

## OPTIMASI DESAIN KONEKTOR STRUKTUR TERAPUNG PANEL SURYA

**Muchsinul Ikhwan<sup>1</sup>, Dhika Aditya Purnomo<sup>1\*</sup>, Oka Hildawan Mahendra<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal,  
 Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

<sup>2</sup>PT Orela Shipyard, Surabaya, Indonesia

\*Email: [adityadhika@ppns.ac.id](mailto:adityadhika@ppns.ac.id)

### **Abstrak**

Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki potensi energi surya yang sangat besar untuk dimanfaatkan secara optimal sepanjang tahun berkat letaknya di garis khatulistiwa. Salah satu inovasi pemanfaatan energi surya adalah teknologi panel surya terapung, yang dapat dipasang di atas permukaan air seperti waduk, danau, maupun laut. Teknologi ini tidak hanya mengatasi keterbatasan lahan di daratan, tetapi juga memanfaatkan perairan yang tidak aktif secara produktif. Meski demikian, penerapannya menghadapi tantangan teknis, terutama pada desain konektor struktur terapung yang berfungsi menghubungkan kubus apung penopang panel. Desain konektor yang kurang optimal dapat menurunkan keandalan struktur, mengurangi umur pakai, serta meningkatkan risiko kerusakan akibat beban dinamis dari gelombang laut. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan desain konektor menggunakan metode elemen hingga dengan perangkat lunak Ansys dan Fusion 360, sehingga konektor mampu menahan beban hingga gelombang maksimum 3 meter pada kedalaman perairan 18-20 meter di wilayah timur Laut Jawa. Tiga konsep desain konektor berbahan aluminium 6061-T6 dikembangkan dengan mempertimbangkan kekuatan struktural, kemudahan manufaktur, dan aspek perawatan. Hasil simulasi menunjukkan desain terbaik memiliki faktor keamanan 6,8703, bentuk sederhana, serta nilai tertinggi metode penilaian Ulrich dengan nilai relatif 34,74%. Desain ini dinilai paling layak digunakan di laut terbuka. Hasil penelitian diharapkan dapat memperkuat pengembangan panel surya terapung yang efisien, aman, dan berkelanjutan, sekaligus mendukung percepatan transisi energi bersih di Indonesia.

**Kata kunci:** aluminium, desain konektor, energi surya, simulasi kekuatan, struktur terapung

### **Abstract**

*Indonesia as an archipelagic country, has enormous solar energy potential that can be optimally utilized throughout the year thanks to its location on the equator. One innovation in solar energy utilization is floating solar panel technology, which can be installed on water surfaces such as reservoirs, lakes, and oceans. This technology not only addresses the limitations of land-based space but also utilizes inactive water bodies in a productive manner. However, its implementation faces technical challenges, particularly in the design of floating structure connectors that connect the floating support cubes for the panels. A suboptimal connector design can reduce structural reliability, shorten the service life, and increase the risk of damage due to dynamic loads from ocean waves. This study aims to optimize connector design using the finite element method with Ansys and Fusion 360 software, so that the connector can withstand loads up to a maximum wave height of 3 meters at a water depth of 18–20 meters in the eastern Java Sea region. Three connector design concepts made of aluminum 6061-T6 were developed, considering structural strength, manufacturability, and maintenance aspects. Simulation results show that the best design has a safety factor of 6.8703, a simple shape, and the highest Ulrich evaluation method score with a relative value of 34.74%. This design is deemed most suitable for open-sea use. The research findings are expected to strengthen the development of efficient, safe, and sustainable floating solar panels while supporting the acceleration of Indonesia's clean energy transition.*

**Keywords:** aluminium, connector design, floating structure, solar energy, strength simulation

## PENDAHULUAN

Pertumbuhan populasi, industrialisasi, dan urbanisasi yang pesat di Indonesia telah mendorong peningkatan kebutuhan energi secara signifikan. Di sisi lain, ketersediaan bahan bakar fosil yang terbatas menyebabkan krisis energi dan memperburuk dampak pemanasan global (Yuwono et al., 2021). Seiring meningkatnya kesadaran akan pentingnya pelestarian lingkungan, energi surya mulai dipandang sebagai alternatif yang menjanjikan untuk memenuhi kebutuhan energi secara berkelanjutan. Indonesia sebagai negara tropis yang berada di garis khatulistiwa memiliki potensi energi surya yang sangat melimpah sepanjang tahun (Amin et al., 2022). Energi surya termasuk sumber daya terbarukan yang ramah lingkungan, dan perkembangan teknologi panel surya telah meningkatkan efisiensi serta menurunkan biaya produksinya (Raniero & Clot, 2021).

