

OPTIMASI TOPOLOGI ARM EXCAVATOR CAT 320D MENGGUNAKAN SOLIDWORKS

Divia Satria Wicaksono¹, Budi Sugiharto^{2*}

^{1,2}Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma Yogyakarta

*E-mail: sugih@usd.ac.id

ABSTRAK

Pengerjaan penggalian dalam skala yang besar membutuhkan alat berat jenis excavator. Salah satu komponen utama pada excavator adalah arm. Input gaya pembebanan ditentukan dengan cara menghitung kesetimbangan benda tegar dari gaya pada ujung bucket saat penggalian. Hasil gaya dari perhitungan digunakan sebagai input pada analisis dengan menggunakan perangkat lunak Solidworks. Variasi analisis dengan beberapa posisi penggalian yaitu, posisi 1 (terdalam), posisi 2 (jangkauan terjauh di permukaan tanah), dan posisi 3 (tertinggi). Hasil analisis statik pada posisi 3 memiliki tegangan von mises paling besar dari posisi lainnya yaitu sebesar 448,756 MPa. Simpangan terbesar dialami pada posisi 3 sebesar 5,956 mm. Optimasi desain dilakukan saat posisi 3 dengan reduksi massa sebesar 15%, sehingga massa arm berkurang menjadi 3.516,650 kg dari desain awal sebesar 4.161,720 kg dan tegangan maksimum yang terjadi setelah optimasi naik menjadi 467,869 MPa. Pengurangan massa dilakukan dengan menghilangkan elemen yang mengalami tegangan cukup rendah dibandingkan bagian lain, sehingga kekuatan komponen masih terjamin.

Kata kunci: analisis statik, arm excavator, optimasi desain, von mises stress.

1. PENDAHULUAN

Pada saat ini pembangunan infrastruktur di Indonesia sangat berkembang pesat. Perkembangan pembangunan ditandai dengan banyaknya proyek misalnya jalan, waduk, embung, dan gedung-gedung. Maka dari itu pembangunan proyek harus dikerjakan dengan cara yang cepat dan tepat. Agar pembangunan dapat berjalan lancar maka dibutuhkan beberapa peralatan yang mampu menunjang pekerjaan infrastruktur, yaitu alat berat. Alat berat mampu meningkatkan produktifitas pekerjaan. Penggunaan alat berat digunakan untuk melakukan pekerjaan menggali (*digging*), mengangkut material (*loading*), mengikis (*scraping*), dan meratakan permukaan (*grading*). Jenis alat berat yang sering digunakan salah satunya *excavator*. *Excavator* merupakan salah satu jenis alat berat yang digunakan untuk melakukan pekerjaan penggalian dan pemindahan material yang dilengkapi dengan *attachment boom, arm, dan bucket* (Rochmanhadi, 1992).

Salah satu komponen utama pada *excavator* yang sangat signifikan mengalami kegagalan material adalah pada komponen *arm*. Komponen *arm* ini berfungsi mengayunkan gerakan silinder hidrolis *bucket* untuk mengarahkan *bucket* pada jangkauan tertentu. Komponen *arm* ini juga sering mengalami kegagalan material karena terjadinya *overload* pada *bucket* atau gaya *digging* yang terlalu besar, biasanya ketika terjadi *overload* maka *arm* akan mengalami kegagalan atau mengalami deformasi yang diakibatkan tegangan *von mises arm* melebihi dari tegangan izin material *arm*. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan analisis kekuatan pada komponen *arm*. Dalam menganalisis tegangan ini masih ada beberapa kendala yaitu pada dimensi *arm* yang tidak diketahui secara detail, sehingga dalam penelitian ini diperlukan metode *reserve engineering from physical modeling* dengan cara mengukur lalu melakukan *sketching* pada komponen *arm* untuk melengkapi dimensi *arm* yang ada di *manual book excavator*. Proses penelitian ini menggunakan analisis dengan bantuan perangkat lunak untuk memodelkan komponen *arm* lalu dilakukan analisis kekuatan pada komponen *arm*, sehingga proses perhitungan pembebanan *arm* dapat dipercepat (Pongsapan, 2015).

