

## Analisis optimasi topologi desain *support bracket* pada *steering main shaft* mobil TITEN EV-2

Dinasti Achmad Tristanto<sup>1\*</sup>, Santoso Mulyadi<sup>2</sup>, Muh. Nurkoyim Kustanto<sup>3</sup>,  
Agus Triono<sup>4</sup>, Intan Hardiatama<sup>5</sup>

<sup>1-5</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember  
Jl. Kalimantan Tegalboto No.37, Krajan Timur, 68121, Indonesia

\*Corresponding author: [nurkoyin@unej.ac.id](mailto:nurkoyin@unej.ac.id)

### Abstract

*The KMHE competition which focuses on optimizing energy in developing cars is held as a form of contribution to overcoming the problem of dwindling energy sources. To get a cell phone with low energy consumption, one alternative is to design a cell phone as often as possible. This research examines the effectiveness of topology optimization methods in making lightweight component designs while maintaining the ability to accept loads when applied. The components that are being optimized are the support brackets on the main shaft steering of Car TITEN EV-2 which are produced using additive manufacturing with PLA+ materials. The load borne by the design is the load when the car is braking and turning. Two Topology Optimization experimental methods were carried out based on the loading arrangement. The first method is carried out by combining two topological optimization results based on loading to produce the final design. The second method is carried out by applying the two loadings simultaneously to the TO process. As a result, the second TO method showed very good results compared to the first method and was redesigned to produce a new design that was ready for use. The results of the new design have a mass of 34.25% lower than the original design. The FEA simulation results also show the results of increasing design strength after topology optimization. The maximum von-mises voltage drop of the new design in the case of braking, turning and combined loading (braking and turning) respectively is 12.56 MPa, 11.64 MPa and 17.99 MPa compared to the original design which is 30.16 MPa, 26.19 MPa and 51.9 MPa.*

**Keywords:** *topology optimization; finite element analysis; design.*

### Abstrak

Perlombaan KMHE yang berfokus pada pengoptimalan energi dalam mengembangkan mobil diadakan sebagai bentuk kontribusi untuk mengatasi permasalahan sumber energi yang semakin menipis. Untuk mendapatkan mobil dengan konsumsi energi yang rendah salah satu alternatif yaitu merancang mobil seringan mungkin. Penelitian ini meneliti tentang efektivitas metode *Topology Optimization* (TO) dalam membuat desain komponen yang ringan dengan mempertahankan kemampuan menerima beban ketika diaplikasikan. Komponen yang dilakukan optimasi berupa *support bracket* pada *main shaft steering* Mobil TITEN EV-2 yang diproduksi menggunakan manufaktur aditif dengan material PLA+. Beban yang dipertimbangkan pada desain merupakan beban saat mobil mengalami pengereman dan berbelok. Dua metode percobaan TO dilakukan berdasarkan pengaturan pembebanan. Metode pertama dilakukan dengan menggabungkan dua hasil TO berdasarkan pembebanan untuk menghasilkan desain akhir. Metode kedua dilakukan dengan menerapkan kedua pembebanan secara bersamaan pada proses TO. Hasilnya, TO metode kedua menunjukkan hasil yang sangat baik digunakan dibandingkan metode pertama dan dilakukan desain ulang untuk menghasilkan desain baru yang siap digunakan. Hasil desain baru memiliki massa 34,25% lebih rendah

dibandingkan desain sebelumnya. Hasil simulasi FEA juga menunjukkan hasil peningkatan kekuatan desain setelah dilakukan *topology optimization*. Penurunan tegangan *von-mises* maksimal desain baru pada kasus pembebanan pengeram, berbelok dan gabungan (pengeraman dan berbelok) secara berurutan 12,56 MPa, 11,64 MPa dan 17,99 MPa dibandingkan desain asli yaitu 30,16 MPa, 26,19 MPa dan 51,9 MPa.

**Kata kunci:** optimasi topologi; metode elemen hingga; desain.

---

## Pendahuluan

Dalam menanggulangi masalah krisis energi minyak dan gas serta mewujudkan kendaraan yang ramah lingkungan pemerintah Indonesia menyelenggarakan Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE). KMHE merupakan program tahunan dari Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi (RISTEKDIKTI) akademik yang berfokus pada pengoptimalan energi. Kontes ini memiliki beberapa kelas perlombaan, salah satunya adalah kelas energi listrik. Secara khusus kontes ini memperlombakan kendaraan yang konsumsi energinya paling sedikit dengan jarak tempuh tertentu.

