

## **ANALISA KEKUATAN SPUD SEBAGAI SISTEM MOORING BARGE MOUNTED POWER PLANT 60 MW DENGAN METODE ELEMEN HINGGA**

**Agung Prasetyo Utomo<sup>1)</sup>, Priyambodo Nur Ardi Nugroho<sup>1)</sup>,  
dan Adimas Febryan Budiono<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup> Jurusan Teknik Bangunan Kapal  
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya  
E-mail: priyambodo@ppns.ac.id

### **Abstract**

Spud is one of many mooring system that only often used for barge ships, such as a barge mounted power plant (BMPP). PT PAL Indonesia (Persero) has the primary design and size guidelines of the spud, but there has not been any strength analysis for it. Thus, this analysis will be done through AutoCAD 3D and the analysis using the ANSYS program. The results obtained are the loading that occurs on the spud itself and the strength value of spud bracket, so that the feasibility and safety of using spud as a mooring system for BMPP can be determined. This analysis uses the finite element method which has previously been calculated regarding shear stress and equivalent on the spud pile body according to the applicable rules. Based on the calculation results using ANSYS, the equivalent stress value in the original design was 357.13 MPa, the shear stress was 87.549 MPa with a deflection value of 38.569 mm and the safety factor was 1.59. Then in the design using solid ASTM A36 it has an equivalent stress value of 129.12 MPa, a shear stress of 31.052 MPa with a deflection value of 14.4 mm and a safety factor of 3.09.

**Keywords:** *barge mounted power plant, Spud, Stress*

### **PENDAHULUAN**

Listrik merupakan salah satu kebutuhan utama masyarakat saat ini. Hal ini sangat dibutuhkan untuk mendukung pembangunan yang merata di setiap daerah. Kebutuhan listrik di Indonesia sangatlah besar dengan jumlah penduduk mencapai 250 juta jiwa yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia. Akan tetapi pemenuhan listrik di wilayah timur Indonesia masih belum merata, sehingga banyak yang belum terpenuhi kebutuhan listrik.

Pemerintah sudah melakukan elektrifikasi pada wilayah yang masih belum terjamah oleh listrik, khususnya untuk wilayah timur Indonesia. PT Indonesia Power selaku operator pembangkit listrik terbesar di Indonesia membuat *Barge Mounted Power Plant* untuk membawa listrik ke wilayah Indonesia yang masih sulit listrik. *Barge Mounted Power Plant* ini dirancang untuk menghasilkan daya 60 MW dan akan didistribusikan ke masyarakat daerah yang membutuhkan.

*Barge Mounted Power Plant* ini akan beroperasi di dekat dengan fasilitas listrik yang ada di daratan, sehingga perlu fasilitas sandar yang harus dibuat sehingga perlu dilakukan pembangunan di setiap daerah. Karena keterbatasan fasilitas yang tersedia di daerah maka perlu dilakukan inovasi berupa perubahan sistem *mooring* pada *Barge Mounted Power Plant*. Sistem sandar dari *Barge Mounted Power Plant* ini menggunakan *mooring spud* dengan menggunakan *spud pile* sebagai penguncinya.

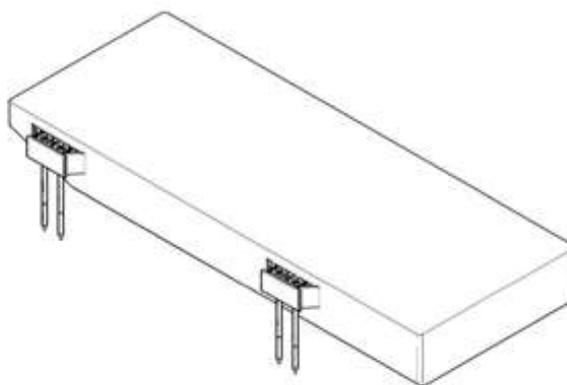
Metode *mooring* yang menggunakan *spud* mampu menjaga keseimbangan stabilitas kapal sebagai sistem sandar (Afdhal dkk, 2019). *Spud* atau *spudcan* merupakan sebutan yang dipakai untuk kerucut pangkalan yang terpasang pada *jackup* di platform yang memberikan stabilitas gaya lateral di *rig-jack* pada saat digunakan ke dasar laut yang dalam. *Spud* memerlukan tempat untuk dudukan atau disebut *spud holder*. Dudukan dari *spud* atau *spud holder* berfungsi untuk menahan *spud* pada lambung kapal *Barge Mounted Power Plant*. Agar bisa menjamin aspek kelayakan serta keselamatan, maka perlu dilakukan perancangan dari *spud*, serta analisa dan perhitungan yang meliputi respon terhadap gaya vertikal dan horizontal.