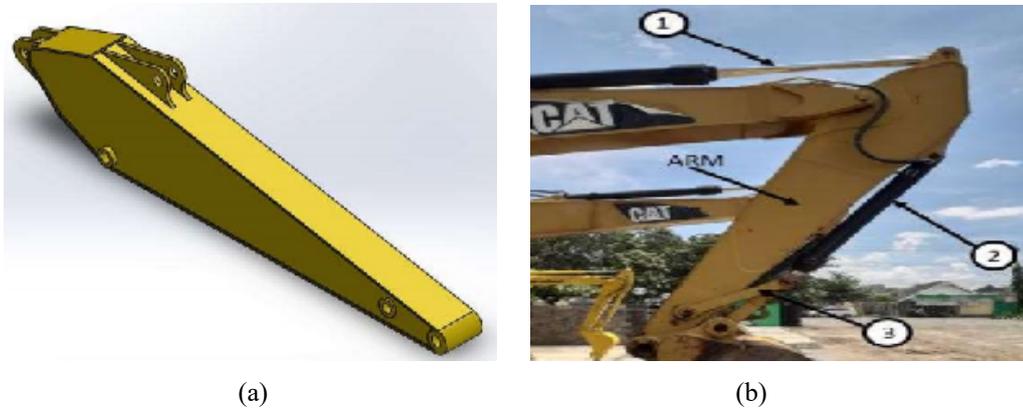
Optimasi topologi desain *arm* dilakukan bertujuan mengurangi volume dari desain *arm* atau mengurangi bobot massa *arm* dari desain awal dengan mempertahankan kekuatannya. Proses optimasi desain bekerja dengan cara menghilangkan elemen-elemen tegangan yang tidak berpengaruh terhadap kekuatannya atau pada daerah yang memiliki *safety factor* terbesar (Christensen & Klarbring, 2009; Suryo, dkk., 2020).

2. METODE

2.1 Proses Pemodelan 3D Arm Excavator CAT 320D

Desain *arm* dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Solidworks* yang ditunjukkan pada Gambar 1(a). Sebelum dilakukan proses desain menggunakan perangkat lunak, terlebih dahulu dilakukan pencarian data

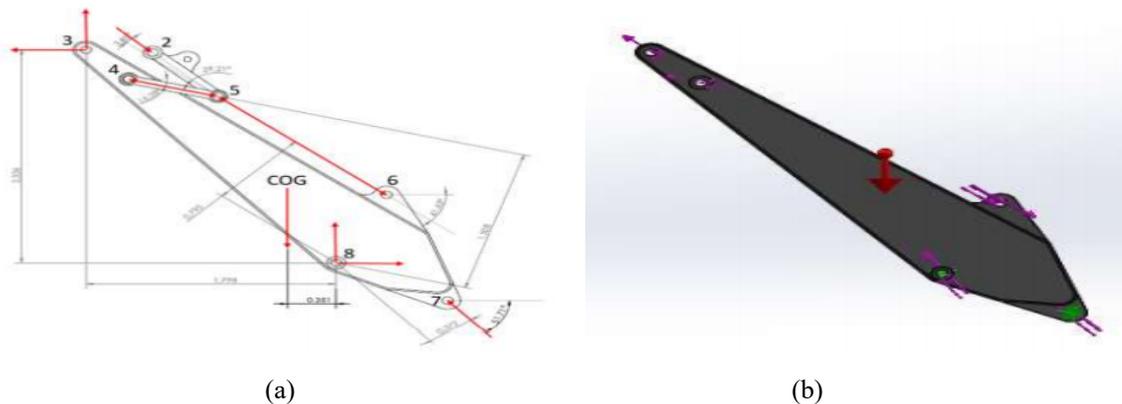
spesifikasi dimensi desain *arm excavator* baik dengan mencari data dimensi di *manual book* serta dengan cara melakukan pengukuran langsung pada *excavator* CAT 320D di Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak (BBWSO) Yogyakarta. Gambar 1(b) memperlihatkan bentuk asli *arm excavator* CAT 320D yang masih terpasang dengan komponen lainnya yaitu no 1 silinder *arm*, 2 silinder *bucket* dan 3 link *bucket*. Silinder *arm* digunakan untuk menggerakkan/mengubah posisi *arm* sedang silinder *bucket* dan link *bucket* berguna untuk mengubah posisi *bucket*.



