

## PERANCANGAN PALU TIANG PANCANG MINI (MINI PILE HAMMER)

Toto Supriyono\*, Bukti Tarigan dan Muhamad Syarif Hidayat

Jurusan Teknik Mesin Universitas Pasundan Bandung  
Jalan Dr. Setiabudi No. 193, Gegerkalong, Sukasari, Bandung, 40153

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

**Abstract.** Pembangkit Listrik Tenaga Surya menggunakan panel surya untuk mengubah energi matahari menjadi listrik DC. PLTS tipe kebun (*farm type*) menggunakan panel surya dalam jumlah yang banyak dan memerlukan penyangga (tiang) untuk menangkap energi matahari di siang hari. Penyangga panel surya yang telah digunakan sebelumnya terdiri atas beberapa rangka baja dari profil siku untuk memegang panel surya dan UNP sebagai tiang penyangga utama. Tiang penyangga utama dipancang ke dalam tanah menggunakan palu, yang disebut palu tiang pancang mini atau *mini pile driver (MPD)*. MPD merupakan alat pancang tiang yang ukurannya lebih kecil dari tiang pancang lainnya. Pada MPD terdapat **palu** yang terpasang pada *head pile driver* yang berfungsi untuk memancang sebuah tiang pancang agar dapat berdiri tegak. Palu tersebut digerakkan dengan menggunakan motor hidrolik yang terpasang pada *head MPD*. Kendala yang pernah dihadapi dalam proses pemasangan tiang pancang mini ini adalah seringnya palu patah/rusak padahal baru mendirikan 2-3 tiang pancang saja. Dalam penelitian telah dilakukan perancangan palu MPD agar diperoleh palu yang handal, kuat dan dapat digunakan untuk proses pemancangan tiang pancang dalam jumlah yang banyak. Dalam perancangan ini, telah dibuat enam model disain palu yang berbeda menggunakan software solidworks, dengan menggunakan material AISI 4340. Setelah melakukan simulasi menggunakan solidworks diperoleh hasil disain yang sesuai dengan kriteria disain palu, yaitu disain alternatif tiga dan lima. Hasil tersebut meliputi simulasi pembebanan statik, faktor keamanan, dan beban dinamik yang masing-masing disain tersebut diberikan beban 200 bar. Untuk simulasi beban static, pada disain alternatif tiga terjadi tegangan maksimum sebesar 106.524 MPa, nilai faktor keamanan minimum sebesar 6.570 dan tegangan maksimum dinamik sebesar 123.408 MPa. Untuk disain alternatif lima terjadi tegangan maksimum statik sebesar 97.567 MPa, nilai faktor keamanan minimum sebesar 7.175 dan tegangan maksimum dinamik sebesar 109.304 MPa. Rekomendasi penelitian selanjutnya adalah disain menggunakan material baja mangan dan melibatkan pengaruh frekuensi pukulan pada ketahanan palu.

**Kata kunci:** PLTS, PV Module, Mini Pile Driver, Hammer

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

---

### Pendahuluan

*Mini pile Driver (MPD)* merupakan alat pancang tiang yang ukurannya lebih kecil dari *Pile* lainnya, pada MPD terdapat palu yang terpasang pada MPD yang berfungsi untuk memancang sebuah tiang pancang agar dapat berdiri tegak. Palu tersebut digerakkan dengan menggunakan motor *hydraulic* yang terpasang pada *head MPD*. Proses pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya, PLTS memerlukan ruangan terbuka yang luas sebagai tempat menyimpan *solar module* agar terpapar langsung oleh energi matahari. *Solar module* diletakkan pada tiang penyangga yang telah didirikan dengan menggunakan sebuah palu yang terpasang pada mesin tiang pancang mini (*mini pile driver*). Penyangga panel surya yang telah digunakan sebelumnya terdiri atas beberapa rangka

baja dari profil siku untuk memegang panel surya dan UNP sebagai tiang penyangga utama. Tiang penyangga utama dipancang ke dalam tanah menggunakan palu, yang disebut palu tiang pancang mini atau MPD. MPD merupakan alat pancang tiang yang ukurannya lebih kecil dari tiang pancang lainnya, pada MPD terdapat **palu** yang terpasang pada *head pile driver* yang berfungsi untuk memancang sebuah tiang pancang agar dapat berdiri tegak. Palu tersebut digerakkan dengan menggunakan motor hidrolik yang terpasang pada *head MPD*. Kendala yang pernah dialami dalam proses pemasangan tiang pancang yaitu seringnya palu patah/rusak padahal baru mendirikan 2-3 tiang pancang.

