

## Failure Analysis On The Mini Pile Hammer

Toto Supriyono<sup>1,\*</sup>, Bukti Tarigan<sup>2</sup> dan Tatang Nurjaman<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan - Bandung

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan - Bandung

<sup>3</sup>Program Sarjana, Teknik Mesijn, Fakultas Teknik, Universitas Pasundan - Bandung

\*Corresponding author: supriyono.toto@unpas.ac.id

**Abstract.** A mini pile hammer is a tools used to install a mini piles into the ground at 1.7 m in depth . The mini piles is made of steel structure. It can be a rectangular or circular cross section with a maximum size either 125 mm x 125 mm or 125 mm in diameter. The mini pile is planted into the ground by an action combination of both hit and pressed by the hammer mounted on the mini pile hydraulic driver. Both the repetitive impact and pressure acts on by the hammer during the piling process causes damage on it so that it cannot longer be used due to broken. The purpose of this study is to examine both the specific damage causes on the hammer and the hammer materials selected and also to determine a preventive action so that similar damage will not happen again in the future. In the short term, it can improves both the hammer design and the hammer fabrication, while for the long term, it is to development an advanced materials, methods both to evaluate and predict material performance and also to improve a maintenance program. The research method has been done in this study is both stress analysis work on the hammer by finite element analysis method, and laboratory test for the material macroscopically and microscopically view. The failure analysis result shows that the damage has marked by an initial crack on the hammer surface. The dynamic loads acts on the hammer causes crack growth to form fine lines resembling the beach mark. When cracks grow, the hammer cross-sectional area becomes smaller so that the stress on the part that receives the load will increase until it reaches a high level of loading so that the hammer breaks (overload). Microstructure inspection results show that the material used for hammers is carbon steel AISI 1547.

**Abstrak.** Palu tiang pancang mini (Palu) dalam penelitian ini adalah salah satu alat yang digunakan untuk memasang atau menanam tiang pancang mini ke dalam tanah. Tiang pancang mini terbuat dari bahan baja struktur dapat berpenampang segi empat atau lingkaran dengan ukuran maksimum sebesar 125 mm x 125 mm atau berdiameter 125 mm. Tiang pancang mini ditanam ke dalam tanah dengan cara kombinasi dipukul-pukul dan ditekan oleh palu yang dipasang pada mesin pancang mini hidraulik (*mini pile driver hydraulic*). Benturan dan tekanan berulang yang dialami oleh palu selama proses pemancangan mengakibatkan palu mengalami kerusakan sampai akhirnya tidak dapat dipergunakan kembali karena palu menjadi patah. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji penyebab terjadinya kerusakan yang spesifik pada palu dan material baku yang digunakan serta untuk menentukan tindakan pencegahan agar kerusakan serupa tidak terulang kembali. Untuk jangka pendek diharapkan dapat memperbaiki disain palu dan memperbaiki proses serta metoda fabrikasi palu, sedangkan untuk jangka panjangnya adalah pengembangan material dan metoda mutakhir untuk evaluasi dan memprediksi unjuk kerja material serta untuk memperbaiki sistem pemeliharaan. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah analisis tegangan yang bekerja pada palu, dan pengujian material secara makroskopik dan mikroskopik. Dari hasil analisis kegagalan, terjadinya kerusakan pada palu adalah ditandai dengan retakan (*initial crack*) pada bagian permukaan palu. Beban yang dinamik yang dikenakan pada palu dapat menyebabkan pertumbuhan crack sehingga terbentuklah garis-garis halus menyerupai garis pantai (*beach mark*). Pada saat retak tumbuh, luas penampang palu semakin kecil sehingga tegangan pada bagian yang menerima beban akan bertambah sampai mencapai tingkat pembebanan yang tinggi sehingga palu mengalami patah (*overload*). Hasil pemeriksaan struktur mikro menunjukkan bahwa material yang digunakan untuk palu adalah baja karbon AISI 1547.