Secara umum, peran penting dalam memaksimalkan konsumsi energi mobil listrik adalah pencapaian massa mobil yang ringan dan kuat [1]. Desain mobil harus dirancang secara optimal untuk mengurangi massanya sekaligus meningkatkan performa mobil secara keseluruhan. Proses perencanaan merupakan langkah awal dalam pembuatan mobil dimana untuk mengurangi kesalahan dan biaya berlebih.

*Topology Optimization* (TO) adalah metode optimasi desain atau metode pembuatan desain yang menggunakan model algoritmik. TO bertujuan untuk mengoptimalkan tata letak material dalam ruang yang ditentukan untuk serangkaian beban, kondisi, dan batasan tertentu [2] TO memaksimalkan kinerja dan efisiensi desain dengan menghilangkan material yang berlebihan. Area yang tidak perlu membawa beban signifikan akan dihilangkan untuk mengurangi berat atau mengatasi tantangan desain. Hasil desain TO ini sangat cocok untuk proses *additive manufacture* yang memiliki aturan desain yang lebih presisi dan dapat dengan mudah memproduksi bentuk kompleks tanpa biaya tambahan.

Penelitian ini berfokus untuk menerapkan proses *Topology Optimization* dalam pembuatan desain komponen *support bracket* pada *steering main shaft* mobil TITEN EV-2. Simulasi *Finite Element Analysis* juga dilakukan pada hasil desain yang dibentuk. Proses *Topology optimization* menggunakan metode kasus pembebanan secara terpisah dan bersamaan. Hal ini digunakan untuk mengetahui pengaruh dari kedua metode tersebut. Material yang akan digunakan untuk model *support bracket* menggunakan material yang sama dengan desain sebelumnya yaitu PLA+. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat mengetahui tahapan pembuatan desain menggunakan *Topology Optimization* dan analisis desain yang dibentuk dengan mempertimbangkan kekuatan dalam menerima beban.

## Tinjauan Pustaka

Optimasi topologi atau *topology optimization* (TO) adalah salah satu teknik optimasi struktural yang mengoptimalkan distribusi beban dalam bentuk desain yang ditentukan untuk kondisi pembebanan dan batas tertentu sambil memenuhi persyaratan [2]. Gambar 1 menunjukkan hasil pembuatan desain menggunakan *Topology Optimization*. Sebagian besar teknik *topology optimization* dilakukan dengan penggunaan kolektif konsep *Computer Aided Design* (CAD), konsep *Finite Element Analysis* (FEA) dan algoritma optimasi yang berbeda dengan mempertimbangkan proses manufaktur. Kegunaan CAD dalam *topology optimization* adalah untuk membuat desain awal dari produk yang akan dioptimasi, sedangkan FEA digunakan untuk melihat distribusi tegangan di seluruh desain. *Topology optimization* dilakukan untuk

menghilangkan area bagian yang tidak cukup menerima beban yang diterapkan dan tidak mengalami deformasi yang signifikan dan dengan demikian tidak berpengaruh pada kekuatan keseluruhan desain.



Gambar 1. *Topology optimization* [7]

Tujuannya yaitu untuk memaksimalkan kekuatan desain dengan mempertimbangkan deformasi maksimum yang diizinkan, massa maksimum dan sebagainya. Alat *topology optimization* menghasilkan bentuk yang kompleks yang menunjukkan penghapusan bentuk kecil-kecil berdasarkan tujuan dan permasalahan yang ditetapkan dalam desain. Desain tersebut kemudian proses pada *software* CAD untuk mendapatkan *part* yang halus dan *manufacturable* mengikuti bentuk yang dihasilkan dari proses *topology optimization*. Pada akhirnya, desain akhir yang dioptimalkan divalidasi menggunakan alat FEA untuk memenuhi persyaratan desain sehingga produk memenuhi kinerjanya secara keseluruhan.

