

ANALISA KEKUATAN PONDASI Z – PELLER KARENA ADANYA PERUBAHAN KONSTRUKSI PADA KAPAL TUG BOAT ANOMAN V DENGAN METODE ELEMEN HINGGA

Ir. S. Jatmiko ¹⁾Tunjung Widyatmo Handoyo, ST ²⁾

¹⁾ Staf Pengajar S1 Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro

²⁾ Alumni S1 Teknik Perkapalan, Universitas Diponegoro

Abstrak

Kapal Tug Boat Anoman V adalah kapal tandu milik PT. Pelabuhan Indonesia III yang beroperasi di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Kapal tersebut mempunyai mesin induk sebesar 2 x 1000 HP untuk menunjang operasionalnya yang di dukung oleh sistem propulsi Z – peller sebagai penggerakannya. Untuk menopang Z – peller tersebut di gunakan pondasi yang disusun oleh beberapa pelat lingkaran dari material KI-A 36.

Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan analisa local stress yang terjadi pada pondasi Z - peller kapal Tug boat Anoman V dengan bantuan program numerik finite element method (FEM). Analisa yang digunakan adalah analisa beban statis yang berasal dari berat permesinan Z – peller dan beban dari hambatan propulsi kapal. Analisa tersebut bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan letak tegangan terbesar dari struktur konstruksi pondasi Z - peller berdasarkan dua variasi kondisi keadaan kapal yaitu pada saat sandar dan pada kecepatan maksimum. Analisa tersebut menggunakan metode elemen hingga dengan menggunakan matrik tetrahedral untuk membagi – bagi menjadi elemen yang kecil. Hasil analisa menggunakan program numerik FEM didapatkan hasil maksimum stress pada sistem konstruksi pondasi Z - peller sebesar $(\sigma) = 22,7 \text{ N/mm}^2$ dan deformasi sebesar 0,00763 mm. Perhitungan faktor keamanan didapat nilai sebesar 17,2 pada lokasi node 3459 pada saat kondisi kecepatan maksimum. Kondisi ini aman karena nilai faktor keamanan lebih dari 1 berdasarkan ketentuan dari BKI. Hasil dari perhitungan analisa tegangan maksimum tersebut dilakukan validasi model, software, dan analitik untuk mengetahui tingkat ralat nisbi dari analisa kekuatan pondasi Z – peller.

Kata Kunci : Z-Peller, Tug Boat, Metode Elemen Hingga

1. Pendahuluan

Kapal *Tug boat* Anoman V adalah kapal tandu milik PT. Pelabuhan Indonesia III yang beroperasi di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. Dalam operasional sehari – hari, kapal tersebut digunakan untuk menarik kapal – kapal yang akan memasuki area pelabuhan Tanjung Perak. Untuk menunjang kegiatan operasional sehari – hari maka dibutuhkan kapal yang mempunyai daya manouver yang baik. Untuk mendukung manouver kapal, *tug boat* Anoman V mempunyai mesin induk sebesar 2 x 1000 Hp dan sistem Z – peller sebagai penggerak kapal. Dalam pemasangan Z – peller dibutuhkan suatu pondasi yang menopang dari berat mesin maupun dari gaya dorong kapal tersebut, sehingga hal ini mengharuskan kondisi pondasi harus selalu dalam kondisi aman terutama dalam hal konstruksinya sebab dalam perencanaan sebuah konstruksi kapal, pada dasarnya adalah merencanakan konstruksi yang mempunyai

tingkat tegangan pada batas yang diijinkan dan bisa diterima oleh konstruksi tersebut. Ada banyak beban yang bekerja pada seluruh konstruksi kapal diantaranya beban dinamis dan statis, dalam pengoperasiannya akan timbul masalah seperti deformasi, keretakan dan lain – lain. Pada kapal *tug boat* Anoman V mengalami penggantian Z – peller dikarenakan tenggelamnya kapal tersebut di perairan jepara sehingga dilakukan pula perubahan pondasi Z – peller tersebut dikarenakan ukuran Z- peller baru yang lebih kecil.