**Keywords:** PLTS, Mini pile, Fatigue, Palu, PV Module

© 2018. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

### Pendahuluan

Palu tiang pancang mini (*Mini Pile Hammer*, selanjutnya disebut Palu) adalah salah satu alat yang digunakan untuk memasang atau menanam tiang pancang mini ke dalam tanah pada kedalaman

1.7 m. Tiang pancang mini terbuat dari bahan baja struktur SS400 dapat berpenampang segi empat atau lingkaran dengan ukuran maksimum sebesar 125 mm x 125 mm atau berdiameter 125 mm. Tiang pancang mini dalam penelitian adalah salah satu komponen utama rangka penopang *PV module*

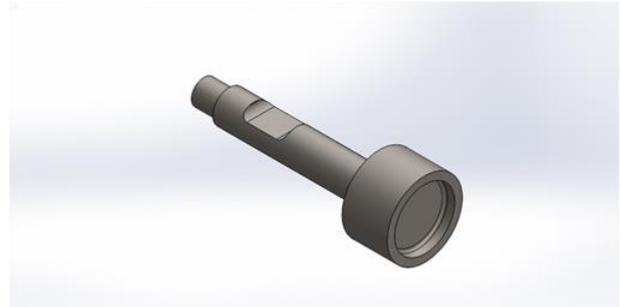
yang digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) kapasitas besar hingga ratusan megawatt produksi listriknya. Tiang pancang mini ditanam ke dalam tanah keras atau yang telah dipadatkan dengan cara kombinasi dipukul-pukul dan ditekan oleh palu yang dipasang pada mesin pancang mini hidrolik (*mini pile driver hydraulic*). Kombinasi benturan/tumbukan dan tekanan berulang yang dialami oleh palu selama proses pemancangan mengakibatkan palu mengalami kerusakan sampai akhirnya tidak dapat dipergunakan kembali karena palu menjadi patah.

Kegagalan-kegagalan yang telah terjadi pada beberapa palu selama proses pemancangan yang telah dilakukan mendorong kegiatan penelitian untuk mengetahui penyebabnya. Analisis kegagalan pada palu ini sangat perlu dilakukan untuk mengetahui penyebab terjadinya kerusakan yang spesifik pada palu dan material baku yang digunakan serta untuk menentukan tindakan pencegahan agar kerusakan serupa tidak terulang kembali.

Penerapan hasil penelitian ini diharapkan dapat berperan dalam menunjang pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia yang saat ini sedang dicanangkan pemerintah dalam program pembangunan pembangkit listrik dengan kapasitas total 35.000 MW. Mendesaknya kebutuhan listrik di Indonesia terutama di Indonesia wilayah timur mendorong pengembangan metoda pemasangan atau konstruksi Pembangkit Listrik Tenaga Surya kapasitas besar dengan waktu yang singkat mungkin namun menghasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang handal dan berumur hingga di atas 20 tahun.

### Identifikasi Masalah

Gambar 1 di samping ini memperlihatkan model palu yang akan dikaji, sedangkan gambar 2 memperlihatkan foto palu yang mengalami kerusakan atau kegagalan. Palu terbuat dari baja berbentuk silindris, dibuat melalui proses pemesinan seperti bubut dan skrap atau milling sehingga diperoleh bentuk seperti terlihat pada gambar 1. Bagian palu dibagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian bawah yang bertumbukan dengan tiang pancang mini, bagian tengah untuk mengikat palu pada mesin penggerak (*mini pile driver*) dan bagian atas yang berhubungan dengan mesin pemukul. Bagian leher palu diberi coakan untuk ruang tuas penahan palu agar tidak lepas atau jatuh ke bawah saat tidak dipergunakan.



Gambar 1. Module palu



Gambar 2. Palu yang patah

### Analisis Kegagalan

Analisis kegagalan adalah langkah-langkah pemeriksaan kegagalan atau kerusakan pada suatu komponen yang mencakup situasi dan kondisi kegagalan atau kerusakan tersebut, sehingga dapat ditentukan penyebab dari kegagalan/kerusakan yang terjadi pada komponen tersebut. Analisis kegagalan mempunyai tujuan sebagai berikut:

- a. Menemukan penyebab utama kegagalan,
- b. Menghindari kegagalan/kerusakan yang sama di masa yang akan datang dengan melakukan langkah-langkah penanggulangan,
- c. Sebagai bahan pengaduan teknis terhadap pembuat komponen,
- d. Sebagai langkah awal untuk perbaikan kualitas komponen tersebut,
- e. Sebagai penentuan kapan waktu perawatan (*maintenance*) dilakukan.

