

**ANALISIS STRUKTUR POROS KEMUDI
KAPAL PERINTIS SABUK NUSANTARA**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Menempuh Ujian Sarjana Departemen Teknik Perkapalan

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



OLEH :

ANNISA FITRAH RAMADHANI

D311 16 022

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2021

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam mengikuti seminar dan ujian akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Perkapalan Program Studi Strata Satu (S1) pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar

Judul Skripsi :

“ANALISIS STRUKTUR POROS KEMUDI KAPAL PERINTIS SABUK NUSANTARA”

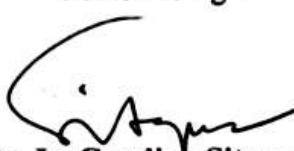
Disusun Oleh :

**ANNISA FITRAH RAMADHANI
D311 16 022**

Gowa, Juli 2021

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing I


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

Pembimbing II


Hamzah, ST., MT
Nip. 19800618 200501 1 004

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin




Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.
Nip. 19730206 200012 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Annisa Fitrah Ramadhani

NIM : D311 16 022

Program Studi : Teknik Perkapalan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

ANALISIS STRUKTUR POROS KEMUDI KAPAL PERINTIS SABUK NUSANTARA

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 orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 14 Juli 2021

Yang menyatakan



Annisa Fitrah Ramadhani

Analisis Struktur Poros Kemudi Kapal Perintis Sabuk Nusantara

Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl-Ing. ¹⁾, Hamzah, ST., MT.¹⁾, Annisa Fitrah Ramadhani ²⁾

¹⁾ Dosen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa, Indonesia.

²⁾ Mahasiswa Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa, Indonesia.

**)Corresponding Author:* nisafr256@gmail.com

ABSTRAK

Kapal sabuk nusantara merupakan kapal perintis milik kementerian perhubungan, dimana saat melaksanakan tugas beberapa Kapal Sabuk Nusantara diantaranya terdapat masalah pada sistem kemudinya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur poros kemudi KM. Sabuk Nusantara dalam konteks tumpuan dan beban yang bekerja, besar beban, dan respon poros kemudi terhadap beban-beban yang bekerja dari aspek kekuatan. Analisa ini dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan *software ANSYS Workbench*. Berdasarkan hasil analisis pada poros kemudi diperoleh bahwa semakin besar beban yang diberikan pada poros maka nilai tegangan pun semakin besar, dimana nilai tegangan maksimum terjadi saat penambahan gaya kemudi sebesar 100%. Diperoleh nilai tegangan geser maksimum 16,02 MPa, tegangan normal maksimum 216,11 MPa, dan tegangan von-Mises maksimum 220,19 MPa. Untuk Deformasi sudut puntir maksimum terjadi saat keadaan existing atau penambahan gaya kemudi sebesar 0%, yaitu sebesar 0,18243 rad.

Kata Kunci: Kapal Perintis Sabuk Nusantara, Poros Kemudi, Tegangan, Deformasi Sudut Puntir

Analysis of the Structure of Rudder Stock Pioneer Ship Sabuk Nusantara

Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl-Ing. ¹), Hamzah, ST., MT.¹), Annisa Fitrah Ramadhani 2)

¹) *Lecturer in Naval Architecture Engineering, Faculty of Engineering, Hasanuddin University, Gowa, Indonesia*

²) *Naval Architecture Engineering Student, Faculty of Engineering, Hasanuddin University, Gowa, Indonesia.*

**) Corresponding Author: nisafr256@gmail.com*

Abstract

KM Sabuk Nusantara is a pioneer ship as property of the Ministry of Transportation, wherein performing the task several KM Sabuk Nusantara of which there are problems in the rudder stock. This study aims to determine the structure of the KM Sabuk Nusantara rudder stock, in the context of support and working load, magnitude of load, and response of the rudder stock to the working loads from the aspect of strength. This analysis was conducted using the finite element method with help of ANSYS Workbench software. Based on the results of analysis on the rudder stock, it is found that the greater the load applied to the spindle, the greater the stress value, where the maximum stress value occurs when the rudder force is added by 100%. The maximum shear stress is 16.02 MPa, the maximum normal stress is 216.11 MPa, and the maximum von-Mises stress is 220.19 MPa. The maximum torsional angle deformation occurs when the existing condition or the addition of the rudder force is 0%, which is 0.18243 rad.

Keywords: *KM Sabuk Nusantara, Rudder Stock, Tension, Torsional Angle Deformation*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Syukur alhamdulillah penulis ucapkan atas berkat rahmat dan karunia Allah *subhanahu wa ta'ala* serta salam dan shalawat kepada Rasulullah shallallahu 'alaihi wasallam. Dengan segala ikhtiar yang dilakukan dan dengan digerakkannya hati dan pikiran penulis oleh Allah *subhanahu wa ta'ala* sehingga mampu menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul "**ANALISIS STRUKTUR POROS KEMUDI KAPAL PERINTIS SABUK NUSANTARA**". Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan kelulusan pada jenjang strata satu Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penyusunan tugas akhir ini memerlukan proses yang tidak singkat. Perjalanan yang saya lalui dalam menyelesaikan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan, dorongan dan dukungan moril berbagai pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghaturkan terima kasih dan memberikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Orang tua tercinta, **Ayahanda Muh. Basri** dan **Ibunda Sutanti Mokodongan** yang senantiasa mencurahkan kasih sayang, sebagai sumber motivasi, do'a dan dukungan yang tiada hentinya kepada penulis. Semoga beliau selalu dalam lindungan Allah dan diberikan umur panjang hingga penulis mampu membanggakan mereka.
2. Bapak **Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl-Ing** selaku pembimbing I dan Bapak **Hamzah, ST., MT** selaku pembimbing II yang senantiasa membimbing dan mengarahkan penulis dengan penuh kesabaran dan keikhlasan meluangkan waktu untuk berkonsultasi demi kesempurnaan tugas akhir ini sehingga dalam proses pengerjaan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Bapak **Dr. Ir. Syamsul Asri, MT**, selaku penasehat akademik penulis yang senantiasa memberikan arahan serta motivasi selama kuliah dan selaku penguji yang memberikan masukan dan arahan yang terbaik guna kesempurnaan skripsi penulis untuk memperoleh gelar akademik pada Departemen Teknik Perkapalan.

