsur-unsur yang terkandung dari komponen *boom excavator*. Dari unsur-unsur tersebut dapat diketahui karakteristik dari *boom excavator* yang diuji.
5. Uji Metalografi
Uji Metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro yang kemudian dapat diketahui sifat dan jenis fasa dari komponen *boom excavator*.
6. Uji Kekerasan
Melakukan uji kekerasan dengan metode *Vickers (HV)* untuk mengetahui nilai kekerasan pada *boom excavator*.
7. Uji Visual
Uji visual dilakukan dengan menganalisis area *boom excavator* yang mengalami kegagalan untuk memberi gambaran awal analisis kegagalan pada *boom excavator*.
8. Analisa data dan pembahasan
Mengolah data-data pengujian yang sudah didapatkan dengan mengacu pada materi yang terdapat pada referensi dan menampilkan data-data tersebut dalam bentuk gambar dan tabel, serta melakukan analisis terhadap penyebab kegagalan pada komponen *boom*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengamatan Visual

Boom mengalami kegagalan berupa patahan pada bagian bawah *boom*, tepatnya pada *mounting pin* bawah *boom excavator*. *Excavator* milik PT. Thiess ini digunakan untuk mengangkut batu bara di daerah Kutai Barat, Kalimantan Timur. Sebelum terjadinya kegagalan, pihak perusahaan telah melakukan pengecekan terhadap *excavator* dengan melakukan inspeksi NDT (*Non Destructive Test*) oleh tim *maintenance* perusahaan. Berdasarkan catatan inspeksi *NDT Record* terdapat 4 titik yang tidak dapat dijangkau yaitu *mounting pin* atas *boom* kanan dan kiri serta *mounting pin* bawah *boom* kanan dan kiri. *Excavator* ini berumur 39.000 jam atau sekitar 4,5 tahun, untuk penggunaan sekitar 4 jam sehari. Dapat dibuat hipotesa yaitu *excavator* telah mengalami kegagalan fatik pada area yang tidak dapat dijangkau saat pemeriksaan NDT. Awal retakan diperkirakan karena beban berlebih seperti tersangkut batu saat penggalian [5]. Hal itu terus berlanjut sampai pada akhirnya *excavator* mengalami patahan.

Gambar 2 dibawah menunjukkan pengamatan visual terhadap *boom excavator* yang gagal. Berdasarkan gambar tersebut terlihat permukaan pada patahan hampir rata dan tidak memiliki deformasi plastis yang signifikan, serangkaian *beach marks* yang terdapat pada permukaan retak menunjukkan mekanisme perambatan retak. Hal ini menyerupai karakteristik kegagalan fatik.



Gambar 2. Pengamatan visual terhadap boom yang gagal.

Berdasarkan pengamatan visual tersebut dapat dibuat hipotesis bahwa patahan yang terjadi dikarenakan kegagalan fatik pada area *mounting pin* bawah *boom*. Dapat diasumsikan daerah patahan tersebut merupakan area yang mendapatkan

distribusi tegangan paling tinggi. Hal tersebut menyebabkan tumbuhnya retakan awal saat mengangkat beban sebelum pada akhirnya *boom* mengalami kegagalan. *Mounting pin* bawah *boom* merupakan salah satu area yang tidak dapat dijangkau pada saat pengecekan NDT, sehingga dapat diasumsikan juga daerah tersebut telah terjadi kegagalan material yang tidak diketahui sehingga tidak ada penanganan dini dan patahan pun tidak dapat dicegah.

3.2. Pengujian Spektrometri

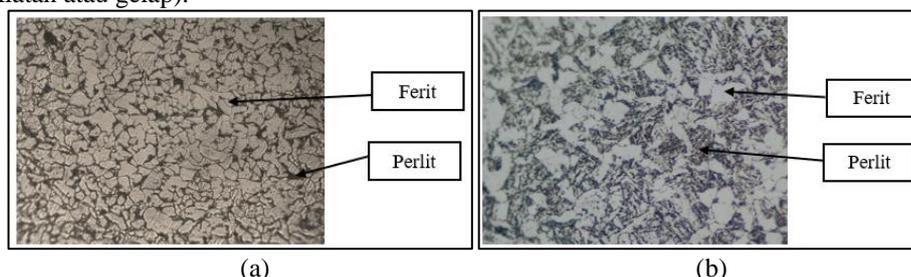
Dari hasil pengujian komposisi kimia yang telah dilakukan, dapat diketahui material *boom* termasuk jenis *low carbon steel* dengan kandungan karbon <0,3% [6] dan mendekati standar komposisi ST 52-3. Dapat dilihat pada tabel 1 tidak ada perbedaan komposisi kimia *boom* yang mengalami kegagalan dengan material asli. Hal tersebut menunjukkan bahwa selama pemakaian tidak ditemukan perubahan komposisi kimia [7].