Untuk mendapatkan palu yang lebih handal telah dilakukan perancangan palu tiang pancang mini.

Dalam perancangan ini, telah dibuat 6 (enam) model disain palu yang berbeda menggunakan software Solidworks. Material palu yang dianalisis menggunakan material AISI 4340.

### Metodologi Perancangan

Metodologi atau tahapan perancangan untuk mengarahkan kegiatan ini telah diawali dengan tahap persiapan, disain palu, dan analisis tegangan.

#### 1. Tahap Persiapan

Mempelajari berbagai literatur yang berhubungan dengan Palu (*hammer*) *mini pile driver* dan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan untuk digunakan untuk merancang Palu.

#### 2. Disain

Menentukan kriteria disain dan beberapa alternatif bentuk palu, serta menentukan jenis material. Proses disain ini dilakukan menggunakan software Solidworks. Kriteria disain yang telah ditentukan adalah tegangan maksimum yang terjadi di bawah sifat kekuatannya, faktor keamanan di atas harga 1 (satu), ekonomis dan memiliki umur panjang.

#### 3. Analisis tegangan

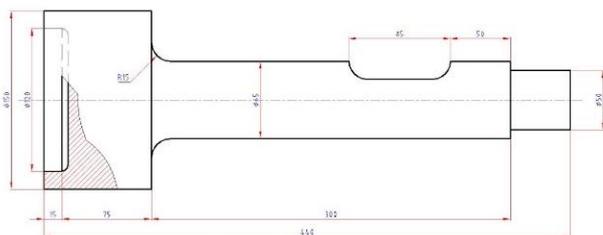
Analisis tegangan dilakukan untuk mengetahui tegangan maksimum yang terjadi pada palu apakah di bawah kekuatannya. Analisis tegangan ini dilakukan menggunakan software Solidworks.

#### 4. Evaluasi

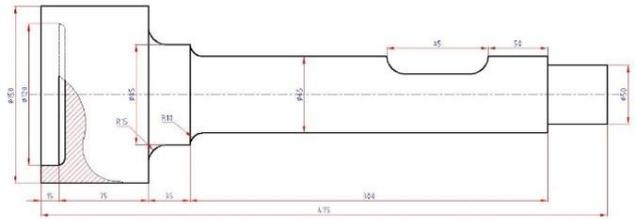
Evaluasi adalah proses identifikasi hasil analisis beberapa model disain alternatif dan menentukan pilihan model disain yang sebaiknya digunakan untuk pengembangan palu berikutnya.

### Alternatif Disain Palu

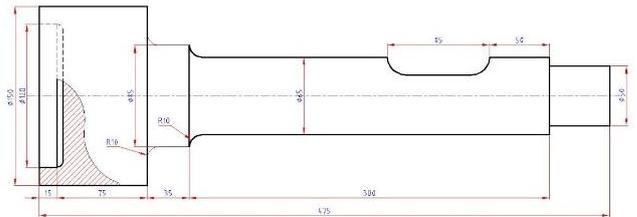
Telah dibuat sebanyak 6 (enam) alternatif bentuk palu, 5 (lima) bentuk lainnya ditentukan dengan membuat *fillet* antara kepala palu dan leher palu, seperti ditampilkan pada gambar 1 hingga gambar 6. Bentuk awal dipilih untuk menganalisis tegangan yang terjadi pada palu.