4. Ibu **Dr.Eng. A. Ardianti, ST., MT**, selaku dosen laboratorium struktur sekaligus dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran sehingga penulis dapat memperoleh gelar akademik di Departemen Teknik Perkapalan.
5. Bapak **Dr.Eng. Suandar Baso, ST., MT**, selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membantu dan memberikan arahan dalam penyelesaian tugas ini.
6. Bapak/Ibu Dosen Fakultas Teknik Departemen Teknik Perkapalan atas bimbingan, arahan, didikan, dan motivasi yang telah diberikan selama kurang lebih lima tahun berkarir di pendidikan strata satu.
7. **Hasrul** yang telah memberikan perhatian, dukungan dan do'a tiada henti dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Saudari Yunanda, Mahira, Awaliyah, Ainun dan Mila yang selalu memberi dukungan tiada henti dan terus menemani hingga tugas ini selesai.
9. Teman seperjuangan laboratorium struktur **Black Panther Squad**: Indah, Dillong, Afdi, Melda, Ronald, Ihza, Sandy, Fadhy, Tandi, Idhil, dan Syahrul yang telah memberi dukungan dan teman berbagi selama berada dilaboratorium struktur kapal
10. Teman-teman Cruizer16, khususnya **NAVAL 2016** yang telah memberikan kenangan yang tak terlupakan serta semangat selama penggerjaan tugas ini.
11. Senior atas kesediannya dalam berdiskusi mengenai tugas akhir ini.
12. Seluruh staff Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang selalu membantu segala administrasi selama kuliah.
Semoga pihak yang membantu dalam penulisan tugas akhir mendapatkan pahala oleh Allah. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi semua pihak yang berkenan membacanya dan mempelajarinya.

Gowa, Juli 2021

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan Penelitian	1
1.4 Batasan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Pengertian Kapal Perintis.....	3
2.2 Sistem Kemudi	3
2.2.1 Tipe-tipe Kemudi	3
2.2.2 Bagian-bagian Kemudi.....	6
2.2.3 Ketentuan Kemudi	9
2.3 Beban-Beban yang Bekerja Pada Kemudi	10
2.4 Tegangan	11
2.3.1 Tegangan Geser (<i>Shear Stress</i>)	11
2.3.2 Tegangan Normal.....	13
2.3.3 Tegangan Von-Mises (von-Mises Stress)	13
2.3.4 Deformasi Sudut.....	13
2.5 Metode Elemen Hingga.....	14
2.6 ANSYS.....	17
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1 Jenis Penelitian.....	19

3.2 Jadwal dan Lokasi Penelitian	19
3.3 Teknik Pengumpulan Data	19
3.3.1 Jenis Data	19
3.3.2 Teknik Pengambilan Data	19
3.4 Prosedur Penelitian.....	20
3.4.1 Studi Literatur dan Studi Lapangan	20
3.4.2 Pengolahan Data	20
3.4.3 Prosedur penyelesaian dengan <i>software</i> Ansys	21
3.5 Diagram Alur Metodologi Penelitian.....	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Struktur Kemudi KM. Sabuk Nusantara 54	28
4.1.1 Tumpuan Poros Kemudi	29
4.1.2 Pembebanan Struktur Pada Poros Kemudi	32
4.2 Analisis Kekuatan Poros Kemudi	36
4.2.1 Tegangan Geser XY	37
4.2.2 Tegangan Normal.....	38
4.2.3 Tegangan Von-Mises	40
4.2.4 Deformasi Sudut.....	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	44
5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kemudi biasa (Harun,2007).....	4
Gambar 2. 2 Kemudi balansir (Harun,2007)	5
Gambar 2. 3 Kemudi setengah balansir (Harun,2007)	5
Gambar 2. 4 Kemudi melekat (Harun,2007)	5
Gambar 2. 5 Kemudi menggantung (Harun,2007)	6
Gambar 2. 6 Kemudi setengah menggantung (Harun,2007)	6
Gambar 2. 7 Kemudi (Eyres,2012)	7
Gambar 2. 8 Bantalan Kemudi (Eyres,2012).....	8
Gambar 2. 9 Daun kemudi (Indrut. 2015)	8
Gambar 2. 10 Kerangka daun kemudi dengan las lubang (Indrut,2015).....	9
Gambar 2. 11 Tegangan Geser Puntir pada Penampang.....	12
Gambar 3. 1 Geometri sistem poros kemudi	21
Gambar 3. 2 Geometri Poros kemudi dan Bantalan	22
Gambar 3. 3 Geometri Poros kemudi dan Bantalan	23
Gambar 3. 4 Material Properties <i>Poros kemudi</i> (S45C)	24
Gambar 3. 5 Material Properties <i>Bantalan</i> (<i>Bronze Bearing</i>).....	24
Gambar 3. 6 <i>Meshing</i> Pada Poros kemudi dan Bantalan	25
Gambar 3. 7 Model yang telah di <i>running</i> dengan tanda centang.....	26
Gambar 3. 8 Diagram alur metodologi penelitian	27
Gambar 4. 1 Kemudi KM Sabuk Nusantara 54.....	28
Gambar 4. 2 Plat ganda daun kemudi KM Sabuk Nusantara 54.....	28
Gambar 4. 3 Sambungan poros dan daun kemudi KM Sabuk Nusantara 54	29
Gambar 4. 4 Detail tumpuan bantalan radial pada model.....	30
Gambar 4. 5 Tumpuan pada bantalan radial	30
Gambar 4. 6 Detail tumpuan pada ujung poros	31
Gambar 4. 7 Jenis Tumpuan pada Ujung Poros.....	31
Gambar 4. 8 Detail tumpuan pada lokasi bantalan aksial	31
Gambar 4. 9 Jenis Tumpuan pada lokasi bantalan aksial	32
Gambar 4. 10 Detail pembebanan pada daun kemudi saat existing.....	34
Gambar 4. 11 Pembebanan gaya kemudi dan berat kemudi pada daun kemudi	34
Gambar 4. 12 Pembebanan terpusat atas reaksi gaya kemudi dan berat kemudi pada poros	35
Gambar 4. 13 Moment atas reaksi gaya kemudi dan berat kemudi pada poros	36