Namun demikian, penerapan panel surya di daratan menghadapi kendala utama, yaitu kebutuhan lahan yang luas. Di wilayah padat penduduk, prioritas penggunaan lahan lebih difokuskan untuk kebutuhan permukiman dan aktivitas masyarakat lainnya, sehingga instalasi panel surya di darat menjadi tidak efisien secara ekonomis maupun praktis (Haohui et al., 2019). Sebagai negara kepulauan, Indonesia memiliki wilayah perairan yang sangat luas. Selain itu, sekitar 50% populasi dunia tinggal di sekitar badan air tawar (Matti et al., 2011). Kondisi ini membuka peluang untuk pemanfaatan badan air yang tidak aktif untuk instalasi panel surya terapung.

Salah satu solusi inovatif yang mulai diterapkan adalah teknologi panel surya terapung, yang memungkinkan instalasi sistem energi surya di atas permukaan air seperti danau, waduk, maupun laut. PT Orela *Shipyard*, sebuah perusahaan galangan kapal nasional, telah menginisiasi proyek instalasi panel surya terapung sebagai bagian dari kontribusi terhadap transisi energi ramah lingkungan. Teknologi ini tidak hanya menjawab keterbatasan lahan, tetapi juga berpotensi besar dalam mendukung pembangunan berkelanjutan melalui pemanfaatan sumber daya lokal.

Namun, implementasi struktur terapung menghadapi tantangan teknis, khususnya dalam hal desain konektor antar kubus apung yang menopang panel surya. Permasalahan yang terjadi meliputi kurangnya ketahanan terhadap beban dinamis akibat ombak, serta risiko terputusnya sambungan antar kubus. Kelemahan ini dapat mengganggu kestabilan dan fungsi struktur secara keseluruhan. Menyadari hal ini, PT Orela *Shipyard* terus melakukan pengembangan desain konektor guna meningkatkan ketahanan dan keandalan struktur terhadap kondisi perairan.

Menanggapi permasalahan tersebut, penelitian ini berupaya mengoptimalkan desain konektor pada struktur terapung panel surya. Penelitian dilakukan di wilayah perairan Laut Jawa bagian timur, dengan karakteristik kedalaman antara 18 hingga 20 meter dan ketinggian gelombang maksimum mencapai 3 meter. Tiga desain konektor yang memenuhi kriteria kekuatan dan ketahanan terhadap kondisi laut akan dibandingkan untuk menentukan desain paling optimal.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan dan mengoptimalkan desain konektor struktur terapung panel surya yang memiliki ketahanan tinggi terhadap beban dinamis akibat ombak, serta memastikan integritas sambungan antar kubus apung dalam kondisi lingkungan laut. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat mendukung proyek energi terbarukan PT Orela *Shipyard* dan memberikan kontribusi

nyata terhadap pengembangan solusi energi alternatif berbasis teknologi panel surya terapung di Indonesia.

## **TINJAUAN PUSTAKA**

### **(A) Struktur Floating Pontoon**

*Floating Pontoon* merupakan sebuah fasilitas yang biasa digunakan pada tambatan kapal dimana strukturnya berupa struktur terapung. Pada perencanaan ini, *floating pontoon* dirancang sebagai tempat tambatan bagi kapal tunda (*tugboat*). Struktur *floating pontoon* perlu dirancang hingga mencapai tingkat kestabilan dan keamanan yang baik. Pada bagian *pontoon* yang akan dirancang harus memiliki luas permukaan dan tinggi *freeboard* yang memadai agar dapat berfungsi secara optimal. Sedangkan untuk ukuran *pontoon* yang dirancang bergantung pada jenis pemberatan yang diterapkan, serta beban-beban yang perlu diperhitungkan (NUSANTORO, 2017).

### **(B) Desain Sistem Sambungan**

Kompleks pembangkit listrik tenaga surya terapung dengan kapasitas 1 MW terdiri dari unit-unit struktur yang saling terhubung menggunakan sistem sambungan. Sistem sambungan ini dirancang untuk mengurangi kebutuhan pengelasan sekaligus meningkatkan ketahanan terhadap kelelahan material. Selain itu, perangkat berbentuk C yang terbuat dari baja tahan karat (STS304), yang memiliki ketahanan tinggi terhadap korosi, dihubungkan dengan baut dari baja tahan karat. Perangkat berbentuk C ini dapat dibuat dengan cara memotong pelat baja tahan karat. Sistem sambungan ini berfungsi sebagai sistem bebas momen lentur saat berada pada permukaan air yang berfluktuasi (Kim et al., 2017).

### **(C) Aluminium 6061-T6**

Aluminium 6061-T6 adalah paduan aluminium yang tergolong dalam kelompok aluminium magnesium-silikon, dengan komposisi utama berupa aluminium (Al), magnesium (Mg), silikon (Si), dan sedikit elemen lainnya seperti tembaga (Cu), mangan (Mn), dan kromium (Cr). Paduan ini dikenal dengan kekuatan tinggi dan ketahanan terhadap korosi yang baik, menjadikannya pilihan yang ideal untuk aplikasi yang memerlukan material ringan dan kuat. Aluminium 6061-T6 memiliki ketahanan korosi, sifat mekanik, sifat mampu bentuk, kemampuan las, dan kemampuan mesin yang baik (Kim et al., 2017).