Dengan adanya perubahan pada konstruksi pondasi Z – peller maka ada kemungkinan kegagalan pada konstruksi tersebut akibat kurang mampu menahan beban dari berat mesin maupun daya dorong Z – peller tersebut. Berdasarkan kenyataan tersebut mengingat peran masing – masing struktur pada sebuah kapal sangat vital, penulis akan

menganalisa *local stress* yang terjadi pada daerah pondasi *Z - peller* kapal tug boat Anoman V. Penulis berharap dari penelitian ini yang terjadi.

2. Dasar Teori

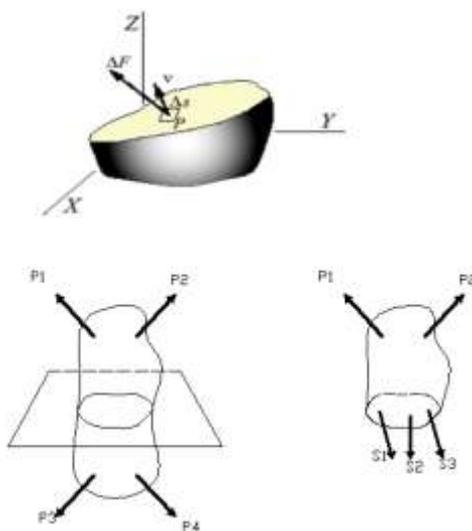
2.1 Definisi Sistem Propulsi Z - Peller

Sistem propulsi kapal adalah suatu sistem yang di gunakan untuk menggerakkan kapal dimana terdapat dua komponen utama yang menunjang gerak tersebut yaitu main engine dan baling – baling.

Z - Peller termasuk jenis sistem propulsi *cycloidal propeller* karena mempunyai poros vertikal pada sistem penggeraknya. Pada daun baling – baling *Z - Peller* diselubungi *nozzle* yang berfungsi untuk memfokuskan aliran air di atas *main engine*. Dalam pemasangan *Z - Peller* dibutuhkan lubang pada bagian dek dan bagian

2.2 Tegangan

Pada umumnya tegangan adalah gaya dalam yang bekerja pada luasan yang kecil tak berhingga pada sebuah potongan dan terdiri dari bermacam – macam besaran dan arah.



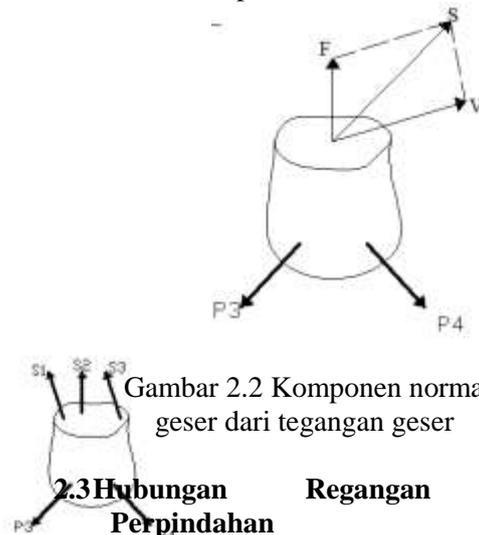
Gambar 2.1 Pengirisan sebuah benda

Pada umumnya, intensitas gaya yang bekerja pada luasan kecil tak berhingga pada suatu potongan berubah – ubah dari suatu titik ke titik yang lain, umumnya

agar para desainer kapal dapat merencanakan konstruksi pondasi *Z - peller* dengan lebih baik sehingga dapat menopang beban dan gaya

serta melindungi baling – baling dari benda asing. Pada sistem ini tidak dibutuhkan daun kemudi untuk melakukan manouver kapal karena sistem ini mempunyai kemampuan sendiri untuk berputar sendiri sampai sudut 360°. Selain kemampuan dalam bermanouver, *Z - Peller* mempunyai keunikan tersendiri yaitu mempunyai susunan poros yang saling berhubungan menyerupai huruf *Z* sehingga instalasi sistem propulsi ini sering disebut dengan nama *Z - Peller*. Hal tersebut dirancang karena letak permesinan hidrolis dari *Z - Peller* berada bawah kapal untuk memasukkan maupun mengeluarkan *Z - Peller* guna pemasangan dan reparasi.

intensitas gaya ini berarah miring pada bidang potongan. Penguraian intensitas ini pada luas kecil tak berhingga diperlihatkan pada gambar 2.2 Intensitas gaya yang tegak lurus atau normal terhadap irisan disebut tegangan normal (normal stress) pada sebuah titik