Gambar 4. 14 Pembebanan momen torsi pada poros.....	36
Gambar 4. 15 Tegangan geser saat keadaan existing	37
Gambar 4. 16 Grafik perubahan tegangan geser keadaan existing dan setiap variasi penambahan beban	38
Gambar 4. 17 tegangan normal saat keadaan existing	39
Gambar 4. 18 Grafik perubahan tegangan normal keadaan existing dan setiap variasi penambahan beban	40
Gambar 4. 19 Tegangan von-Mises saat keadaan existing	41
Gambar 4. 20 Grafik perubahan tegangan von-Mises keadaan existing dan setiap variasi penambahan beban	42
Gambar 4. 21 Grafik perubahan deformasi sudut keadaan existing dan setiap variasi penambahan beban	43

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Material <i>Properties S45C</i>	21
Tabel 3. 2 Material Properties bearing bronze.....	21
Tabel 4. 1 Beban yang bekerja pada kemudi	33
Tabel 4. 2 Variasi Beban Gaya Kemudi	33
Tabel 4. 3 Reaksi Beban Daun Kemudi pada tiap Variasi	35
Tabel 4. 4 Tegangan Geser maksimal saat keadaan existing dan setiap variasi	37
Tabel 4. 5 Tegangan normal maksimal saat keadaan existing dan setiap variasi	39
Tabel 4. 6 Tegangan von-Mises maksimal saat keadaan existing dan setiap variasi	41
Tabel 4. 7 Deformasi Sudut Puntir saat keadaan existing dan setiap variasi	43

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kapal perintis merupakan layanan angkutan laut yang sangat diandalkan masyarakat kepulauan terpencil, terdepan, terbelakang dan perbatasan mengingat ketiadaan transportasi jenis lain (darat dan udara) yang beroperasi di wilayah tersebut. Tanpa kehadiran kapal perintis perekonomian di pulau tersebut akan terganggu.

Kapal sabuk nusantara merupakan kapal perintis milik kementerian perhubungan yang telah dibangun puluhan jumlahnya dan dioperasikan oleh banyak perusahaan pelayaran. Kapal sabuk nusantara kini menjadi salah satu transportasi yang paling membantu dan sangat menguntungkan bagi masyarakat terpencil di kepulauan. Berdasarkan data dari PT.IKI pada Lampiran 1, dalam melaksanakan tugasnya Kapal Sabuk Nusantara yang diklaskan menurut BKI ini beberapa diantaranya terdapat masalah pada sistem kemudinya. Beberapa kapal perintis Sabuk Nusantara mengalami patah/lepas poros kemudi dalam pelayarannya yang belum diketahui penyebab pastinya.

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka perlu dilakukan “Analisis Struktur Poros Kemudi Kapal Perintis Sabuk Nusantara” untuk mengetahui penyebab kerusakan poros kemudi kapal tersebut dari aspek kekuatan dan deformasi .

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana struktur poros kemudi KM. Sabuk Nusantara dalam konteks tumpuan dan beban yang bekerja ?
2. Berapa besar beban yang terjadi pada poros kemudi KM. Sabuk Nusantara?
3. Bagaimana respon poros kemudi KM. Sabuk Nusantara terhadap beban-beban yang bekerja dari aspek kekuatan?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui :

1. Analisis struktur poros kemudi KM. Sabuk Nusantara

2. Besar beban pada poros kemudi KM. Sabuk Nusantara
3. Tegangan yang terjadi pada poros kemudi KM. Sabuk Nusantara

1.4 Batasan Penelitian

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 kemudi dengan pertimbangan tegangan yang bekerja.
2. Analisis struktur menggunakan metode elemen hingga dengan aplikasi ANSYS.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian ini ialah sebagai berikut:

1. Dapat digunakan sebagai acuan dalam memperbaharui dan mengoptimalkan desain poros kemudi KM. Sabuk Nusantara
2. Dapat digunakan sebagai referensi penelitian dalam menganalisis tegangan poros kemudi kapal.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk mendapatkan alur penyusunan skripsi yang jelas dan memudahkan pembaca memahami uraian dan makna secara sistematis, maka skripsi ini disusun menjadi beberapa bagian, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN, diuraikan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, berisikan landasan teori dan studi literatur yang berkaitan dengan topik penelitian

BAB III METODOLOGI PENELITIAN, dalam bab ini dijelaskan jenis penelitian yang digunakan untuk memperoleh data yang dibutuhkan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, dalam bab ini disajikan hasil-hasil penelitian yang diperoleh dari pengolahan data dan penelitian.