### **(D) Material Ethylene Propylene Diene Monomers**

Material *Ethylene Propylene Diene Monomers* (EPDM) biasa dikenal sebagai karet sintetis merupakan material yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. *Ethylene Propylene Diene Monomers* (EPDM) juga biasa ditandai dengan simbol *M-class* yang merupakan indikasi bahwa *rubber* ini adalah spesifikasi dari standar ASTM D-1418 dimana *M-class* menunjukkan bahwa karet tersebut memiliki rantai jenuh tipe *polymethylene*. Material ini mempunyai kandungan *ethylene* sekitar 45% hingga 85%. *Ethylene Propylene Diene Monomers* (EPDM) memiliki karakteristik tahan terhadap suhu tinggi maupun suhu rendah, cuaca, dan uap, serta memiliki sifat isolator listrik yang sangat baik (Ahmad et al., 2019).

**(E) Metode Ulrich**

Perancangan dan pengembangan produk adalah sebuah kegiatan yang dimulai dengan analisis serta respons pasar terhadap produk yang akan dikembangkan, dan diakhiri dengan tahap produksi, penjualan, dan pengiriman produk hingga sampai ke pelanggan. Produk merupakan benda atau alat yang dibuat untuk digunakan atau membantu manusia dalam berbagai aktivitas. Proses pembuatan produk harus melalui beberapa tahapan, mulai dari pernyataan misi hingga tahap pembuatan produk itu sendiri (Ulrich & Eppinger, 2001).

**(F) Metode Elemen Hingga**

Metode Elemen Hingga (MEH) pada mulanya dikembangkan oleh para ahli rangka pesawat pada tahun 1940 dan berkembang pesat hingga 1965. Pada periode ini, S. Levy, J. Argyris, dan S. Kelsey memperkenalkan analisis struktur berbasis matriks dan solusi persamaan linier yang dapat dioperasikan menggunakan komputer. Pada tahun 1965, O.C. Zienkiewicz dan Y.K. Cheung mengemukakan bahwa masalah elastisitas dan masalah lainnya dengan fungsi yang sama dapat diselesaikan menggunakan prinsip energi potensial minimum. Metode ini diterapkan untuk berbagai masalah fisika yang melibatkan variabel aljabar, diferensial, atau integrasi.

**(G) Software Ansys**

Ansys Workbench adalah platform simulasi yang komprehensif, dirancang untuk memungkinkan insinyur melakukan analisis mendalam terhadap berbagai masalah teknik. Dengan kemampuannya untuk mengintegrasikan berbagai perangkat lunak CAD dan solver, Workbench mempermudah proses pembuatan model dan simulasi. Ansys Mechanical, sebagai bagian integral dari Workbench, menyediakan alat-alat analisis lengkap untuk berbagai jenis simulasi mekanika, mulai dari persiapan geometri hingga analisis multifisika. Antarmuka pengguna yang intuitif dan fitur pembaruan desain otomatis menjadikan Workbench pilihan efisien bagi insinyur, baik yang berpengalaman maupun yang baru memulai (Yusuf et al., 2023).

**(H) Software Fusion 360**

Meskipun berasal dari perusahaan yang sama, Autodesk Fusion 360, sebagai inovasi terbaru dalam desain teknik, belum sepenuhnya menggantikan posisi Autodesk Inventor yang lebih dahulu dikenal luas. Perbedaan waktu peluncuran dan tingkat adopsi menjadi faktor utama yang mempengaruhi perbedaan popularitas kedua perangkat lunak ini. Keunggulan Fusion 360 tidak hanya terletak pada fitur-fitur yang setara dengan perangkat lunak sejenis, tetapi juga pada kompatibilitasnya yang luas dan persyaratan sistem yang rendah. Software ini dapat berjalan dengan lancar di berbagai jenis perangkat, baik Windows maupun macOS, bahkan pada perangkat dengan spesifikasi menengah, menjadikannya pilihan yang menarik bagi pengguna yang membutuhkan perangkat lunak desain yang efisien tanpa membebani sistem (Budiman & Nuryanto, 2023).

## METODE

Penelitian ini dilaksanakan melalui tahapan yang mengacu pada metode Ulrich & Eppinger untuk pengembangan produk, dikombinasikan dengan analisis kekuatan menggunakan Metode Elemen Hingga (MEH).

### (A) Studi Literatur dan Identifikasi Kebutuhan

Tahap awal dilakukan dengan mempelajari literatur terkait *Floating Solar Photovoltaic* (FSPV), desain konektor, pemilihan material, faktor keamanan, dan metode analisis yang relevan (Ulrich & Eppinger, 2016; Callister, 2007; RINA, 2009). Pengumpulan informasi ini juga melibatkan analisis produk eksisting berupa konektor rantai Ø5 mm dan *turnbuckle* M8×250 mm yang digunakan pada studi kasus Penulis. Kebutuhan pengguna didefinisikan berdasarkan kondisi operasi: kedalaman 18–20 m, gelombang maksimum 3 m, serta tuntutan ketahanan korosi dan kemudahan perawatan.