Gambar 1. Desain *arm excavator*, (a) Hasil desain CAD, (b) Spesifikasi *arm excavator*

2.2 Proses Simulasi Statik *Arm Excavator* CAT 320D

Besar gaya yang bekerja pada *pin-pin* di *arm excavator* ditentukan dengan menggunakan perhitungan statik. Perhitungan dilakukan dengan beban utama dari gaya yang kerja pada *bucket teeth*. Gaya yang bekerja pada setiap *pin* (sambungan) ditunjukkan seperti pada Gambar 2 (a). Setelah didapatkan besar gaya yang terjadi pada *arm excavator*, maka gaya-gaya tersebut dijadikan sebagai inputan dalam simulasi statik pada perangkat lunak *Solidworks* seperti pada Gambar 2(b).



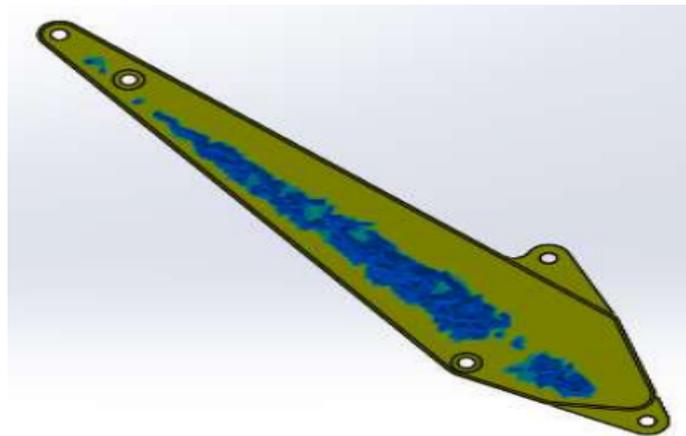
Gambar 2. Penentuan gaya statik, (a) Perhitungan analisis statik *arm excavator*, (b) Input gaya statik

Penentuan gaya statik tersebut dilakukan dengan 3 posisi penggalian, yaitu posisi 1 (terdalam), posisi 2 (jangkauan terjauh di permukaan tanah) dan posisi 3 (tertinggi).

2.3 Proses Optimasi Desain *Arm Excavator* CAT 320D

Pada langkah penelitian ini dilakukan proses optimasi desain pada *arm excavator* CAT 320D. Tujuan dari optimasi desain *arm* ini dilakukan untuk mengurangi bobot/massa pada daerah yang mengalami tegangan yang tidak berpengaruh dalam kegagalan material. Optimasi dilakukan pada saat posisi yang mengalami tegangan *von mises* tertinggi. Berikut langkah-langkah menentukan strategi optimasi topologi (Christensen & Klarbring, 2009).