BAB V PENUTUP, berisikan kesimpulan dari penelitian dan saran-saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Kapal Perintis

Menurut Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 48 Tahun 2018 Tentang Penyelenggaraan Kegiatan Pelayanan Publik Kapal Perintis, Kapal Perintis adalah kapal yang memiliki tugas menghubungkan daerah masih tertinggal dan/atau wilayah terpencil dan/atau daerah yang memerlukan angkutan perairan pelabuhan.

Kapal Sabuk Nusantara merupakan kapal perintis milik Kementerian Perhubungan yang dioperasikan oleh banyak perusahaan pelayaran dan telah beroperasi sejak tahun 2012. Kapal Sabuk Nusantara rata-rata memiliki spesifikasi panjang (LOA) ±652,80 meter dan lebar kurang lebih 12 meter.. Kapal sabuk Nusantara kini menjadi salah satu sarana transportasi yang paling membantu dan sangat menguntungkan bagi masyarakat terpencil dikepulauan. (Kataomed,2020)

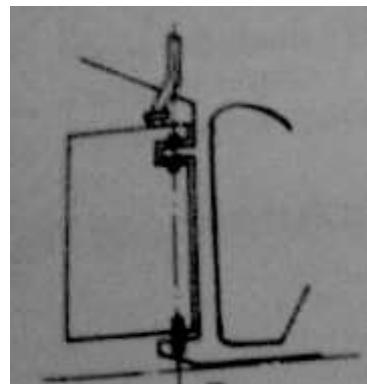
2.2 Sistem Kemudi

Sistem kemudi sebuah kapal merupakan komponen yang penting, karena dengan sistem kemudi inilah kapal dapat dikendalikan sesuai dengan arah yang diinginkan.

2.2.1 Tipe-tipe Kemudi

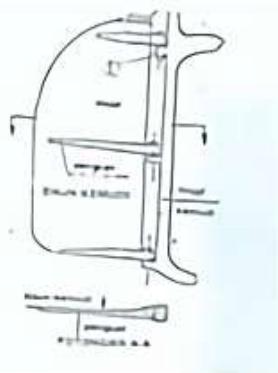
Pilihan jenis kemudi bergantung pada jenis dan ukuran kapal atau perahu, bentuk kapal buritan dan ukuran rudder yang dibutuhkan. (Molland, 2008). Kemudi memiliki bagian yang disederhanakan untuk memberikan rasio angkat terhadap gaya hambat yang baik dan memiliki konstruksi pelat ganda. Mereka dapat dikategorikan sesuai dengan tingkat keseimbangan - seberapa dekat pusat tekanan ke sumbu kemudi. Kemudi yang seimbang membutuhkan lebih sedikit torsi untuk berbelok. (Tupper, 2013). Ditinjau dari letak daun kemudi terhadap poros kemudi dapat dibedakan atas:

- a) Kemudi biasa, adalah kemudi yang mempunyai luas daun kemudi yang terletak dibelakang sumbu putar kemudi, dapat dilihat pada Gambar 2.1.

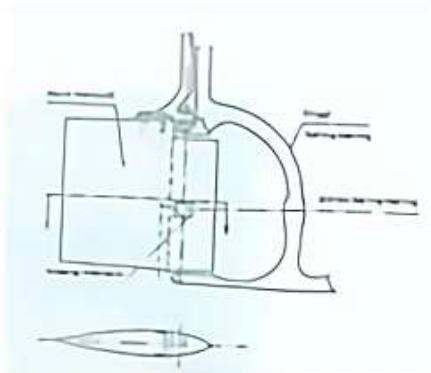


Gambar 2. 1 Kemudi biasa (Harun,2007)

Kemudi biasa terbagi menjadi 2, yaitu kemudi plat tunggal dan kemudi plat ganda. Kemudi biasa plat tunggal adalah kemudi biasa dimana kontruksinya terdiri dari plat atau lembaran plat tunggal saja. Sedangkan kemudi biasa Plat ganda adalah kemudi biasa dimana kontruksinya terdiri dari plat atau lembaran plat berganda sehingga didalamnya terdapat rongga seperti pada Gambar 2.2



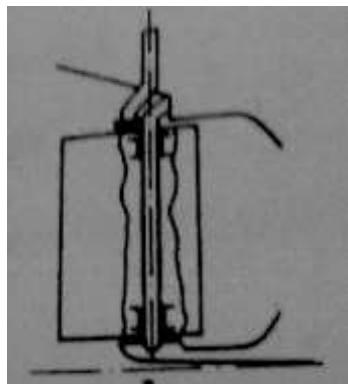
Kemudi Pelat Tunggal



Kemudi Pelat Ganda

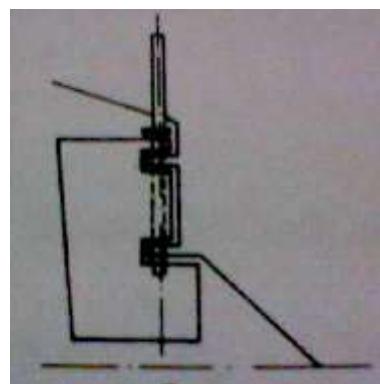
Gambar 2. 2 Plat tunggal dan plat ganda

- b) Kemudi balansir, yaitu jenis kemudi yang mempunyai luas daun yang terbagi atas dua bagian, yaitu didepan dan dibelakang sumbu putar kemudi dan dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2. 3 Kemudi balansir (Harun,2007)

