

**ANALISIS KEKUATAN POROS PROPELLER AKIBAT
PENAMBAHAN DAYA MOTOR KAPAL TUGBOAT
STUDI KASUS KAPAL MICHAEL**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Menempuh Ujian Sarjana

Departemen Teknik Perkapalan

Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin



OLEH

NOVRIZAL TRI SHANDY

D311 16 001

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2021

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS KEKUATAN POROS PROPELLER AKIBAT PENAMBAHAN
DAYA MOTOR KAPAL TUGBOAT
STUDI KASUS KAPAL MICHAEL**

Disusun dan diajukan oleh
NOVRIZAL TRI SHANDY

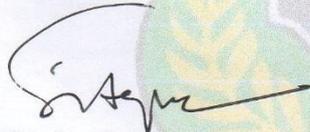
D311 16 001

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi
Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 25 Februari 2021
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl.-Ing
Nip. 19600425 198811 1 001



Hamzah, S.T., M.T.
Nip. 19800618 200512 1 002

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Perkapalan




Dr. Eng. Suandar Baso, S.T., M.T.
Nip. 19730206 200012 1 00

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Novrizal Tri Shandy

NIM : D311 16 001

Program Studi : Teknik Perkapalan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya berjudul

**“ANALISIS KEKUATAN POROS PROPELLER AKIBAT PENAMBAHAN
DAYA MOTOR KAPAL TUGBOAT STUDI KASUS KAPAL MICHAEL”**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar benar merupakan hasil karya saya sendiri

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa Sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut

Mawang, Februari 2021

Yang Menyatakan



Novrizal Tri Shandy

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur kehadiran Allah ﷻ yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan **Tugas Akhir dengan judul** adalah **“Analisis Kekuatan Poros Propeller Akibat Penambahan Daya Motor Kapal Tugboat Studi Kasus Kapal Michael”** yang disusun guna memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S1) di Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Serta tidak lupa shalawat serta salam tetap selalu tercurahkan kepada *Rasulullah* Muhammad ﷺ dan pengikutnya sampai akhir zaman.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini terdapat berbagai macam hambatan dan tantangan, namun semuanya dapat teratasi dengan penuh kesabaran dan keikhlasan serta bantuan, bimbingan, kritikan dan saran dari berbagai pihak. Penulis juga menyadari bahwa Tugas Akhir ini jauh dari kata sempurna dan masih banyak kekurangan di dalamnya baik dari segi kualitas maupun kuantitas materi penelitian yang dikerjakan. Sehingga penulis sangat mengharapkan kritikan dan saran yang membangun demi kesempurnaan tulisan ini.

Selanjutnya penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada berbagai pihak yang turut membantu dan penyelesaian penelitian ini. Olehnya itu, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayahanda **Sanneru Syamsir** dan Ibunda **Sinar**, orang tua tercinta yang senantiasa mencurahkan kasih sayang, doa dan dukungan serta motivasi yang tiada hentinya kepada penulis. Semoga Ayahanda dan Ibunda selalu dalam lindungan Allah ﷻ Semoga diberi umur panjang hingga penulis mampu membanggakan mereka.
2. Bapak **Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl-Ing**, selaku pembimbing I dan ketua laboratorium Struktur Kapal, terima kasih banyak yang sebesar-besarnya karena banyak membantu dalam proses pengerjaan skripsi mulai dari poroposal sampai selesai, serta bapak **Hamzah, ST., MT**, selaku pembimbing II yang senantiasa membimbing dan mengarahkan penulis dengan penuh kesabaran dan keikhlasan sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Bapak **Ir. Lukman Bochary, MT** dan ibu **Dr. Eng. A. Ardianti, ST., MT** selaku Penguji yang telah menghantarkan penulis memperoleh gelar akademik pada Departemen Teknik Perkapalan serta telah meluangkan waktu untuk berkonsultasi demi kesempurnaan tugas akhir ini.
4. Bapak **Fariant Fachruddin, ST., MT** selaku penasehat akademik penulis yang senantiasa memberi arahan serta motivasi selama berkuliah di Departemen Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin.
5. Bapak **Dr.Eng Suandar Baso, ST., MT** selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan penguji yang memberikan dukungan dan arahan dalam penyelesaian tugas ini.

6. Seluruh staff Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang selalu membantu segala administrasi selama kuliah.
7. Teman seperjuangan Labo Struktur. Teman berbagi cerita selama berada di laboratorium struktur kapal.
8. Teman-teman **Naval Architecture 2016** yang memberikan semangat selama berkuliah dan dalam pengerjaan tugas akhir ini.
9. Kanda senior yang turut membantu penulis selama ini.
10. Kepada **Ayu Anggreani, Robbi, Andi Arisha Adela** dan **Anita Nurul Sakinah** yang selalu mendukung dan mendampingi saya dalam keadaan apapun
11. Serta semua orang yang telah turut memberi dukungan dan doa yang tidak bisa saya sebutkan semua namanya, Semoga kalian semua diberi balasan yang setimpal oleh Allah ﷻ dan tetap semangat untuk tugas akhir di fakultas masing-masing.

Semoga pihak yang membantu dalam penulisan Tugas Akhir mendapatkan pahala oleh Allah ﷻ. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak yang berkenan membacanya dan mempelajarinya.

Makassar, November 2020

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR NOTASI	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
ABSTRAK	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Poros Baling – Baling	7
2.2 Sistem Poros Baling – Baling	8
2.3 Hal – Hal penting Dalam Perencanaan Poros	12
2.4 Beban Poros Propeller	14
2.4.1 Thurst	14
2.4.2 Torsi	14
2.5 Jenis – jenis Kegagalan Material	15
2.5.1 Kelelahan	15
2.5.2 Patahan	16
2.6 Analisis Tegangan	18
2.6.1 Tegangan <i>von-mises</i> (<i>von-mises stress</i>)	19
2.6.2 Tegangan geser (<i>Shear Stress</i>)	19
2.6.3 Tegangan ijin	21

2.7 Metode Elemen Hingga	22
2.8 Gambaran Umum ANSYS	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	28
3.1 Jenis Penelitian	28
3.2 Jadwal dan lokasi Penelitian	28
3.3 Teknik Pengumpulan data	28
3.3.1 Jenis data	28
3.3.2 Teknik pengambilan data	29
3.4 Prosedur penelitian	30
3.4.1 Studi literature dan studi lapangan	30
3.4.2 Pengolahan data	30
3.4.3 Prosedur penyelesaian dengan <i>Software Ansys</i>	36
3.5 Diagram alir metodologi penelitian	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	48
4.1 Mesh Sensitivity	48
4.2 Analisis Kekuatan Poros Propeller pada setiap variasi RPM	48
4.1.1 Tegangan ijin	49
4.1.2 Tegangan <i>von-mises</i>	49
4.1.3 Tegangan geser	54
4.1.4 Deformasi total	57
BAB V PENUTUP	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN	65