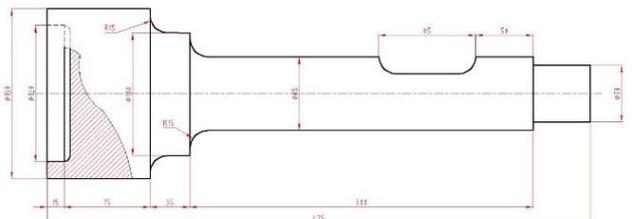
**Gambar 1.** Disain Awal



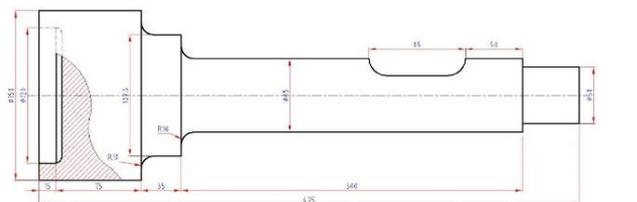
**Gambar 2.** Disain Alternatif satu



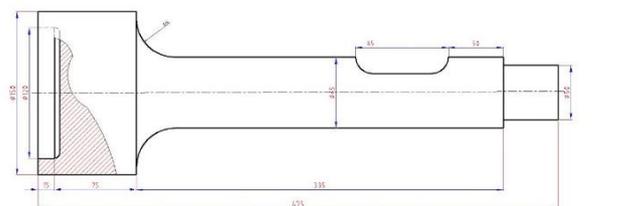
**Gambar 3.** Disain Alternatif Dua



**Gambar 4.** Disain Alternatif Tiga



**Gambar 5.** Disain Alternatif Empat



**Gambar 6.** Disain Alternatif Lima

Material baja AISI 4340 dipilih untuk 6 (enam) model palu seperti diperlihatkan pada gambar 2 hingga gambar 6. AISI 4340 memiliki sifat kimia dan sifat mekanik seperti ditampilkan pada tabel 1 dan tabel 2. Disain awal juga telah dianalisis menggunakan material AISI 1547.

**Tabel 1.** Komposisi Kimia AISI 4340

| No | Komposisi Kimia | (%)       |
|----|-----------------|-----------|
| 1  | Carbon, C       | 0.30-0.38 |
| 2  | Chromium, Cr    | 1.30-1.70 |
| 3  | Besi, Fe        | 96        |
| 4  | Manganese, Mn   | 0.7       |
| 5  | Molydenum, Mo   | 0.15-0.30 |
| 6  | Nikel, Ni       | 1.30-1.70 |
| 7  | Phosphorus,P    | Max 0.035 |
| 8  | Sulfur,S        | Max 0.04  |
| 9  | Silicon, Si     | 0.23      |

**Tabel 2.** Sifat Mekanik Material AISI 4340

| No | Sifat Mekanik        | Besaran  |
|----|----------------------|----------|
| 1  | Hardness, Brinell    | 321      |
| 2  | Hardness, Rockwell B | 99       |
| 3  | Tensile Strength     | 1110 MPa |
| 4  | Yield Strength       | 700 MPa  |
| 5  | Modulus Elasticity   | 205 GPa  |
| 6  | Elongation Of Break  | 12%      |

**Analisis Tegangan**

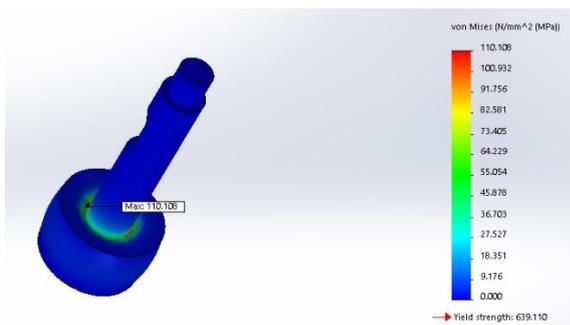
Analisis tegangan telah dilakukan pada 4 (empat) model palu dengan menggunakan *software* Solidworks, hasilnya adalah sebagai berikut:

**A. Disain Awal - AISI 1547 (1)**

Disain awal palu menggunakan material AISI 1547 telah dianalisa menggunakan solidworks. Analisis telah dilakukan untuk beban statik dan beban dinamik sebesar 200 bar.

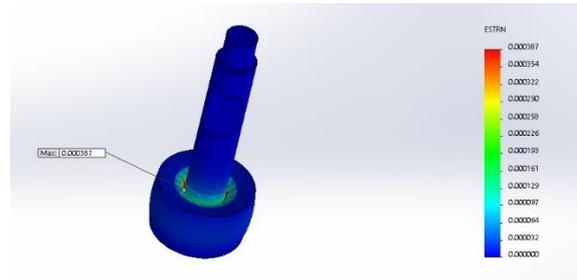
**Analisa Statik**

Hasil analisis statik pada solidworks diperlihatkan pada gambar 7 menunjukkan kontur atau distribusi tegangan yang terjadi pada palu. Perbedaan warna menggambarkan tingkat tegangan pada Palu, warna merah merupakan tegangan maksimal sedangkan warna biru menunjukkan tegangan minimum yang terjadi. Tegangan maksimum ( $\sigma_{max}$ ) terjadi pada bagian batang palu yang berdekatan dengan kepala Palu (*head*), sebesar 110.108 MPa.