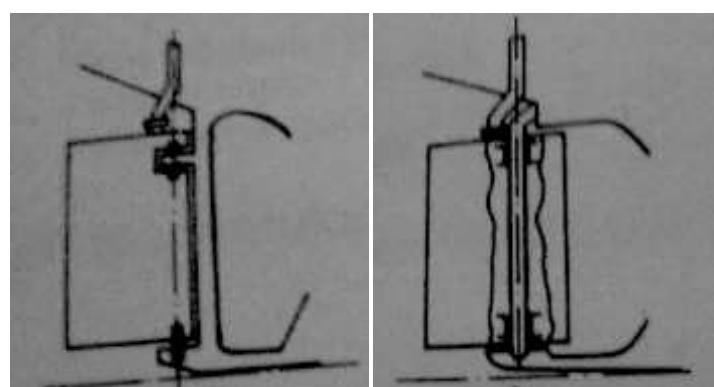
- c) Kemudi setengah balansir, yaitu jenis kemudi yang bagian atas termasuk kemudi biasa, tetapi bagian bawah merupakan kemudi balansir. Kemudi bagian bawah dan atas tetap merupakan suatu bagian dan dapat dilihat pada Gambar 2.4



Gambar 2. 4 Kemudi setengah balansir (Harun,2007)

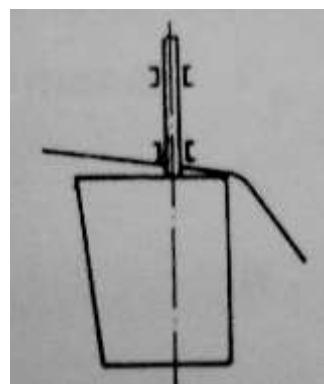
Jika ditinjau dari penempatannya, daun kemudi dibedakan menjadi :

- a) Kemudi melekat, yaitu kemudi yang sebagian besar bebannya ditumpu oleh sepatu kemudi dan dapat dilihat pada Gambar 2.5



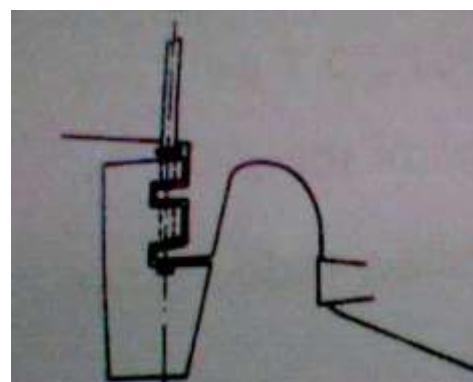
Gambar 2. 5 Kemudi melekat (Harun,2007)

- b) Kemudi tergantung, yaitu kemudi yang sebagian besar bebannya disangga oleh bantalan-bantalan kemudi digeladak dan dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2. 6 Kemudi menggantung (Harun,2007)

- a) Kemudi setengah tergantung, yaitu kemudi yang bebannya disanga oleh bantalan-bantalan pada tanduk kemudi dan dapat dilihat pada Gambar 2.7

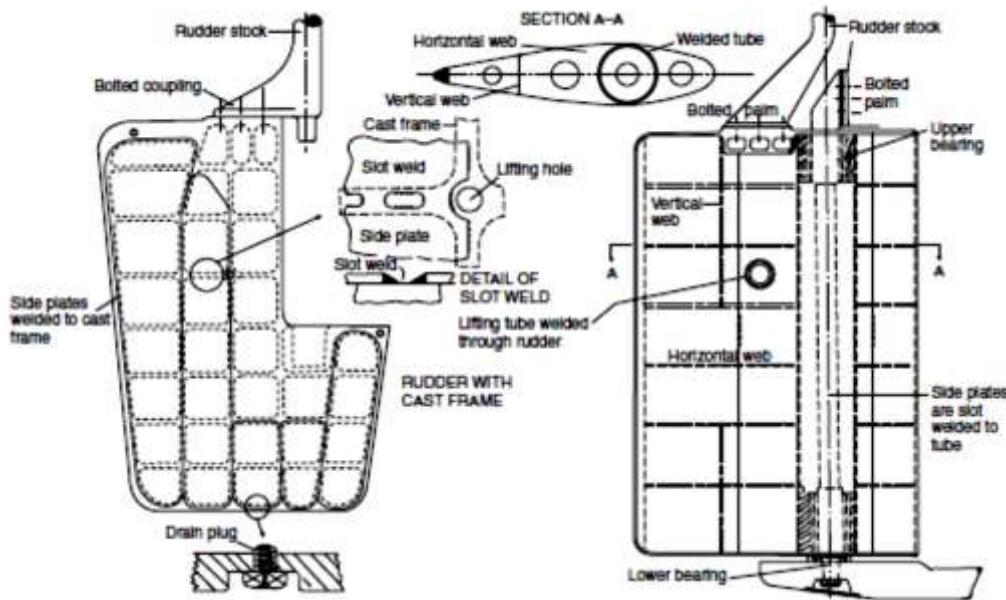


Gambar 2. 7 Kemudi setengah mengantung (Harun,2007)