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Detail ukuran komponen Sistem poros Propeller	31
Tabel 3.2 Nilai koefisien thrust	32
Tabel 3.3 Thrust untuk Setiap variasi RPM.....	33
Tabel 3.4 Nilai Koefisien Torsi	34
Tabel 3.5 Momen Torsi untuk Setiap variasi RPM.....	34
Tabel 3.6 Material Properties KSUS F316	35
Tabel 3.7 Material Properties Rubber Bearing	36
Tabel 4.1 Tegangan <i>von-mises</i> Maksimum <i>poros Propeller</i>	52
Tabel 4.2 Perubahan Tegangan <i>von-mises</i> Maksimum <i>poros Propeller</i> Untuk Setiap variasi RPM	53
Tabel 4.3 Tegangan geser Maksimum <i>poros Propeller</i>	56
Tabel 4.4 Perubahan Tegangan geser Maksimum <i>poros Propeller</i> Untuk Setiap variasi RPM	57
Tabel 4.5 Deformasi total <i>poros Propeller</i>	59
Tabel 4.6 Perubahan Tegangan geser Maksimum <i>poros Propeller</i> Untuk Setiap variasi RPM	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Poros Propeller	8
Gambar 2.2 Patahan Getas	17
Gambar 2.3 Patahan Fatik	18
Gambar 2.4 Tegangan geser puntir pada penampang	19
Gambar 3.1 Geometri Sistem Poros Propeller	31
Gambar 3.2 Beban yang bekerja pada poros propeller	32
Gambar 3.3 Kurva Thrust Propeller	33
Gambar 3.4 Kurva Momen Torsi untuk Setiap RPM	35
Gambar 3.5 Geometri model Sistem Poros Propeller	37
Gambar 3.6 Geometri <i>Poros Propeller</i> dan <i>Bearing Sleeved</i>	38
Gambar 3.7 Material Properties <i>Poros Propeller</i> (KSUS F316)	39
Gambar 3.8 Material Properties <i>Bearing Sleeved (Rubber Bearing)</i>	39
Gambar 3.9 <i>Meshing</i> Pada Poros Propeller dan <i>Bearing Sleeved</i>	40
Gambar 3.10 Jenis Tumpuan pada Ujung <i>Poros Propeller</i>	41
Gambar 3.11 Jenis Tumpuan pada <i>bearing sleeved</i>	41
Gambar 3.12 Pembebanan pada <i>poros Propeller</i>	42
Gambar 3.13 Detail beban <i>Poros Propeller</i> pada kondisi existing RPM 311	42
Gambar 3.14 Detail beban <i>Poros Propeller</i> pada RPM 300	43
Gambar 3.15 Detail beban <i>Poros Propeller</i> pada RPM 320	43
Gambar 3.16 Detail beban <i>Poros Propeller</i> pada RPM 340	43
Gambar 3.17 Detail beban <i>Poros Propeller</i> pada RPM 360	44
Gambar 3.18 Detail beban <i>Poros Propeller</i> pada RPM 380	44
Gambar 3.19 Detail beban <i>Poros Propeller</i> pada RPM 400	44
Gambar 3.20 Model yang telah di <i>running</i> dengan tanda centang	46
Gambar 3.21 Diagram alir metodologi penelitian	47
Gambar 4.1 Perbandingan ukuran meshing dengan hasil tegangan	48
Gambar 4.2 Kontur Tegangan <i>von-mises poros propeller</i> kondisi Existing RPM 311	50
Gambar 4.3 Kontur Tegangan <i>von-mises poros propeller</i> RPM 300	51

Gambar 4.4 Grafik perubahan tegangan <i>von-mises</i> Maksimum <i>poros Propeller</i>	52
Gambar 4.5 Kontur Tegangan geser <i>poros propeller</i> kondisi existing RPM 311	54
Gambar 4.6 Kontur Tegangan geser <i>poros propeller</i> RPM 300.....	55
Gambar 4.7 Grafik perubahan tegangan geser Maksimum <i>poros Propeller</i>	56
Gambar 4.8 Kontur deformasi total <i>poros propeller</i> kondisi existing RPM 311	58
Gambar 4.9 Kontur deformasi total <i>poros propeller</i> RPM 300.....	58
Gambar 4.10 Grafik perubahan deformasi total <i>poros Propeller</i>	60

DAFTAR NOTASI

T	= Thrust Propeller (N)
Q	= Torsi Propeller (Nm)
KT	= Koefisien Thrust
KQ	= Koefisien Torsi
ρ	= Massa jenis fluida (kg/m^3)
n	= Banyaknya putaran per detik (s^{-1})
D	= Diameter propeller (m)
τ_{maks}	= Tegangan geser puntir maksimum (N/mm^2)
r	= Jari-jari lingkaran (mm)
I_p	= Momen inersia polar (kgmm^2)
Cw	= Material factor
Rm	= Minimum tensile Strength (Mpa)
SF	= Faktor keamanan
PF	= Faktor letak
σ_{ijin}	= Tegangan ijin (Mpa)
σ_{yield}	= Yield Strength material (Mpa)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data Mesin Kapal Tugboat	66
Lampiran 2	Data Propeller Kapal Tugboat	67
Lampiran 3	Gambar Shafting Arrangement Kapal Tug Boat	68
Lampiran 4	Gambar Shafting Detail Kapal Tugboat	69
Lampiran 5	Gambar Sebaran Tegangan <i>von-mises</i>	70
Lampiran 6	Gambar Sebaran Tegangan Geser	73
Lampiran 7	Gambar Sebaran Deformasi	76

ABSTRACT

Shandy, Novrizal Tri. 2021. *Analisis of The Strength of The Propeller Shaft Caused by The Addition of Tugboat's Engine Power: Study Case of Michael Ship* (guided by **Ganding Sitepu** and **Hamzah**)

This research was based on the replacement of MICHAEL tugboat to the greater engine power without changing its shaft. Then, analyzing the strength of propeller shaft was necessary to be conducted after the engine was replaced. This study aimed to analyze the strength of propeller shaft and to find the possible rotation of appropriate shaft after switching the engine to the greater power which is based on the provision of the classification BKI. In addition, it was objected to describe the shaft deformation to the various rotation and the primary engine's output power. This research used finite element method and supporting application "ANSYS™". The loading condition of this study was at the existing position 311 RPM and also was varied regarding to propeller RPM that is RPM 300, 320, 340, 360, 380 and 400. Based on the analisis result at the existing condition, it was found the von-mises stress was 88,911 Mpa and the shear stress was 51,021 Mpa. The value was below the allowable stress advised by BKI that is 109,567 Mpa for the allowable von-mises stress and 54,783 Mpa for the allowable shear stress. Therefore, the strength of propeller shaft could be revealed "safe" on purpose of replacing the ship's engine to the greater power. For each variation of RPM, the Strength of propeller shaft was still under the qualification of BKI that is until RPM 320 which means that it is possible to elevate the rotation of the propeller until the RPM 320. Furthermore, the shear deformation on the propeller shaft which was on the existing condition that is 0,0419 rad and for the variation of RPM, the amount of deformation was directly proportional to the change of RPM.