Kelebihan dari *spud* adalah mampu menjaga keseimbangan stabilitas kapal sehingga pada saat tambat kapal hanya bergerak naik-turun dan tidak miring ke kiri-kanan maupun bergeser kiri-kanan dan maju-mundur, struktur yang kuat mampu menahan beban kapal *Barge Mounted Power Plant* yang besar, dan memiliki desain yang sederhana (Susatio, 2004). Selain itu, *spud* memiliki beberapa kelebihan daripada jangkar biasa. *Spud* menggunakan *spud holder* sebagai dudukan, jadi tidak sembarang tempat seperti menurunkan jangkar, sehingga bisa menurunkan resiko merusak terumbu karang. *Spud* juga tidak ada potensi berpindah posisi layaknya jangkar karena *spud holder* bersifat tetap. *Spud* juga mampu menahan sebagian besar gerakan kapal yang dipengaruhi oleh gerakan gelombang laut (Fitria, 2018). Penelitian ini dilakukan untuk mencari tahu seberapa besar pembebanan yang dialami oleh *spud* dan mengetahui perbandingan faktor keamanan antara desain asli dengan desain solid ASTM A36.

## **METODE PENELITIAN**

Pada penelitian ini dilakukan identifikasi terhadap permasalahan guna mendapatkan rumusan dan tujuan dari permasalahan dapat terarah. Pada kali ini ditentukan

permasalahan Analisa Kekuatan *Spud* sebagai Sistem *Mooring* dari Kapal *Barge Mounted Power Plant*. Selanjutnya yaitu studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan referensi dari berbagai sumber seperti perpustakaan, jurnal, buku, internet dan lainnya. Studi literatur dilakukan untuk memperoleh dasar teori yang akan digunakan untuk mengembangkan penelitian. Lalu dilakukan pengumpulan data yang bertujuan untuk mengumpulkan pengumpulan data-data pendukung yang dibutuhkan, di antaranya data utama kapal dan general arrangement yang didapat dari PT. PAL Indonesia (Persero).

