

Analisis Kekuatan Rangka Aerator Tambak Udang

Joseph Walker¹, Husein Abdullah Ritonga², Haris Rudianto^{3*}

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma
Indonesia

²Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma
Indonesia

³Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma
Indonesia

Korespondensi penulis: harisrudianto@staff.gunadarma.ac.id

Abstract. *This research evaluates the structural strength of a galvanized steel frame for a solar-powered shrimp pond aerator via Finite Element Analysis (FEA) in SolidWorks 2024. The study assessed Von Mises stress, total displacement, and the factor of safety under static loading conditions (self-weight and component loads). The results demonstrated a maximum Von Mises stress of 80.65 MPa, well within the galvanized steel yield strength of 203.94 MPa. A maximum displacement of 2.1470 mm was observed at the solar panel support, and the minimum safety factor was determined to be 2.53. Consequently, the design is classified as safe, meeting failure criteria and surpassing the recommended minimum safety factor of 2.0 for static structures.*

Keywords: *Aerator frame, finite element analysis, galvanized steel, solidworks simulation, factor of safety*

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan struktur rangka aerator tambak udang bertenaga surya yang terbuat dari baja galvanis menggunakan metode Finite Element Analysis (FEA) pada perangkat lunak SolidWorks 2024. Analisis dilakukan untuk mengevaluasi distribusi tegangan Von Mises, perpindahan total, dan faktor keamanan struktur akibat pembebanan statis berupa berat sendiri rangka serta beban komponen utama. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan Von Mises maksimum yang terjadi adalah sebesar 80,65 MPa, yang mana nilai ini jauh di bawah tegangan luluh (yield strength) material baja galvanis sebesar 203,94 MPa. Perpindahan maksimum tercatat sebesar 2,1470 mm pada penyangga panel surya, dan nilai faktor keamanan minimum struktur adalah 2,53. Berdasarkan data numerik tersebut, desain rangka dinyatakan aman karena memenuhi kriteria kegagalan material dan melampaui batas faktor keamanan minimum yang direkomendasikan untuk struktur statis (>2,0).

Kata kunci: Rangka aerator, analisis elemen hingga, baja galvanis, simulasi solidworks, faktor keamanan

1. LATAR BELAKANG

Budidaya udang intensif merupakan salah satu sektor akuakultur yang berkembang pesat dan sangat bergantung pada ketersediaan oksigen terlarut di dalam kolam. Menurut Boyd (2015), kadar oksigen terlarut yang rendah dapat menyebabkan stres, penurunan nafsu makan, hingga kematian massal udang. Oleh karena itu, penggunaan aerator menjadi komponen penting dalam sistem budidaya udang modern untuk meningkatkan sirkulasi air dan transfer oksigen.

Aerator tambak udang umumnya terdiri dari komponen mekanik, elektrik, dan struktural yang bekerja secara terpadu. Rangka aerator berfungsi sebagai struktur utama yang menopang motor penggerak, sistem transmisi, pelampung, serta panel surya pada sistem aerator bertenaga energi terbarukan. Menurut Shigley et al. (2015), rangka struktur harus dirancang agar mampu menahan beban statis dan lingkungan tanpa mengalami kegagalan atau deformasi berlebih selama masa operasi.



Gambar 1. Aerator Budidaya Tambak Udang

Pada aplikasi tambak udang, rangka aerator bekerja pada lingkungan terbuka yang memiliki tingkat kelembapan tinggi dan berpotensi korosif. Budynas dan Nisbett (2011) menyatakan bahwa kegagalan struktur baja sering disebabkan oleh kombinasi antara pembebanan mekanik dan degradasi material akibat lingkungan. Oleh karena itu, pemilihan material baja galvanis menjadi solusi yang umum digunakan karena memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dibandingkan baja karbon biasa.

Dalam praktiknya, perancangan rangka aerator skala kecil dan menengah masih banyak dilakukan berdasarkan pengalaman empiris tanpa melalui analisis kekuatan struktur yang memadai. Padahal, pendekatan tersebut berisiko menghasilkan desain yang tidak efisien atau memiliki faktor keamanan yang rendah. Dengan berkembangnya perangkat lunak rekayasa, metode analisis numerik seperti Finite Element Analysis (FEA) dapat digunakan untuk memprediksi perilaku struktur secara akurat sebelum proses manufaktur dilakukan (Zienkiewicz et al., 2013).

