Analisis Kekuatan Pondasi Mesin Kapal SPOB Menggunakan *Finite Element Method*

Dandion Angga Saputra[1], Erifive Pranatal[2], Bambang Setyono[3]
Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1], Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[2], Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[3]
e-mail: dandionangga3535@gmail.com[1], erifive@itats.ac.id[2], bambang@itats.ac.id[3]

ABSTRACT

Self-Propelled Oil Barge is a type of vessel with a flat-bottomed hull (barge) that has its own tanks and engine, eliminating the need for a tugboat. The Self-Propelled Oil Barge is generally equipped with a high-power main engine to support the acceleration of transporting large volumes of liquid cargo, ensuring the vessel reaches its service speed and navigational schedule as targeted. The engine must be supported by a strong engine foundation/engine bed to ensure smooth and safe operation. Based on these considerations, this study aims to evaluate the strength of the engine foundation through stress, deformation, and safety factor analysis using finite element method-based software. In this analysis, the applied load consists of the engine weight combined with torque during operation at service speed and full speed. The load acting on the engine foundation is 20,580 N, with a torque moment of 1,910,000 Nmm at service speed and 2,237,000 Nmm at full speed. At service speed, the results show a stress value of 0.93394 MPa, deformation of 0.0053415 mm, and a safety factor of 246. At full speed, the stress value is 0.96638 MPa, deformation is 0.0056111 mm, and the safety factor is 238. These values are still within the permissible criteria according to BKI (Bureau of Classification Indonesia) rules.
Keywords: *Deformation, Engine foundation, Finite Element Method, Safety Factor, Stress.*

ABSTRAK

Self-Propelled Oil Barge merupakan kapal berlambung datar yang memiliki tangki serta mesin mandiri, memungkinkan kapal ini beroperasi tanpa harus ditarik oleh *tug boat.* Kapal *Self-Propelled Oil Barge* rata - rata memiliki *main engine* berdaya besar untuk menunjang akselarasi kapal mengangkut beban muatan cair dengan jumlah banyak agar dapat mencapai kecepatan dinas dan ketepatan waktu berlayar sesuai yang ditargetkan. Mesin harus ditopang dengan pondasi mesin / *engine bed* yang kuat sehingga dapat menunjang kelancaran dan keamanan kapal ketika kapal beroperasi. Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan pondasi mesin melalui analisis tegangan, deformasi, dan *safety factor* menggunakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga. Pada analisis ini pembebanan menggunakan beban mesin ditambah torsi pada saat mesin beroperasi dengan kecepatan dinas dan pada saat kecepatan penuh. Beban yang bekerja pada pondasi mesin sebesar 20580 N dengan momen torsi pada kecepatan dinas sebesar 1910000 Nmm dan kecepatan penuh sebesar 2237000 Nmm. Pada kondisi kecepatan dinas didapatkan nilai tegangan sebesar 0,93394 Mpa, deformasi sebesar 0,0053415 mm dan nilai *safety factor* sebesar 246. Pada kondisi kecepatan penuh didapatkan nilai tegangan sebesar 0,96638 Mpa, deformasi sebesar 0,0056111mm, dan nilai *safety factor* sebesar 238. Hal ini masih dalam kriteria yang diijinkan oleh standar rules BKI.

Kata kunci: Deformasi, *Finite Elemet Method*, Pondasi mesin, *Safety Factor*, Tegangan.

PENDAHULUAN

Minyak dan gas bumi adalah salah satu sumber daya alam terbesar di Indonesia. Hingga saat ini, berbagai kilang telah dibangun di seluruh nusantara untuk memproduksi minyak bumi. Dalam eksploitasinya dibutuhakan moda transportasi yang efisien dan fleksibel salah satunya kapal. Jika dibandingkan dengan kapal pengangkut cairan (minyak), seperti tanker dan tongkang, kapal *Self Propelled Oil Barge* (SPOB) adalah yang paling efisien dari berbagai jenis kapal lainnya. Kapal tanker secara teknis memiliki biaya operasinal yang lebih besar sedangkan kapal tongkang yang ditarik menggunakan kapal tunda memiliki resiko dapat terbalik apabila berlayar dalam keadaan gelombang tinggi akibat dari merenggangnya tali yang menghubungkan antara kapal tunda dan kapal tongkang tersebut (Nandika Bagus Prayoga & Wasis Dwi Aryawan, 2016). *Self Propelled Oil Barge* (SPOB) adalah jenis kapal dengan lambung datar *(barge)* serta memiliki tangki dan mesin sehingga tidak perlu ditarik dengan *tug boat* (Pardomuan Sitorus & Budiarto, 2020). Kapal *Self Propelled Oil Barge* (SPOB) rata - rata dibekali dengan *main engine* berdaya besar untuk menunjang akselarasi kapal mengangkut beban muatan cair dengan jumlah banyak dan diharapkan mampu