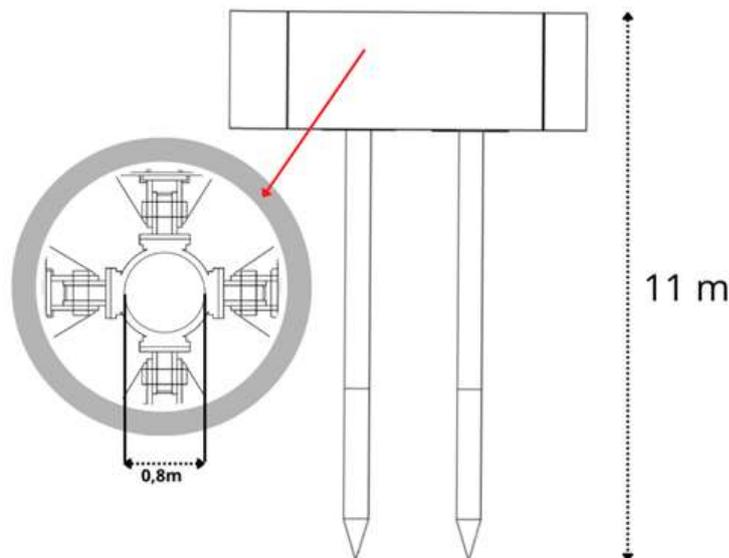


Gambar 1. 3D Model kapal BMPP

Permodelan 3D *Spud* dilakukan menggunakan software *AutoCAD* berdasarkan data – data ukuran utama *Spud* yang telah didapatkan lalu dianalisis kekuatannya menggunakan bantuan software *ANSYS*. Analisis ini diawali dengan input model *Spud* yang sebelumnya telah dibuat di *AutoCAD* ke *ANSYS Workbench*. Desain model mengacu pada 3D model kapal BMPP seperti tampak pada Gambar 1. Setelah itu dilakukan perhitungan kekuatan dan tegangan yang terjadi pada *Spud* dengan berbagai pembebanan (Putra, 2015). *Output* dari simulasi menggunakan software *Finite Element Method* (FEM) antara lain distribusi beban baik dari kapal BMPP sendiri maupun lingkungan sekitar, kekuatan, tegangan, lendutan, dan *Factor of Safety* (Cook 1990) Semua *output* tersebut lalu kembali dianalisis menggunakan perhitungan yang sesuai atau valid pada proses selanjutnya. Akan tetapi sebelum itu, *output* tersebut di atas akan dicek validitasnya dengan melakukan perbandingan antara hasil analisa tegangan dan lendutan dengan hasil simulasi pada perhitungan manual.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

*Spud pile* terpasang pada *spud bracket* dengan dimensi 11 meter untuk panjang dan 800 milimeter untuk diameter. Bentuk pemodelannya dapat dilihat pada gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. Desain Alternatif *Spud Pile*

Karakteristik material perlu dimasukkan untuk proses analisis menggunakan metode elemen hingga (Popov, 1978). Material yang digunakan pada struktur *spud pile* ini adalah ASTM A36 sebagai selongsong atau pipanya, sedangkan untuk material pengisi pipa bajanya menggunakan *concrete*. Data Material Baja ASTM A36 dan material Beton Bertulang dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2 berikut ini (Riswanto, 2013).

Tabel 1

Data Material Baja ASTM A36 (AZO Materials, 2012)

Properties	Jumlah
Density	8.65314e-9 ton/mm <sup>3</sup>
Young's Modulus	200000 Mpa
Tensile Yield Strength	250 Mpa
Ultimate Yield Strength	400 Mpa

Tabel 2

Data Material Beton Bertulang (Amalialaisa, 2018)

Properties	Jumlah
Density	2.6455e-9 ton/mm <sup>3</sup>
Young's Modulus	41000 Mpa
Tensile Yield Strength	5 Mpa
Ultimate Yield Strength	41 Mpa

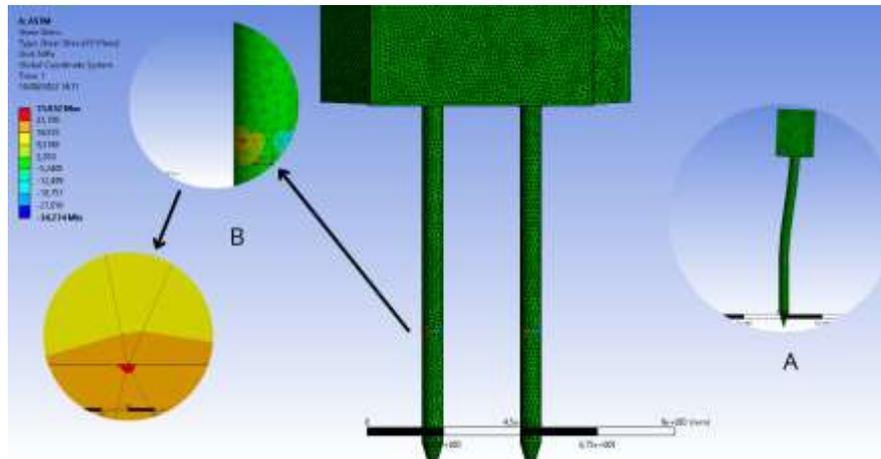
Jika data material sudah diketahui, maka langkah selanjutnya adalah memasukkan data-data material tersebut ke dalam *Engineering Data* pada ANSYS. *Engineering Data* pada ANSYS berfungsi untuk mendefinisikan karakteristik material yang digunakan pada saat simulasi mulai dari densitas atau massa jenis hingga *Ultimate Yield Strength*. Beda material tentu memiliki beda *engineering data* pula, yang berpengaruh pada hasil simulasi. Pada ANSYS, *engineering data* diinput melalui tab *engineering data* pada tiap jenis simulasi yang akan dilakukan (Rosyadi, 2021).