### (B) Penetapan Spesifikasi Produk

Spesifikasi teknis ditetapkan dalam dua kategori: nilai ideal dan nilai marginal (Ulrich & Eppinger, 2016). Parameter mencakup: dimensi konektor, material, *yield strength*, *safety factor*, berat total, kemudahan manufaktur, serta estimasi biaya produksi. Tegangan izin dihitung dari *yield strength* material dengan faktor keamanan konservatif sesuai acuan maritim (Vidosic, 1957; RINA, 2009).

### (C) Pengembangan Konsep Desain

Fungsi konektor diuraikan menjadi sub-fungsi, kemudian dikembangkan alternatif solusi melalui matriks morfologi. Variasi dibuat pada aspek bentuk sambungan, metode penguncian, jenis material, dan metode manufaktur (Batan, 2012). Tiga konsep utama dipilih untuk dianalisis lebih lanjut, seluruhnya menggunakan material Aluminium 6061-T6 yang memiliki ketahanan korosi dan kemudahan fabrikasi (Callister, 2007; Wang & Chen, 2015).

### (D) Penyaringan dan Pemilihan Konsep

Konsep yang dihasilkan dievaluasi menggunakan metode penilaian berbobot (*weighted scoring*) berdasarkan kriteria: kekuatan struktural (hasil simulasi FEA), kemudahan manufaktur, kemudahan perawatan, bobot total, dan biaya. Bobot kriteria ditentukan berdasarkan prioritas kebutuhan pengguna dan kondisi lingkungan operasi (Ulrich & Eppinger, 2016). Konsep dengan skor tertinggi ditetapkan sebagai desain terbaik untuk dianalisis secara rinci.

### (E) Pemodelan 3D dan Simulasi Kekuatan

Pemodelan 3D dilakukan menggunakan Autodesk Fusion 360 untuk memperoleh geometri presisi (Budiman & Nuryanto, 2023). Model kemudian diekspor ke Ansys Workbench untuk simulasi *static structural* (Yusuf et al., 2023). Prosedur analisis meliputi:

- (1) Penetapan properti material (Al 6061-T6, EPDM) sesuai data *mechanical properties* dari literatur.

- (2) Pembuatan *mesh 3D solid* dengan kontrol ukuran untuk meningkatkan akurasi.
- (3) Penerapan *boundary condition* sesuai pembebahan di laut (reaksi beban gelombang & sambungan ke pelampung).
- (4) Perhitungan tegangan maksimum (*von mises*), deformasi total, dan faktor keamanan.

#### **(F) Analisis Hasil dan Validasi Desain**

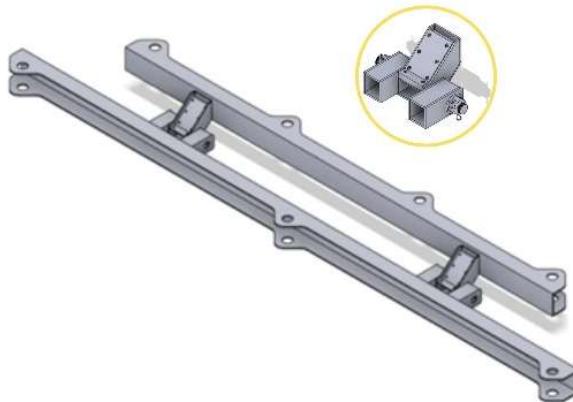
Hasil simulasi dibandingkan dengan tegangan izin dan target faktor keamanan. Desain dinyatakan layak jika tegangan maksimum < tegangan izin dan  $SF \geq$  target marginal (Vidosic, 1957; RINA, 2009). Selain itu, desain dipertimbangkan optimal apabila memenuhi keseimbangan antara kekuatan, kemudahan manufaktur, dan efisiensi biaya.

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berdasarkan hasil *morphological chart* dan penetapan spesifikasi, diperoleh tiga alternatif desain konektor. Ketiganya menggunakan material Aluminium 6061-T6 namun memiliki perbedaan pada bentuk geometri sambungan, metode penguncian, dan kemudahan manufaktur.

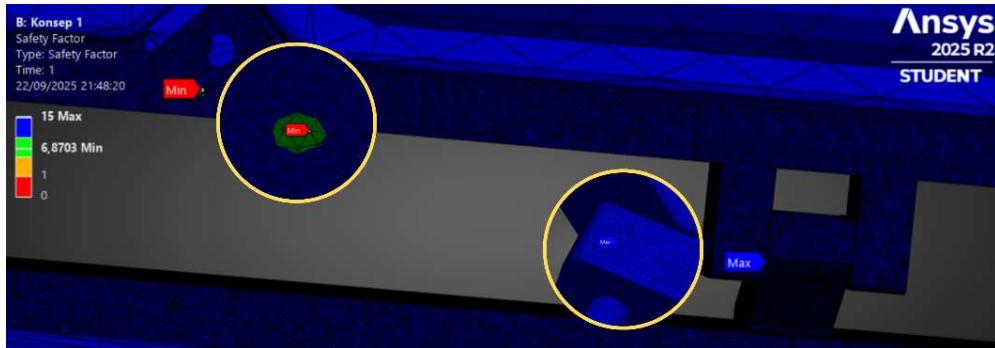
Analisis kekuatan dilakukan menggunakan Ansys Workbench pada masing-masing konsep desain konektor dengan kondisi pembebahan yang merepresentasikan keadaan di lapangan, yaitu gelombang laut dengan tinggi maksimum 3 meter dan kedalaman 18–20 meter. Pemodelan 3D diimpor dari Autodesk Fusion 360 dengan properti material Aluminium 6061-T6 (*yield strength* 276 MPa, *tensile strength* 310 MPa, modulus elastisitas 68,9 GPa).