Kebaruan (novelty) dari penelitian ini terletak pada penerapan metode Finite Element Analysis (FEA) untuk memverifikasi desain rangka aerator bertenaga surya yang selama ini umumnya dirancang secara empiris tanpa perhitungan struktural mendalam. Penelitian ini memberikan kontribusi teknis berupa data kuantitatif mengenai perilaku mekanik material baja galvanis pada aplikasi akuakultur, serta membuktikan bahwa pendekatan simulasi numerik dapat memprediksi potensi kegagalan struktur secara akurat sebelum proses manufaktur dilakukan, sehingga menjamin efisiensi dan keamanan operasional jangka panjang.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan rangka aerator tambak udang berbahan baja galvanis menggunakan simulasi FEA pada SolidWorks 2024. Analisis difokuskan pada evaluasi tegangan Von Mises, perpindahan total, dan faktor keamanan struktur guna memastikan desain rangka memenuhi kriteria kekuatan dan keselamatan.

2. KAJIAN TEORITIS

Rangka merupakan struktur yang tersusun dari elemen-elemen batang yang berfungsi menyalurkan beban ke tumpuan. Menurut Hibbeler (2017), analisis struktur rangka bertujuan untuk menentukan tegangan dan deformasi akibat pembebanan yang bekerja. Pada material daktail seperti baja, kriteria kegagalan yang umum digunakan adalah teori tegangan Von Mises.

Tegangan Von Mises digunakan untuk memprediksi terjadinya luluh pada material akibat kondisi tegangan multiaxial. Shigley et al. (2015) menyatakan bahwa struktur dianggap aman apabila tegangan Von Mises maksimum masih berada di bawah tegangan luluh material. Hubungan tegangan Von Mises secara umum dinyatakan sebagai:

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2}$$

Dimana :

σ_{vm} = Von Mises (MPa)

σ_b = Tegangan Lentur Maksimum (MPa)

τ = Tegangan Geser Maksimum (Mpa)

Selain tegangan, analisis lentur juga menjadi aspek penting dalam perancangan rangka batang. Menurut Gere dan Goodno (2012), tegangan lentur maksimum pada balok dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\sigma = \frac{M \times c}{I}$$

Dimana :

M = Momen Lentur (Nm)

c = Jarak Pusat Profil terhadap Sumbu Netral (m)

I = Momen Inersia Penampang (m)

Persamaan ini digunakan sebagai pendekatan teoritis untuk memverifikasi hasil simulasi numerik yang diperoleh melalui metode elemen hingga.

Perpindahan (displacement) merupakan parameter penting untuk menilai kekakuan struktur. Menurut Gere dan Goodno (2012), perpindahan yang berlebihan dapat menyebabkan ketidaksejajaran komponen dan menurunkan kinerja sistem mekanik. Secara umum, perpindahan struktur dipengaruhi oleh gaya, geometri, dan sifat elastis material.

Faktor keamanan (factor of safety) digunakan untuk menunjukkan tingkat keandalan suatu struktur. Budynas dan Nisbett (2011) mendefinisikan faktor keamanan sebagai perbandingan antara kekuatan material terhadap tegangan kerja maksimum. Nilai faktor keamanan yang lebih besar dari dua umumnya direkomendasikan untuk struktur statis non-kejut.

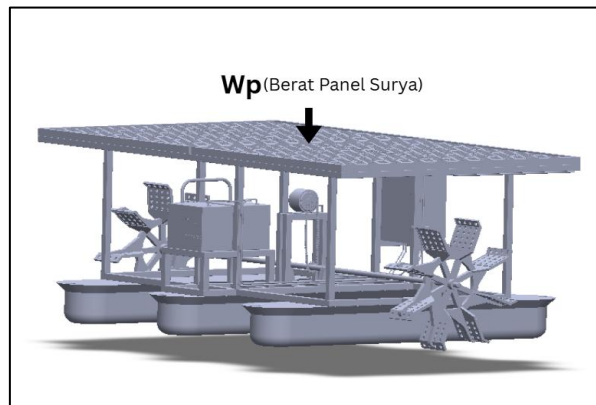
Finite Element Analysis (FEA) merupakan metode numerik yang banyak digunakan dalam analisis struktur modern. Metode ini membagi struktur kompleks menjadi elemen-elemen kecil sehingga persamaan keseimbangan dapat diselesaikan secara numerik (Zienkiewicz et al., 2013). SolidWorks Simulation merupakan salah satu perangkat lunak berbasis FEA yang banyak digunakan untuk analisis struktur statis.