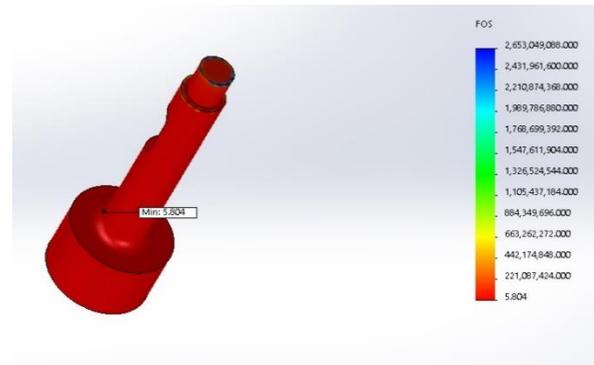
**Gambar 7.** Tegangan maksimum

Gambar 8 menunjukkan distribusi regangan yang terjadi pada palu. Regangan maksimum yang terjadi pada batang palu sebesar 0.000387.



**Gambar 8.** Regangan maksimum

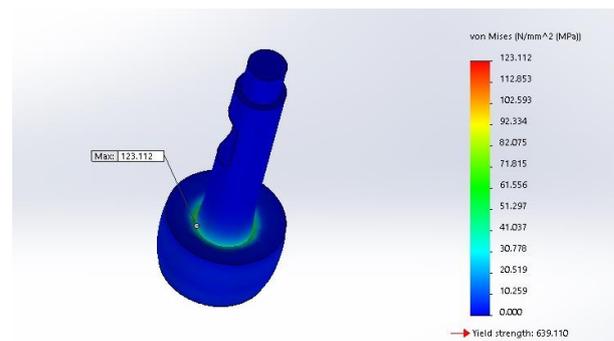
Harga faktor keamanan (*safety factor*) akibat beban statik yang dialami palu terutama pada bagian leher palu yang berdekatan dengan kepala palu (*Head*) yaitu sebesar 5.804.



**Gambar 9.** *Safety Factor*

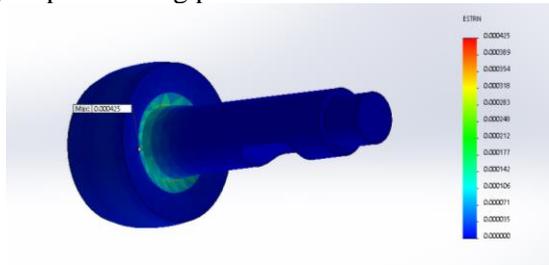
**Analisa Dinamik**

Hasil analisis dinamik menggunakan Solidworks diperlihatkan pada gambar 10 menunjukkan kontur atau distribusi tegangan yang terjadi pada palu. Perbedaan warna menggambarkan tingkat tegangan pada palu, warna merah merupakan tegangan maksimal sedangkan warna biru menunjukkan tegangan minimum yang terjadi. Tegangan maksimum ( $\sigma_{max}$ ) terjadi pada bagian batang palu yang berdekatan dengan kepala palu (*head*), sebesar 123.112 MPa.



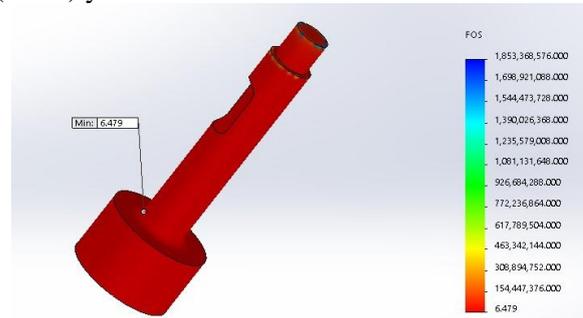
**Gambar 10.** Tegangan maksimum

Gambar 11 menunjukkan distribusi regangan yang terjadi pada palu. Regangan maksimum yang terjadi pada batang palu sebesar 0.000425.



Gambar 11. Regangan maksimum

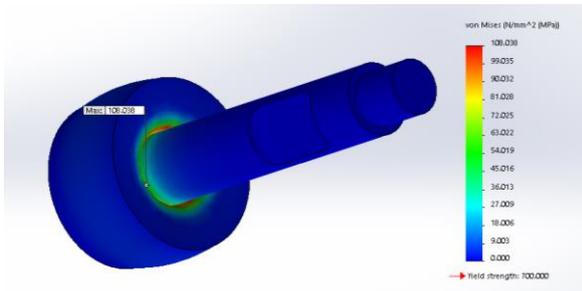
Harga faktor keamanan (*safety factor*) akibat beban statik yang dialami palu terutama pada bagian leher palu yang berdekatan dengan kepala palu (*Head*) yaitu sebesar 6.479.