Keywords: Shaft, The Finite Element Method, Stress, Existing

ABSTRAK

Shandy, Novrizal Tri. 2021. *Analisis Kekuatan Poros Propeller Akibat Penambahan Daya Motor Kapal Tugboat Studi Kasus Kapal Michael* (dibimbing oleh **Ganding Sitepu** dan **Hamzah**)

Penelitian ini dilatar belakangi oleh Kapal Tugboat MICHAEL akan diganti motor dengan daya yang lebih besar tetapi tanpa mengganti porosnya. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis kekuatan poros propeller setelah mesin diganti. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan poros dan menemukan kemungkinan putaran poros yang sesuai setelah motor diganti dengan daya yang lebih besar sesuai dengan ketentuan yang disyaratkan Badan Klasifikasi BKI dan mendeskripsikan deformasi poros pada berbagai variasi putaran dan daya keluaran mesin utama. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode elemen hingga dengan menggunakan bantuan aplikasi ANSYSTM. Adapun kondisi pembebanan pada penelitian ini yaitu pada kondisi Existing 311 RPM dan juga divariasikan berdasarkan RPM propeller yaitu RPM 300,320,340,360,380 dan 400. Berdasarkan hasil analisis pada kondisi eksisting diperoleh tegangan *von-mises* sebesar 88,911 Mpa dan tegangan geser sebesar 51,021 Mpa. Nilainya dibawah tegangan ijin yang disyaratkan BKI yaitu 109,567 Mpa untuk tegangan ijin *von-mises* dan 54,783 Mpa untuk tegangan ijin geser. maka kekuatan *poros propeller* dikatakan aman sehingga motor penggerak kapal dapat diganti dengan daya yang lebih besar. Untuk setiap variasi RPM, kekuatan *poros propeller* masih memenuhi persyaratan Klasifikasi BKI (Biro Klasifikasi Indonesia) hingga RPM 320 sehingga kekuatan poros masih aman jika putaran propeller dinaikkan hingga RPM 320. Sedangkan untuk besar deformasi geser yang terjadi pada poros propeller pada kondisi existing yaitu sebesar 0,0419 rad dan untuk variasi RPM, besar deformasi yang terjadi berbanding lurus dengan perubahan RPM.

Kata kunci: Poros, Metode Elemen Hingga, Tegangan, Existing

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Kapal adalah moda transportasi laut yang berfungsi untuk mengangkut penumpang dan barang dari suatu pelabuhan ke pelabuhan lainnya. Dalam perkembangannya saat ini, kapal merupakan transportasi utama dalam mendistribusikan barang dan penumpang. Maka dari itu sebuah kapal harus dirancang sebaik mungkin sebelum digunakan untuk berlayar. Dalam proses pembuatan kapal, diperlukan sistem perancangan sistem propulsi yang aman serta bentuk dan desain yang baik. Hal ini disebabkan agar pada saat berlayar kapal dapat tetap stabil dan aman hingga sampai ke pelabuhan. Oleh karena itu, konstruksi pada kapal harus dibuat kokoh dan kuat sehingga dapat menahan gaya yang dialami pada saat berlayar.

Kapal beroperasi menggunakan propeller yang diputar oleh mesin dan ditransmisi putarannya oleh poros propeller. Poros yang berputar harus mampu menahan gaya yang bekerja dalam perputarannya. Gaya yang bekerja pada poros adalah gaya dorong dari propeller untuk mendorong kapal (thrust) dan momen torsi akibat torsi dari motor atau mesin kapal, Sistem poros merupakan elemen mesin yang penting untuk daya dorong kapal. Sedangkan propeller berfungsi mengubah torsi menjadi gaya dorong dengan prinsip impuls. Torsi yang dikeluarkan oleh mesin utama dapat menyebabkan kegagalan pada kopling yang berakibat putus, terutama pada

kunci dan baut bila struktur tidak dapat menahan torsi. Kerusakan pada sambungan merupakan masalah penting karena mesin utama tidak dapat mendistribusikan daya ke propeller.

Secara teori jika kekuatan desain poros propeller tidak memenuhi yang disyaratkan klasifikasi, maka kekuatannya tidak memenuhi persyaratan klasifikasi. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis desain poros untuk menentukan kekuatan dengan mensimulasikan analisis hasil tegangan untuk memprediksi kekuatan poros pada desain sebagai syarat pemenuhan standar klasifikasi.

Kapal MICHAEL merupakan kapal jenis tugboat dengan panjang 25 m dan kecepatan dinas 11 Knot. kapal ini akan diganti motor dengan daya yang lebih besar karena dianggap kinerja motor tidak lagi memuaskan dalam kegiatan operasional tetapi tanpa mengganti porosnya. Adapun data mesin kapal sebagai berikut :

1. Data Mesin Existing Kapal Tugboat

Merk : MITSUBISHI S6A3-MPTK

Hp : 600 Hp

Rpm : 1960

1. Data Mesin Pengganti Kapal Tugboat

Merk : Yanmar

Hp : 829 Hp

Rpm : 1900

Dengan mengganti mesin dengan daya yang lebih besar tanpa mengganti porosnya akan mempengaruhi kekuatan poros, dengan bertambahnya daya motor maka torsi motor penggerak akan bertambah, tetapi torsi yang diterima oleh poros ditentukan juga oleh putaran poros, semakin tinggi putaran maka torsi semakin rendah, putaran poros dapat dikendalikan dengan gearbox. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis kekuatan poros propeller setelah mesin diganti Berdasarkan hal tersebut, penulis mengajukan penelitian dengan judul "**Analisis kekuatan poros propeller akibat penambahan daya motor pada kapal tugboat Studi kasus kapal Michael**"

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah dijelaskan pada latar belakang maka diangkat studi kasus untuk melakukan analisa dengan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kekuatan poros propeller setelah motor diganti dengan daya yang lebih besar apakah sesuai dengan ketentuan yang disyaratkan Badan Klasifikasi Indonesia.
2. Berapa besar deformasi yang terjadi akibat beban yang terjadi pada poros propeller