#### **(A) Konsep 1**

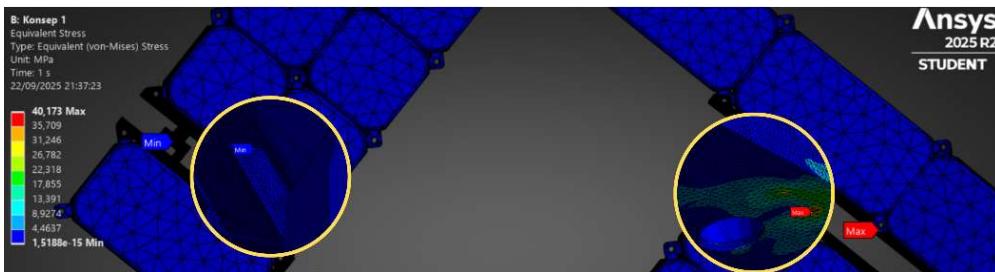


**Gambar 1.** Konsep Desain 1

Konsep 1 dirancang menggunakan pelat datar dengan lubang baut sebagai pengunci. Proses manufakturnya sederhana karena hanya memerlukan pemotongan dan pengeboran, dengan ini proses manufaktur lebih mudah. Hasil simulasi *static structural* menunjukkan tegangan maksimum sebesar 40,173 MPa, dan *safety factor* 6,8703. Meskipun memenuhi syarat minimal kekuatan, distribusi tegangan cenderung terkonsentrasi di sekitar lubang sambungan sehingga rentan terhadap *fatigue*.



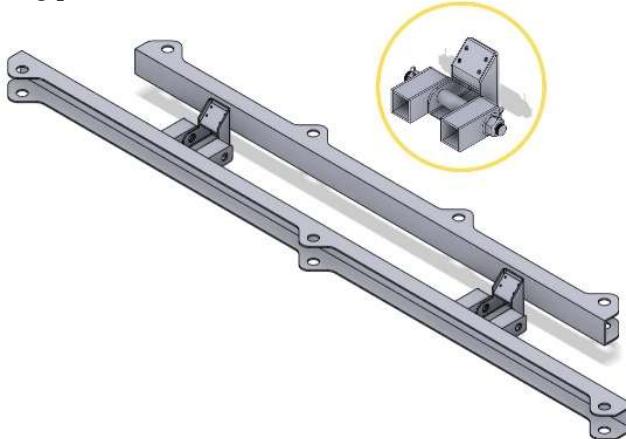
Gambar 2. Hasil Simulasi SF Uji Tekan Konsep 1



Gambar 3. Hasil Tegangan dari Pembebanan Gaya Tekan Konsep 1

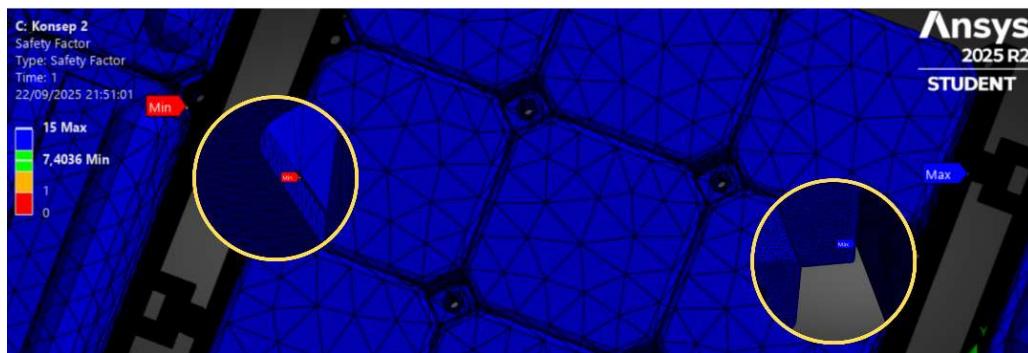
### (B) Konsep 2

Konsep 2 mengadopsi bentuk *curved bracket* yang memberikan distribusi beban lebih merata dibanding pelat datar.