- 1) Menentukan tujuan dan batasan
 Digunakan sebagai tujuan dan batasan untuk menghasilkan desain yang optimal. Tipe yang digunakan pada tujuan dan batasan ini adalah *best stiffness to weight ratio* dengan reduksi massa sebesar 15%, maka akan mendapatkan rasio kekakuan dan massa yang terbaik (Christensen & Klarbring, 2009).
- 2) Menentukan *manufacturing controls*
 Merupakan fitur yang digunakan untuk membatasi optimasi agar tidak melampaui dari batasan yang tujuannya dapat diproses dalam manufaktur. Pada proses ini menggunakan 3 tipe *manufacturing control* yaitu *preserved region*, *thickness control*, dan *de-mold control*. Tipe *preserved region* digunakan untuk menjaga batas region agar tidak teroptimasi, tipe *thickness control* digunakan untuk mendefinisikan tebal maksimum dan minimum pengurangan massa, dan pada tipe *de-mold control* digunakan untuk parameter dan arah *mold*.
- 3) *Setting mesh*
 Menunjukkan *mesh* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan tipe *Curvature-based mesh*, karena pada komponen *arm* ini memiliki bentuk lengkungan. Tipe *Curvature-based mesh* bertujuan agar pada daerah yang rumit *mesh* yang dibentuk lebih kecil dibanding dengan daerah yang kontinu. Proses ini dilakukan untuk memecah menjadi elemen-elemen kecil dan tipe elemen yang dihasilkan berupa elemen *solid*.
- 4) *Running*
 Setelah dilakukan proses *meshing*, maka melakukan *running* untuk menghitung semua nodal dengan metode elemen hingga.
- 5) *Result*
 Hasil dari proses optimasi *arm excavator* tipe CAT 320D menunjukkan daerah yang mengalami reduksi massa yang telah di-*setting* 15%, ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil proses optimasi topologi *arm excavator*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Bahan dan Material

Pada penelitian ini material yang digunakan pada *attachment arm excavator* adalah *hardox 400*, material ini sering digunakan pada alat berat karena memiliki sifat yang keras dan kuat, sehingga sangat cocok untuk melakukan pekerjaan pemotongan dengan material yang sama kerasnya. Material *hardox* juga memiliki karakteristik nilai *yield strength* yang sangat besar yaitu sebesar 1000 MPa, seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Properti Material *Hardox 400* (Suryo dkk, 2020)

Hardox 400	
Mass Density	7473,58 kg/m ³
Yield Strenght	1000 MPa
Tensile Strenght	1250 MPa
Poisson's Ratio	0,29
Elastic Modulus	210000 MPa

3.2 Persamaan

Pada umumnya kasus struktur mesin diberi banyak beban secara simultan, sebagai *engineer design* harus dapat menghitung efek dari banyak beban tersebut. Dengan menggunakan teori beban aksial, beban torsi, dan momen lengkung, tegangan normal dan tegangan geser dapat ditentukan dalam arah x dan y, sedangkan struktur mesin mungkin akan gagal pada tegangan yang nilainya terbesar, dimana kemungkinan arahnya tidak dalam x atau y. Untuk itu dalam melakukan analisis struktur mesin harus menggunakan metode untuk mengetahui tegangan terbesar dalam arah kemanapun, metode ini disebut metode transformasi tegangan. Dalam menginvestigasi tegangan pada suatu titik, maka akan mengamati suatu elemen tegangan. Elemen tegangan ini berupa kubus, perhitungan tegangan tegangan yang terjadi ditentukan dengan persamaan (1), (2) dan (3) (Beer, 1996).

$$\sigma_{x'} = \sigma_x \frac{1 + \cos 2\theta}{2} + \sigma_y \frac{1 - \cos 2\theta}{2} + \tau_{xy} \sin 2\theta \quad (1)$$

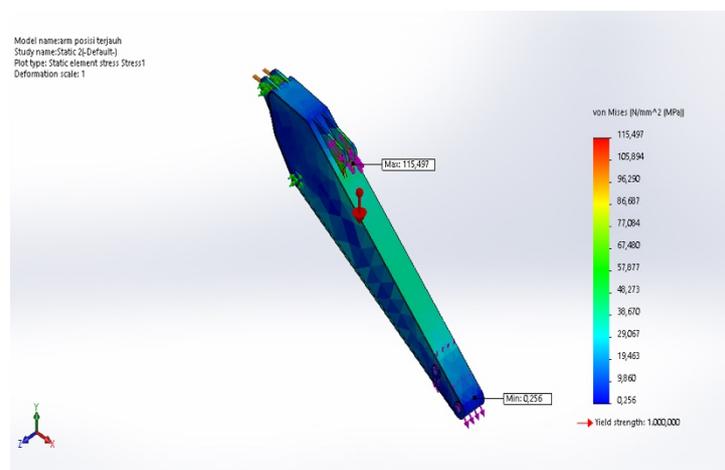
$$\tau_{x'y'} = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\theta + \tau_{xy} \cos 2\theta \quad (2)$$