1.3. Tujuan Penelitian

Merujuk pada permasalahan yang telah disampaikan sebelumnya, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Menganalisis kekuatan poros dan menemukan kemungkinan putaran poros yang sesuai setelah motor diganti dengan daya yang lebih besar sesuai dengan ketentuan yang disyaratkan Badan Klasifikasi
2. Mendeskripsikan deformasi poros pada berbagai variasi putaran dan daya keluaran mesin utama.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dilakukan dengan maksud agar permasalahan yang dibahas tidak terlalu melebar, Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini batasan masalahnya antara lain :

1. Analisa hanya difokuskan pada kekuatan poros propeller dengan pertimbangan tegangan yang bekerja.
2. Tidak mendesain propeller hanya mendesain shaft propeller.
3. Analisis struktur menggunakan metode elemen hingga dengan aplikasi ANSYS.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai dasar dalam menganalisis kekuatan shaft propeller serta diharapkan dapat memberikan referensi dalam menganalisis kekuatan shaft propeller menggunakan aplikasi ANSYS dan dan juga sebagai bahan pertimbangan bagi pemilik kapal dalam mengganti motor penggerak kapal MICHAEL.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan skripsi ini meliputi bab-bab sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang permasalahan yang mendasari penulis dalam melakukan penelitian. Selain itu berisi juga perumusan masalah yang akan dianalisis, batasan masalah yang digunakan, tujuan dan manfaat dari penelitian serta sistematika penulisan skripsi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi dasar teori dari penelitian ini yang mendukung permasalahan yang dihadapi seperti materi mengenai apa itu poros, bagaimana sistem poros baling baling, perbaikan dan perawatan poros baling – baling, hal – hal penting dalam perencanaan poros, jenis kegagalan material yang mungkin terjadi pada poros dan gambaran umum ANSYS yang digunakan dalam penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi jenis penelitian, diagram alur pengerjaan, identifikasi dan perumusan masalah, waktu dan lokasi penelitian, penyajian data, analisa data dilakukan studi literatur terkait perhitungan dan perencanaan model

BAB IV PEMBAHASAN

Bab ini berisi pembahasan tentang hasil analisis kekuatan poros propeller Inti dari pembahasan berupa tegangan yang terjadi pada struktur

BAB V PENUTUP

Bab ini merupakan penutup dari keseluruhan isi penelitian berupa kesimpulan dan saran atas permasalahan yang telah dibahas pada bab sebelumnya. Adapun hasil dari penelitian ini akan dijelaskan pada kesimpulan sedangkan beberapa masukan akan kekurangan dari penelitian ini akan dijelaskan pada saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Poros Baling-Baling

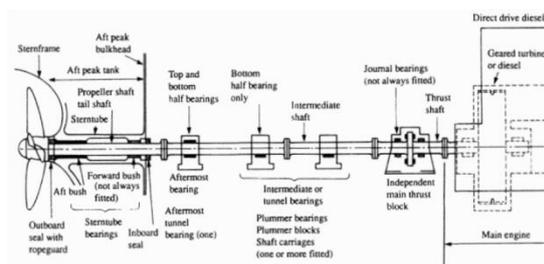
Poros adalah suatu bagian stasioner yang berputar, biasanya berpenampang bulat dimana terpasang elemen-elemen seperti roda gigi (gear), pully, flywheel, engkol, sprocket dan elemen pemindah lainnya. Poros bisa menerima beban lenturan, beban tarikan, beban tekan atau beban puntiran yang bekerja sendiri-sendiri atau berupa gabungan satu dengan lainnya. (Andi Suadi, dkk, 2016)

Baling – baling adalah alat untuk menghasilkan gaya dorong pada sebuah kapal laut. Baling – baling diputar dengan poros yang digerakan oleh penggerak utama dengan dalam kamar mesin. Sebelum di temukannya teknologi baling – baling, kapal di gerakan oleh bantuan angin atau dayung sebagaimana pada kapal – kapal zaman dahulu yang mengandalkan hembusan angin dengan menggunakan layar. Tentu saja, kecepatan kapal di tentukan oleh faktor alam selain geraknya tidak secepat menggunakan baling – baling yang di gerakan oleh mesin. Baling – baling akan menghasilkan gaya dorong sehingga kapal dapat melaju. Kecepatan kapal di tentukan oleh kekuatan daya dorong yang di hasilkan oleh baling – baling tersebut. (Nugroho & Wibowo, 2017)

Jumlah daun baling-baling akan mempengaruhi fluktuasi thrust menyebabkan adanya thrustnoise. Sudut skew sendiri mempengaruhi fluktuasi torsi dan thrust yang meningkatkan terjadinya kavitasi pada

propeller. Untuk diameter pada kapal selam ada sedikit pembatasan diameter jika dibandingkan pada kapal permukaan yang normal dan meningkatkan diameter berarti penurunan spesifik gaya dorong baling-baling dan kecepatan aliran rata-rata yang lebih tinggi. (Darmawan, Chrismianto, & Iqbal, 2016)

Poros baling-baling (propeller shaft) merupakan bagian terpenting dari instalasi penggerak kapal. Putaran mesin ditransmisikan ke propeller melalui poros, maka poros sangat mempengaruhi kerja mesin bila terjadi kerusakan. Yang perlu di ketahui adalah bahwa kedudukan poros propeller dengan mesin induk harus segaris atau dengan kata lain harus dalam satu garis sumbu. Tenaga kerja yang dihasilkan mesin induk di teruskan dalam bentuk putaran melalui serangkaian poros ke baling-baling diberikan dorongan yang dibangkitkan oleh baling-baling di teruskan kebadan kapal oleh poros baling-baling. Rangkaian poros itu disebut Shafting dan pada umumnya terdiri dari bagian-bagian utama yang sebagai berikut :



Gambar 2.1 Skema Poros Propeller
(sumber : Dedi Budi Purwanto, 2015)

2.2. Sistem Poros Baling - Baling

Sistem poros baling-baling merupakan suatu perangkat sistem transmisi tenaga yang berfungsi mengantarkan putaran dari motor induk ke

propeller sehingga dapat dihasilkan daya dorong yang menyebabkan kapal dapat bergerak. Sistem ini adalah salah satu bagian dari sistem penggerak utama pada kapal sehingga memegang peranan penting di dalam operasional. Oleh sebab itu kemampuan sistem ini untuk beroperasi secara normal haruslah dipertahankan. Sistem poros balingbaling terdiri dari beberapa komponen dengan masing-masing fungsinya untuk mendukung kerja dari poros. Komponen-komponen dari sistem poros sebagian besar terdapat pada selubung yang menutupi poros dan dikenal sebagai stern tube.