Kegiatan Analisis kegagalan sering harus dilakukan oleh berbagai ahli dari berbagai disiplin ilmu yang bekerja sama sesuai dengan tahapan yang telah ditetapkan. Adapun tahapan utama dalam melakukan analisis kegagalan adalah sebagai berikut:

- a. Melakukan investigasi lapangan, yang meliputi:
  - Melakukan observasi lapangan,
  - Mengukur dimensi obyek yang diamati,
  - Melakukan wawancara terhadap pihak terkait,
  - Mendokumentasikan temuan lapangan (fotografi),
- b. Melakukan uji tidak merusak di lapangan, meliputi:
  - Menentukan panjang retak aktual,
  - Menentukan derajat kerusakan (*damage level determination*) dengan cara: uji kekerasan, uji metalografi in-situ, uji komposisi kimia (dengan *portable spectrometry*).
- c. Melakukan uji aspek metalurgis di laboratorium, meliputi:
  - Pengukuran dimensi dari objek yang diteliti,
  - Dokumentasi fraktografi (makro – optik, dan mikro - SEM),
  - Analisis komposisi kimia dari paduan dan/atau produk korosi,
  - Inspeksi metalografi (*sampling, cutting, molding, polishing, etching*),
  - Uji sifat mekanik,
- d. Melakukan analisis beban dan tegangan:
  - Perhitungan beban dan tegangan kritis,
  - Perhitungan mekanika retak,
- e. Mempelajari aspek desain, operasi dan inspeksi terkini,
- f. Melakukan analisis mendalam dan komprehensif terhadap informasi yang telah diperoleh,
- g. Mempersiapkan laporan dan presentasi teknik,
- h. Mempersiapkan saran untuk perbaikan.

### Identifikasi Jenis Kegagalan

Kegagalan dapat didefinisikan sebagai kerusakan yang tidak wajar atau rusak sebelum waktunya. Adapun penyebab utama kegagalan dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- a. Kesalahan dalam disain,
- b. Kesalahan dalam pemilihan material,
- c. Kesalahan dalam proses pengerjaan,
- d. Kesalahan dalam pemasangan/perakitan,
- e. Kesalahan operasional,
- f. Kesalahan perawatan (*maintenance*).

Secara umum komponen dapat dikatakan gagal apabila masuk dalam kriteria sebagai berikut:

- a. Komponen tidak dapat beroperasi atau tidak dapat digunakan sama sekali,
- b. Komponen dapat digunakan tetapi umur pakainya terbatas (tidak sesuai dengan umur pakai yang dikehendaki),
- c. Komponen mengalami kelainan dan dapat membahayakan bila digunakan.

Kegagalan suatu komponen biasanya diawali dengan retakan yang menjalar sehingga menyebabkan suatu cacat. Retakan yang terjadi dapat dikategorikan atas ciri-ciri makroskopis, yaitu sebagai berikut:

- a. Patah ulet (*Ductile fracture*)
- b. Patah getas (*Brittle fracture*)
- c. Patah lelah (*Fatigue fracture*)
- d. Retak korosi tegangan (*Stress corrosion cracking*)
- e. Penggetasan (*Embrittlement*)
- f. Mulur (*Creep*) dan *Stress rupture*.

### Patah Ulet (*Ductile fracture*)

Patah ulet adalah patah yang diakibatkan oleh beban statis, jika beban dihilangkan maka penjaran retak akan berhenti. Patah ulet ini ditandai dengan penyerapan energi disertai adanya deformasi plastis yang cukup besardi sekitar patahan, sehingga permukaan patahan nampak kasar, berserabut (*fibrous*), dan berwarna kelabu.

### Patah Getas (*Brittle fracture*)

Patah getas terjadi dengan ditandai penjaran retak yang lebih cepat dibanding patah ulet dengan penyerapan energi yang lebih sedikit, serta hampir tidak disertai dengan deformasi plastis. Permukaan patahan pada komponen yang mengalami patah getas terlihat mengkilap, granular dan relatif rata.