2.2.2 Bagian-bagian Kemudi

- a) Poros Kemudi

Poros kemudi dapat dari baja tuang atau baja tempa, dan meterannya ditentukan sesuai dengan torsi dan momen lentur yang harus ditahan. Di ujung bawahnya terhubung ke daun kemudi dengan kopling baut horizontal atau vertikal, memiliki baut luas penampang yang cukup untuk menahan torsi yang diterapkan ke batang. (Eyres,2012)



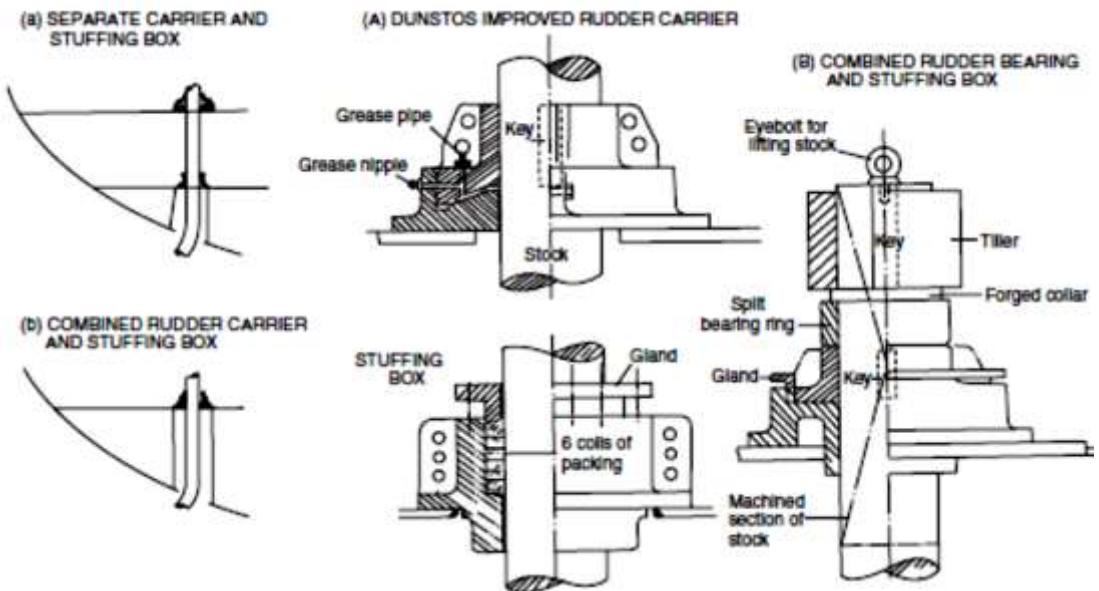
Gambar 2. 8 Kemudi (Eyres,2012)

b) Bantalan Kemudi

Berat kemudi dapat ditahan sebagian oleh bantalan kemudi di dalam lambung. Pada beberapa tipe rudder berat kemudi hanya ditopang di dalam lambung kapal, beban penuh ditanggung oleh bantalan. Sebuah bantalan kemudi dapat menggunakan penutup kedap air yang dipasang di ujung atas batang kemudi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9. Sebagian besar berat kemudi mungkin naik ke bantalan jika terjadi keausan yang berlebihan pada pintle bawah, dan bantalan yang diilustrasikan telah dicetak kerucut besi yang membatasi keausannya

c) Tabung Kemudi

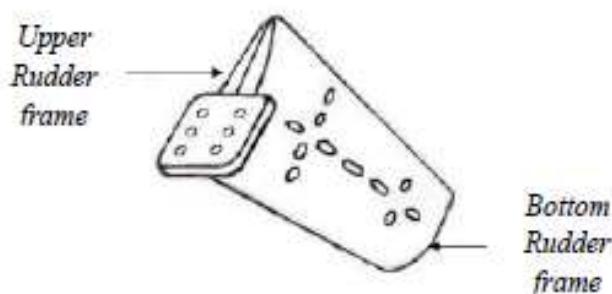
Poros kemudi dipasang di dalam tabung kemudi, yang biasanya tidak dibuat kedap air ujung bawahnya, tetapi kedap air di bagian atas batang yang memasuki lambung (Gambar 2.9). Tabung ini dibuat cukup pendek sehingga batang memiliki panjang tidak didukung minimum, dan dapat dibuat dari pelat yang dilas bentuk kotak dengan lantai di atas pintu membentuk ujung depan. (Eyres,2012)



Gambar 2. 9 Tabung dan bantalan kemudi (Eyres,2012)

d) Daun Kemudi (*Rudder Blade*)