Pada dasarnya sistem poros balingbaling dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu sistem poros baling-baling dengan pelumasan air laut dan sistem poros baling-baling dengan pelumasan minyak.

Daya Poros (PS) adalah daya yang terukur hingga daerah di depan bantalan tabung poros (stern tube) dari sistem perporosan penggerak kapal. Untuk kapal-kapal yang berpengerak dengan Turbin Gas, pada umumnya, daya yang digunakan adalah PS. Sementara itu, istilah Daya Rem (Brake Power, PB) adalah daya yang dihasilkan oleh motor penggerak utama (main engine) dengan tipe marine diesel engines. Pada sistem penggerak kapal yang menggunakan Marine Diesel Engines (type of medium to high speed), maka pengaruh rancangan sistem transmisi perporosan adalah sangat besar didalam menentukan besarnya daya PS. Jika kamar mesin terletak dibelakang dari badan kapal, maka besarnya losses akibat sistem transmisi perporosan tersebut adalah berkisar 2 - 3 %. Namun bila kamar mesin

terletak agak ke tengah atau jauh di depan, maka besarnya losses akan semakin bertambah (Surjo W. Adji, 2005)

2.2.1. Sistem Poros Baling - baling Dengan Pelumasan Air Laut

Pada sistem ini terdapat bantalan (bearing) yang terbuat dari bahan cast iron yang sedikit lebih besar dari pada bagian depan serta mudah untuk dibuka. Bagian dari stern tube dengan pelumasan air ini menempel pada after peak bulkhead. Pada ujung bagian depan dilengkapi dengan stuffing box dan gland, sedangkan pada bagian belakang terdapat bearing dari bahan kayu lignum vitae atau sejenisnya. Bahan ini jika terkena laut maka akan mengeluarkan cairan yang dapat difungsikan sebagai pelumas. Selain bahan lignum vitae, juga dapat digunakan bahan karet komposit (cutlass rubber) atau beberapa material plastik yang telah diizinkan sebagai bantalan. Untuk bantalan pada sistem pelumasan air laut, diameternya tidak kurang dari 4 x diameter poros. Jika diameter bearing lebih dari 380 mm, maka masuknya air kedalam stern tube harus dilakukan dengan paksa (force water lubrication) dengan menggunakan circulating pump atau peralatan tambahan lainnya yang dilengkapi dengan flow indicator. Pemeriksaan poros dengan sistem ini (pencabutan poros) dilakukan setiap tiga bulan sekali. (Andi Hendrawan, 2019)

2.2.2. Sistem Poros Baling-baling Dengan Pelumasan Minyak

Tidak seperti pada pelumasan air laut, pada pelumasan minyak, shaft liner tidak lagi dibutuhkan. Secara umum, hanya sedikit shaft liner kecil dipasang dibagian belakang sebagai tempat untuk menempelkan seal pada poros propeller boss. Dengan dipasangkan seal akan berguna untuk membatasi masuknya air laut kedalam stern tube, sehingga pelumasan hanya dilakukan oleh minyak pelumas. (Andi Hendrawan, 2019)

Bearing berguna untuk menahan gesekan atau beban puntir dari poros sehingga tidak merusak poros. Bearing terbuat dari bahan white metal. Bahan plastik yang kaku dapat juga digunakan untuk menggantikan white metal, selain itu untuk bantalan juga dapat digunakan bahan dari keramik. (Andi Hendrawan, 2019)

Sistem pelumasan yang dipasang harus mempertahankan viskositas dari minyak pelumas pada kondisi temperature yang berbeda-beda. *Grafiti* tank diletakkan dilengkapi dengan low level alarm untuk mengalirkan minyak secara gravitasi ke seluruh stern tube dan melumasi poros. Sistem pelumasan ini bergantung pada beban sisa pada stern tube untuk dilakukan pengukuran tekanan dilakukan untuk memastikan bahwa tidak ada saluran yang tersumbat. Hal ini dilakukan dengan manipulasi katup pada tangki yang terletak diatas dan operasi pompa dengan sedikit kelebihan tekanan. Jika pelumas kembali ke tangki menandakan bahwa jalur minyak telah bersih. Jalur pipa pelumas harus betul-betul dijaga dalam keadaan bersih

(tidak tersumbat) agar minyak pelumas dapat bergerak secara gravitasi dan melunasi poros. (Andi Hendrawan, 2019)

Pada kapal dengan perubahan yang besar pada draft, pada umumnya digunakan dua gravity tank. Upper tank digunakan pada saat muatan penuh atau ketika terdapat rembesan air laut. (Andi Hendrawan, 2019)

Perbaikan dan perawatan poros baling-baling secara berkala dilakukan oleh pihak pemilik kapal. Namun secara kontinyu klas telah menentukan periode survey pencabutan poros, yaitu tiga tahun untuk sistem poros tunggal dan setiap empat tahun sekali untuk sistem poros jamak. Pada periode tertentu dan setelah melakukan pemeriksaan dan pengukuran, maka beberapa komponen dari sistem ini harus direpair atau bahkan diganti dengan komponen yang baru sesuai dengan tingkat kerusakannya. (Andi Hendrawan, 2019)

2.3. Hal-hal Penting Dalam Perencanaan Poros

Untuk merencanakan sebuah poros, hal - hal yang perlu diperhatikan adalah: kekuatan poros, kekakuan poros, putaran kritis, korosi, pemilihan material dan pemilihan material.

Suatu poros transmisi dapat mengalami beban puntir atau lentur atau gabungan antara puntir dan lentur seperti telah diuraikan diatas. Juga ada poros yang mendapat beban tarik atau tekan seperti poros baling-baling kapal atau turbin dan lain-lain. (Andi Suadi, dkk, 2016)

Meskipun sebuah poros mempunyai kekakuan yang cukup tetapi jika lenturan atau defleksi puntirannya terlalu besar akan mengakibatkan ketidak telitian (pada mesin perkakas) atau getaran dan suara (misalnya pada turbin dan kotak roda gigi). (Andi Suadi, dkk, 2016)

Bila putaran suatu mesin dinaikan maka pada suatu harga putaran tertentu dapat terjadi getaran yang luar biasanya. Putaran ini disebut putaran kritis. Hal ini dapat terjadi pada turbin, motor bakar, motor listrik dan lain-lain, dan dapat mengakibatkan kerusakan pada poros dan bagian-bagian lainnya. (Andi Suadi, dkk, 2016)

Bahan-bahan tahan korosi (termasuk plastik) harus dipilih untuk poros propeller dan pompa jika terjadi kontak dengan fluida yang korosif. (Andi Suadi, dkk, 2016)