Patah getas dapat mengikuti batas butir ataupun memotong butir. Bila bidang patahannya mengikuti batas butir, maka disebut patah getas intergranular, sedangkan bila patahannya memotong butir maka disebut patah getas transgranular.

### **Patah Lelah (Fatigue fracture)**

Patah lelah terjadi pada komponen konstruksi dengan pembebanan yang berubah-ubah atau berulang-ulang, meskipun harga tegangan nominalnya masih di bawah kekuatan luluh material.

Patah lelah berawal dari lokasi yang mengalami pemusatan tegangan (*stress concentration*) dimana apabila tegangan setempat tersebut tinggi bahkan melampaui batas luluh material, akibatnya di tempat tersebut akan terjadi deformasi plastis dalam skala makroskopis. Dari lokasi tersebut akan berawal retak lelah (*Crack initiation*) yang selanjutnya terjadi perambatan retak (*Crack propagation*) sejalan dengan pembebanan yang berfluktuasi. Bila perambatan retak lelah ini telah jauh, sehingga luas penampang yang tersisa tidak lagi mampu mendukung beban, maka komponen akan patah. Peristiwa patah tahap akhir ini disebut patah akhir (*Final fracture*). Modus patahan pada tahap tersebut adalah patah statik, yaitu karena tegangan yang bekerja pada penampang yang tersisa sudah melampaui kekuatan tarik material.

### **Retak Korosi Tegangan (Stress corrosion cracking)**

Peristiwa retak korosi tegangan adalah gabungan antara tegangan tarik dengan pengaruh lingkungan yang telah mengandung ion-ion ataupun larutan kimia. Kebanyakan retakannya mengikuti batas butir. Secara makro perambatan retak korosi tegangan terlihat bercabang seperti akar/ranting pohon, sedangkan secara mikro di bawah mikroskop perambatan retakannya dapat transgranular maupun intergranular (melalui batas butir).

### **Penggetasan (Embrittlement)**

Peristiwa penggetasan ini dapat terjadi pada material yang peka terhadap penggetasan hidrogen. Atom-atom hidrogen yang larut interstisi dapat bertemu dan berkumpul membentuk molekul gas hidrogen, sehingga mengakibatkan material menjadi patah karena tidak tersedianya ruang yang cukup untuk gas tersebut, yang akhirnya gas yang bertekanan tinggi akan mendesak material menjadi patah.

Masuknya hidrogen ke dalam material ini biasanya terjadi pada proses pengerjaan, misalnya pada proses pengelasan dan *electroplating* atau pada operasi di lingkungan yang banyak hidrogennya.

### **Mulur (Creep) dan Stress Rupture**

Peristiwa mulur yang dimaksud yaitu deformasi yang berjalan dengan waktu, oleh karena itu mulur

selalu ditandai dengan adanya deformasi plastis yang cukup besar. Peristiwa mulur ini terjadi bila komponen bekerja pada temperatur tinggi, yaitu di atas 0,4 atau 0,5 titik cair dari material komponen tersebut dalam Kelvin.

Sedangkan *stress rupture* selain disertai oleh deformasi plastis juga ditandai oleh adanya retak intergranular yang banyak ditemui di sekitar patahan.

### **Metode Penelitian**

Metode penelitian yang telah dilakukan dengan cara pengujian material palu dan analisis tegangan (kekuatan) palu menggunakan metode numerik. Pengujian material palu dilakukan untuk mengetahui sifat fisik, kimia dan mekaniknya sedangkan analisis tegangan yang bekerja pada palu dilakukan untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada palu.