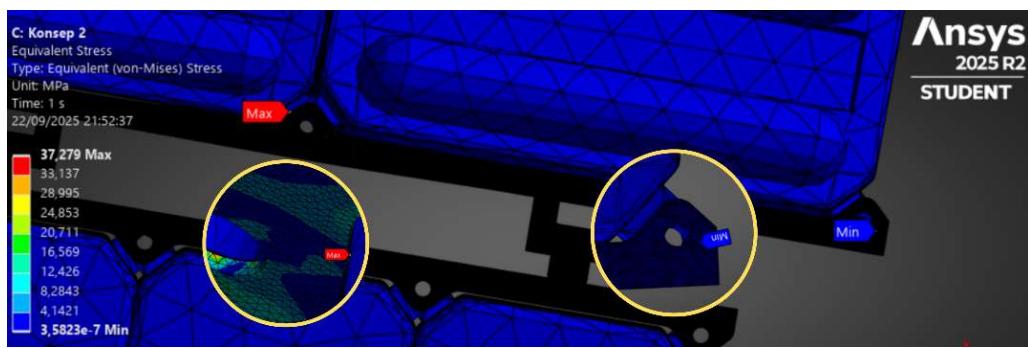


Gambar 4. Konsep Desain 2

Hal ini menurunkan tegangan maksimum menjadi 35,279 MPa dan deformasi menjadi 0,67 mm, dengan *safety factor* meningkat menjadi 7,4036. Proses pembentukan geometri melengkung memerlukan tahapan bending, memiliki dimensi lebar 45 mm dan panjang 70 mm dengan memperhatikan nilai *clearance* pada waktu proses *bending* agar tidak mengurangi dimensi sewaktu produk jadi. Konsep 2 memiliki luas penampang *section* yaitu 428 mm<sup>2</sup> dan berat 0,955 kg yang akan menjadi pertimbangan dalam pemilihan konsep selanjutnya dikarenakan semakin luas *surface* suatu material yang akan dibending akan mempengaruhi waktu dan juga biaya yang akan dikeluarkan.



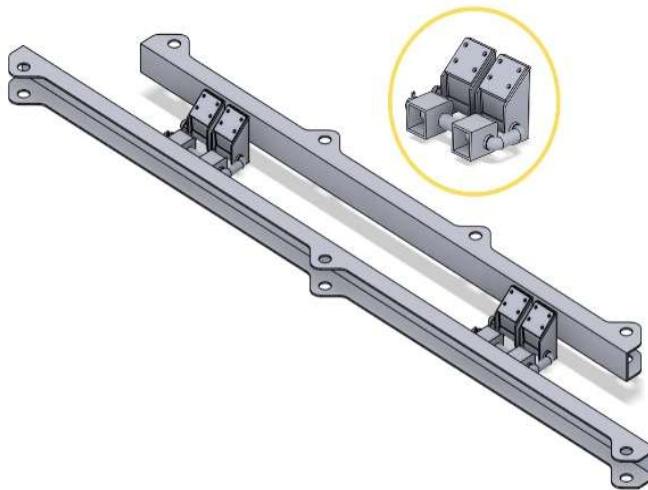
Gambar 5. Hasil Simulasi SF Uji Tekan Konsep 2



Gambar 6. Hasil Tegangan dari Pembebaan Gaya Tekan Konsep 2

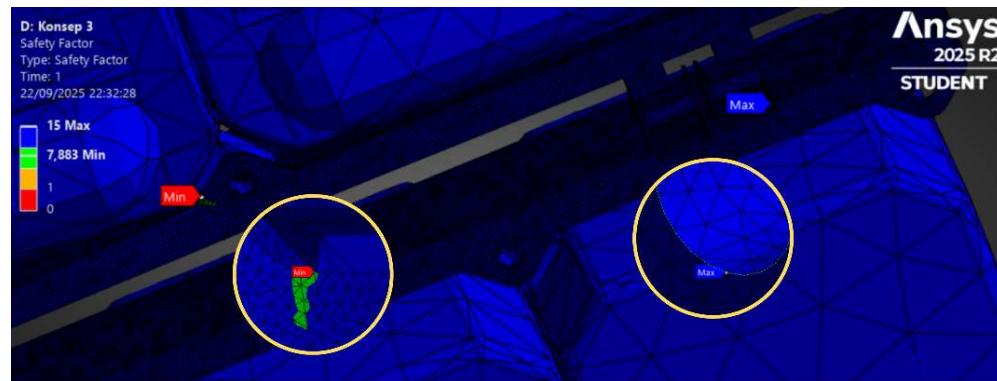
### (C) Konsep 3

Konsep 3 merupakan hasil optimasi bentuk dengan penambahan pelat penguat (*reinforcement plate*) pada area kritis dan penyesuaian ukuran lubang sambungan untuk mengurangi konsentrasi tegangan.

