Optimasi Desain *Base Plate* Motor Elektrik Menggunakan Metode Optimasi Topologi

Achmad Anggie Ferdiansyah[1], Ahmad Yusuf Ismail[2].
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Suarabaya
e-mail: anggiferdiansyah22@gmail.com

ABSTRACT – Font 11

This research addresses the suboptimal design of electric motor baseplates, which often leads to increased structural weight, vibration instability, and a reduction in overall system efficiency. Although topology optimisation has been widely applied to electric motors, there remains a gap in its specific application to electric motor baseplates, particularly in addressing structural challenges and specific material characteristics. The primary objective of this study is to develop a topology optimisation method to generate an optimal baseplate design, examine the effects of material variations on shape, material distribution, stiffness, and structural weight, and analyse the impact of plate thickness variations on optimisation patterns, structural stiffness, and material efficiency. The research methods include a literature review, simulation using the Finite Element Method (FEM) via SolidWorks Simulation software, consultations, and activity system analysis. The topology optimisation focuses on mass reduction and structural stiffness enhancement, assuming homogeneous and isotropic materials, and without physical experimental testing. The simulation results indicate that material and thickness variations significantly affect the mechanical performance of the structure. Stainless steel with a thickness of 108 mm delivered the best performance, exhibiting the lowest displacement and the highest stress-bearing capacity, thereby emerging as the most optimal material due to its balance of strength, stability, and material efficiency. Aluminium exhibited minimal displacement; however, the stress exceeded the yield strength, indicating the need for further optimisation. Cast iron was able to withstand the loading with a favourable stress distribution, but resulted in greater displacement and a heavier structural mass due to its high density. In conclusion, the application of topology optimisation, taking into account material and thickness variations, can yield a more efficient baseplate design in terms of mass and stiffness, and provide guidelines for material and thickness selection in the design process.

Keywords: *Topology Optimisation, Electric Motor Baseplate, Finite Element Method (FEM), Material, Thickness, SolidWorks Simulation.*

ABSTRAK – Font 11

Penelitian ini membahas permasalahan desain *baseplate* motor elektrik yang kurang ideal, seringkali mengakibatkan peningkatan berat struktur, ketidakstabilitas getaran, dan penurunan efisiensi sistem secara keseluruhan. Meskipun optimasi topologi telah banyak diterapkan pada motor elektrik, masih terdapat kesenjangan dalam penerapannya secara khusus pada *baseplate* motor elektrik, terutama dalam mempertimbangkan tantangan struktural dan karakteristik material spesifik. Tujuan utama penelitian ini adalah merancang metode optimasi topologi untuk menghasilkan desain *baseplate* yang optimal, mengkaji pengaruh variasi material terhadap bentuk, distribusi material, kekakuan, dan berat struktur, serta menganalisis dampak perubahan ketebalan plat terhadap pola optimasi, kekakuan struktur, dan efisiensi material. Metode yang digunakan meliputi studi literatur, simulasi menggunakan *Finite Element Method* (FEM) dengan perangkat lunak SolidWorks Simulation, konsultasi, dan analisis sistem kegiatan. Optimasi topologi difokuskan pada pengurangan massa dan peningkatan kekakuan struktur, dengan asumsi material homogen dan isotropik, serta tanpa pengujian eksperimental fisik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa variasi material dan ketebalan secara signifikan memengaruhi performa mekanik struktur. Stainless steel dengan ketebalan 108 mm memberikan performa terbaik dengan *displacement* paling rendah dan kemampuan menahan *stress* tertinggi, sehingga menjadi material paling optimal karena keseimbangan kekuatan, kestabilan, dan efisiensi material. Aluminium menunjukkan *displacement* yang kecil namun tegangan melebihi *yield strength*, mengindikasikan perlunya optimasi lebih lanjut. Cast iron mampu menahan pembebanan dengan distribusi tegangan yang baik, tetapi menghasilkan *displacement* lebih besar dan massa struktur lebih berat karena masa jenisnya yang tinggi. Kesimpulannya, penerapan metode optimasi topologi dengan mempertimbangkan variasi material dan ketebalan dapat menghasilkan desain *baseplate* yang lebih efisien dari segi massa dan kekakuan, serta memberikan pedoman untuk pemilihan material dan ketebalan dalam proses perancangan.