Gambar 14. Safety Factor

**B. Disain Awal - AISI 4340 (2)**  
**Analisa Statik**

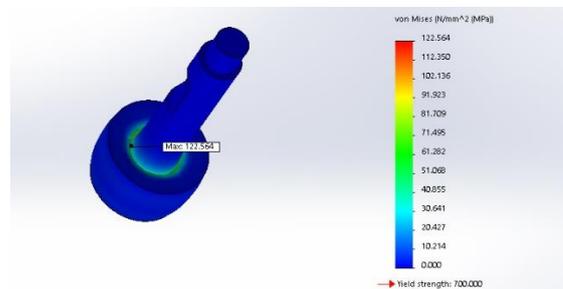
Gambar 12 memperlihatkan distribusi tegangan yang terjadi pada palu. Perbedaan warna menggambarkan tingkat tegangan pada palu, warna merah merupakan tegangan maksimal sedangkan warna biru menunjukkan tegangan minimum yang terjadi. Tegangan maksimum ( $\sigma_{max}$ ) terjadi pada bagian batang palu yang berdekatan dengan kepala Palu (*head*), sebesar 108.038 MPa.



Gambar 12. Tegangan maksimum

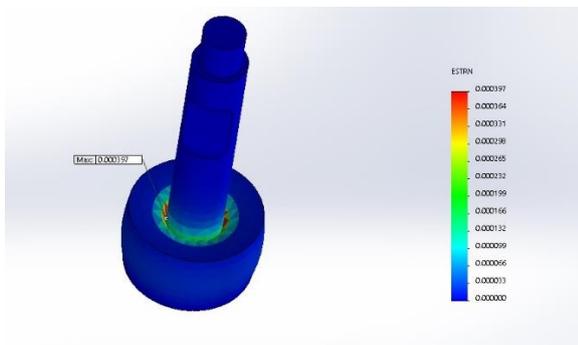
**Analisa Dinamik**

Setelah melakukan simulasi dengan FEA *dynamic* menggunakan solidworks didapat distribusi tegangan yang terjadi pada palu, seperti diperlihatkan pada gambar 15. Perbedaan warna menggambarkan tingkat tegangan pada palu, warna merah merupakan tegangan maksimal sedangkan warna biru menunjukkan tegangan minimum yang terjadi. Tegangan maksimum ( $\sigma_{max}$ ) terjadi pada bagian batang palu yang berdekatan dengan kepala palu (*head*), sebesar 122.564 MPa.



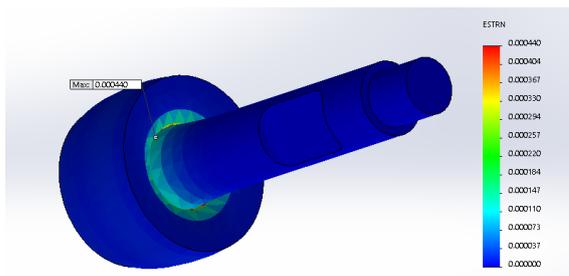
Gambar 15. Tegangan maksimum

Gambar 13 menunjukkan distribusi regangan yang terjadi pada palu. Regangan maksimum yang terjadi pada batang palu sebesar 0.000397.



Gambar 13. Regangan maksimum

Gambar 16 memperlihatkan kontur regangan yang terjadi pada palu. Regangan maksimum yang terjadi pada batang palu sebesar 0.000440.