Tabel 1. Perbandingan komposisi material *boom* yang gagal dengan material standar.

Unsur	C	Mn	S	P	Si
ST52-3	0,2	<1,36	0,003	0,03	0,48
<i>Boom</i>	0,2	0,9	0,003	0,024	0,44

3.3. Pengujian Metalografi

Pada hasil analisis uji metalografi pada ketiga spesimen, struktur mikro yang ditunjukkan relatif sama dengan struktur mikro ST52-3 yaitu berada pada fasa ferit (berwarna putih atau kuning atau terang) dan fasa perlit (berwarna hitam atau kecoklatan atau gelap).



Gambar 3. (a) Struktur mikro ST 52 Grade 3 [8]. (b) Fasa ferit-perlit ST 52 Grade 3 dari komponen

3.4. Pengujian Kekerasan

Berikut hasil pengujian kekerasan dengan menggunakan *Micro Hardness Vickers Tester* pada *boom excavator* menggunakan bahan uji yang sama dengan bahan uji spektrometri, yaitu pada bagian *initial crack* dan bagian dalam yang jauh dari permukaan patahan. Hasil Pengujian Kekerasan ditunjukkan pada Tabel 2 dibawah ini.

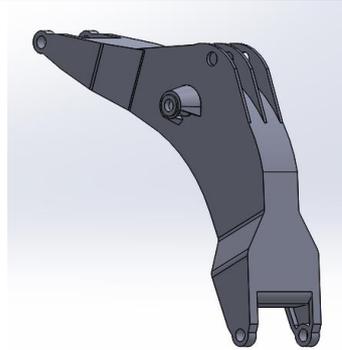
Tabel 2. Hasil pengujian kekerasan.

	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	Rata-rata
Spesimen 1	226 HV	198 HV	189 HV	202 HV	204 HV	203,8 HV
Spesimen 2	188 HV	220 HV	244 HV	230 HV	226 HV	221,6 HV
Spesimen 3	213 HV	199 HV	185 HV	210 HV	195 HV	200,4 HV

ST 52 Grade 3 memiliki nilai standar kekerasan sekitar 190-230 HV [9]. Pada spesimen 1 area *initial crack* yang telah diuji memiliki nilai kekerasan rata-rata 203,8 HV, spesimen 2 area *initial crack* memiliki nilai kekerasan rata-rata 221,6 HV, pada spesimen 3 area dalam memiliki nilai kekerasan rata-rata 200,4 HV. Nilai kekerasan ketiga spesimen tersebut berada pada rentang standar material ST52-3. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa kekerasan bukanlah penyebab kegagalan.

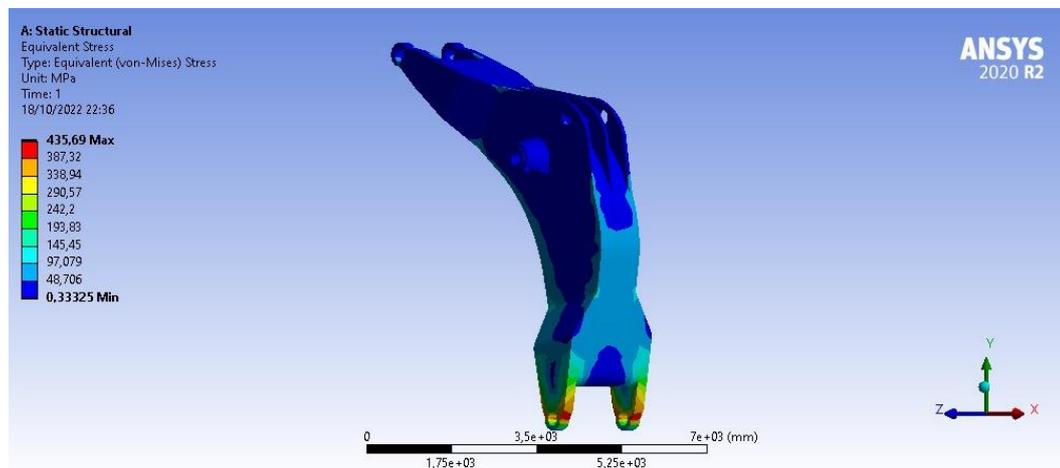
3.5. Simulasi Numerik

Simulasi numerik dilakukan untuk menganalisis tegangan pada *boom excavator*. Simulasi dimulai dengan melakukan perancangan model 3D menggunakan *software Solidwork 2020* dan analisis tegangan menggunakan *Ansys 2020*. Dimensi *boom* yang digunakan didapat dari spesifikasi produk. Gambar perancangan model 3D dari *boom* dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Model 3D boom.