Kata Kunci: *Optimasi Topologi, Baseplate Motor Elektrik, Finite Element Method (FEM), Material, Ketebalan, SolidWorks Simulation.*

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi motor elektrik yang cepat dalam sektor modern mengharuskan adanya peningkatan efisiensi, keandalan, serta performa dari sistem pendukungnya. Salah satu elemen kunci dalam sistem tersebut adalah *baseplate*, yang berperan sebagai tempat utama motor elektrik dan juga sebagai penyalur beban mekanik serta getaran ke struktur pendukung. Desain pelat dasar yang kurang ideal dapat mengakibatkan peningkatan berat struktur, ketidakstabilan getaran, serta menurunkan efisiensi sistem secara keseluruhan. Dengan demikian, diperlukan metode rekayasa yang dapat menciptakan desain *baseplate* yang ringan tetapi tetap kokoh dan stabil [1].

Optimasi topologi merupakan metode inovatif dalam perancangan mesin listrik, yang menitikberatkan pada penyempurnaan distribusi material demi mencapai performa yang lebih baik. Kemajuan dalam manufaktur aditif memungkinkan teknik ini untuk memproduksi geometri yang rumit dan struktur ringan serta efisien pada komponen mesin. Salah satu kendala utama adalah penerapan desain geometri yang paling baik melalui Metode Elemen Hingga (FEM), terutama pada *baseplate* motor elektrik yang harus menahan struktur dengan efisien [2].

Banyak penelitian telah membahas tentang topologi optimasi dan metode elemen hingga dalam konteks desain motor elektrik, seperti penerapan turunan topologis untuk pengoptimalan motor elektrik dalam magnetostatika non-linear [3] serta penggunaan optimasi topologi bagi pemasangan motor elektrik [4]. Meskipun berbagai penelitian telah menyoroti penerapan optimasi topologi pada motor elektrik, masih terdapat kesenjangan dalam penerapannya secara khusus pada *baseplate* motor elektrik. Sebagian besar studi sebelumnya berfokus pada metode optimasi secara umum tanpa mempertimbangkan tantangan struktural dan karakteristik material spesifik yang dihadapi motor elektrik dalam penggunaan sehari-hari [5]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan menitikberatkan pada perancangan khusus dan penerapan Metode Elemen Hingga dalam optimasi topologi *baseplate* motor elektrik [6].

Secara khusus, rumusan masalah dalam penelitian ini meliputi: (1) Bagaimana merancang metode optimasi topologi yang dapat menghasilkan desain *baseplate* yang optimal? (2) Bagaimana pengaruh variasi material terhadap hasil optimasi topologi? dan (3) Bagaimana pengaruh variasi ketebalan terhadap hasil optimasi topologi? Adapun tujuan penelitian ini adalah mengembangkan pendekatan optimasi topologi untuk menghasilkan desain *baseplate* optimal, mengkaji pengaruh variasi jenis material (Stainless Steel, Aluminium, Cast Iron), serta menganalisis pengaruh variasi ketebalan plat (102 mm, 104 mm, dan 108 mm) terhadap bentuk, kekakuan, dan efisiensi material.