Pada proses konvergensi, setiap ukuran *meshing* dibandingkan satu persatu, apabila perbedaan nilai dari setiap tegangan semakin kecil dan perbandingannya  $< 2\%$ , maka ukuran elemen tersebut bisa dikatakan akurat. Pada tahapan ini, dihitung tegangan *Von-mises* pada *body spud pile* dan didapatkan ukuran *meshing* ideal sebesar 130 mm yang memiliki jumlah elemen 397.186. Data percobaan konvergensi dapat dilihat pada tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3  
Tabel Konvergensi

No	Size Meshing (mm)	Tegangan <i>Von-Mises</i> (MPa)	Jumlah Elemen	Jumlah Nodes
1	100	273,50	566655	994235
2	110	239,52	509966	924286
3	120	148,22	427891	788408
4	130	129,12	397186	742836
5	140	126,47	369909	701422
6	150	118,48	339369	651497

Setelah diketahui ukuran *meshing* yang ideal, proses selanjutnya adalah membandingkan hasil perhitungan berdasarkan metode elemen hingga dengan menggunakan perhitungan tegangan *Von-mises* pada *spud pile* secara manual berdasarkan *BV Class (2013)*. Pada proses ini, hasil nilai tegangan *Von-Mises* dibandingkan antara perhitungan manual berdasarkan *Bureau Veritas Classification* dengan perhitungan berdasarkan metode elemen hingga dari ukuran *meshing* terpilih. Setelah diketahui nilai tegangan dari *spud pile*, dapat diketahui bahwa tegangan dari *spud pile* kapal BMPP memenuhi syarat karena di bawah batas maksimal. Hal ini disebabkan oleh nilai hasil analisa menggunakan FEM lebih kecil daripada nilai hasil perhitungan manual.



Gambar 3. *Shear Stress* pada *Spud Pile* ASTM A36

Proses selanjutnya adalah membandingkan hasil perhitungan berdasarkan metode elemen hingga dengan menggunakan perhitungan tegangan shear stress pada spud pile secara manual berdasarkan AISC (2005) seperti tampak pada tabel 4 dan 5 berikut ini.

Tabel 4

Tabel Result *Shear Stress*

Material	Simulation Result (MPa)	Parameter (MPa)	Keterangan
ASTM A36	31,052	150	Memenuhi

Tabel 5

Tabel Result *Shear Stress*

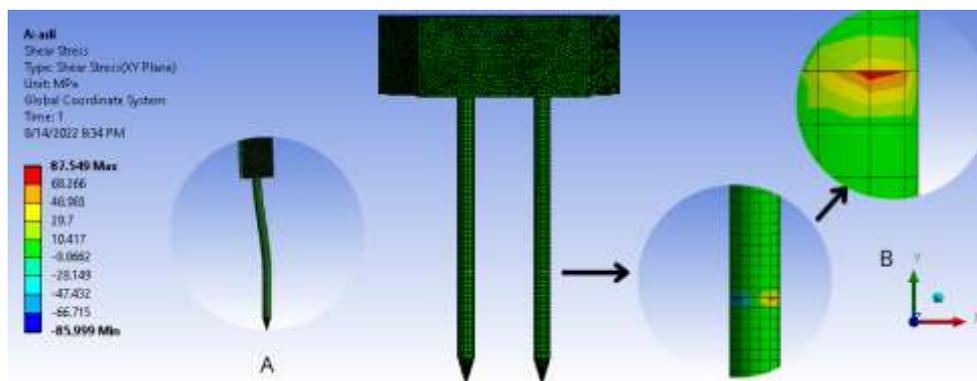
Material	Simulation Result (MPa)	Parameter (MPa)	Keterangan
ASTM A36 + Concrete	87,549	194,472	Memenuhi

Pada proses selanjutnya, hasil nilai *factor of safety* dibandingkan antara perhitungan manual dengan perhitungan berdasarkan metode elemen hingga seperti ditunjukkan pada tabel 6 berikut ini. Apabila nilai dari FoS kurang dari 2, maka bisa disimpulkan produk atau komponen tersebut kurang aman untuk digunakan (Maratua, dkk., 2020)

Tabel 6  
Tabel Result *Safety Factor*

Material	Result	Parameter	Keterangan
ASTM A36	3,09	2	Memenuhi
ASTM A36 + concrete	1,59	2	Tidak memenuhi

Dapat dilihat bahwa pada desain asli yang berbentuk pipa setebal 16 mm terbuat dari ASTM A36 dan diisi beton mengalami tegangan geser atau *shear stress* sebesar 87,549 Mpa, sedangkan saat untuk desain alternatif *spud pile solid* ASTM A36 mengalami tegangan geser atau *shear stress* sebesar 31,052 Mpa seperti tampak pada gambar 3 dan gambar 4.