Kemudian untuk mencari input kondisi batas dan pembebanan dalam simulasi numerik, dilakukan perhitungan gaya yang bekerja pada *Bucket*, *Arm* dan *Boom*. Gaya-gaya reaksi pada *bucket*, *arm* dan *boom excavator* pada posisi jangkauan tinggi maksimum dihitung menggunakan *maximum breakout force* dari *bucket* sebesar 780 kN, didapatkan gaya pada *mounting pin* bawah *boom* yaitu F_x sebesar -16,28 kN dan F_y sebesar -3712,23 kN [10]. Gaya reaksi tersebut diterapkan dalam menjalankan simulasi *software Ansys 2020* untuk mendapatkan konsentrasi tegangan pada *boom*. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Hasil Analisis Tegangan (*von Mises*) Boom

Dari hasil analisis tegangan (*von mises*) diketahui area dengan warna merah merupakan area yang memiliki tegangan tertinggi. Area tersebut bertepatan dengan lokasi terjadinya patahan pada *boom*. Maka dapat disimpulkan bahwa patahan terjadi pada lokasi dengan tegangan paling tinggi. Tegangan *von mises* yang didapatkan yaitu sebesar 435 MPa. *Yield strength* (S_y) dari komponen material adalah 386 MPa serta *ultimate tensile strength* sebesar 639 MPa. Sehingga kegagalan fatik dapat terjadi karena tegangan *von mises* saat kondisi *maximum breakout force* berada diantara *yield strength* dan *ultimate tensile strength*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pengujian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa kegagalan yang terjadi pada *boom excavator* bukan akibat dari kesalahan material, namun kegagalan bisa saja akibat kegagalan lelah (*fatigue failure*), dimana *boom* bekerja dengan waktu yang cukup lama yaitu 4,5 tahun, dalam pengoperasiannya terdapat faktor eksternal seperti tersangkut batu saat melakukan penggalian sehingga menyebabkan retakan awal pada *mounting pin* bawah *boom*. Ciri kegagalan fatik dapat dilihat dari hasil pengujian visual dimana permukaan patahan yang hampir rata dan tidak ada deformasi plastis, serta terdapat serangkaian *beach marks* yang terdapat pada permukaan retak menunjukkan mekanisme perambatan retak. Mekanisme kegagalan ini dibuktikan dari hasil analisis tegangan yang menunjukkan titik tegangan maksimum, dimana lokasi tegangan maksimum sama dengan lokasi terjadinya patahan.

5. Daftar Pustaka

- [1] Wulpi, D. J., "Understanding How Components Fail", *ASM International*, 1999
- [2] Jiaqi Xu and Hwan-Sik Yoon. "A Review on Mechanical and Hydraulic System Modeling of Excavator Manipulator System", *Department of Mechanical Engineering, University of Alabama*, 2016

- [3] Janmit Raj., dkk., “Study on the Analysis of Excavator Boom: A Review”, *SSRG International Journal of Mechanical Engineering*, ISSN: 2348 – 8360, **2015**
- [4] Fernandez J.E., Vijande R., Tucho R., Rodriguez J., Martin A., “Materials Selection to Excavator Tooth in Mining Industry” *Elsevier, Wear*, pp. 11–18. **2001**
- [5] Eugeniusz Rusin´ski., dkk., “An Analysis of the Causes of a BWE Counterweight Boom Support Fracture”, *Engineering Failure Analysis* 17, 179-191. **2010**
- [6] ASM Speciality Handbook, “Carbon and Alloy Steels”, Edited by J.R. Davis, *ASM International*.
- [7] Zulfadly, Ghony, M.A., “Variasi Ampere Terhadap Kekuatan Tarik Pada Hasil Pengelasan Dengan Posisi Down Hand”, *Jurnal Teknik Ilmiah*, Vol. 1. **2022**
- [8] Roodgari, M.R., dkk., “Microstructure and Mechanical Properties of IF/St52 Steel Composite Produced by Friction Stir Lap Welding”, *Materials Science & Engineering A*, **2020**
- [9] Michal Gloc, dkk., “Microstructural and Microanalysis Investigations of Bond Titanium Grade1/Low Alloy Steel St52-3N Obtained by Explosive Welding”, *Journal of Alloys and Compounds*, Hal 446-451, **2016**
- [10] Niteens Patil., dkk., “FEA Analysis and Optimization of Boom of Excavator”, *International Conference on Ideas, Impact and Innovation in Mechanical Engineering*, ISSN: 2321-8169, Volume: 5 Issue: 6, **2017**