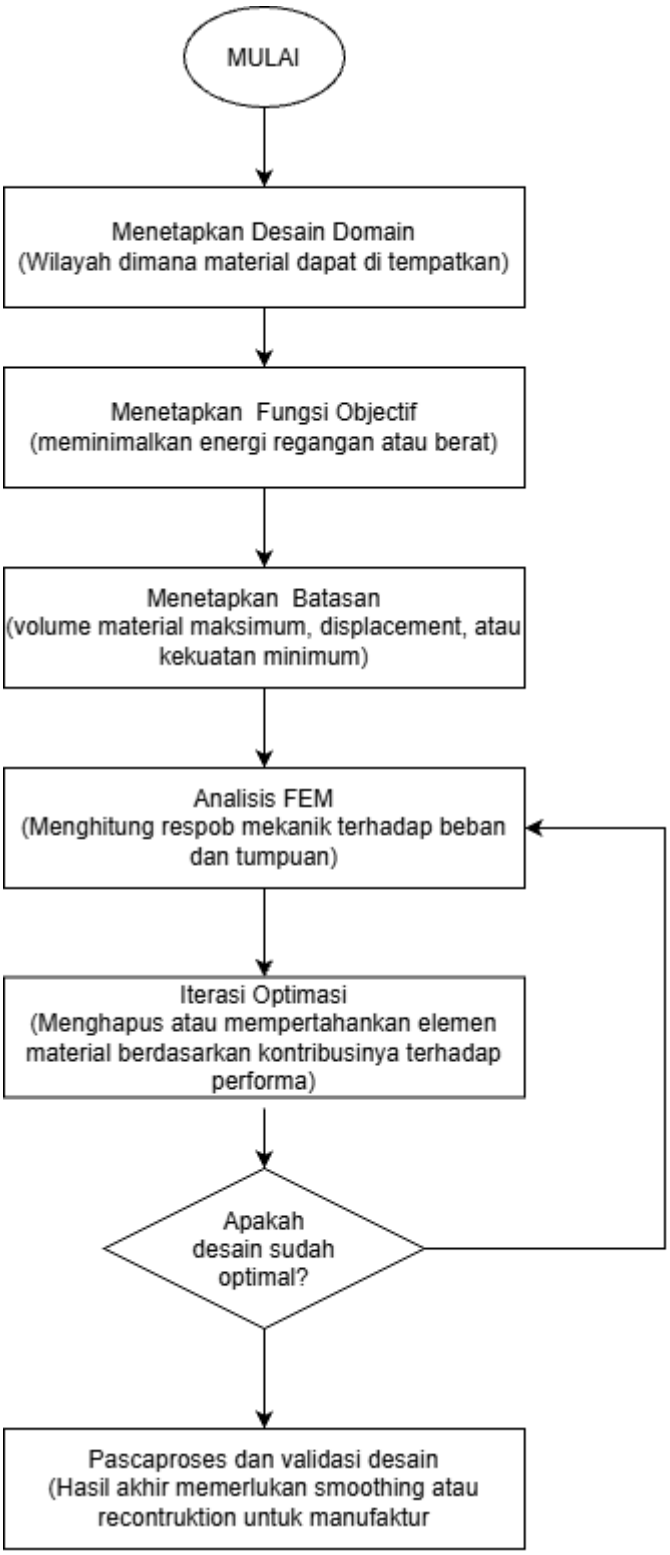
TINJAUAN PUSTAKA

Motor elektrik adalah alat untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik melalui interaksi medan magnet. *Baseplate* pada motor elektrik merupakan komponen dasar yang berfungsi sebagai fondasi utama bagi seluruh elemen motor serta bagian lain yang terpasang padanya [7]. Komponen ini berperan dalam menempatkan motor elektrik pada fondasi atau dudukan, sehingga memastikan kestabilan dan kekukuhan struktur selama proses operasi [8]. Baseplate harus memiliki kekuatan struktural yang memadai untuk menahan beban motor beserta beban tambahan dari komponen terkait guna mencegah terjadinya pergeseran atau getaran berlebih saat motor digunakan [9]–[11].

Optimasi topologi adalah cara numerik yang digunakan untuk menentukan distribusi material secara paling efisien di dalam area desain (*design domain*) [12]. Tujuannya adalah agar struktur yang dihasilkan memiliki performa mekanik terbaik sesuai dengan batasan tertentu seperti kekakuan, kekuatan, atau volume [13]. Berbeda dengan *size optimization* (mengubah ukuran elemen) dan *shape optimization* (mengubah bentuk luar), optimasi topologi mengubah distribusi material secara global termasuk menciptakan rongga atau lubang baru [14]–[16]. Dalam rekayasa mekanik modern, teknik ini terbukti sangat efektif dalam meningkatkan efisiensi struktur dan mengurangi penggunaan bahan pada komponen mekanis [17], [18].

ISSN 2775-5630

METODE



Penelitian ini dilakukan secara numerik menggunakan analisis Metode Elemen Hingga (FEM) dengan perangkat lunak SolidWorks Simulation. Alur penelitian dimulai dari studi literatur, pembuatan model 3D *base plate*, penetapan kondisi batas (*boundary conditions*), proses simulasi topologi, hingga evaluasi hasil.

Gambar 1. Skema alur optimasi topologi

Formulasi Topologi

Fungsi Objektif :

$$C(\rho) = \boldsymbol{uTk}(\rho)\boldsymbol{u}$$

Dimana:

C = *Compliance* / Energi Regangan

U = Matriks Perpindahan

k = Matriks *Stiffness*

Constants :

$$\int \rho d\boldsymbol{\Omega} \leq Vtarget(40\%)$$

$$\sigma_{vonmises} \leq \frac{\sigma yield}{SF}$$

ISSN 2775-5630

Data Teknis Utama Motor ABB M2BAX225SMA4

No	Spesifikasi	Data	Satuan
1	Daya *Output*	37	Kw
2	*Horse Power* (Hp)	50	Hp
3	Jumlah *Pole*	4	Pole
4	Kecepatan Rotasi	1480-1500	Rpm
5	Tegangan Standar	400v(delta), 690v(Star)	V (AC)
6	Frekuensi	50	Hz
7	Ukuran Rangka	2258	Frame Size
8	Berat Bersih	278	Kg