Baja galvanis dipilih sebagai material rangka karena memiliki kekuatan mekanik yang baik serta ketahanan terhadap korosi akibat lapisan seng. Material ini banyak digunakan pada struktur luar ruang karena mampu mempertahankan sifat mekaniknya dalam jangka waktu yang panjang. Sifat-sifat bahan tersebut didefinisikan dalam perpustakaan bahan Solidworks dan diverifikasi berdasarkan referensi sifat mekanik standar.

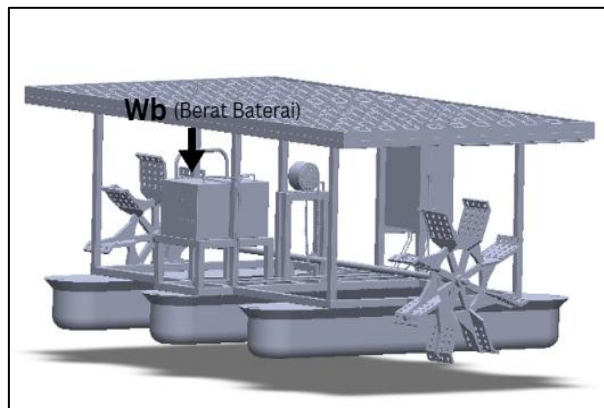
Tabel 1. Material Properti dari Baja Galvanis

<i>Property</i>	<i>Value</i>	<i>Units</i>
Elastic Modulus	2e + 11	N/m ²
Mass Density	7870	Kg/m ³
Tensile Strength	356.900.674,5	N/m ²
Yield Strength	203.943.242.6	N/m ²

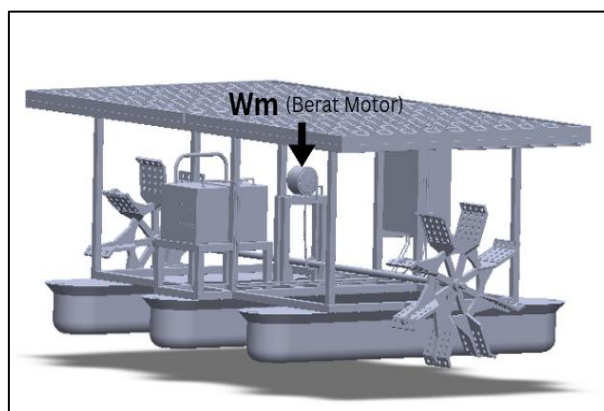
Sebagai dasar dalam melakukan analisis kekuatan rangka aerator, diperlukan identifikasi dan pemodelan pembebanan yang bekerja pada struktur. Menurut Hibbeler (2017), penentuan besar dan lokasi beban merupakan tahap awal yang sangat penting dalam analisis struktur, karena berpengaruh langsung terhadap distribusi tegangan dan perpindahan yang terjadi. Beban-beban yang bekerja pada rangka aerator dalam penelitian ini berasal dari komponen utama sistem, yaitu panel surya, baterai, dan motor penggerak.



Gambar 2. Berat dari Panel Surya



Gambar 3. Berat dari Baterai



Gambar 4. Berat dari Motor

Berdasarkan kajian teoritis yang telah diuraikan, dapat disimpulkan bahwa analisis kekuatan rangka aerator memerlukan pemahaman terhadap sifat material, teori tegangan dan deformasi, serta karakteristik pembebanan yang bekerja pada struktur. Kajian ini menjadi landasan dalam penyusunan metode penelitian dan pelaksanaan simulasi numerik, sehingga hasil analisis yang diperoleh dapat merepresentasikan kondisi kerja rangka aerator secara realistis.

3. METODE PENELITIAN

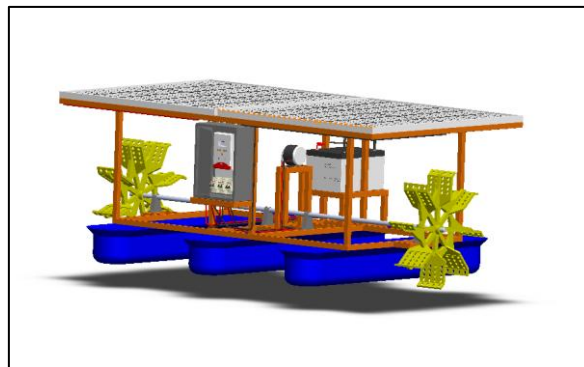
Penelitian ini menggunakan metode simulasi numerik dengan pendekatan Finite Element Analysis (FEA). Model rangka aerator dibuat secara tiga dimensi menggunakan perangkat lunak SolidWorks CAD, kemudian dianalisis menggunakan modul SolidWorks Simulation 2024 dengan studi statis.