$$\tau_{y'} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta \quad (3)$$

3.3 Hasil Simulasi Statik

Hasil simulasi berupa distribusi tegangan *Von Mises* yang terjadi pada komponen *arm* yang ditinjau. Posisi 1 yaitu saat *Excavator* bekerja pada penggalian terdalam, posisi 2 saat bekerja pada penggalian terjauh pada permukaan dan posisi 3 adalah saat melakukan penggalian tertinggi. Selain distribusi tegangan, disampaikan pula posisi atau node pada *arm* yang mengalami tegangan tertinggi (maksimum) serta tegangan minimum. Distribusi tegangan ditunjukkan dengan degradasi warna dari tegangan tertinggi dengan warna merah dan terendah dengan warna biru.

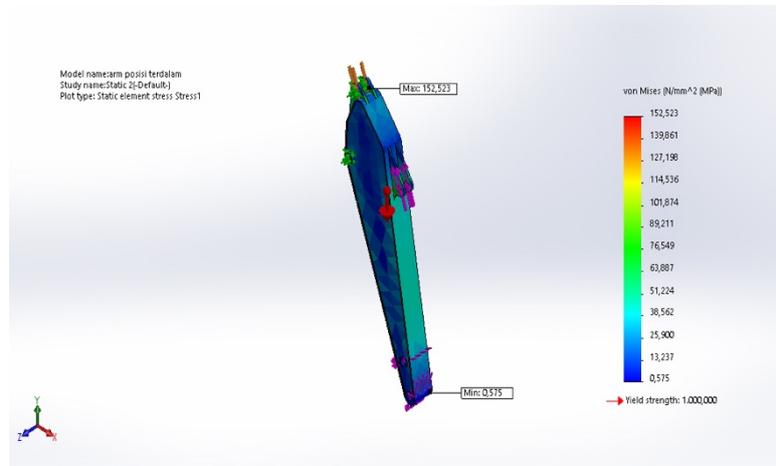
Gambar 4 menunjukkan hasil simulasi statik *arm excavator* tipe CAT 320D pada posisi 1 atau penggalian terdalam. Distribusi tegangan pada bagian tengah *arm* relatif tinggi dibandingkan pada bagian ujung, namun secara umum bahwa tegangan yang terjadi masih jauh dibawah dari tegangan luluh (*yield strength*) material. Daerah yang mengalami tegangan maksimum adalah pada bagian *mounting* silinder hidrolik *arm* sebesar 152,523 MPa, sedangkan daerah yang mengalami tegangan minimum adalah pada bagian *mounting pin bucket* sebesar 0,575 MPa. Pada saat *excavator* bekerja pada posisi ini, *arm* tidak dimungkinkan terjadi kegagalan material atau dengan kata lain aman.



Gambar 4. *Von Mises* stress *arm excavator* pada posisi 1

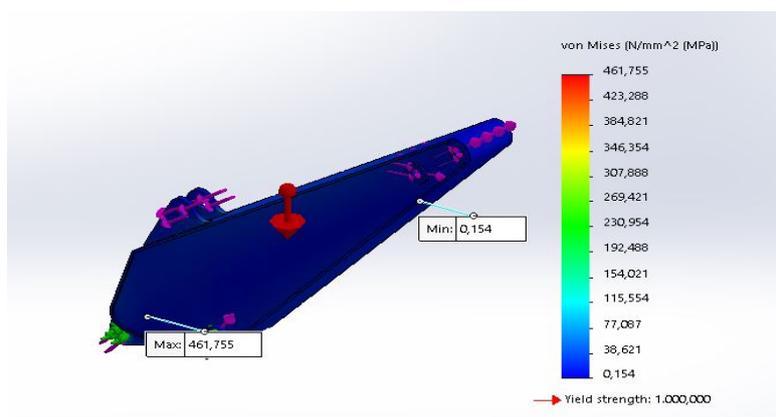
Gambar 5 menunjukkan hasil dari simulasi statik *arm excavator* tipe CAT 320D pada posisi 2 atau penggalian terjauh di permukaan tanah. Daerah yang mengalami tegangan maksimum adalah pada bagian