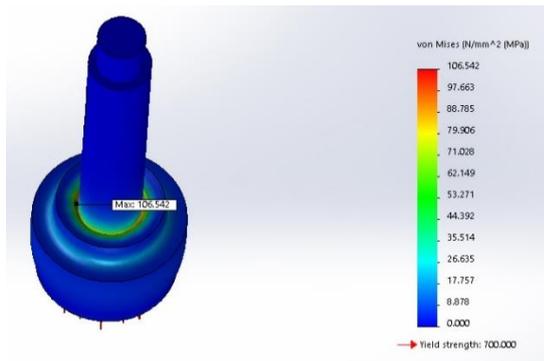


Gambar 16. Regangan maksimum

### C. Disain Alternatif Tiga - AISI 4340 (5)

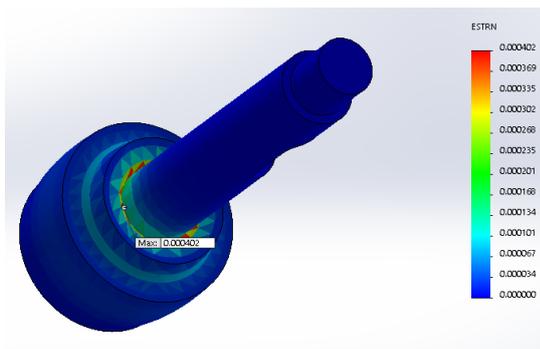
#### Analisa Statik

Hasil analisis tegangan akibat beban statik diperlihatkan pada gambar 17. Distribusi/kontur tegangan yang terjadi pada palu diperlihatkan dengan perbedaan warna yang menggambarkan tingkat tegangan pada Palu, warna merah merupakan tegangan maksimal sedangkan warna biru menunjukkan tegangan minimum yang terjadi. Tegangan maksimum ( $\sigma_{max}$ ) terjadi pada bagian batang palu yang berdekatan dengan kepala Palu (*head*), sebesar 106.542 MPa.



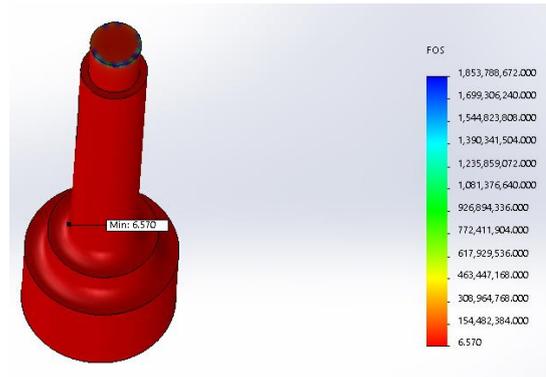
Gambar 17. Tegangan maksimum

Gambar 18 menunjukkan distribusi/kontur regangan yang terjadi pada palu. Regangan maksimum yang terjadi pada batang palu sebesar 0.000402.



Gambar 18. Regangan maksimum

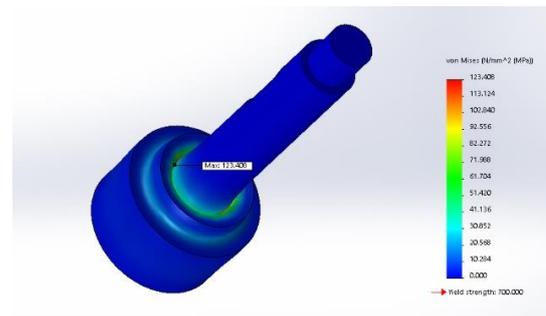
Harga faktor keamanan (*safety factor*) akibat beban statik yang dialami palu terutama pada bagian leher palu yang berdekatan dengan kepala palu (*Head*) yaitu sebesar 6.570.



Gambar 19. Safety Factor

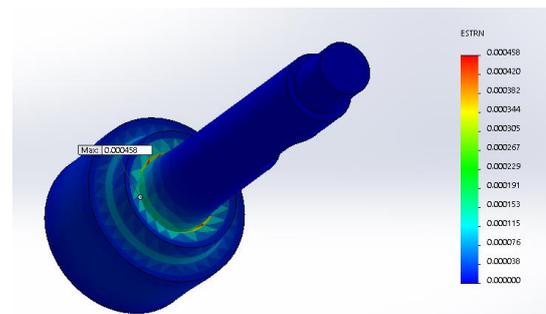
#### Analisa Dinamik

Hasil analisis tegangan menggunakan aplikasi Solidworks seperti diperlihatkan pada gambar 20 menunjukkan distribusi/kontur tegangan yang terjadi pada palu. Perbedaan warna menggambarkan tingkat tegangan pada palu, warna merah merupakan tegangan maksimal sedangkan warna biru menunjukkan tegangan minimum yang terjadi. Tegangan maksimum ( $\sigma_{max}$ ) terjadi pada bagian batang palu yang berdekatan dengan kepala palu (*head*), sebesar 123.408 MPa.



Gambar 20. Tegangan maksimum

Gambar 21 menunjukkan distribusi/kontur regangan yang terjadi pada palu. Regangan maksimum yang terjadi pada batang palu sebesar 0.000458.