## Metode Penelitian

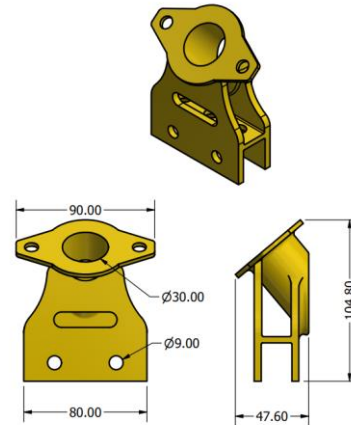
### Desain *support bracket*

*Support bracket* atas pada mobil TITEN EV-2 dibuat menggunakan teknologi 3D *Print* dengan menggunakan material filamen PLA+ sebagai bahan pembuat. *Part* ini terhubung dengan *chassis* dan *pillow block* menggunakan empat baut dimana dua baut untuk menghubungkan *chassis* dan dua baut untuk menghubungkan *pillow block* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. *Support bracket*

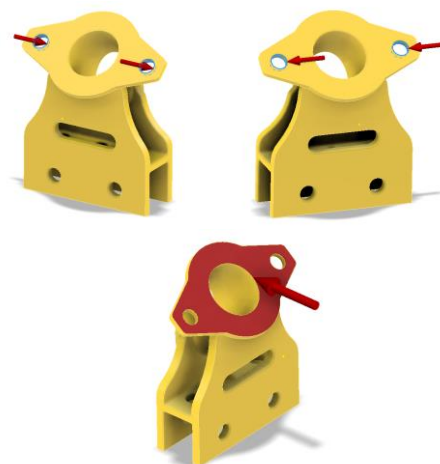
Pengukuran komponen *support bracket* dilakukan sebagai tahap awal sebelum melakukan proses penelitian. Setelah proses pengukuran dilakukan, desain *support bracket* dibuat menggunakan *software* CAD. Dimensi *support bracket* atas ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Dimensi *support bracket*

### Pembebanan

Pembebanan diperlukan pada proses *topology optimization* karena hasil desain sangat dipengaruhi oleh pembebanan yang terjadi [10-15]. Dalam penelitian ini, *support bracket* dioptimasi dengan menerapkan pembebanan kondisi berbelok 543,028 N dan kondisi pengereman 226,235 N. Letak dan arah dari pembebanan tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pembebanan

Pembebanan *topology optimization* dilakukan dengan dua percobaan untuk mengetahui pengaruh penggunaan dua metode optimasi yang berbeda.

#### a. Metode 1 – Pembebanan Terpisah

Pada percobaan pertama, TO dilakukan secara terpisah untuk setiap kasus pembebanan, dengan maksud untuk menggabungkan hasil dari setiap optimasi menjadi satu desain TO tunggal yang dioptimalkan. Gaya dari setiap beban diterapkan ke lubang baut *pillow block* dan permukaan yang terhubung dengan *pillow block*.

#### b. Metode 2 – Pembebanan Bersamaan

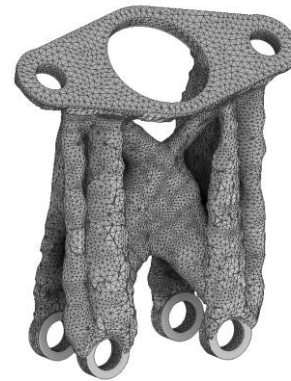
Percobaan kedua dibentuk dengan TO multi-tujuan dengan menggabungkan beberapa kondisi beban. Dalam hal ini, desain yang dihasilkan tidak sama dengan Metode 1 karena keempat kasus beban diterapkan secara bersamaan selama percobaan kedua. Empat beban dimasukkan masing-masing dalam prosesnya selama konfigurasi TO, yang memberikan lebih banyak pengaturan dalam *software* ANSYS *Workbench* yang memungkinkan faktor pembebanan ditetapkan ke setiap langkah yang diberikan pada model awal. Hal ini memungkinkan semua kasus beban diterapkan secara bersamaan dengan faktor pembebanan yang sesuai selama TO.

### Hasil dan Pembahasan

#### TO metode 1

Desain *mesh* dari hasil TO metode ini tidak membentuk desain yang solid tetapi dengan desain yang hanya memiliki permukaan saja. Hasil dari pengubahan *mesh* ke *solid* menghasilkan desain yang sangat sulit untuk dilakukan proses mendesain ulang menggunakan *software* CAD.