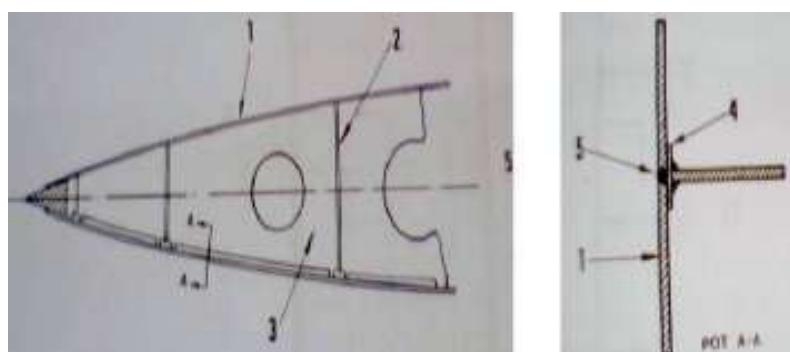
Daun kemudi berfungsi untuk membelokkan arah aliran air yang disebabkan oleh baling-baling sehingga dapat membelokkan kapal. Rudder blade (daun kemudi) dibagi dalam dua tempat : upper rudder frame (bagian atas) dan bottom rudder frame (bagian bawah). Daun kemudi pada awalnya dibuat dari pelat tunggal dan penegar. Penegar yang dikeling pada bagian sisi pelat. Jenis kemudi ini sekarang sudah diganti dengan bentuk kemudi pelat ganda, terutama pada kapal-kapal yang berukuran relatif besar. (Satriyo. 2019)



Gambar 2. 10 Daun kemudi (Indrut. 2015)

Kemudi pelat ganda terdiri atas lembaran pelat ganda dan didalamnya

berongga, sehingga membentuk suatu garis aliran yang baik (*streamline*) yang bentuk penampangnya seperti sayap (*foil*). Konstruksi daun kemudi dari pelat ganda memiliki kerangka yang dibuat dari bahan baja tuang atau dapat juga dibentuk dari pelat bilah penegar yang dilaskan kedaun kemudi. Satu sisi pelat daun kemudi dilas pada kerangka kemudi dan sisi lainnya dilas dengan las lubang (*slot welding*). Jika daun kemudi diperkuat dengan pelat bilah mendatar dan tegak, pada salah satu pelat bilah dipasangkan pelat hadap. Kegunaan pelat hadap adalah untuk pengikatan pelat daun kemudi terhadap salah satu sisi kerangka kemudi dengan las lubang seperti Gambar 2.11



Gambar 2. 11 Kerangka daun kemudi dengan las lubang (Indrut,2015)

Keterangan :

- | | |
|---------------------------|----------------|
| 1. Pelat sisi daun kemudi | 4. Pelat hadap |
| 2. Penegar tegak | 5. Las lubang |
| 3. Penegar mendatar | |

2.2.3 Ketentuan Kemudi

Kemudi memiliki peran yang penting dalam suatu kapal, maka kemudi harus memenuhi suatu standar keselamatan suatu pelayaran. SOLAS '74 melalui Peraturan 29 Bagian B Bab II – I mengenai Perangkat kemudi (Resolusi A. 210 - VII) menyebutkan bahwa ketentuan kemudi untuk kapal barang dan penumpang adalah sebagai berikut :

- a) Kemudi utama harus mempunyai kekuatan yang cukup dan bilamana kapal dengan kecepatan ekonomis maksimum dapat mengemudikan kapal dengan aman dann layak/ baik.

- b) Kapal- Kapal harus dilengkapi dengan perangkat kemudi utama (steering gear) dan perangkat kemudi bantu (auxiliary steering gear) yang memenuhi persyaratan oleh administrasi (Instansi Pemerintah)
- c) Penataan kemudi utama dan poros kemudi harus dikonstruksikan sedemikian rupa, sehingga tidak mengalami kerusakan sewaktu kapal bergerak mundur dengan kecepatan maksimum.
- d) Perangkat kemudi bantu harus mempunyai kekuatan yang layak untuk mengemudikan kapal dengan kecepatan tertentu untuk dapat berlayar dan digunakan dalam keadaan darurat.

2.3 Beban-Beban yang Bekerja Pada Kemudi

Beban adalah gaya, deformasi, atau akselerasi yang diterapkan pada komponen struktur. Beban menyebabkan tegangan, deformasi, dan perpindahan dalam struktur (Avallone dan Baumeister, 1996). Beban dapat digolongkan menjadi beberapa jenis yaitu *sustain load*, *occasional load*, dan *operational load*. *Sustain load* adalah beban akibat berat yang ditimbulkan oleh material itu sendiri dan sifatnya *continue*, yaitu bebannya selalu ada selama proses operasi material. *Occasional load* adalah beban yang diterima material akibat fenomena alam seperti angin, gempa, salju, dan lainnya. *Occasional load* jarang terjadi, namun tetap diperhitungkan dalam perhitungan beban suatu material. Sedangkan *Operational load* adalah beban yang timbul akibat gerakan atau aksi dari material tersebut, seperti beban yang timbul akibat putaran yang menghasilkan torsi.

Pada saat di operasikan, gaya daun kemudi (*rudder blade*) diteruskan kepada bagian bagian instalasi kemudi, salah satunya adalah poros kemudi (*rudder stock*). Kemudi harus memenuhi suatu standar keselamatan suatu pelayaran (Utomo,2010).