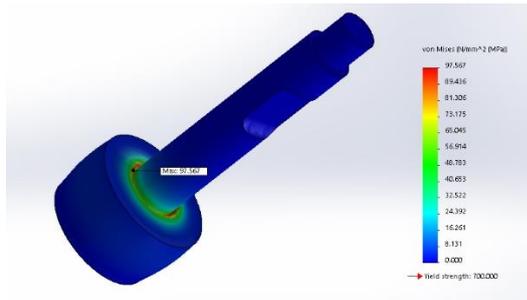


Gambar 21. Regangan maksimum

**D. Disain Alternatif Lima - AISI 4340 (6)**

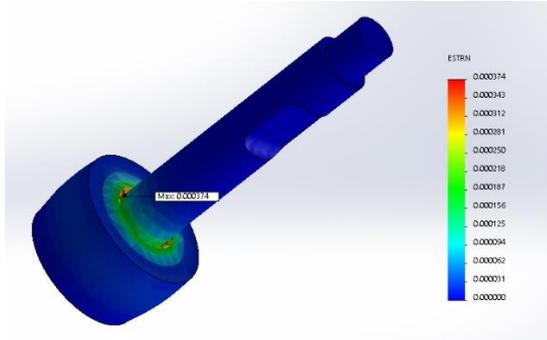
**Analisa Statik**

Hasil analisis tegangan diperlihatkan pada gambar 22 menunjukkan distribusi tegangan yang terjadi pada palu. Perbedaan warna menggambarkan tingkat tegangan pada Palu, warna merah merupakan tegangan maksimal sedangkan warna biru menunjukkan tegangan minimum yang terjadi. Tegangan maksimum ( $\sigma_{max}$ ) terjadi pada bagian batang palu yang berdekatan dengan kepala Palu (*head*), sebesar 97.567 MPa.



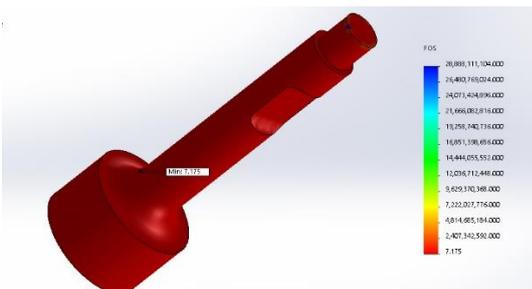
**Gambar 22.** Tegangan maksimum

Gambar 23 menunjukkan distribusi/kontur regangan yang terjadi pada palu. Regangan maksimum yang terjadi pada batang palu sebesar 0.000374.



**Gambar 23.** Regangan maksimum

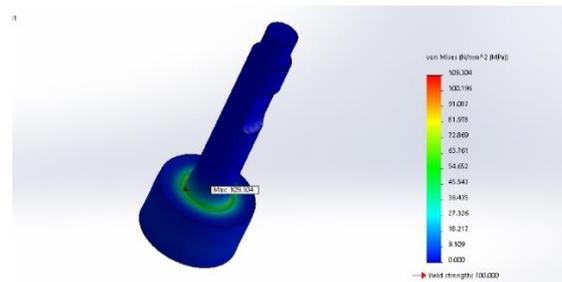
Harga faktor keamanan (*safety factor*) akibat beban statik yang dialami palu terutama pada bagian leher palu yang berdekatan dengan kepala palu (*Head*) yaitu sebesar 7.175.



**Gambar 24.** Safety Factor

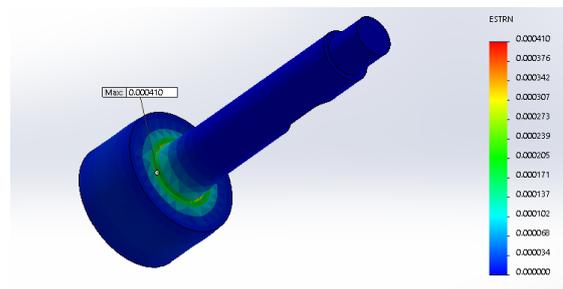
**Analisa Dinamik**

Gambar 25 menunjukkan distribusi tegangan yang terjadi pada palu. Perbedaan warna menggambarkan tingkat tegangan pada palu, warna merah merupakan tegangan maksimal sedangkan warna biru menunjukkan tegangan minimum yang terjadi. Tegangan maksimum ( $\sigma_{max}$ ) terjadi pada bagian batang palu yang berdekatan dengan kepala palu (*head*), sebesar 109.304 MPa.