mounting silinder hidrolik bucket *excavator* sebesar 115,427 MPa, sedangkan daerah yang mengalami tegangan minimum adalah pada bagian *mounting pin bucket* sebesar 0,256 MPa. Tegangan maksimum yang terjadi sangat rendah dibandingkan dengan tegangan luluh material, sehingga jika *arm* dalam kondisi sangat aman bila bekerja pada posisi ini. Pada posisi ini gaya yang harus ditahan oleh silinder hidrolik *bucket* lebih besar dibandingkan pada posisi yang sebelumnya.



Gambar 5. Von Mises stress arm excavator pada posisi 2

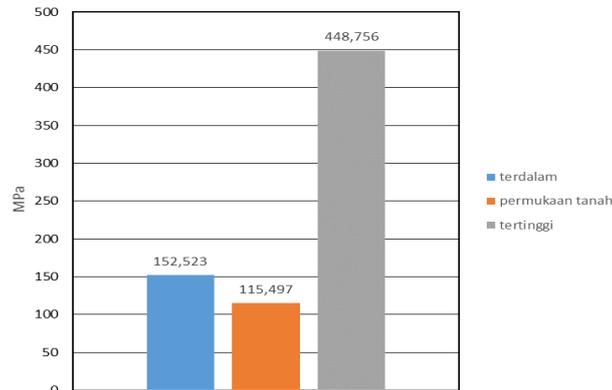
Gambar 6 menunjukkan hasil dari simulasi statik *arm excavator* tipe CAT 320D pada posisi penggalian tertinggi. Area yang mengalami tegangan maksimum adalah pada bagian permukaan samping *arm* sebesar 448,756 MPa, sedangkan daerah yang mengalami tegangan minimum adalah pada bagian permukaan samping mendekati pin bucket komponen *arm* sebesar 0,371 MPa. Pada posisi yang berbeda bagian yang mengalami tegangan maksimum selalu berbeda, hal ini disebabkan perbedaan posisi akan mengubah besar gaya yang diberikan oleh hidrolik *arm* meskipun dengan beban pada *bucket* sama.



Gambar 6. Von Mises stress arm excavator posisi 3

Gambar 7 menunjukkan perbandingan tegangan maksimum yang terjadi pada ketiga posisi. Posisi 3 (penggalian tertinggi) yang memiliki tegangan *Von Mises* terbesar yaitu sebesar 448,756 MPa. Pada posisi 3 mengalami tegangan tertinggi dikarenakan pada posisi ini gaya yang bekerja di *bucket tooth* mempunyai jarak yang terjauh dari kendaraan. Jarak yang jauh ini menyebabkan gaya-gaya yang terjadi pada *arm* hidrolik dan *bucket* hidrolik menjadi yang terbesar dibandingkan dengan posisi yang lain. Tegangan *Von Mises* terkecil saat *excavator* bekerja pada posisi 2 (jangkauan terjauh di permukaan tanah) yaitu sebesar 115,497 MPa. Pada posisi 2 ini merupakan posisi paling aman saat *excavator* bekerja. Hasil tegangan pada semua posisi masih dalam kategori aman, karena tegangan *Von Mises* masih dibawah tegangan luluh material. Tegangan luluh material sebesar 1000 MPa seperti yang tertera pada Tabel 1. Posisi 3 (tertinggi) yang memiliki nilai tegangan *Von Mises*

tertinggi akan dilakukan proses optimasi. Optimasi yang dilakukan adalah pengurangan massa dengan mengurangi bagian-bagian yang menanggung beban rendah pada *arm* dan tetap mempertahankan kekuatannya.