Berdasarkan buku BKI VOL III tahun 2018 Section 4 halaman 1/12 Bahan untuk propeller, intermediate, thrust shafts dibuat dari forged steel(Carbon Steel, Carbon Manganese steel dan alloy steel). Untuk coupling dapat dibuat dari cast steel. Material yang diijinkan adalah material yang memiliki kekuatan gaya tarik sebesar 400 N/mm² - 800 N/mm² (Biro Klasifikasi Indonesia, 2018)

Poros harus dapat menahan tegangan yang bekerja akibat pembebanan yang terjadi pada poros. Tegangan yang terjadi tidak boleh melebihi tegangan ijin yang di syaratkan oleh Badan klasifikasi. (Biro Klasifikasi Indonesia, 2018)

2.4. Beban Poros Propeller

Poros yang berputar harus mampu menahan beban yang bekerja dalam perputarannya. beban yang bekerja pada poros adalah gaya dorong dari propeller untuk mendorong kapal (thrust) dan momen torsi akibat putaran propeller. (Totok Yulianto & Rizky Chandra Ariesta, 2019)

2.4.1. Thrust

Gaya dorong dari propeller (Thrust) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (M.M. Bernitsas, dkk, 1981)

$$T = K_T \times \rho \times n^2 \times D^4 \quad [2.1]$$

dimana :

T = Thrust Propeller (N)

K_T = Koefisien Thrust (diperoleh berdasarkan *Pitch Ratio* (P/D) dan *Blade Area Ratio* (Ae/Ao) pada kurva wagenginen B-Series)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

n = Banyaknya putaran per detik (s^{-1})

D = Diameter Propeller (m)

2.4.2. Torsi

Torsi adalah suatu pemuntiran sebuah batang yang diakibatkan oleh kopelkopel (couples) yang menghasilkan perputaran terhadap sumbu longitudinalnya. torsi dihasilkan dari perputaran propeller kapal.

torsi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut
(M.M. Bernitsas, dkk, 1981)

$$Q = KQ \times \rho \times n^2 \times D^5 \quad [2.2]$$

dimana :

Q = Torsi Propeller (Nm)

KT = Koefisien Torsi (diperoleh berdasarkan *Pitch Ratio* (P/D) dan *Blade Area Ratio* (Ae/Ao) pada kurva wagenginen B-Series)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

n = Banyaknya putaran per detik (s⁻¹)

D = Diameter Propeller (m)

2.5. Jenis – Jenis Kegagalan Material

2.5.1. Kelelahan

Kelelahan adalah bentuk dari kegagalan yang terjadi pada struktur karena beban dinamik yang berfluktuasi dibawah yield strength yang terjadi dalam waktu yang lama dan berulang-ulang. Fatik menduduki 90% penyebab utama kegagalan pemakaian. Terdapat 3 fase dalam perpatahan fatik : permulaan retak, penyebaran retak, dan patah. Faktor-faktor yang mempengaruhi fatigue adalah :

- Tegangan Siklik
- Geometri

- Kualitas Permukaan
- Tipe Material
- Tegangan Sisa
- Besar dan Penyebaran Internal Defects
- Arah Beban
- Besar Butir
- Lingkungan
- Temperatur

2.5.2. Patahan

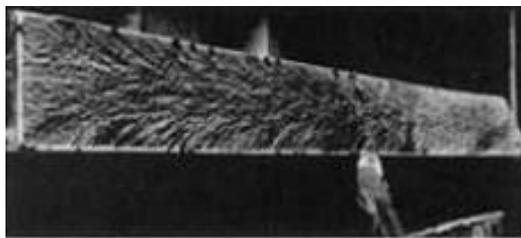
Pada temperatur rendah beberapa logam yang akan ulet pada suhu kamar menjadi rapuh. Ini dikenal sebagai daktail untuk transisi rapuh. Para suhu transisi ulet getas sangat tergantung pada komposisi logam. Baja adalah logam yang paling umum digunakan yang menunjukkan perilaku ini. Untuk beberapa jenis baja suhu transisi dapat sekitar 0°C , dan di musim dingin suhu di beberapa bagian dunia dapat berada di bawah ini. Sebagai hasilnya, beberapa struktur baja sangat mungkin untuk gagal di musim dingin. Materi yang gagal karena pertumbuhan retak stepwise progresif melalui sampel.

Berdasarkan jejak perpatahannya (fracture path), maka perpatahan dibagi menjadi 4 bagian, yaitu:

- Perpatahan ulet (dimple rupture) dengan ciri-ciri: ada deformasi plastis, permukaan kusam/buram dan berserat, tegangan geser dominan dan bentuk patahan “cup & cone” dengan τ_{maks} ,

\perp σ_{nom} atau \parallel σ_{slip} . Aspek struktur mikro: dengan SEM tampak “dimple”.

- Perpatahan getas (cleavage rupture) dengan ciri-ciri: tidak ada deformasi plastis, permukaan terang dan kristalin, permukaan patahan \perp utama dan ada “chevron marks” atau “hearing bone marks”.



Gambar 2.2 Patahan Getas

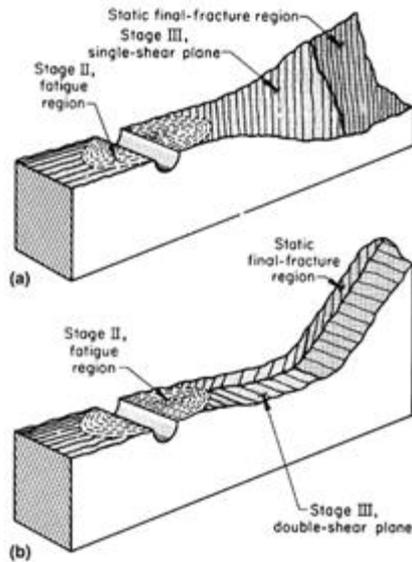
(Sumber: Jurnal Online Poros Teknik Mesin Volume 5 Nomor 2 Hal. 51)

Aspek struktur utama: butir kasar (susunan facet pada permukaan belah atau pola sungai), terkadang antara ciri-ciri cleavage ada dimple dan pada polifase (perlite $\alpha + Fe_3C$) terdapat “garis” dan “dimple”.

Faktor-faktor utama: stress konsentrasi, tegangan tarik dan temperatur relatif rendah.

- Perpatahan fatik (fatigue rupture) dengan ciri-ciri: deformasi plastis sedikit sekali atau hampir tidak ada, perpatahannya progsif (berawal dari retak halus yang merambat akibat beban berfluktuatif) dan ada “beach marks” (deformasi plastis di ujung retakan) atau “ratchet marks” (\perp permukaan).

Tahapan perpatahan: inisiasi, perambatan, kemudian patahan akhir.