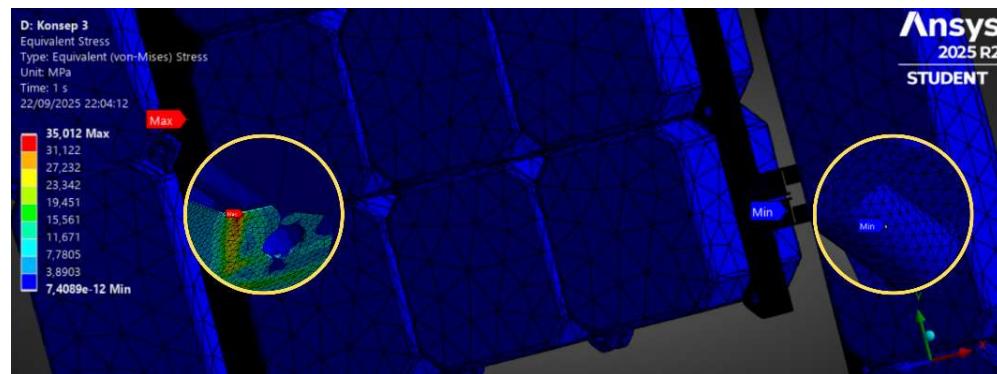


Gambar 7. Konsep Desain 3

Hasil simulasi menunjukkan tegangan maksimum terendah yaitu 35,012 MPa, dan safety factor minimum sebesar 7,883. Distribusi tegangan pada konsep ini paling merata, yang berpotensi memperpanjang umur pakai di lingkungan laut.



Gambar 8. Hasil Simulasi SF Uji Tekan Konsep 3



Gambar 9. Hasil Tegangan dari Pembebaan Gaya Tekan Konsep 3

**Tabel 1.** Perbandingan Hasil Penilaian Konsep Konektor

Parameter	Konsep 1	Konsep 2	Konsep 3
Bentuk	Pelat datar +	<i>Curved bracket</i>	Pelat penguat (reinforcement plate)
Sambungan	baut		
Tegangan Maksimum (MPa)	40,173	37,279	35,012
Deformasi (mm)	0,71	0,67	0,64
Faktor Keamanan	6,8703	7,4036	7,883
Kekuatan Optimal	Paling 2,5	2	2
Proses Manufaktur	1,2	0,8	0,8
Perawatan	0,4	0,4	0,4
Skor Penilaian (%)	34,74	23,72	27,11
Kelebihan Utama	Murah, sederhana	Distribusi beban baik	Kuat, ringan, distribusi tegangan merata
Kekurangan Utama	Konsentrasi tegangan tinggi	Proses manufaktur lebih rumit	Biaya sedikit lebih tinggi

Ketiga konsep memenuhi kriteria kekuatan minimal ( $SF \geq 6$ ), namun menunjukkan perbedaan performa yang cukup jelas. Konsep 1 memiliki desain paling sederhana, tetapi *safety factor*-nya adalah yang terendah yaitu 6,8703, dengan distribusi tegangan yang masih terkonsentrasi di sekitar lubang sambungan. Konsep 2 menawarkan peningkatan kekuatan dengan *safety factor* 7,4036 serta distribusi tegangan lebih merata berkat bentuk *curved bracket*, namun proses manufakturnya lebih kompleks. Konsep 3 menunjukkan kinerja terbaik dengan *safety factor* tertinggi sebesar 7,883, distribusi tegangan paling merata. Dengan mempertimbangkan 3 kriteria penilaian diantaranya kekuatan, proses manufaktur, dan kemudahan perawatan, Konsep desain 1 merupakan konsep desain terpilih dengan nilai relatif paling tinggi sebesar 34,74% meskipun pada Konsep Desain 1 tidak memiliki nilai safety factor paling tinggi.

## KESIMPULAN

Perancangan konektor struktur terapung dengan metode Ulrich dan analisis FEA menghasilkan tiga konsep yang memenuhi syarat kekuatan, proses manufaktur dan perawatan. Konsep 1 menjadi pilihan terbaik dengan tegangan maksimum 40,173 MPa, *safety factor* 6,8703, dan skor evaluasi 34,74%. Desain ini menawarkan keseimbangan optimal antara kekuatan, proses manufaktur dan perawatan, sehingga layak diimplementasikan pada *Floating Solar Photovoltaic* di laut terbuka.

Penelitian selanjutnya disarankan menguji konektor di lingkungan laut untuk memvalidasi hasil simulasi, mempertimbangkan material yang lebih ringan seperti komposit, serta mengembangkan desain modular yang mudah dirakit. Analisis biaya juga sebaiknya mencakup skala produksi massal untuk estimasi harga yang lebih realistik.