mencapai kecepatan dinas dan ketepatan waktu berlayar sesuai yang ditargetkan. Dalam pengoperasiannya mesin harus ditopang dengan pondasi mesin / *engine bed* yang kuat sehingga dapat menunjang kelancaran dan keamanan kapal ketika kapal beroperasi. Pondasi mesin induk membantu mesin utama tetap tegak dan stabil pada posisinya. Selain itu juga membantu mesin menjadi satu kesatuan dengan kapalnya sendiri (Adityo Nugroho et al., 2015). Pondasi harus dirancang untuk dapat menyebarkan beban-beban dari mesin induk secara merata pada struktur lambung kapal, sehingga pondsi mesin induk secara efektif harus dapat menjamin keamanan dari struktur lambung kapal (Lovelylo et al., 2020). Pada salah satu galangan di Madura terdapat sebuah *project repair* kapal *Self Propelled Oil Barge* (SPOB) dimana pada kapal tersebut dilakukan pergantian *main engine* dengan daya yang lebih besar. Hal ini berdampak pada pondasi mesin dimana perlu adanya penyesuaian dari bentuk pondasi mesin lama menjadi pondasi mesin baru mengikuti dimensi mesin baru yang akan dipasang. Pondasi mesin menjadi titik perhatian penuh karena biaya perbaikan yang mahal dan dapat menimbulkan kerugian besar ketika konstruksi tersebut mengalami kerusakan. Diharapkan konstruksi pondasi mesin dapat bertahan sepanjang kapal tersebut beroperasi. Dari permasalahan tersebut, pada penelitian ini akan melakukan analisis kekuatan pondasi mesin menggunakan pendekatan metode komputasi FEM *(Finite Element Method)* atau biasa kita kenal dengan metode elemen hingga. Metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis dari suatu gejala phisis (Susatio 2004). Perhitungan pembebanan diasumsikan dengan beban mesin induk saat diam dan beroperasi. Hasil dari analisis berupa nilai tegangan izin, nilai deformasi, dan *nilai safety factor.*

TINJAUAN PUSTAKA

Pondasi Mesin

Pondasi mesin berfungsi untuk menopang dan mengamankan mesin utama di lambung kapal. Pondasi harus memiliki kapasitas untuk menyalurkan beban dorongan kapal *(thrust load)* dari *shaft propeller* dan mampu menahan bebannya dalam kondisi ekstrem seperti inklinasi dengan sudut besar, *roll, pitch,* dan *heave.* (I Made Wira Karisma, Imam Pujo Mulyatno, 2019). Fungsi pondasi adalah menyalurkan beban dari struktur atas ke struktur bawah, dalam hal ini adalah konstruksi dasar ganda.

Tegangan

Tegangan merupakan gaya yang bekerja pada suatu area kecil tak berhingga dari sebuah potongan, yang memiliki berbagai besaran dan arah (Callister, 2007). Konsep dasar tegangan dan regangan dapat digambarkan dengan menganalisis sebuah batang prismatik yang mengalami pembebanan gaya aksial (*axial forces*) *P* pada kedua ujungnya. Batang prismatik sendiri merupakan batang lurus dengan penampang seragam sepanjang seluruh panjangnya (Gere, 1996)