Gambar 2.3 Patahan Fatik

(Sumber: Jurnal Online Poros Teknik Mesin Volume 5 Nomor 2 Hal. 51)

- Perpatahan Dekohesif (Decohesive Rupture), perpatahan jenis ini diakibatkan oleh terjadinya pelemahan ikatan pada material, baik sepanjang batas butir atau memotong batas butir. Pelemahan ini dapat terjadi akibat terdapatnya inklusi, endapan, void atau bahkan hidrogen.

2.6. Analisis Tegangan

Tegangan (*stress*) didefinisikan sebagai gaya yang bekerja pada permukaan benda dalam satuan luas (Gross, dkk, 2018). Tegangan disebut juga intensitas gaya (yaitu gaya per satuan luas) dan satuan Standar Internasional

untuk tegangan normal adalah Newton per meter kuadrat (N/m²) atau Pascal (Pa).

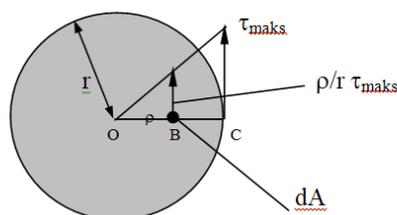
2.6.1. Tegangan Von-Mises (*von-Mises Stress*)

Analisis menggunakan perangkat lunak elemen hingga memiliki kelebihan yaitu dapat menghasilkan nilai tegangan Von Mises atau tegangan ekuivalen, yaitu jenis tegangan yang mengakibatkan kegagalan pada struktur material yang dirumuskan oleh penemunya yang bernama Von Mises. Untuk penentuan tegangan Von Mises, terlebih dahulu menghitung tegangan utama yang bekerja pada struktur dengan menggunakan persamaan diatas, setelah tegangan utama ditemukan maka tegangan Von Mises bisa didapatkan dengan persamaan (Shigley, 2004) :

$$\sigma = \{[\sigma_1 - \sigma_2]^2 + [\sigma_2 - \sigma_3]^2 + [\sigma_3 - \sigma_1]^2\}^{1/2} \quad [2.3]$$

2.6.2. Tegangan Geser (*Shear Stress*)

Apabila sebuah batang berpenampang lingkaran mengalami momen puntir sebesar T, maka akan terjadi tegangan geser puntir pada pada setiap elemen kecil dA pada penampang. Tegangan geser puntir terbesar terjadi pada sisi terluar penampang seperti pada Gambar 2.4



Gambar 2.4 Tegangan Geser Puntir pada Penampang
(Sumber: Mekanika Bahan Bab 5)

Dengan mengambil persamaan kesetimbangan gaya luar terhadap gaya dalam pada suatu irisan penampang pada Gambar 2.4. maka dapat diturunkan hubungan sebagai berikut:

Gaya-gaya dalam:

$$\text{Tegangan geser puntir} = \frac{\rho}{r} \tau_{maks} \quad [2.4]$$

$$\text{Luas} = dA \quad [2.5]$$

$$\text{Gaya} = \text{tegangan} \times \text{luas} = \frac{\rho}{r} \tau_{maks} \cdot dA \quad [2.6]$$

$$\text{Momen puntir dalam} = \text{gaya} \times \text{lengan} = \frac{\rho}{r} \tau_{maks} \cdot dA \cdot \rho \quad [2.7]$$

Gaya-gaya luar:

$$\text{Momen puntir luar} = T \quad [2.8]$$

$$\text{Gaya gaya dalam} = \text{Gaya gaya luar} \quad [2.9]$$

$$\int \frac{\rho}{r} \tau_{maks} \cdot dA \cdot \rho = T \quad [2.10]$$

$$\frac{\tau_{maks}}{r} \int \rho^2 dA = T \quad [2.11]$$

$$\int \rho^2 dA = I_p \text{ (momen inersia polar),} \quad [2.12]$$

sehingga

$$\frac{\tau_{maks}}{r} I_p = T \quad [2.13]$$

$$\tau_{maks} = \frac{T \cdot r}{I_p} \quad [2.14]$$

Keterangan :

τ_{maks} = tegangan geser puntir maksimum

T = momen torsi

r = jari-jari lingkaran

I_p = momen inersia polar

$I_p = \frac{\pi r^4}{2}$ (penampang lingkaran)

2.6.3. Tegangan Ijin

Tegangan ijin adalah tegangan maksimum yang disyaratkan oleh badan klasifikasi. Tegangan yang terjadi akibat pembebanan yang berlangsung tak terbatas pada elemen struktur, tanpa mengakibatkan terjadinya kepatahan maupun deformasi atau perubahan bentuk. Penentuan tegangan ijin menentukan perhitungan dan pemeriksaan ukuran dari struktur.

Faktor Keamanan adalah ratio keamanan struktur untuk mampu bertahan terhadap beban kerja. Perhitungan Material factor didasarkan pada Rule Biro Klasifikasi Indonesian Volume III Rules for Machinery Installation dengan Material factor (cw) didapat dari : (Biro Klasifikasi Indonesia, 2018)

$$Cw = \frac{560}{Rm+160} \quad [2.15]$$

Rm adalah minimum *tensile Strength* dari material. kemudian factor keamanan (SF) didapatkan dari :

$$SF = cw \cdot Position\ factor \quad [2.16]$$

Position factor (PF) adalah pengaruh letak. dengan nilai untuk shaft adalah 1.22, lubricating = 1.40 dan keyway = 1.26, berdasarkan perhitungan tersebut akan dikalikan dengan *yield Strength* material untuk mendapatkan tegangan ijin. Perhitungan tegangan ijin didapatkan dengan persamaan :

$$\sigma_{ijin} = \frac{\sigma_{yield}}{2 \cdot safety\ factor} \quad [2.17]$$

untuk tegangan ijin *Shear Stress*, dan

$$\sigma_{ijin} = \frac{\sigma_{yield}}{safety\ factor} \quad [2.18]$$

untuk tegangan ijin *von-mises stress*

2.7. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk memecahkan permasalahan teknis berupa persamaan matematis dengan menggunakan rumus integral dalam sistem aljabar linear dan non-linear dengan tingkat ketelitian yang cukup akurat. Tipe masalah teknis yang dapat diselesaikan menggunakan metode elemen hingga adalah analisis struktur yang meliputi analisis tegangan, buckling, dan analisis getaran. Selain itu metode elemen hingga juga bisa menyelesaikan masalah teknis non struktur seperti perpindahan panas dan massa, distribusi listrik dan magnet, mekanika fluida, dan lain sebagainya (Susatio, 2004).