Parameter Material Yang Di Gunakan

NO	Bahan	Kelebihan Utama	Kekurangan Utama
1	Aluminium	Bobot sangat ringan sehingga mudah di angkat dan dipasang	Kekuatan mekanis lebih rendah, tidak cocok untuk beban struktur besar.
		Cukup tahan korosi, ideal untuk lingkungan jika di beri finishing.	Lebih mudah mengalami deformasi(melendut)di bawah beban tinggi.
		Mudah dikerjakan (dipotong, dibor, dibubut)	Pengelasan Perlu teknik khusus dan kontrol panas yang baik
2	Stainless steel	Sangat tahan korosi, cocok untuk outdour, dekat laut, dan lingkungan kimia.	Harga material jauh lebih tinggi dibanding aluminium dan baja karbon biasa
		Kuat secara mekanis dan tetap stabil pada beban sedang-tinggi.	Pengelasan dan machining lebih sulit dan mahal(perkakas cepat aus)
		Tampilkan estetis dan fhinising bagus(polished/brush), cocok instalasi terekspos.	Bobot relatif berat sehingga handling dan pemasangan lebih berat.
3	Cast iron	Kuat tekan tinggi dan sangat kaku, bagus untuk base mesin dan plat presisi	Getas: lemah terhadap tarik dan benturan, tidak ideal untuk beban kejut besar

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Variasi Jenis Material

Simulasi optimasi topologi dilakukan pada ketebalan dasar 108 mm untuk tiga jenis material berbeda (Stainless Steel, Aluminium, dan Cast Iron). Hasil perbandingan performa mekanik dan efisiensi volume diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan hasil simulasi berdasarkan variasi material (ketebalan 108 mm)

Material	Stress	Displacement	Volume
Stainless Steel	3,732e+07 $\mathrm{N/m^2}$	2,348e-02 mm	8084572.17 mm^3
Aluminium	4,844e+07 $\mathrm{N/m^2}$	6,382e-02 mm	8177442.01 mm^3
Cast Iron	3,471e+07$\mathrm{N/m^2}$	8,912e-02 mm	6121098.00 mm^3

Hasil simulasi menunjukkan bahwa jenis material memengaruhi secara signifikan distribusi tegangan dan deformasi struktur. Stainless Steel memberikan kekakuan tertinggi yang ditandai dengan nilai *displacement* paling rendah ($0{,}02348mm$), menjadikan struktur sangat stabil. Aluminium memiliki nilai tegangan kerja yang relatif tinggi mendekati/melebihi batas luluh tertentu sehingga memerlukan optimasi geometri tambahan. Cast Iron mampu mereduksi volume material secara efektif ($6.121.098mm^3$), namun menghasilkan deformasi terbesar ($0{,}08912mm$) akibat Modulus Elastisitas yang lebih rendah, Secara keseluruhan, *Stainless Steel* dapat dianggap sebagai material yang paling optimal karena mampu memberikan keseimbangan terbaik antara kekuatan, kestabilan, dan kemampuan menahan deformasi pada struktur hasil simulasi. Dengan *displacement* yang paling rendah, material ini mampu mempertahankan bentuk dan kestabilan struktur dengan lebih baik saat menerima beban.

Analisis Variasi Ketebalan Plat

Pengujian lanjutan dilakukan pada material Stainless Steel dengan memvariasikan ketebalan plat dasar, yaitu 102 mm, 104 mm, dan 108 mm. Hasil simulasi disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil simulasi variasi ketebalan pada material Stainless Steel

Ketebalan	Stress	Displacement	Volume
102mm	2,410e+07 $\mathrm{N/m^2}$	2,487e-02 mm	6871204.15 mm^3
104mm	3,205e+07 $\mathrm{N/m^2}$	2,899e-02 mm	6579818.20 mm^3
108mm	3,732e+07 $\mathrm{N/m^2}$	2,348e-02 mm	8084572.17 mm^3

ketebalan 108 mm memberikan nilai kekakuan global paling tinggi dengan deformasi terkecil. Namun, variasi ketebalan 102 mm menunjukkan tingkat efisiensi penggunaan material yang sangat baik dengan tegangan maksimum terendah (2,410e+07 $\mathrm{N/m^2}$), yang masih jauh di bawah batas *yield strength* Stainless Steel (2,410e+07 $\mathrm{N/m^2}$), Secara keseluruhan, ketebalan 108 mm dapat dianggap sebagai ketebalan yang paling optimal dari sisi kekuatan dan kestabilan struktur, meskipun membutuhkan volume material yang lebih besar dibandingkan variasi ketebalan lainnya. Dengan kekakuan yang lebih tinggi, ketebalan ini mampu memberikan performa struktur yang paling baik dalam menahan beban dan mengurangi deformasi.