Gambar 2.2 Komponen normal dan geser dari tegangan geser

2.3 Hubungan Regangan dan Perpindahan

Hubungan regangan-perpindahan dapat dinyatakan sebagai berikut pada persamaan 1 dibawah ini :

$$\epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \quad \epsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}$$

Perpindahan u dan v dinyatakan sebagai persamaan 2 dibawah ini :

$$u = -z \frac{\partial w}{\partial x} \quad v = -z \frac{\partial w}{\partial y}$$

Dengan memasukkan persamaan 1 ke persamaan 2 akan didapat persamaan:

$$\epsilon_x = -z \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \quad \epsilon_y = -z \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \quad \gamma_{xy} = -2z \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}$$

2.4 Hubungan Tegangan Regangan

Hubungan tegangan-regangan pada suatu bahan homogen isotropik, elastis didasarkan pada hukum Hooke untuk tegangan tiga dimensi. Secara umum hubungan tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\epsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] \quad \epsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)] \quad \epsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)]$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G} \quad \gamma_{yz} = \frac{\tau_{yz}}{G} \quad \gamma_{zx} = \frac{\tau_{zx}}{G} \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

2.5 Sifat – sifat Material

Suatu material yang kaku tentunya memiliki fleksibilitas meskipun material tersebut terbuat dari baja. Material baja meskipun dibebani dengan beban yang besar tentunya akan memiliki nilai elastisitas walaupun kecil sehingga dapat merubah bentuknya secara perlahan. Kekakuan suatu material sangat penting dalam perancangan suatu komponen konstruksi, sebab kekakuan tersebut nantinya akan menimbulkan masalah akibat pembebanan yang besar. Untuk mengatasi hal tersebut tiap material suatu komponen konstruksi memiliki nilai Modulus Young yang besarnya berbeda untuk tiap – tiap materialnya.

1. Ketangguhan (*Toughness*)

Ketangguhan adalah kemampuan atau kapasitas bahan untuk menyerap energy sampai patah atau penahanan suatu material terhadap pecah menjadi dua, dengan suatu retakan melintang ini disebut ‘retak’ serta menyerap energi. Jumlah energy yang diserap selama retak tergantung pada ukuran komponen yang pecah menjadi dua. Jumlah energi yang diserap setiap satuan luas dari retakan adalah tetap untuk material yang ditentukan dan ini disebut ketangguhan juga.

2. Pemanjangan (*Elongation*)

Pemanjangan sampai kegagalan (*failure*) adalah suatu ukuran keliatan suatu material, dengan kata lain adalah jumlah regangan yang dapat dialami oleh bahan sebelum terjadi kegagalan dalam pengujian tarik.

3. Kepadatan (*Density*)

Kepadatan (*Density*) adalah suatu ukuran berapa berat suatu benda untuk ukuran yang ditentukan, yaitu massa material setiap satuan volume. Perubahan temperatur tidak secara mantap (signifikan) mempengaruhi kepadatan suatu material walaupun material bertambah luas ketika dipanaskan, perubahan ukuran adalah sangat kecil.

4. Kelentingan (*Resilience*)

Kelentingan adalah kemampuan material menyerap energi saat material mengalami deformasi elastic.

5. Keliatan (*Ductility*)

Keliatan adalah ukuran derajat deformasi plastis yang telah dialami saat patah. Material yang mengalami deformasi plastis yang tinggi disebut material yang liat (*ductile*). Sedangkan material yang mengalami sedikit atau tidak mengalami deformasi plastis disebut material getas (*brittle*).

2.6 Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Faktor keamanan adalah faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan teknik menerima beban dari luar, yaitu beban tekan maupun tarik. Gaya yang diperlukan agar terjadi tingkat

optimal bahan di dalam menahan beban dari luar sampai akhirnya menjadi pecah disebut dengan beban *ultimat* (*ultimate load*). Dengan membagi beban ultimate ini dengan luas penampang, kita akan memperoleh kekuatan ultimate (*ultimate strength*) atau tegangan ultimate (*ultimate stress*) dari suatu bahan. Tabel dibawah ini memberikan kekuatan – kekuatan *ultimate* dan sifat – sifat fisis yang lain dari beberapa bahan. Untuk disain bagian – bagian struktur tingkat tegangan disebut tegangan ijin (*allowable stress*) dibuat benar – benar lebih rendah daripada kekuatan *ultimate* yang diperoleh dari pengujian “statis”. Hal ini penting untuk berbagai pertimbangan. Besar gaya yang dapat bekerja pada bangunan yang dirancang jarang diketahui secara pasti.