Tipe-tipe permasalahan struktur meliputi : (Susatio, 2004)

1. Analisis tegangan (*stress*), meliputi analisis truss dan frame serta masalah-masalah yang berhubungan dengan tegangan-tegangan terkonsentrasi.
2. Buckling
3. Analisis getaran

Dalam permasalahan menyangkut geometri yang rumit, seperti persoalan pembebanan struktur yang kompleks, umumnya sulit dipecahkan melalui matematika analisis karena matematika analisis memerlukan nilai atau besaran yang harus diketahui pada setiap titik di struktur (Susatio, 2004).

Terdapat dua pendekatan umum dalam metode elemen hingga, yaitu :

1. Metode fleksibilitas. Gaya yang bekerja pada struktur difungsikan sebagai variabel yang harus dicari dalam metode ini. Persamaan keseimbangan digunakan untuk memperoleh persamaan pengatur. Kemudian persamaan lainnya didapat dengan memberikan syarat kompatibilitas (Kurniawan, Skripsi, 2014:25)
2. Metode kekakuan/perpindahan. Perpindahan titik simpul digunakan sebagai variabel yang harus dicari dalam metode ini. Syarat kompatibilitas mewajibkan elemen yang berhubungan akan tetap terhubung setelah mengalami deformasi. Metode kekakuan lebih menguntungkan untuk keperluan komputasi karena formulasi untuk

masalah struktur lebih sederhana dibanding fleksibilitas (Kurniawan, Skripsi, 2014:25).

Langkah-langkah penyelesaian metode elemen hingga berdasarkan metode kekakuan adalah sebagai berikut :

1. Pembagian dan pemilihan jenis elemen

Pada tahap ini, struktur material akan dipecah menjadi suatu sistem elemen - elemen hingga. Penentuan jenis elemen dilakukan agar model yang dibuat dapat mewakili bentuk dan sifat benda sebenarnya. Pemilihan jenis elemen bergantung pada kondisi benda dan pembebanannya.

2. Pemilihan fungsi perpindahan

Fungsi perpindahan pada elemen ditentukan menggunakan nilai atau koordinat titik simpul elemen. Fungsi perpindahan elemen 2 Dimensi ditentukan dengan fungsi koordinat dalam elemen tersebut.

3. Tentukan hubungan *strain/displacement* dan *stress/strain*

Hubungan *strain/displacement* dan *stress/strain* penting dalam penurunan persamaan tiap-tiap elemen hingga. Untuk kasus deformasi dalam arah sumbu x hubungan *strain* (regangan) ϵ_x dengan *displacement* dinyatakan dengan

$$\epsilon_x = \frac{d_u}{d_x} \quad [2.19]$$

4. Penurunan matriks dan persamaan kekakuan elemen

Matriks dan persamaan kekakuan elemen diturunkan dari konsep koefisien pengaruh kekakuan yang digunakan dalam analisis struktur.

5. Penggabungan persamaan elemen untuk mendapatkan persamaan global total dan penetapan syarat batas

Setelah persamaan elemen diperoleh, maka selanjutnya digabungkan dengan metode superposisi berdasarkan kesetimbangan gaya pada titik simpul. Persamaan tersebut akan menghasilkan persamaan global. Persamaan global dapat dituliskan dalam matriks berikut :

$$\{F\} = [K]\{d\} \quad [2.20]$$

Dimana :

$\{F\}$ = vektor gaya global pada titik simpul

$[K]$ = matriks kekakuan global struktur

$\{d\}$ = vektor perpindahan titik simpul

6. Penyelesaian persamaan global

Dengan menerapkan syarat batas diperoleh persamaan simultan yang ditulis dalam matriks berikut :

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \dots \\ F_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{21} & \dots & K_{n1} \\ K_{21} & \dots & & \dots \\ \dots & & & \dots \\ K_{n1} & \dots & \dots & K_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \dots \\ D_n \end{Bmatrix} \quad [2.21]$$

Dimana n = total derajat kebebasan titik simpul struktur.

7. Penyelesaian tegangan dan regangan elemen

Tegangan dan regangan didapatkan dari persamaan pada tahap ke-3. Persamaan tersebut dimasukkan kedalam Pers 2.3 pada tahapan ke-6, sehingga tegangan elemen dapat diperoleh.

8. Interpretasi hasil

Langkah terakhir adalah menginterpretasikan atau menganalisis hasil yang didapat untuk digunakan dalam proses perancangan selanjutnya.

Metode elemen hingga dapat dipakai untuk memecahkan berbagai masalah. Daerah yang dianalisis dapat mempunyai bentuk, beban, dan kondisi batas yang sembarang. Jaring-jaringnya bisa terdiri dari elemen dengan jenis, bentuk, dan ukuran yang berbeda. Kemudahan penggunaan tersebut tergabung pada satu program komputer serbaguna, yaitu dengan menyediakan data seperti jenis, geometri, kondisi batas, elemen, dan sebagainya (D. Cook, 1990:6). Beberapa software computer untuk analisis menggunakan elemen hingga diantaranya STAAD-PRO, GT-STRUDEL, NASTRAN, dan ANSYS.

2.8. Gambaran Umum ANSYS

ANSYS adalah program paket yang dapat memodelkan elemen hingga untuk penyelesaian masalah yang berhubungan dengan mekanika, termasuk didalamnya masalah static, dinamik, analisis struktur (baik linear maupun non linear), masalah perpindahan panas, masalah fluida dan juga masalah yang berhubungan dengan akustik dan elektromagnetik. ANSYS

memiliki berbagai macam produk seperti ANSYS Mechanical, ANSYS Workbench, ANSYS Fluent, dan lain-lain. Pada penelitian ini produk yang digunakan adalah ANSYS Mechanical APDL yang terintegrasi ke dalam ANSYS produk. Adapun output yang dihasilkan dari ANSYS adalah berupa gaya aksial, gaya geser, gaya lentur, momen, dan displacement yang terjadi. Secara umum penyelesaian metode elemen hingga menggunakan ANSYS dapat dibagi menjadi tiga tahapan, yaitu :

1. *Preprocessing* (Pendefinisian Masalah)

Langkah umum dalam *preprocessing* terdiri atas : [1] mendefinisikan keypoint/lines/areas/volume, [2] mendefinisikan tipe elemen dan bahan yang digunakan/sifat geometri, dan [3] mesh lines/areas/volumes yang dibutuhkan. Jumlah detail tergantung pada dimensi daerah analisis.

2. *Solution* (*Assigning Loads, Constraints, dan Solving*)

Menentukan beban (titik atau tekanan), *constraint* (translasi dan rotasi), dan kemudian menyelesaikan hasil persamaan yang telah di set.

3. *Postprocessing* (*Futher Processing dan Viewing of the Results*)

Pengolahan lebih lanjut untuk menampilkan hasil-hasil dari diagram kontur tegangan (*stress*), regangan (*strain*), dan perpindahan titik simpul (*displacement*) (Pinem, 2013).