Pada metode pertama, hasil volume pada desain yang dihasilkan cukup besar yaitu  $50,73 \text{ cm}^3$ . Volume yang cukup besar akan mempengaruhi massa dari desain tersebut yang berarti massanya menjadi 62,39 g. Hal ini dikarenakan pada metode ini semua hasil desain TO pada setiap kasus pembebanan dijadikan satu dan terjadinya penumpukan volume pada desain.

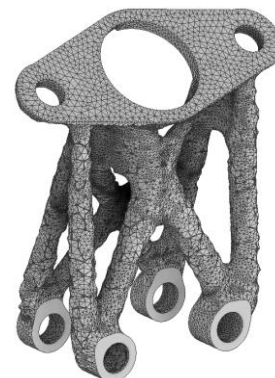


Gambar 5. Hasil desain TO metode 1

#### TO metode 2

Proses TO dengan menggabungkan semua kasus pembebanan dilakukan untuk menghasilkan desain *mesh* pada metode kedua, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Percobaan kedua dilakukan untuk melihat apakah desain yang lebih sederhana dapat didapatkan karena bentuk *mesh* dari metode satu menghasilkan desain rumit ketika digabungkan. Selain itu, kesulitan yang dialami pada metode pertama saat mengonversi dari desain *mesh* ke desain solid tidak dialami pada metode kedua.

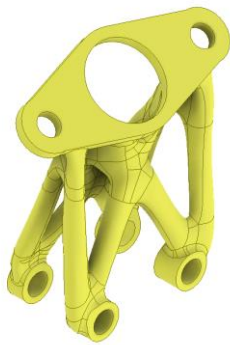
Hasil desain pada metode kedua sangat berbeda dengan hasil desain yang didapat pada metode pertama. Masalah pada kerumitan *mesh* pada metode pertama tidak dialami ketika menggunakan metode kedua. Hasil metode kedua ini juga menunjukkan massa yang lebih rendah dibandingkan metode pertama. Volume yang dihasilkan pada metode ini yaitu  $31,35 \text{ cm}^3$  dengan berat 38,56 g.



Gambar 6. Hasil desain TO metode 2

## Desain baru

Salah satu masalah yang dipertimbangkan dalam pemilihan desain merupakan kerumitan dari bentuk *mesh* yang dihasilkan, meskipun tidak masalah ketika dicetak menggunakan *additive manufacture* tetapi akan memakan waktu yang lama pada proses pembuatannya. Selain itu, besarnya volume juga dipertimbangkan dalam pemilihan desain yang akan digunakan. Volume ini akan berpengaruh pada berat desain yang dihasilkan. Dengan mempertimbangkan hal tersebut, desain hasil dari metode kedua dipilih untuk dilakukan pembuatan desain baru.



Gambar 7. Desain baru

Pengurangan volume yang signifikan didapatkan pada desain akhir dibandingkan desain asli *support bracket* dari 52198 mm<sup>3</sup> menjadi 34317 mm<sup>3</sup> sehingga berat desain *support bracket* yang sebelumnya 64,20 g menjadi 42,21 g. Hasil pembuatan desain baru ditunjukkan pada Gambar 7.

## Perbandingan *properties design*

Desain baru dibuat berdasarkan hasil *topology optimization* yang dipilih dengan mempertimbangkan beberapa aspek. Tabel 4.4 menunjukkan perbandingan antara desain asli dan desain baru yang telah dibuat.

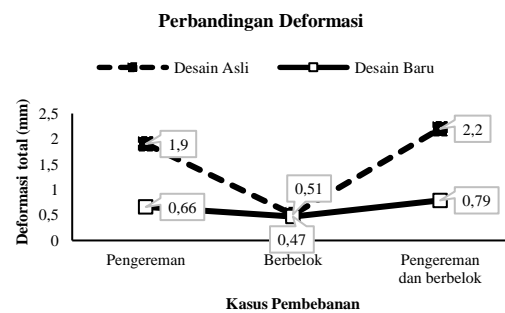
Tabel 1. Perbandingan *properties design*.

Desain	Volume (mm <sup>3</sup> )	Massa (g)	Ukuran (mm)		
			p	l	t
Asli	52198	64,20	47,6	90	104,8
Baru	34317	42,21	42,8	90	99,7

Hasil perbandingan menunjukkan pengurangan volume yang signifikan didapatkan pada desain baru sehingga berat desain *support bracket* yang sebelumnya 64,2 g menjadi 42,22 g menurun sebesar 34,25%. Pengurangan massa ini menunjukkan bahwa proses perancangan desain menggunakan *topology optimization* dapat membentuk desain yang lebih ringan dibandingkan desain sebelumnya.