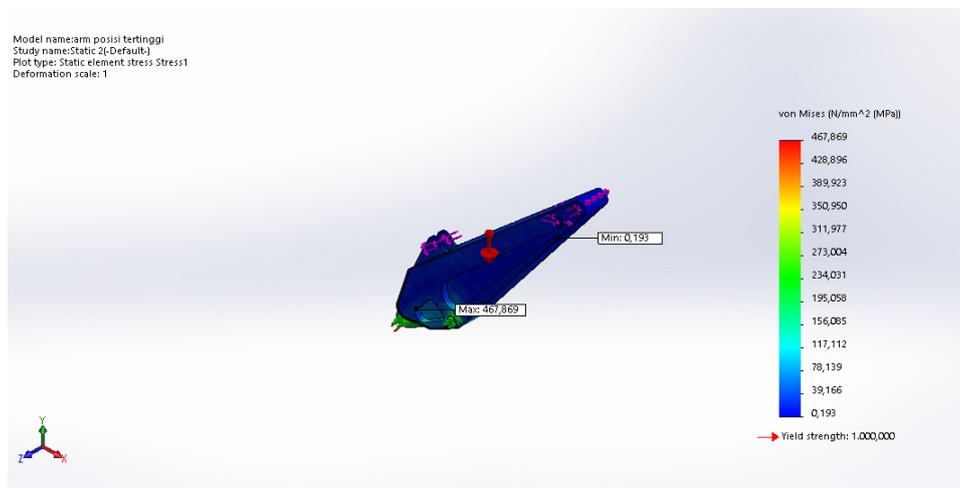


Gambar 7. Hasil perbandingan *Von Mises stress* pada semua posisi

3.4 Hasil Optimasi Desain *Arm Excavator CAT 320D*

Pengaplikasian menggunakan optimasi topologi ini bertujuan untuk desain *arm excavator* tipe CAT 320D menjadi ringan, dimana nilai massa menurun sehingga tegangan pada desain *arm*, dan nilai *displacement* meningkat, hal ini dikarenakan adanya pengurangan massa sebesar 15% sehingga distribusi tegangan pada *arm* meluas (Christensen & Klarbring, 2009; Rao, dkk., 2016). Hal tersebut ditunjukkan pada perbandingan hasil optimasi desain dengan desain awal *arm excavator* CAT 320D pada Tabel 2 serta ditunjukkan juga gambar desain awal dengan desain setelah dioptimasi pada Gambar 9 dan Gambar 10.

Gambar 8 menunjukkan hasil dari simulasi statik *arm excavator* tipe CAT 320D pada posisi tertinggi pemotongan maksimum setelah di optimasi. Area yang mengalami tegangan maksimum pada bagian area yang mendapatkan pengurangan massa sebesar 467,869 MPa, sedangkan daerah yang mengalami tegangan minimum pada bagian area samping komponen *arm* sebesar 0,193 MPa. Hasil optimasi topologi *arm excavator* pada posisi tertinggi pemotongan maksimum tegangannya masih dibawah tegangan luluh material, maka desain *arm excavator* setelah di optimasi masih dalam kondisi aman.