Karena tegangan dikalikan luas sama dengan gaya, maka tegangan ijin dari *ultimate* dapat diubah dalam bentuk gaya atau beban yang diijinkan dan *ultimate* yang dapat ditahan oleh sebuah batang. Suatu perbandingan (*ratio*) yang penting dapat ditulis :

$$FS = \frac{\sigma_{Ultimate}}{\sigma_{ijin}}$$

2.7 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga (*finite element*) memperluas metode matriks perpindahan ke analisis kontinum struktural. Kontinum elastis suatu pelat diganti dengan struktur pengganti, yang terdiri dari elemen-elemen diskrit yang saling berhubungan hanya di titik-titik simpul. Hubungan ini bersifat sedemikian rupa sehingga kontinuitas tegangan dan perpindahan yang sebenarnya pada pelat bisa didekati oleh perpindahan titik simpul elemen tersebut.

2.8 Pelat Ortotropis

Jika suatu bahan yang homogen memiliki tiga bidang simetri yang saling tegak lurus terhadap sifat elastisnya, maka bahan tersebut dikatakan bersifat ortotropis (yaitu anisotropis ortogonal). Pelat ortotropis banyak dipakai dalam bidang teknik sipil, perkapalan dan pesawat udara. Walaupun perilaku struktur gabungan pelat-penguat

(*stiffener*) tidak bisa digantikan secara lengkap oleh perilaku pelat ortotropis, hasil pengujian menunjukkan idealisasi ini relatif baik, asalkan ketegaran lenturanya seragam dan merata dalam arah X dan Y.

3. Metodologi

Penelitian Tugas Akhir “ANALISA KEKUATAN PONDASI z – PELLER KARENA ADANYA PERUBAHAN KONSTRUKSI PADA KAPAL TUG BOAT ANOMAN V DENGAN METODE ELEMEN HINGGA” bertujuan untuk mengetahui kekuatan konstruksi pondasi Z - *peller* setelah mengalami beberapa macam kondisi pembebanan. Dalam penyusunannya Tugas Akhir ini perlu disusun adanya kerangka dasar yang digunakan sebagai acuan untuk menganalisa studi kasus tersebut. Untuk proses penyusunan Tugas Akhir ini dibutuhkan data – data dari objek yang dianalisa. Adapun proses pengambilan data terbagi menjadi beberapa tahap antara lain :

3.1 Studi Lapangan

Dalam penelitian Tugas Akhir “ANALISA KEKUATAN PONDASI Z – PELLER KARENA ADANYA PERUBAHAN KONSTRUKSI PADA KAPAL TUG BOAT ANOMAN V DENGAN METODE ELEMEN HINGGA” perlu dilakukan studi lapangan yang bertujuan untuk melengkapi kebutuhan data untuk pengerjaan Tugas Akhir ini, adapun studi lapangan tersebut antara lain :

- 3.1.1 Pengambilan Data Penelitian
Studi lapangan dilakukan secara langsung dan wawancara, diantaranya :
 1. Data Primer
 2. Data Sekunder
- 3.1.2 Waktu dan Tempat Penelitian
- 3.1.3 Pengumpulan Data

3.2 Studi Literatur

Mempelajari sistematika perhitungan yang akan dikemukakan di dalam Tugas Akhir dari berbagai referensi baik berupa buku, jurnal, dan lain – lain. Dasar – dasar teori dan referensi yang dijadikan untuk pengolahan data dan

membahas data – data penelitian antara lain :

1. Teori Mekanika Teknik
2. Teori Pelat
3. Teori Metode Elemen Hingga
4. Peraturan Konstruksi Kapal sesuai rule BKI vol.II 2006 “Rules for Hull”

Manual book dari beberapa software yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini antara lain :