## Deformasi total

Simulasi deformasi total telah dilakukan pada desain asli dan desain baru dan menghasilkan nilai tegangan maksimal pada setiap kasus pembebanan. Perbandingan hasil deformasi total yang dialami desain asli dan desain baru divisualisasikan pada Gambar 8.



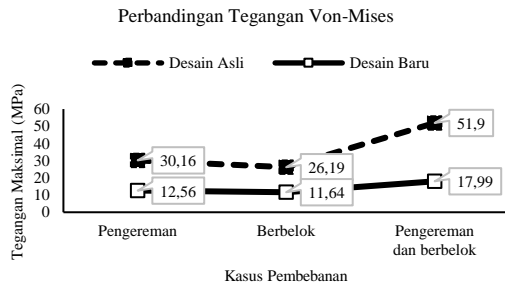
Gambar 8. Perbandingan deformasi total

Berdasarkan data hasil perbandingan deformasi total menunjukkan ketika beban berbelok diterapkan, deformasi total tidak mengalami perbedaan yang besar. Sedangkan pada kasus pembebanan pengereman dan gabungan menunjukkan perbedaan deformasi total yang besar bila dibandingkan dengan kondisi ketika berbelok. Dari hasil keseluruhan deformasi total, desain baru masih lebih rendah dibandingkan desain *support bracket* yang asli. Dari perbandingan tersebut disimpulkan bahwa perancangan yang dibuat berdasarkan *topology optimization* dapat meningkatkan nilai *stiffness* atau kekakuan desain.

## Tegangan *von-mises* maksimal

Dari hasil simulasi FEA desain *support bracket* baru dengan menerapkan ketiga kasus pembebanan berbeda diperoleh

data tegangan *von-mises* maksimal yang terjadi. Gambar 9 menunjukkan hasil perbandingan hasil simulasi *von-mises* pada desain asli dan desain baru yang dibuat dengan proses *topology optimization*.



Gambar 9. Perbandingan tegangan *von-mises* maksimal.

Berdasarkan data perbandingan tegangan *von-mises* maksimal, desain baru menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan desain lama seperti yang ditunjukkan pada. Penurunan terjadi pada setiap kasus pembebanan dengan penurunan beban pengereman sebesar 58,36%, berbelok 55,56% dan beban gabungan 65,34%. Desain baru menunjukkan tegangan terbesar pada semua kasus pembebanan sebesar 17,99 MPa yang tidak melebihi tegangan izin dibandingkan pada desain asli yang memiliki tegangan maksimal sebesar 51,9 MPa. *Safety factor* juga mengalami peningkatan dari sebelumnya 1,2 pada desain asli menjadi 3,5 pada desain baru yang dioptimalkan dengan *topology optimization*.

## Kesimpulan

Proses *topology optimization* dilakukan menggunakan dua metode yang berbeda dan menghasilkan dua desain yang berbeda. Metode pertama (pembebanan terpisah) menghasilkan desain yang cukup rumit dan banyaknya mesh yang mengakibatkan pembuatan desain ulang sering terjadi error. Metode kedua (beban bersamaan) menghasilkan desain yang cukup sederhana dibandingkan metode pertama dan tidak terlalu banyak mesh yang dihasilkan. Selain itu, hasil desain metode

kedua memiliki volume lebih rendah dibandingkan metode pertama.

Simulasi FEA dilakukan pada desain asli dengan desain baru yang dibuat dengan proses *topology optimization*. Desain baru memiliki massa 42,21 g yang lebih rendah dibandingkan dengan desain asli 64,2 g. Ini menunjukkan bahwa proses *topology optimization* dapat mengurangi massa desain *support bracket* 34,25%.

Hasil simulasi deformasi menunjukkan adanya penurunan nilai deformasi total pada desain baru. Desain asli memiliki nilai deformasi total dari pembebanan pengereman, berbelok dan gabungan secara berurutan sebesar 1,9 mm, 0,51 mm dan 2,2 mm sedangkan desain baru 0,69 mm, 0,5 mm dan 0,83 mm.