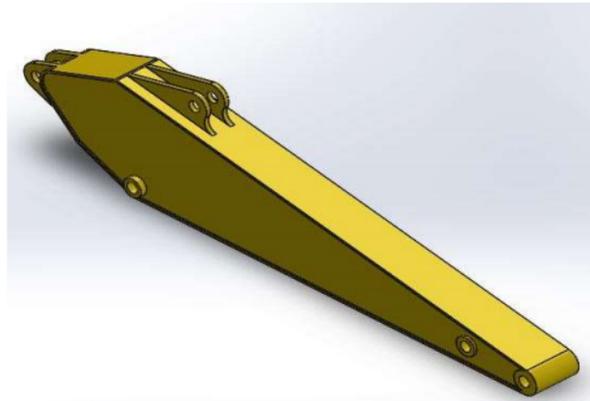
Gambar 8. *Von Mises stress arm excavator* posisi 3 optimasi

Gambar 9 dan 10 menunjukkan hasil proses optimasi desain *arm excavator* tipe CAT 320D pada posisi tertinggi pemotongan maksimum. Proses ini menggunakan metode optimasi topologi yaitu pengurangan massa pada komponen *arm*. Pengurangan massa dikontrol hanya pada permukaan samping dengan tebal minimum pengurangan sebesar 50 mm dan reduksi massa sebesar 15%, sehingga pengurangan massa yang dihilangkan pada bagian yang tidak terpengaruh oleh gaya yang terjadi pada *arm excavator* atau bagian yang mengalami tegangan *Von Mises* yang relatif kecil atau bagian terlihat dalam distribusi *Von Mises* dengan warna biru.

Metode ini menggunakan metode elemen density yang merubah struktur *arm excavator* yang kontinu menjadi struktur diskrit berupa elemen-elemen (Suryo & Yuniyanto, 2020, Rao dkk, 2016).

Tabel 2. Perbandingan desain awal dengan desain optimasi topologi

Pembanding	Desain awal	Desain optimasi
Massa (Kg)	4161,72	3516,650
Tegangan Von mises (MPa)	448,756	467,869
Displacement (mm)	5,965	6,537



Gambar 9. Desain awal *arm*



Gambar 10. Desain hasil optimasi

4. KESIMPULAN

Dari analisis yang telah dilakukan pada *arm excavator* CAT 320D, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Tegangan maksimum yang terjadi pada *arm excavator* tipe CAT 320D pada posisi 1 sebesar 152,523 MPa, lalu pada posisi 2 sebesar 115,497 MPa, dan pada posisi 3 sebesar 448,756 MPa.
- 2) Tegangan *von mises* masih dibawah tegangan izin material hardox 400 sebesar 1000 MPa, sehingga semua posisi dinyatakan aman.
- 3) Tegangan maksimum yang terjadi setelah dilakukan optimasi desain pada posisi 3 sebesar 467,869 MPa dengan reduksi massa sebesar 15%, sehingga massa *arm* berkurang dari 4161,72 kg menjadi 3516,650 kg.

Saran untuk penelitian selanjutnya perlu dilakukan analisis dinamik dan atau analisis pada *attachment* yang lain, penggunaan *software* lain seperti Ansys, Pro-Eng dan yang lainnya sebagai perbandingan.



UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak (BBWSO) kementerian PUPR yang telah memberikan kesempatan untuk pengambilan data.

PUSTAKA

- Beer, F. P. 1996. *Mechanics of Materials*. McGraw-Hill, Inc.
- Christensen, P. W., & Klarbring, A. 2009. *An Introduction to Structural Optimization*. Springer.
- Pongsapan, L. 2015. Pengaruh Pembebanan Overload Bucket Terhadap Kekuatan Material Komponen *Arm* pada *Excavator Hitachi 2500 Tipe Backhoe*. *Jurnal Teknologi Terpadu*, III: 93-99.
- Rao, D.K.N., Sekhar, J.C., Shashikanth, C., & Prathibha Bharathi, V.V.P. 2016. *Design and Optimization of Excavator Arm*. Makalah disajikan dalam seminar Proc. Intl. Conf. on Future Technologies in Mechanical Engineering, ISBN: 978-93-85101-24-3
- Rochmanhadi. 1992. *Alat-alat berat dan penggunaannya*. Jakarta: YBPPU.
- Suryo, S. H., Harto, & Yunianto, B. 2020. Optimasi Desain Topologi Struktur *Arm Excavator Cat 374d L* Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Rotasi*, 22: 79-86.