1. *AutoCad*
2. *MSC Nastran – Patran*

3.3 Pembuatan Desain Model

Dari data awal yang telah diambil, kemudian dilakukan pembuatan model dengan menggunakan program MSC Patran. Pembuatan model dilakukan dengan prosedur pemodelan MSC Nastran yaitu :

1. Membuat geometri dari objek yang akan dianalisa. Proses ini bisa dilakukan dengan sembarang software CAD yang bisa menghasilkan file yang bisa dibaca oleh Nastran, dalam hal ini file dengan extention *.IGS. Software tersebut misalnya CATIA, Pro/E atau SolidWork, dan seterusnya.
2. Membuat model elemen hingga. Pembuatan model elemen hingga adalah pembuatan jaring-jaring elemen yang saling terhubung oleh nodal.
3. Pengecekan model dengan *Check Model* dimaksudkan untuk menjamin bahwa element sudah terkoneksi secara benar.
4. Pendefinisian material.
5. Pendefinisian jenis element.
6. Pemberian tumpuan atau beban.

3.4 Analisa Model

Dari output *pre analysis* MSC Patran, dengan menggunakan program MSC Nastran dijalankan proses analysis melalui input file model yang dianalisis (.bdf) dimana file yang nanti akan dibaca pada *post processing* adalah file .op2.

3.5 Penyajian Data Hasil Perhitungan

Semua hasil pengolahan data berupa gambar model, *display* hasil analisis, serta parameter-parameter yang diperlukan seperti tegangan maksimum, regangan, deformasi dapat diperoleh hasil dari proses tersebut, kemudian dilakukan pengelompokkan agar mudah dalam penyusunan laporan.

3.6 Diagram Alir Metodologi Penelitian

Penyusunan penelitian Tugas Akhir ini didasarkan pada sistematika metodologi yang diuraikan berdasarkan urutan diagram alir atau *flow chart* yang dilakukan mulai penelitian hingga selesainya penelitian. Penelitian ini dimulai dengan tahap pengumpulan data – data penunjang untuk penelitian Tugas Akhir yang kemudian dilanjutkan dengan pengolahan data dan dilanjutkan ke tahap analisa yaitu didapatkan output yang sesuai dengan tujuan awal penelitian, sehingga diperoleh kesimpulan akhir.

4. Analisa dan Pembahasan

4.1 Definisi Pondasi Z - Peller

Pondasi *Z – peller* merupakan suatu penambahan pelat yang disusun sedemikian hingga dalam bentuk lingkaran yang bertumpuk. Penggunaan pondasi ini mempunyai latar belakang dikarenakan ukuran *Z – peller* baru mempunyai diameter yang lebih kecil daripada diameter *Z – peller* yang lama. Pondasi *Z – peller* adalah komponen struktur konstruksi yang vital karena perannya yang tidak hanya untuk menyangga permesinan dari *Z – peller*, namun pondasi tersebut memegang fungsi vital dari sistem propulsi kapal tersebut. Pada gambar 1 dan gambar 2 tampak pondasi *Z – peller* kapal TB. ANOMAN V yang digunakan sebagai acuan untuk pembuatan model pondasi *Z – peller* pada program bantu MSC Patran selain itu juga digunakan gambar – gambar rencana konstruksi profil sebagai referensi pemodelan pada program bantu MSC Patran disamping itu juga digunakan gambar – gambar rencana konstruksi profil sebagai referensi pemodelan

Ship Name : TUG BOAT ANOMAN V
 Ship Type : Tug Boat
 Owner : PT. Pelabuhan Indonesia III
 Class : Biro Klasifikasi Indonesia

Main Dimension :

1. Length Over All: 30,05 m
2. Length Water Line: 28,20 m
3. Breadth MLD: 9,50 m
4. Depth MLD. Midship: 4,70 m
5. GRT : 326 Ton
6. Main Engine: Cummins KTA 38 – MI
2 x 1000 BHP / 746 KW. 1800 Rpm
7. Propulsion: Schottle SRP 402
8. Crew's: 12 Persons
9. Frame Space: 500 mm