Simulasi tegangan *von-mises* pada desain asli menghasilkan tegangan maksimal dari pembebanan pengereman, berbelok dan gabungan secara berurutan sebesar 30,16 MPa, 26,19 MPa dan 51,9 MPa sedangkan pada desain baru 12,2 MPa, 12,95 MPa dan 22,8 MPa. Hasil tegangan *von-mises* maksimal pada desain baru juga tidak melebihi tegangan izin dimana akan aman jika diaplikasikan pada mobil TITEN EV-2 dibandingkan desain asli.

Dari semua hasil yang ditunjukkan dalam penelitian ini, proses TO sangat mampu digunakan dalam merancang desain komponen mobil TITEN yang ringan dengan mempertahankan kekuatan dalam menerima beban. Penggunaan TO juga dapat mengurangi waktu dalam perancangan desain dibandingkan cara manual yang belum tentu aman karena akan dilakukan pengulangan merancang desain bila terjadi kerusakan.

## Referensi

- [1] Tsirogiannis, E. C., et al., 2019. 'Electric car chassis for Shell Eco Marathon competition: Design, modelling and finite element analysis', *World Electric Vehicle Journal*, 10(1). doi: 10.3390/wevj10010008.
- [2] Gebisa, A. W. and Lemu, H. G. 2017.



- 'A case study on topology optimized design for additive manufacturing', in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. doi: 10.1088/1757-899X/276/1/012026.
- [3] Lang, D. and Radford, D. W. 2021. 'Design Optimization of a Composite Rail Vehicle Anchor Bracket', *Urban Rail Transit*, 7(2), pp. 84–100. doi: 10.1007/s40864-021-00144-9.
- [4] Ramesh, S., et al., 2020. 'Topology optimization and finite element analysis of a jet dragster engine mount', *Cogent Engineering*, 7(1). doi: 10.1080/23311916.2020.1723821.
- [5] Srivastava, S. et al., 2020. 'Topology optimization of steering knuckle structure', *International Journal for Simulation and Multidisciplinary Design Optimization*, 11. doi: 10.1051/smdo/2019018.
- [6] Wang, H., Liu, J. and Wen, G. 2022. 'An efficient multi-resolution topology optimization scheme for stiffness maximization and stress minimization', *Engineering Optimization*, 54(1), pp. 40–60. doi: 10.1080/0305215X.2020.1853713.
- [7] Curwen, V. and Saxin, A. 2021. 'Analysis and optimal design of a titanium aircraft bracket using topology optimization', *University of Skövde*, p. x, 41, 6.
- [8] Rajesh Kumar, L., et al., 2020. 'Design, analysis and optimization of steering knuckle for all terrain vehicles', in *AIP Conference Proceedings*. doi: 10.1063/5.0000044.
- [9] Tyflopoulos, E. and Steinert, M. 2021. 'Combining macro- and mesoscale optimization: A case study of the general electric jet engine bracket', *Designs*, 5(4). doi: 10.3390/designs5040077.
- [10] Suryo, S. H., Sastra, R. S., & Muchammad, M. (2019). Optimasi Desain Bucket Tooth Excavator Jenis Verona PC200 Menggunakan Optimasi Topologi dan Metode Elemen Hingga. *ROTASI*, 21(4), 237-243.
- [11] Nugraha, D. P., Suryo, S. H., & Muchammad, M. (2022). Optimasi Desain Topologi Struktur Boom Excavator Cat 374d L Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga. *JURNAL TEKNIK MESIN*, 10(3), 385-392.
- [12] Huda, N., Mursid, O., & Nurfauzi, A. (2022). Studi Optimasi Topologi Pada Fall Block Deck Crane Kapasitas 30 Ton Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 23(1), 20-27.
- [13] Kelana, D. V., & Ariatedja, J. B. (2019). Analisa Dan Size Optimization Jib Boom Hydraulic Crane Dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik ITS*, 7(2), A306-A311.
- [14] Huzni, S., Fonna, S., & Faisandra, H. (2018). Optimasi Bentuk Hip Stem Prosthesis untuk Kondisi Heel Strike dan Flat Foot dengan Menggunakan Topology Optimization Berbasis Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 37-41.
- [15] Huda, F. M. A. (2023). *Analisa Optimasi Topologi Struktur Pada Frame ROV Untuk Inspeksi Hull Kapal Saat Sandar Menggunakan Software Berbasis Metode Elemen Hingga* (Doctoral dissertation, Intitut Teknologi Sepuluh Nopember).