## REFERENSI

- Ahmad, M., Adi, F. U., Ahmad, M., & Adi, F. U. (2019). *Sinar Matahari Terhadap Laju Keausan ( Wear Rate ) Material Ethylene Propylene Diene Monomers ( Epdm ) Pada Wiper Blade Final Project – Tm 141585 ( Wear Rate ) Material Ethylene Propylene ( Wear Rate ) Material Ethylene Propylene Diene Monomers ( Epdm ) P.*
- Amin, M. S., Emidiana, Kartika, I., & Irwansi, Y. (2022). Penggunaan Panel Surya Sebagai Pembangkit Listrik Pada Alat Pengering Makanan. *Jurnal Ampere*, 7(1), 15–21. <https://jurnal.univpgri-palembang.ac.id/index.php/ampere/article/view/7703/5898>
- American, Forest, A., & Association, P. (t.thn.). *BEAM DESIGN FORMULAS*.
- Batan. (2012). Perancangan dan pengembangan produk. Jakarta: Penerbit Andi.
- Budiman, T. A., & Nuryanto, A. (2023). PENGEMBANGAN E-MODUL SKETCH 2D DENGAN FUSION 360 DI DEPARTEMEN PENDIDIKAN TEKNIK MESIN FT UNY. *Jurnal Pendidikan Vokasional Teknik Mesin*, 105-111.
- Callister, W. D. (2007). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (7th ed.). John Wiley & Sons.
- Chijiwa, K., & Sudria, T. (2000). Aluminium. *Teknik Pengecoran Logam*. 42.
- Coni, N. G. (2009). Study of the Mechanical Properties of the Hot Dip Galvanized Steel and Galvalume. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 319-326.

- Haohui, L., Abhishek, K., & Thomas, R. (2019). The dawn of floating. *Proceedings of Springer Singapore*, 373–383. Springer. Doi:10.1007/978-981-13-8743-2\_30.
- H. L., A. K., & T. R. (2019). The Dawn of Floating. *Springer Singapore*, 373–383.
- Kim, J., Kim, H., & Hong, S. (2001). Experiment and Analysis of Mooring System for Floating Fish Cage. *J. Korean Soc. Fish. Aquat.* 34, 661–665.
- Kim, S. H., Yoon, S. J., & Choi, W. (2017). Design and Construction of 1 MW Class Floating PV. *energies*, 5-6.
- Logan, D. L. (2007). A First Course. *Nelson, adivision of Thomson Canada Limited*. 4.
- Matti, K., de Moel, H., Ward, P. J., & Olli, V. (2011). How close do we live to water? A global analysis of flood exposure. *PLoS ONE*. 6(6), e20578. Doi:10.1371/journal.pone.0020578
- M. K., Moel, H. d., Ward, P. J., & O. V. (2011). How Close Do We Live to Water? A Global Analysis of . *PLoS ONE*. 6.
- Mulyadi, S. (2011). ANALISA TEGANGAN-REGANGAN PRODUK TONGKAT LANSIA DENGAN. *Jurnal ROTOR*. 51.
- NUSANTORO, B. A. (2017). PERENCANAAN DERMAGA UNTUK KAPAL. *JURUSAN TEKNIK SIPIL*. 48.
- Raniero, C., & Clot, M. R. (2021). The booming of floating PV. *Solar Energy*, 219, 3–10. Doi:10.1016/j.solener.2021.02.021
- R. C., & Clot, M. R. (2021). The booming of floating PV. *Solar Energy*. Solar Energy, 3-10
- Rijksoverheid. (2023). *Offshore wind energy*.
- Rijksoverheid. (2023). *Rijksoverheid stimuleert gebruik aardwarmte*.
- RINA (Registro Italiano Navale). (2009). Safety factors (C3.8.4.2). Dalam *Rules for the Classification of High-Speed Craft*, 97. Genoa: RINA Services S.p.A.
- Section modulus formulas: Engineering section property reference*. (n.d). Diambil kembali dari PDF-P.com: <https://www.scribd.com/document/608714496/SECTION-MODULUS>.
- Vidosic, J. P. (1957). Marine engineering practice. *Cornell Maritime Press*.
- SERIS, E. W. (2019). Singapore: World Bank.
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2001). Product design and development (2nd ed.). McGraw-Hill.
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2016). Product design and development (6th ed.). McGraw-Hill Education.
- Wang, Y., & Chen, S. (2015). "Comparison of the Mechanical Properties of 6061 and 7075 Aluminum Alloys." *Journal of Materials Engineering and Performance*.
- Yousuf, H., Khokhar, M. Q., & Zahid, M. A. (2020). *A Review on Floating Photovoltaic Technology (FPVT). Current Photovoltaic Research*. <https://www.researchgate.net/publication/>
- Yusuf, M., Romahadi, D., & Fitri, M. (2023). ANALISIS DISTRIBUSI TEMPERATUR PADA SPESIMEN UNTUK ALAT ULTRA VIOLET (UV) WEATHERING CHAMBER MENGGUNAKAN APLIKASI ANSYS. *Jurnal Teknik Mesin*, 91-95.
- Yuwono, B. D., Nugroho, Y. A., Prakoso, D. S., & Sari, D. P. (2021). Analisis potensi energi surya di Indonesia untuk mendukung energi berkelanjutan. *Jurnal Energi dan Lingkungan*, 17(2), 45–52. Doi:10.5614/jel.2021.17.2.6
- Zimmermann. (2023). *ZIM Float – Floating PV System*. Diambil kembali dari PV-Floating.