Material rangka ditetapkan sebagai baja galvanis dengan sifat mekanik berupa modulus elastisitas, massa jenis, tegangan luluh, dan kekuatan tarik maksimum yang diacu dari pustaka standar material. Kondisi batas ditentukan dengan memberikan pengekangan tetap pada bagian rangka yang berfungsi sebagai tumpuan.

Pembebanan yang diterapkan meliputi berat sendiri rangka serta beban statis dari motor, panel surya, baterai, dan komponen pendukung lainnya. Parameter keluaran simulasi yang dianalisis meliputi distribusi tegangan Von Mises, perpindahan total, dan faktor keamanan struktur.

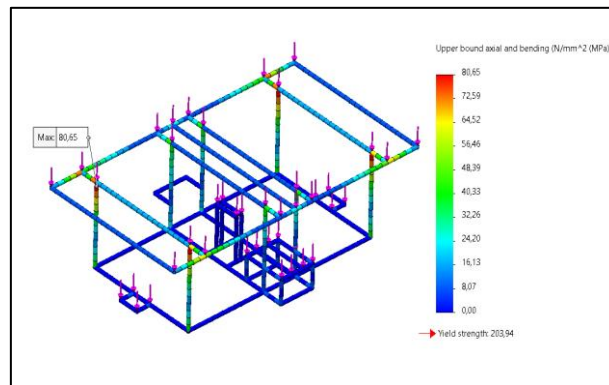
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Design dari perencanaan Aerator Budidaya tambak udang dilihat pada Gambar 5 dimana menunjukkan model tiga dimensi rangka aerator tambak udang yang digunakan dalam simulasi. Model ini merepresentasikan konfigurasi geometris rangka secara keseluruhan, termasuk posisiudukan motor, penyangga panel surya, dan elemen rangka utama.



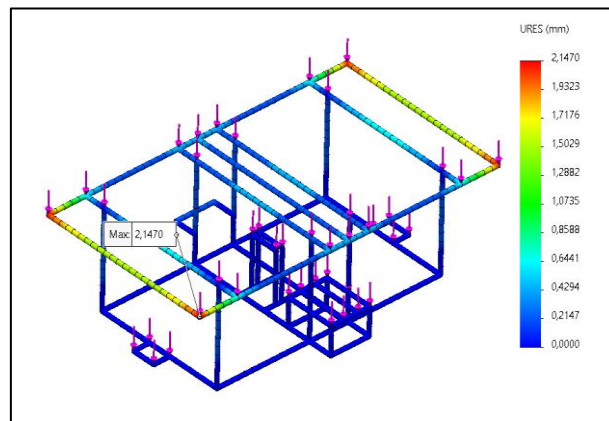
Gambar 5. Model Tiga Dimensi Rangka Aerator

Analisis Tegangan Von Mises Distribusi tegangan Von Mises pada struktur rangka ditunjukkan pada Gambar 6. Berdasarkan kontur warna hasil simulasi, teridentifikasi bahwa konsentrasi tegangan kritis terjadi pada area kedudukan motor. Nilai tegangan maksimum yang tercatat pada node kritis tersebut adalah 80,65 MPa. Nilai ini diverifikasi aman karena masih berada dalam daerah elastis, yaitu di bawah batas luluh (yield strength) material baja galvanis sebesar 203,94 MPa. Hal ini mengindikasikan tidak terjadi deformasi plastis permanen pada struktur saat menerima beban operasional.