### **Pengujian Material**

Pengujian pada material palu telah dilakukan untuk mengetahui sifat-sifatnya seperti sifat fisik, kimia, dan sifat mekaniknya. Jenis pengujian yang telah dilakukan adalah:

- a. Spektrometry, untuk mengetahui komposisi kimia (unsur) yang dikandung material
- b. Kekerasan (HB), untuk mengetahui kekerasan material
- c. Metalografi, untuk mengetahui Struktur Mikro material

### **Hasil Pengujian**

Hasil pengujian spectrometer menunjukkan bahwa material palu yang digunakan adalah baja AISI 1547. AISI 1547 adalah baja karbon dengan kekuatan Tarik 710 MPa, kekuatan yield 605 MPa, dan kekerasan Brinell sekitar 207. Kode lain yang ekuivalen dengan AISI 1547 adalah ASTM A29, ASTM A510, dan ASTM A576. Baja karbon ini sering digunakan untuk produk dengan proses forging seperti kawat dan 'rod'.

Dari pengamatan struktur mikro (gambar 5) terlihat bahwa material palu terdiri dari fasa perlit dan ferit namun kandungan perlit lebih dominan dibandingkan dengan fasa ferit. Fasa ferit adalah fasa yang terlihat berwarna terang, fasa ini mempunyai sifat lunak. Sedangkan fasa perlit yang terlihat berwarna gelap dan mempunyai sifat mampu mesin yang baik.

**HASIL PENGUJIAN**

No. Lab. : 268/Sp. Lab. Mat./Ext. Polman/VI/2017  
No. Order : UF-170268

Diterima Tanggal : 09 Juni 2017  
Diuji Tanggal : 09 Juni 2017

Kode Sample : VCN

Suhu Ruang : 24°C  
Kelembaban : 50%

Method : FELAST

Jenis Pengujian : OES  
Mesin Uji : ARL 3460

Hasil Pengujian :

SPEKTROMETER EMISI OPTIK		
No	Unsur / Element	Nilai (%)
1	Carbon (C)	0,467
2	Silicon (Si)	0,328
3	Sulfur (S)	0,024
4	Phosphorus (P)	0,017
5	Manganese (Mn)	1,491
6	Nickel (Ni)	0,06
7	Chromium (Cr)	0,05
8	Molybdenum (Mo)	0,003

Gambar 3. Hasil uji spektrometer

**HASIL PENGUJIAN**

No. Lab. : 355/Hrd. Lab. Mat/Ext. Polman/VII/2017  
No. Order : UF-170355

Diterima tanggal : 21 Juli 2017  
Diuji tanggal : 25 Juli 2017

Kode Sample : VCN

Metoda Uji : Brinell  
Standar Uji : ASTM E10  
Mesin Uji : Ernst Härteprüfer SA 6814 Lamone

Suhu (Ruang) : 23°C  
Kelembaban : 69%

UJI KEKERASAN		
Pengujian	Nilai ( HB/10/3000/15 )	
	Ø Indentasi	Nilai HB
I	3,88	244
II	3,88	244
III	3,85	248
IV	3,81	254
Rata-rata		247

Gambar 4. Hasil uji kekerasan



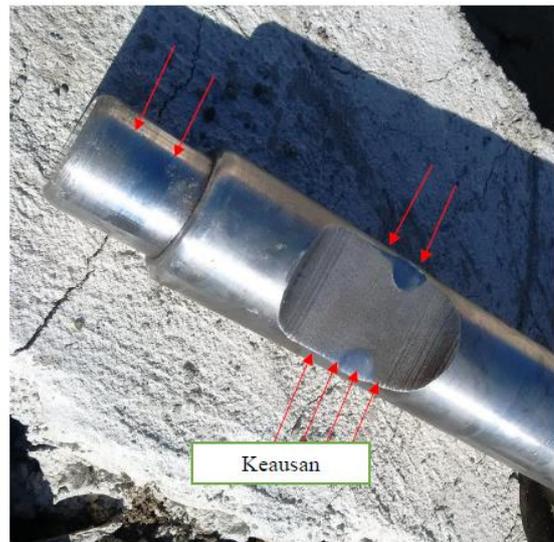
Gambar 5. Struktur mikro material palu

## Hasil dan Pembahasan

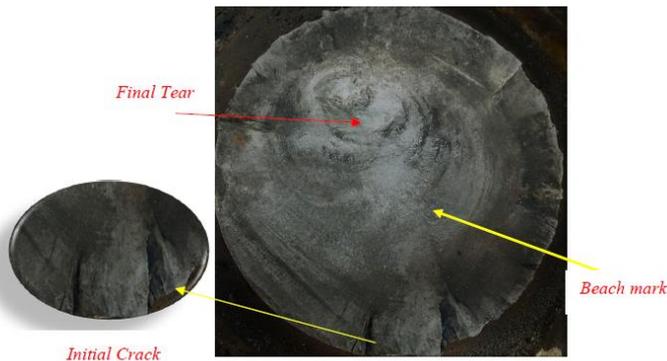
### Analisis Kegagalan: Pengamatan Visual