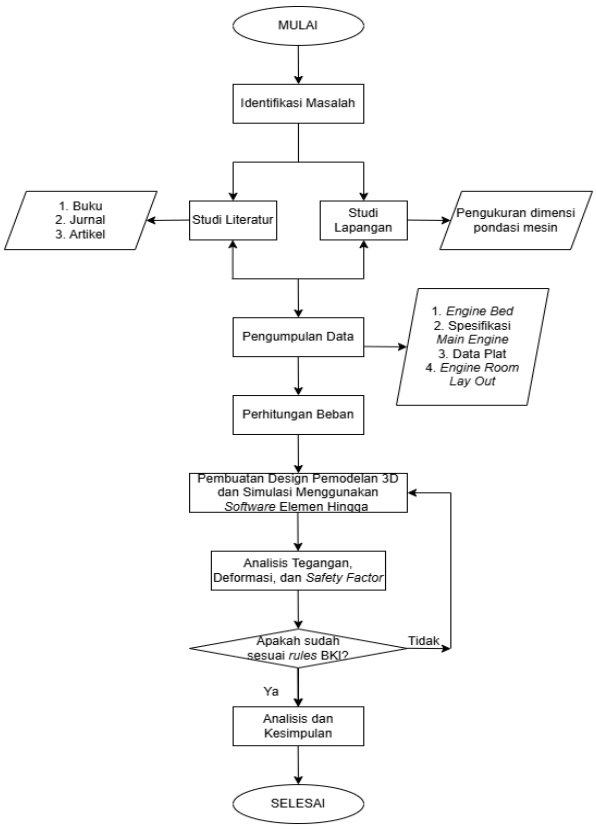
Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga (MEH) adalah teknik numerik yang digunakan untuk menyelesaikan berbagai masalah dalam bidang rekayasa dan ilmu fisika lainnya. Metode ini dapat diterapkan untuk analisis medan elektromagnetik, tegangan, struktur, perpindahan panas, dan massa dalam rekayasa. Metode analitis yang bergantung pada persamaan diferensial parsial sering kali tidak dapat menyelesaikan masalah yang melibatkan bentuk geometri kompleks, kondisi pembebanan, dan sifat mekanik material. Oleh karena itu, metode numerik seperti MEH menjadi solusi yang umum untuk menangani masalah ini. MEH menghasilkan nilai pendekatan pada sejumlah titik atau node dalam kontinum bodi. Proses pemodelannya membagi bodi menjadi unit lebih kecil yang disebut elemen, yang saling terhubung di titik simpul atau node. Pembagian bodi menjadi unit lebih kecil ini juga biasa disebut dengan proses diskritisasi (Choiron, 2014)

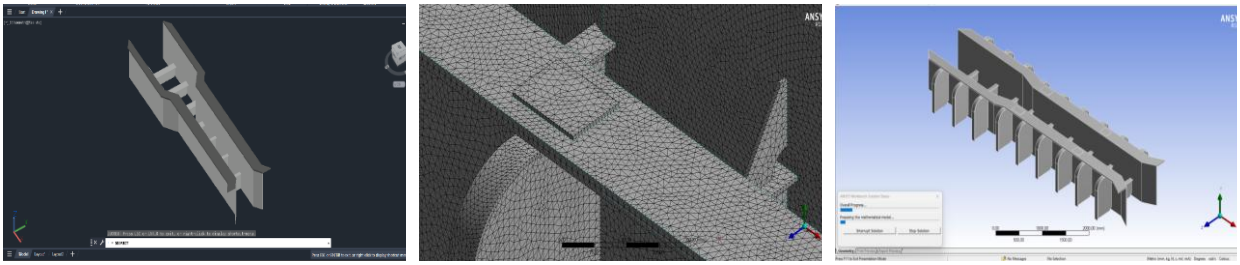
METODE

Tahap awal penelitian diawali dengan mengidentifikasi masalah untuk menentukan suatu topik permasalahan dan mengidentifikasinya. Literatur yang akan digunakan dalam penelitian ini berupa buku - buku penunjang, artikel, majalah, internet, dan sumber - sumber lainnya yang dapat dijadikan sebagai acuan dalam menganalisis kekuatan pondasi mesin. Selain itu juga dilakukan pengamatan di lapangan untuk mendapatkan informasi secara nyata terhadap objek yang akan diteliti. Setelah mengumpulkan data – data,

maka tahap selanjutnya yaitu melakukan perhitungan pembebanan lalu mendesain bentuk pondasi mesin dan melakuan analisis menggunakan aplikasi metode elemen hingga.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



(a) (b) (c)

Gambar 2. a) Desain Pondasi Mesin, b) *Meshing*, c) *Solving*.

Sumber : dokumen pribadi 2024

Pembuatan desain awal dilakukan menggunakan *software AutoCAD* 2024. Desain menggunakan pemodelan sesuai data pengukuran secara aktual yang diperoleh dari lapangan. Desain dibuat secara 3D tanpa ada penambahan rancangan konstruksi lainnya. Desain 3D lalu diinput pada aplikasi *Ansys Workbench 18.1* untuk menganalisis kekuatan pondasi tersebut. Tahap awal dilakukan dengan menginput data material di menu *engineering data*. Meshing bertujuan untuk membagi atau memecah suatu komponen menjadi elemen – elemen kecil yang disebut *element mesh.* Setelah tahap *meshing* maka menentukan posisi pembebanan dan *fixed support* / tumpuan pada menu *boundary control* dengan pembebanan sesuai perhitungan yang sudah dihitung sebelumnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Beban