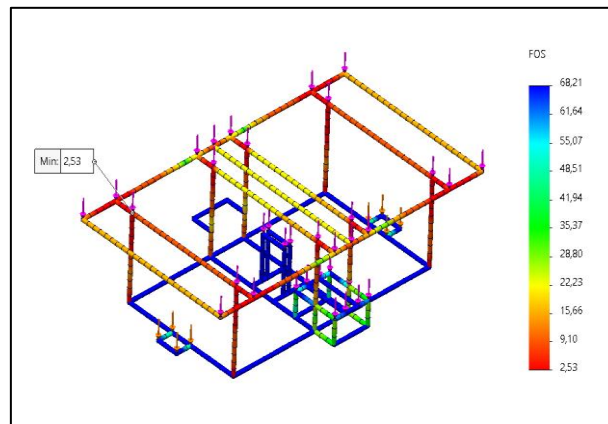
Gambar 6. Distribusi Tengan Von Mises Stress pada Aerator

Hasil analisis perpindahan total rangka ditampilkan pada Gambar 7. Perpindahan maksimum terjadi pada bagian atas rangka, khususnya pada penyangga panel surya. Nilai perpindahan yang terjadi relatif kecil dan tidak mempengaruhi kestabilan maupun keselarasan komponen sistem aerator.



Gambar 7. Hasil Distribusi Displacement pada Aerator

Distribusi faktor keamanan struktur ditunjukkan pada Gambar 8. Nilai faktor keamanan minimum yang diperoleh dari hasil simulasi lebih besar dari 2,5, yang menunjukkan bahwa desain rangka memiliki margin keamanan yang cukup untuk menahan beban kerja statis.



Gambar 8. Hasil Distribusi Factor of Safety pada Aerator

Untuk memperjelas perbandingan hasil analisis struktur dengan beberapa jenis material, rangkuman nilai tegangan Von Mises maksimum, perpindahan total, dan faktor keamanan disajikan dalam Tabel 2. Tabel ini menunjukkan bahwa baja galvanis memberikan kombinasi kekuatan dan kekakuan yang sesuai untuk aplikasi rangka aerator tambak udang.

Tabel 2. Perbandingan Parameter Kekuatan Struktur Berbagai Material Berdasarkan Hasil Simulasi Statis.

Material	Von Mises Stress (MPa)	FOS	Displacement (mm)
<i>Galvanized Steel</i>	80,65	2,53	2,1470
Aluminium 6063 T5	80,53	1,80	6,2589
AISI 1020	80,63	4,36	2,1493
AISI 304	80,71	2,56	2,2536

Hasil ini berfungsi sebagai validasi parameter desain dan memberikan acuan untuk optimasi geometri rangka dan pemilihan material di masa mendatang.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil simulasi Finite Element Analysis (FEA) menggunakan SolidWorks 2024 terhadap rangka aerator tambak udang berbahan baja galvanis, diperoleh kesimpulan bahwa struktur rangka terbukti aman menahan beban statis

operasional. Hal ini ditunjukkan oleh nilai tegangan Von Mises maksimum sebesar 80,65 MPa, yang masih jauh di bawah batas luluh material (Yield Strength) sebesar 203,94 MPa. Kekakuan struktur dinilai sangat baik dengan perpindahan total (displacement) maksimum hanya sebesar 2,1470 mm yang terjadi pada elemen penyangga panel surya, sehingga tidak mengganggu keselarasan mekanis sistem. Keandalan desain dikonfirmasi dengan nilai faktor keamanan (Safety Factor) minimum sebesar 2,53. Nilai ini melampaui kriteria desain minimum ($>2,0$), menunjukkan bahwa rangka memiliki cadangan kekuatan yang memadai untuk penggunaan jangka panjang di lingkungan tambak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Mesin Universitas Gunadarma atas dukungan fasilitas dan bimbingan akademik yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR REFERENSI

- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2011). *Shigley's mechanical engineering design* (9th ed.). McGraw-Hill.
- Boyd, C. E. (2015). *Water quality: An introduction*. Springer.
- Gere, J. M., & Goodno, B. J. (2012). *Mechanics of materials* (8th ed.). Cengage Learning.
- Hibbeler, R. C. (2017). *Structural analysis* (9th ed.). Pearson Education.
- Rahman, M. M., Islam, M. S., & Hossain, M. A. (2020). Design and performance analysis of solar-powered aeration systems for aquaculture ponds. *Renewable Energy*, 145, 128–138.
- Shigley, J. E., Mischke, C. R., & Budynas, R. G. (2015). *Mechanical engineering design* (10th ed.). McGraw-Hill Education.
- Zienkiewicz, O. C., Taylor, R. L., & Zhu, J. Z. (2013). *The finite element method: Its basis and fundamentals* (7th ed.). Elsevier.