Berikut ini adalah foto-foto palu yang telah mengalami kegagalan. Hasil dari pengamatan visual menunjukkan palu mengalami kegagalan pada bagian antara batang palu dan kepala palu pada permukaan penampang palu. Pada gambar 6 di bawah ini menunjukkan batang mengalami keausan karena kontak langsung dengan pinudukan palu. Sedangkan pada gambar 7 di bawah menunjukkan permukaan patahan palu. Beban fluktuasi yang terjadi pada material dapat menimbulkan retakan yang dapat menyebabkan material mengalami kegagalan. Gambar 7 di bawah ini memperlihatkan permukaan patahan palu hidrolik. Retakan yang kontinyu pada material atau pada daerah konsentrasi tegangan meyebabkan patah lelas (*fatigue fracture*).

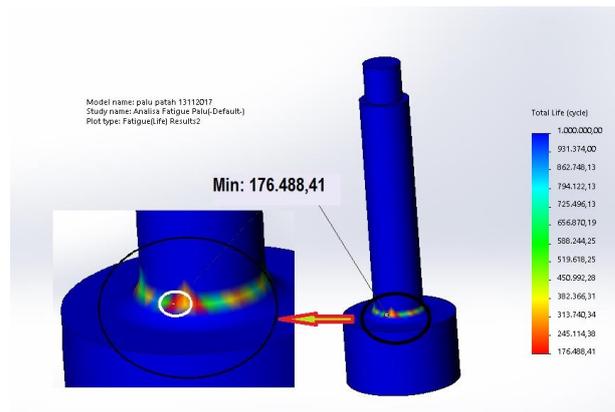
Kegagalan palu disebabkan oleh adanya retakan (*initial crack*) pada bagian permukaan palu. Beban yang berfluktuasi (dinamik) dapat menyebabkan pertumbuhan *crack* sehingga terbentuklah garis-garis halus menyerupai garis pantai (*beach mark*). Pada saat retak tumbuh, luas penampang palu semakin kecil sehingga tegangan pada bagian yang menerima beban akan bertambah sampai mencapai tingkat pembebanan yang tinggi sehingga palu mengalami patah (*overload*).