Beban yang digunakan adalah beban dari mesin induk beserta penambahan torsi dari mesin induk yang bekerja. Penelitian ini menggunakan variasi kondisi mesin induk pada saat kecepatan dinas dan kecepatan penuh. Perhitungan beban dibutuhkan untuk memasukkan data pada *software* elemen hingga. Beban mesin dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$Wme = \text{m x g} \ldots (1)$$

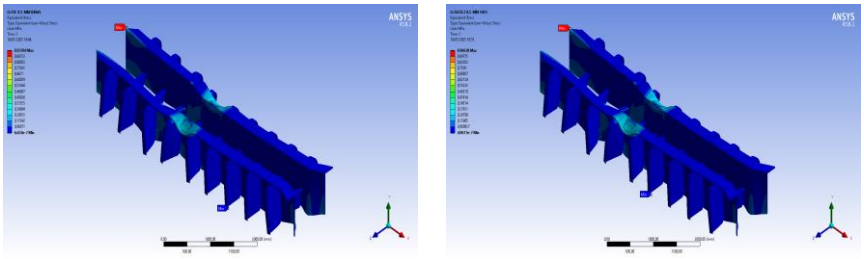
Torsi mesin pada saat kondisi kecepatan dinas maupun kecepata penuh dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$t = \frac{P(kw) \text{ x } 9{,}55}{rpm} + \cdots (2)$$

Tabel 1. Hasil perhitungan beban

Data ke-	Variabel	Hasil	
		Berat	Torsi
1	Kecepatan Dinas	20580 N	1910000 Nmm
2	Kecepatan Penuh	20580 N	2237000 Nmm

Penginputan pada *software* elemen hingga

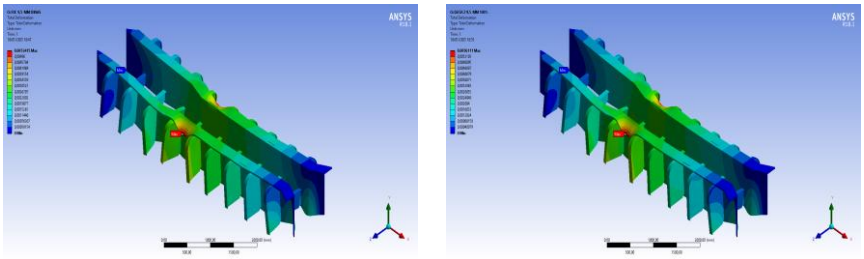


(a) (b)

Gambar 3. a) Tegangan *von-Mises* Pada Saat Kecepatan Dinas, b) Tegangan *von-Mises* Pada Saat Kecepatan Penuh.

Sumber : dokumen pribadi 2024

Berdasarkan hasil Gambar 3 diatas diketahui bahwa nilai tegangan *von-Mises* pada pondasi mesin akibat pembebanan mesin induk beserta penambahan torsi dari mesin induk yang bekerja pada saat kecepatan dinas mencapai nilai maksimal 0,93394 MPa dan nilai minimal sebesar 6,624e-7 MPa. Nilai ini masih berada di bawah tegangan izin (σijin) yang ditetapkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), yaitu sebesar 230 N/mm2. Tegangan *von Mises* pada pondasi mesin akibat pembebanan mesin induk beserta penambahan torsi dari mesin induk yang bekerja pada saat kecepatan penuh mencapai nilai maksimal 0,96638 MPa dan nilai minimal sebesar 4,9613e-7 MPa. Nilai ini masih berada di bawah tegangan izin (σijin) yang ditetapkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), yaitu sebesar 230 N/mm2.

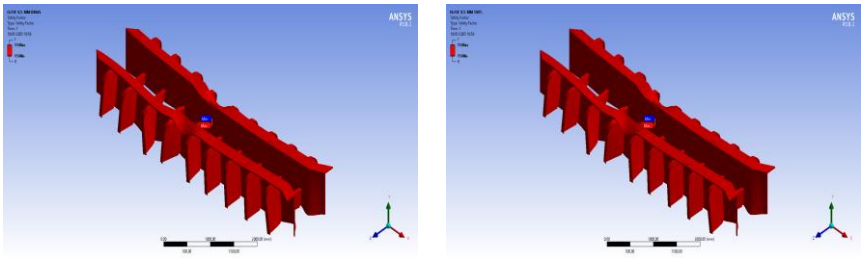


(a) (b)

Gambar 4. a) Deformasi Pada Saat Kecepatan Dinas, b) Deformasi Pada Saat Kecepatan Penuh.