Gambar 4. *Shear Stress* pada *Spud Pile* ASTM A36

Desain asli berupa pipa yang diisi dengan beton, didapatkan nilai 1,59 untuk faktor keamanan dan untuk desain alternatif solid ASTM A36 didapatkan nilai sebesar 3,09 untuk faktor keamanan. Dari kedua nilai tersebut dapat kita tentukan bahwa untuk desain asli kekuatannya tidak memenuhi parameter keamanan, sedangkan untuk desain alternatif solid ASTM A36 kekuatannya memenuhi parameter keamanan.

## SIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Nilai gaya gelombang laut sebesar 568,11 N, gaya arus laut sebesar 697,49 N, dan beban inersia dari kapal sebesar 31488,5 N.
2. Model asli pipa ASTM A36 diisi dengan beton, diperoleh tegangan equivalent atau Von-Mises stress sebesar 357,13 MPa, dan untuk desain alternatif solid ASTM A36 diperoleh tegangan equivalent atau Von-Mises stress sebesar 129,12

MPa, lalu tegangan geser atau shear stress, diperoleh nilai sebesar 87,549 MPa untuk model asli pipa ASTM A36 diisi dengan beton dan 31,052 Mpa untuk desain alternatif solid ASTM A36, defleksi yang terjadi sebesar 38,569 mm untuk model asli pipa ASTM A36 diisi dengan beton dan 14,4 mm untuk desain alternatif solid ASTM A36, dan diperoleh nilai safety factor sebesar 1,59 untuk model asli pipa ASTM A36 diisi dengan beton dan 3,09 untuk desain alternatif solid ASTM A36 sehingga bisa ditentukan desain yang memenuhi faktor keamanan yaitu desain alternatif solid ASTM A36 (Purwantana, 2005).

## DAFTAR PUSTAKA

- Afdhal, M. I., Untung B., & Imam P. M. (2019). Optimasi Disain Spread Mooring Dengan Konfigurasi Variasi Line Terhadap Six Degrees Of Freedom (DOF) Olah Gerak Pada Kapal Floating Storage And Offloading (FSO), *Jurnal Teknik Perkapalan* 7(1): 81–92
- Amaliaisa, (2018). Beton. [Online] Available at: Apa yang dimaksud dengan Beton ? - *Civil Engineering and Planning / Sipil dan Pengairan - Dictio Community*
- American National Standart Institute, (2005). AISC. s.l.:s.n.
- AZO Materials, (2012). ASTM A36 Mild/Low Carbon Steel. [Online] Available at: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6117>
- BV: Rules for the Classification of Offshore Units – (2013). Section 3: Structure Strength Requirements.
- Cook, R. D., (1990). *Concepts And Applications Of Finite Element Analysis*. 2 ed. Madison: PT. Eresco
- Fitria, F. A., (2018). Studi Pengaruh Penambahan Clump Buoy Pada System Mooring Platform PLTAL Laut Dalam. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Maratua, N, Hendra S, & Lalu G J P. (2020). Perancangan Spud Pada Dredger Barge 25 Meter. *Jurnal Teknologi dan Riset Terapan* 2(2): 70–79.
- Popov, E., (1978). *Mechanics of Material*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Purwantana, B., (2005). Modul Ajar UGM. Kekuatan Bahan.
- Putra, R. P., (2015). Undergraduate Thesis of PPNS. Analisis Kekuatan Struktur dan Estimasi Fatigue Life Pada Konstruksi Container Crane Tipe RTG Berkapasitas SWL 35 Ton
- Riswanto, A. P., M. H. Zulfar. (2013). Evaluasi Beton Bertulang terhadap Perlakuan Panas (Tinjauan pada Tegangan Tarik dan Modulus Elastis Tulangan Baja Lateral)
- Rosyadi, F. A. (2021). Analisa Kekuatan Deck Kapal Pembangkit Listrik Kapasitas 60 MW. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Susatio, Y., (2004). *Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga*. Yogyakarta: Andi.