Gambar 6. Foto permukaan palu aus karena gesekan

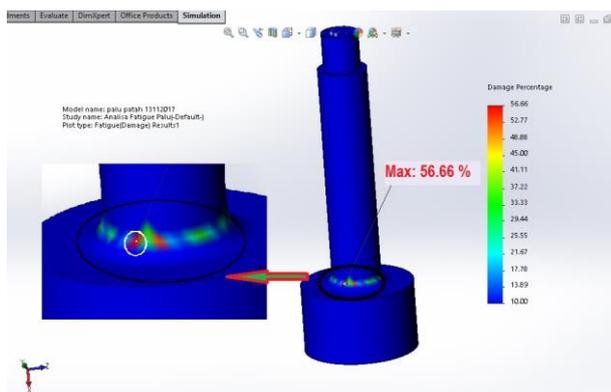


Gambar 7. Foto patahan palu



### Analisis Kegagalan: Elemen Hingga

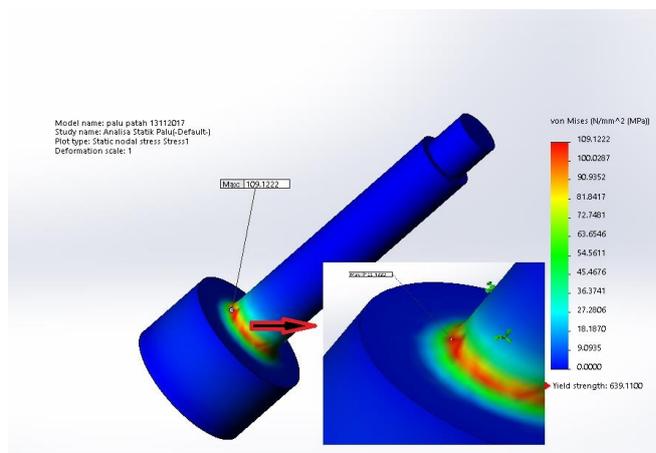
Gambar di bawah ini (gambar 8) memperlihatkan hasil analisis statik menggunakan Solidwork. Tampak bahwa palu tersebut mengalami tegangan maksimum sebesar 109.12 MPa yang berada di antara batang dan kepala palu.



Gambar 8. Pemodelan beban statik

Hasil dari analisa fatigue pada solidwork menunjukkan bahwa persentase kerusakan pada palu terbesar terjadi pada fillet antara batang dan kepala palu sebesar 56,66 %. Dari gambar 9 dapat dilihat bahwa daerah fillet tersebut rawan dengan kerusakan, hal ini diakibatkan tegangan maksimal berada pada daerah tersebut.

Gambar di atas memperlihatkan kerusakan pertama kali dapat terjadi pada 176.488 siklus, dengan posisi siklus terdapat pada *fillet* antara batang dan kepala palu sehingga pada daerah ini sebagai awal mulanya terjadi retakan (*crack*).



Gambar 9. Pemodelan beban fatigue

### Kesimpulan

Dari hasil pengujian material dan analisis kegagalan, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Material palu yang telah digunakan adalah AISI 1547. Material ini tidak sesuai untuk pembebanan benturan.
- Analisis tegangan menggunakan metoda elemen hingga memberikan hasil bahwa tegangan yang terjadi pada palu masih di bawah kekuatannya, baik untuk analisis beban statik maupun analisis fatigue.
- Retakan yang terjadi pada palu merupakan patah lelah karena pembebanan yang berubah-ubah atau berulang-ulang, walaupun harga tegangan nominalnya masih di bawah kekuatan luluh material.
- Dari pengamatan visual, patah lelah pada palu berawal dari lokasi yang mengalami pemusatan tegangan (*stress concentration*) di mana apabila tegangan setempat tersebut tinggi bahkan melampaui batas luluh material, akibatnya di tempat tersebut akan terjadi deformasi plastis dalam skala makroskopis. Dari lokasi tersebut

akan berawal retak leleh (*Crack initiation*) yang selanjutnya terjadi perambatan retak (*Crack propagation*) sejalan dengan pembebanan yang berfluktuasi. Jika perambatan retak leleh ini telah jauh, sehingga luas penampang yang tersisa tidak lagi mampu mendukung beban, maka komponen akan patah. Peristiwa patah tahap akhir ini disebut patah akhir (*Final fracture*). Modus patahan pada tahap tersebut adalah patah statik, yaitu karena tegangan yang bekerja pada penampang yang tersisa sudah melampaui kekuatan tarik material.

### Referensi

- [1] ASM Handbook Volume 1: Properties and election: Irons, Steels, and High-Performance Alloys (06181).
- [2] ASM Metals Handbook Volume 11 – Failure Analysis and Prevention.
- [3] Callister, W.D., 2007, Fundamentals of Materials Science and Engineering, 7th, John Wiley & Sons nc., United State of America.
- [4] Richard G. Budynas, J. Keith Nisbett,” Shigley’s Mechanical Engineering Design”, Ninth Edition, McGraw-Hill series in mechanical engineering, New York, 2011.
- [5] Farag, M., Mahmoud., 1997, Material Selection for Engineering Design, Prentice Hall, London.
- [6] [http://irianpoo.blogspot.com/2010/02/analisa-kegagalan-failure-analysis\\_125.html](http://irianpoo.blogspot.com/2010/02/analisa-kegagalan-failure-analysis_125.html).
- [7] <http://dokumen.tips/documents/material-dan-proses-elemen-mesin.html>.
- [8] <https://www.scribd.com/document/328834655/Analisa-Kegagalan-Beban-Statik-Dan-Dinamik>