Sumber : dokumen pribadi 2024

Berdasarkan hasil Gambar 4 di atas diketahui bahwa nilai deformasi pondasi mesin akibat pembebanan mesin induk beserta penambahan torsi dari mesin induk yang bekerja pada saat kecepatan dinas mencapai nilai maksimal 0,0053415 mm dan nilai minimal sebesar 0 mm. Nilai tersebut masih berada di bawah batas nilai deformasi yang ditetapkan oleh perhitungan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) yaitu sebesar 0,2926 mm. Deformasi pondasi mesin akibat pembebanan mesin induk beserta penambahan torsi dari mesin induk yang bekerja pada saat kecepatan penuh mencapai nilai maksimal 0,0056111 mm dan nilai minimal sebesar 0 mm. Nilai tersebut masih berada di bawah batas nilai deformasi yang ditetapkan oleh perhitungan Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) yaitu sebesar 0,2926 mm.



(a) (b)

Gambar 5. a) *Safety factor* Pada Saat Kecepatan Dinas, b) *Safety factor* Pada Saat Kecepatan Penuh.

Sumber : dokumen pribadi 2024

Dari perhitugan didapatkan nilai *safety factor* pada saat mesin dalam kecepatan dinas senilai 246 dan pada saat kecepatan penuh senilai 238. Hasil perhitungan nilai *safety factor* tidak boleh kurang dari 2. Hasil simulasi pada aplikasi *Ansys Workbench 18.1* mendapatkan nilai *safety factor* pada saat mesin dalam kondisi kecepatan dinas dan kecepatan penuh dapat dilihat pada Gambar 5 diatas.

Tabel 2. Nilai tegangan *von-Mises*, deformasi, *safety factor*

Data ke-	Variabel	Hasil		
		Tegangan *von-Mises*	Deformasi	*Safety Factor*
1	Kecepatan Dinas	0,93394 Mpa	0,0053415 mm	246
2	Kecepatan Penuh	0,96638 Mpa	0,0056111 mm	238

KESIMPULAN

Beban yang bekerja pada konstruksi pondasi mesin induk pada saat kapal beroperasi yaitu 20580 N, ditambah momen torsi pada saat kondisi kecepatan dinas sebesar 1910000 Nmm, dan pada saat kondisi kecepatan penuh sebesar 2237000 Nmm. Tegangan *von Mises* yang timbul akibat pembebanan pada konstruksi pondasi mesin induk dalam kondisi kecepatan dinas mencapai 0,93394 MPa. dan pada kondisi kecepatan penuh sebesar 0,96638 Mpa. Nilai deformasi pada kondisi kecepatan dinas sebesar 0,0053415 mm dan pada kondisi kecepatan penuh sebesar 0,0056111 mm. Nilai *safety factor* pada kondisi kecepatan dinas sebesar 246 dan pada kondisi kecepatan penuh sebesar 238. Tegangan pada pondasi mesin masih dalam kriteria yang diijinkan sesuai standar *rules* Biro Klasifikasi Indonesia karena nilai tegangan terbesar yaitu tidak melebihi 230 MPa dan nilai deformasi tidak melebihi 0,2926 mm.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Adityo Nugroho, B., Pujo Mulyatno, I., & Kiryanto. (2015). *Analisa Kekuatan Struktur Pondasi Mesin Dengan Interaksi Trust Block Pada Kapal Ropax 5000 GT Dengan Metode Elemen Hingga*. In Jurnal Teknik Perkapalan (Vol. 03, Issue 02).
[2] Callister, W., & Rethwisch, D. (2007). *Materials Science and Engineering (7th ed.).* New York: John Wiley & Sons, Inc.
[3] Choiron. (2014). *Metode Elemen Hingga*. Malang: Teknik Mesin Universitas Brawijaya
[4] Gere. (1996). *Mekanika Bahan Jilid 1. In 1996. Edisi Kedua Versi SI*. Jakarta: Erlangga.
[5] I Made Wira Karisma, Imam Pujo Mulyatno, G. R. (2019). Jurnal teknik perkapalan. *Teknik Perkapalan, 7(2), 152–160.*
[6] Lovelylo, R., Wirawan Husodo, A., & Novianarenti, E. (2020). *Analisa Model Getaran Main Engine Pada Pondasi Main Engine Kapal Tanker 6500 LTDW*.
[7] Pardomuan Sitorus, S., & Budiarto, U. (2020). *Perancangan Propeller dan Engine Propeller Matching Pada Kapal Self Propelled Oil Barge* (SPOB) 5000 DWT.
[8] Susatio, Y. (2004). *Dasar – Dasar Metode Elemen Hingga.* Yogyakarta: Andi.