KESIMPULAN

Penerapan metode optimasi topologi berbasis Metode Elemen Hingga (FEM) berhasil merancang desain *base plate* motor elektrik yang lebih efisien dari segi massa dengan tetap mempertahankan kekakuan struktur pada kondisi pembebanan statis. Hasil simulasi menunjukkan bahwa variasi material dan ketebalan berpengaruh signifikan terhadap performa mekanik, di mana *Stainless Steel* terbukti sebagai material paling optimal karena memberikan ketahanan tegangan dan stabilitas deformasi (*displacement*) terbaik dibandingkan *Aluminium* dan *Cast Iron*. Sementara itu, variasi ketebalan 108 mm menghasilkan kekakuan struktur tertinggi, sedangkan ketebalan 102 mm menawarkan efisiensi massa yang optimal dengan tingkat keamanan tegangan yang sangat baik di bawah batas *yield strength*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya atas fasilitas penelitian yang diberikan, serta kepada dosen pembimbing dan semua pihak yang telah mendukung penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] G. Dong, Y. Tang, and Y. F. Zhao, "A survey of modeling of lattice structures fabricated by additive manufacturing," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 50, pp. 102–116, 2021.

[2] D. Tekgun and I. Alan, "FEA-based fast topology optimization method for switched reluctance machines," *Electrical Engineering*, vol. 104, no. 3, pp. 1453–1462, 2022.

[3] P. Gangl, S. Amstutz, and U. Langer, "Topology optimization of electric motor using topological derivative for nonlinear magnetostatics," *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 51, no. 3, pp. 1–4, 2015.

[4] H. Helmfrid and J. Larsson, "Topology optimization of electric motor installation," Master's thesis, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 2021.

[5] H. Wu, "Topology optimization of electric motors based on finite element computation," Ph.D. dissertation, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, 2023.

[6] Y. Song, S. Liu, and X. Huang, "Topology optimization of continuum structures considering fatigue life," *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 379, p. 113754, 2021.

[7] I. N. Bagia and I. M. Parsa, *Motor-Motor Listrik*. Kupang: CV. Rasi Terbit, 2018.

[8] S. Cho, K. Jeon, and C. W. Kim, "Vibration analysis of electric motors considering rotating rotor structure using flexible multibody dynamics–electromagnetic–structural vibration coupled analysis," *Journal of Computational Design and Engineering*, vol. 10, no. 2, pp. 578–592, 2023.

[9] R. K. Chidambaram, P. R. Pedapati, and P. R. Kanna, "Structural assessment of electric two-wheeler battery enclosure: Thermal and structural study," *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, vol. 149, pp. 1–12, 2025.

[10] S. U. Hassan, M. H. Shah, and P. Gruber, "Triply periodic minimal surfaces structure for efficient heat dissipation in motor housings: A convective potential analysis," in *Proc. 2024 Int. Conf. Electr. Mach. (ICEM)*, 2024, pp. 1–7.

[11] P. Popaleny and J. Antonino-Daviu, "Electric motors condition monitoring using currents and vibrations analyses," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 54, no. 6, pp. 6224–6232, 2018.

[12] H. A. Eschenauer and N. Olhoff, "Topology optimization of continuum structures: A review," *ASME Applied Mechanics Reviews*, vol. 54, no. 4, pp. 331–390, 2001.

[13] S. Johnsen, "Structural topology optimization: Basic theory, methods and applications," Master's thesis, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norway, 2013.

[14] E. Ogunnowo, E. Ogu, and P. Egbumokei, "Conceptual model for topology optimization in mechanical engineering to enhance structural efficiency and material utilization," *International Journal of Mechanical Engineering*, vol. 11, no. 2, pp. 45–56, 2024.

[15] J. H. Zhu, W. H. Zhang, and L. Xia, "Topology optimization in aircraft and aerospace structures design," *Archives of Computational Methods in Engineering*, vol. 23, no. 4, pp. 595–622, 2016.

[16] X. Y. Huang and Z. H. Xie, *Evolutionary Topology Optimization of Continuum Structures: Methods and Applications*. Chichester: John Wiley & Sons, 2010.

[17] T. Gao, M. Xiao, J. Zhang, and L. Gao, "A comprehensive review of isogeometric topology optimization: Methods, applications and prospects," *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 360, p. 112737, 2020.

[18] G. I. N. Rozvany, "The SIMP method in topology optimization – theoretical background, advantages and new applications," *Structural and Multidisciplinary Optimization*, vol. 21, no. 3, pp. 192–219, 2001.