**Gambar 25.** Tegangan maksimum

Gambar 26 menunjukkan distribusi regangan yang terjadi pada palu. Regangan maksimum yang terjadi pada batang palu sebesar 0.000440.



**Gambar 26.** Regangan maksimum

**Evaluasi/Pembahasan**

Dari hasil analisis tegangan dan regangan seperti ditampilkan pada gambar 7 hingga gambar 26, diperoleh dua disain yang paling kecil nilai tegangan maksimum yang terjadi dibandingkan dengan enam disain bentuk palu yang telah dilakukan pada tahap awal disain yaitu disain alternatif tiga dan lima.

**KESIMPULAN DAN SARAN**

**Kesimpulan**

1. Pada disain alternatif tiga, tegangan maksimum pada palu karena beban statik sebesar 106.524 MPa dan disain alternatif kelima menunjukkan tegangan maksimum yang terjadi karena beban statik pada palu yaitu 97.567 MPa. Tegangan maksimum yang bekerja ini masih di bawah tegangan *yield*-nya yaitu sebesar 700 MPa.

2. Hasil simulasi untuk beban dinamik menunjukkan bahwa tegangan maksimum pada palu disain alternatif tiga sebesar 123.412 MPa dan untuk disain alternatif lima tegangan maksimumnya sebesar 109.304 MPa. Tegangan maksimum yang terjadi karena beban dinamik masih di bawah tegangan *yield*-nya.
3. Harga *safety factor* (keamanan) dari material AISI 4340 pada disain alternatif tiga sebesar 6.57 dan disain alternatif lima sebesar 7.175. Dengan demikian, kedua disain tersebut aman digunakan karena nilai faktor keamanan yang didapat yaitu  $>3.5$ . Menurut *global safety factor* untuk simulasi dinamik (*Worldwide dynamic foundation testing codes and standards* - Beim, G. & Likins, G - *Pile Dynamics, Inc*) jika harga faktor keamanan di atas 3.5, maka disain bisa dinyatakan aman.

### Saran

1. Perlu analisis tegangan lebih lanjut menggunakan Material *steel (high alloy steel)* Mangan karena cocok dengan material palu yang memiliki kekuatan yang tinggi, ulet, tangguh, tahan aus yang sangat baik sehingga tahan terhadap gesekan dan terus menerus memperbaharui material tersebut.
2. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh frekuensi pukulan terhadap kerusakan palu.
3. Proses pemesinan (pembuatan palu) harus memperhatikan kehalusan permukaan karena semakin halus permukaan maka *initial crack* yang terjadi dapat dihindari atau memperlambat terjadinya *initial crack*.
4. Jika pembuatan menggunakan material AISI 4340 sebaiknya dilakukan proses *heat treatment* untuk memperkuat material dan menghaluskan butiran sehingga memperkecil terjadinya *initial crack*.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mhd. Daud Pinem, "Mekanika Kekuatan Material Lanjut", Rekayasa Sains, Bandung, 2010, p.1- p.11 & p.221 – p.243
- [2] Gere M James, Timoshenko P. Stephen, "Mekanika Bahan Jilid 1", Erlangga, Jakarta, 2007, p.1- p.32 dan p.126 – p.127
- [3] Harahap Gandi, "Perencanaan Teknik Mesin" Erlangga, Jakarta, 2006, p.4 – p.349
- [4] Sonawan Heri, "Mekanika Teknik", Alfabeta, Bandung, 2003, p.5 – p.44
- [5] Supriyono Toto, dkk, "Failure Analysis on the

Mini pile hammer", Prosiding SNTTM XVII, Oktober 2018, Teknik Mesin UNDANA, ISSN 2613 – 0313

- [7] Supriyono Toto, "Rancang Bangun dan Konstruksi Mounting Support Solar Module", Prosiding SNTM XI, Agustus 2016, Teknik Mesin UK Petra Surabaya, ISBN: 978-602-74857-0-9
- [8] Sato Takesi G, dan N. Sugiarto, "Menggambar Mesin Menurut Standar ISO", Jakarta, 1996, p.107 – p.172
- [9] <https://indonesia.alibaba.com/product-detail/excavator-hydraulic-pile-driver-hammer-bore-pile-drilling-machine-pm2000-60484073672.html> (diakses pada 02/12/17, jam 19.21)