Gambar 1. lubang pondasi Z – peller



Gambar 2. pondasi Z – peller setelah dilakukan pemasangan secara keseluruhan

4.2 Definisi Beban

Beban yang diterima oleh pondasi Z - Peller adalah secara vertikal yang berasal dari berat permesinan Z – Peller dan arah horizontal oleh beban dari sistem propulsi kapal. Pengkondisian pembebanan disesuaikan dengan sumbu ordinat pada program numerik MSC Patran. *Input properties* pembebanan yang dimasukkan pada program numerik MSC Patran bersifat tetap, sebab analisa yang digunakan adalah *static analysis*. Adapun macam – macam beban yang bekerja pada kapal antara lain :

1. Beban Statis

Beban Statis adalah beban yang berubah apabila berat total kapal berubah, sebagai akibat kegiatan bongkar muat, pemakaian bahan bakar atau perubahan pada kapal itu sendiri. Pembebanan statis merupakan jenis pembebanan yang bersifat tetap, dalam hal ini adalah pembebanan oleh berat permesinan Z - Peller dengan asumsi besarnya tidak berubah.

2. Beban Dinamis

Beban Dinamis adalah beban yang besarnya berubah terhadap waktu dengan frekuensi tertentu yang menimbulkan respon getaran terhadap struktur kapal .

4.3 Pemodelan Pondasi Z - Peller

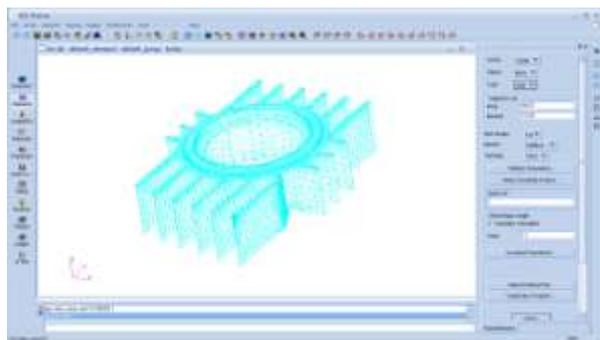
Pada bab ini akan dibahas mengenai analisa statis dari *Pondasi Z - Peller* pada TB Anoman V yang dimodelkan dengan program numerik MSC Patran kemudian disimulasikan agar diketahui hasil analisisnya dengan menggunakan program numerik MSC Nastran yang berbasis metode elemen hingga. Hasil dari serangkaian analisa yang didapatkan adalah untuk mengetahui nilai *maximum stress* serta besarnya tingkat defleksi dari struktur Pondasi. Besarnya tegangan dari struktur pondasi

yang didapat akan digunakan untuk mengetahui parameter – parameter analisa kegagalan dari sebuah desain struktur. Adapun *input properties* untuk pemodelan pondasi Z - Peller yang digunakan berdasarkan beberapa variasi kondisi pembebanan antara lain :

- Kondisi kapal sandar
- Kondisi kapal berlayar dengan kecepatan maksimal

Analisa pembebanan yang digunakan adalah *linear static analysis* untuk memperoleh kekuatan struktur suatu pemodelan agar diketahui dimana daerah letak terjadinya tegangan paling kritis akibat pembebanan.

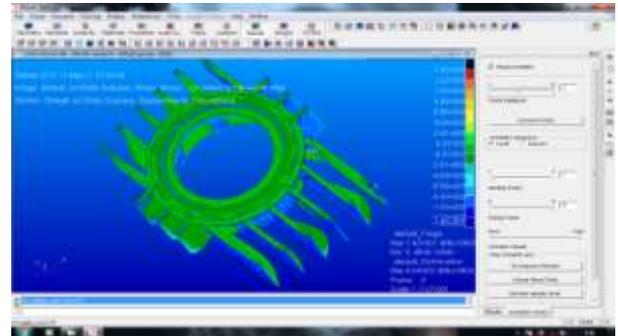
Pada pondasi Z - peller dianalisa berdasarkan *local stress* yang terjadi, sehingga tidak dilakukan analisa dengan menggunakan beban dari sogging - haging kapal.



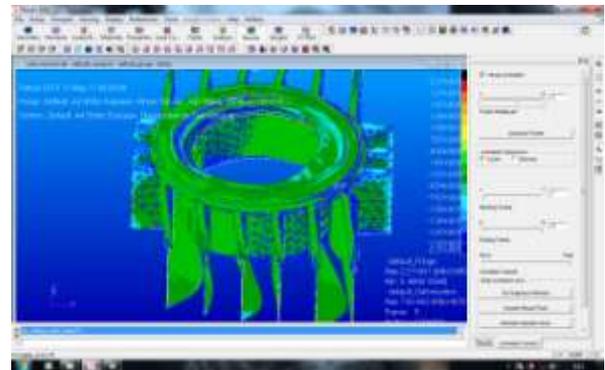
Gambar 3. Pemodelan pondasi Z – Peller TB Anoman V

4.4 Hasil Analisa Perhitungan

Besarnya *maximum stress* yang terjadi pada pondasi Z - peller adalah sebagai berikut untuk tiap – tiap kondisi pembebanan :



Gambar 4. Kondisi kapal sandar



Gambar 5 Kondisi kapal berlayar dengan kecepatan maksimal

Tabel 1 Perhitungan *safety factor* menurut kriteria bahan

Kondisi Pembebanan	<i>Node</i>	<i>Maximum stress</i>	<i>Node</i>	<i>Default Deformation</i>	<i>Ultimat Stress material BKI</i>	<i>Safety Faktor</i>	<i>Ket.</i>
Kondisi kapal sandar	3459	14 N/mm ²	4404	0,00484 mm	400 N/mm ²	28,57	Memenuhi
Kondisi kapal berlayar dengan kecepatan maksimum	3459	22,7 N/mm ²	4670	0,00763 mm	400 N/mm ²	17,62	Memenuhi

5. Kesimpulan

5.1 Kesimpulan

Dari analisa kekuatan konstruksi pondasi *Z - peller* kapal TB ANOMAN V menggunakan program numerik MSC Patran dan MSC Nastran dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai maksimum tegangan pada pondasi *Z - peller TUG BOAT ANOMAN V* dalam beberapa variasi kondisi dengan analisa menggunakan program numerik MSC NASTAN – PATRAN adalah sebagai berikut :
 - Nilai maksimum *stress* pondasi *Z - peller* pada saat sandar (σ) = 14 N/mm² terletak pada node 3459
 - Nilai maksimum *stress* pondasi *Z - peller* pada saat kapal berlayar dengan kecepatan maksimal (σ) = 28,7 N/mm² terletak pada node 3459
2. Karakteristik tegangan yang terjadi pada pondasi *Z - peller* mempunyai tegangan terbesar yang terletak pada pelat lingkaran 4 (gambar 4.4) sebesar (σ) = 28,7 N/mm² dikarenakan pelat tersebut menumpu beban paling besar diantara pelat yang lain dan mempunyai besar deformasi sebesar $\{d\} = 0,00763$ mm pada node 4670 di kondisi kedua.
3. Nilai *safety factor* pada pondasi *Z - peller TUG BOAT ANOMAN V* dalam beberapa variasi kondisi dengan analisa menggunakan program numerik MSC NASTAN – PATRAN adalah sebagai berikut :
 - Nilai *safety factor* pondasi *Z - peller* pada saat sandar (FS) = 28,57

- Nilai *safety factor* pondasi *Z - peller* pada saat kapal berlayar dengan kecepatan maksimal (FS) = 17,62

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat dilanjutkan penelitian tentang getaran pada pondasi *Z - peller* dan kekuatan pondasi mesin induk yang mengalami perubahan.
2. Perlu pemahaman *software FEM* yang lebih dalam menganalisis suatu kasus.
3. Penggunaan *software* numerik MSC Patran dan MSC Nastran sangat baik untuk analisa struktur kapal, diharapkan dapat diadakan penelitian lebih lanjut dalam analisa struktur kapal menggunakan *software* numerik tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Biro Klasifikasi Indonesia, PT. Persero. 2006. "Rules for The Classification and Contruction of Sea Going Stell Ship Volume II: Rules for Hull edition 2006". Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia
- Popov, E.P, "Mekanika Teknik" erlangga, Jakarta, 1996
- Manik, Parlindungan, ST, MT, "Buku Ajar Propulsi Kapal", Universitas Diponegoro, Semarang, 2008
- Ir. Susatio, yerri, "Dasar – dasar metode elemen hingga", Andi, Jogja, 2004.
- The Sechottel Rudderpropeller, "Aplication oriented propulsion sistem"