Beban yang bekerja pada kemudi ada 3 yaitu momen torsi, berat kemudi, dan gaya kemudi. Nilai momen torsi dapat diketahui berdasarkan spesifikasi pada mesin hidrolik kemudi. Untuk berat yang ditanggung oleh poros kemudi yaitu berat daun kemudi dan berat poros itu sendiri. Dimana berat kemudi dapat dihitung menggunakan rumus (Fisika,2020):

$$W = \text{Massa} \times g$$

$$= (\text{Volume} \times \text{Density material}) \times g$$

Sedangkan gaya kemudi dapat dihitung menggunakan rules (BKI Vol II, Sect 14 B1.1) :

$$CR = 132 \cdot A \cdot v_0 \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot \kappa_3 \cdot \kappa_t$$

Keterangan:

A = Luas daun kemudi

V = v_0 untuk kondisi maju
= 12 knot

κ_1 = koefisien yang tergantung pada aspek rasio Λ , $(\Lambda + 2)/3$,
dimana Λ tidak perlu diambil lebih besar dari 2

= 1,16

κ_2 = koefisien yang tergantung pada bentuk/jenis kemudi
= 1,1

κ_3 = koefisien yang tergantung pada letak kemudi
= 1,0 (kemudi dalam pancaran baling-baling)

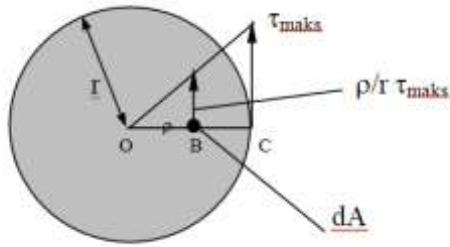
κ_t = koefisien yang tergantung pada koefisien dorong CTh
= 1,0 (pada umumnya)

2.4 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/m^2) atau Pascal (Pa).

2.3.1 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 2.12



Gambar 2. 12 Tegangan Geser Puntir pada Penampang

Dengan mengambil persamaan kesetimbangan gaya luar terhadap gaya dalam pada suatu irisan penampang pada Gambar 2.5. 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:

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

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

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

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

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

Keterangan :

τ_{maks} = tegangan geser puntir maksimum

T = momen torsii

r = jari-jari lingkaran

I_p = momen inersia polar

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

2.3.2 Tegangan Normal

Tegangan normal (*normal stress*) adalah tegangan yang tegak lurus terhadap permukaan tegangan tersebut diterapkan. Tegangan normal dapat berupa tarikan (*tensile*) dan tekanan (*compressive*). Tegangan tarik (*tensile*) bertanda positif dan tegangan tekan (*compressive*) bertanda negatif (Gere dan Timoshenko, Vol. I, 2000:22).

Bila arah bidang khayal memotong sebuah bagian struktur yang dipilih dengan bijaksana, maka tegangan yang bekerja pada potongan tersebut akan sangat penting dan mudah menentukannya. Keadaan penting seperti itu terdapat pada suatu pembebanan batang aksial lurus dalam gaya tarik, asal bidang dibuat tegak lurus terhadap batang. Tegangan tarik yang bekerja pada potongan tersebut merupakan tegangan maksimum, sedangkan potongan lain yang tidak tegak lurus pada sumbu batang akan mempunyai permukaan yang lebih luas untuk melawan gaya pakai. Tegangan maksimum merupakan yang paling penting karena cenderung akan menyebabkan kegagalan bahan tersebut. (Popov, 1984)

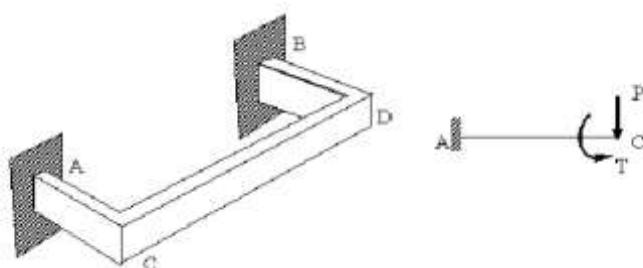
2.3.3 Tegangan Von-Mises (von-Mises Stress)

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.

2.3.4 Deformasi Sudut

Apabila poros diberi torsi maka akan terjadi pergeseran memutar untuk setiap partikel penyusun poros tersebut dengan titik pusarnya putaran di titik pusat poros. Untuk sudut putar yang kecil, tidak akan terjadi perubahan bentuk pada poros. Panjang poros akan tetap dan setiap penampang tidak akan mengalami

perubahan radius. Di sepanjang poros, sudut putar akan berubah secara linear. Secara umum puntiran terjadi bila balok mengalami perputaran terhadap sumbunya. Perputaran demikian dapat diakibatkan oleh beban dengan titik kerja yang tidak terletak pada sumbu simetri. Bila balok mengalami puntiran, maka lapisan-lapisan pada penampang balok cenderung bergeser satu dengan yang lain. Karena kohesi maka bahan akan melawan pergeseran balok. (Adnyana,2019)



Gambar 2. 13 Tegangan Geser Puntir pada Penampang (Adnyana,2019)

Perhatikan balok CD pada Gambar 2.13, terjadi momen jepit pada C dan pada D. Momen jepit di C akan mengakibatkan momen puntir pada balok AC, momen jepit di D akan mengakibatkan momen puntir pada balok BD. Pada dasarnya untuk keperluan perencanaan setiap balok harus diperiksa apakah balok tersebut mengalami puntira tau tidak. Sebab puntir akan mempengaruhi perencanaan penampang balok yang bersangkutan. (Adnyana,2019)

Asumsi dasar pada analisis puntir:

- Bentuk penampang datar yang tegak lurus sumbu batang tetap datar setelah mengalami puntir
- Tegangan puntir yang terjadi berbanding lurus dengan jaraknya ke sumbu pusat
- Tegangan geser yang terjadi berbanding lurus dengan regangan geser puntir (Adnyana,2019).

2.5 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.
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.

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 :

$$\varepsilon_x = \frac{d_u}{d_x} \quad [2.21]$$

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 :

$$\{F\} = [K]\{d\} \quad [2.22]$$

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 :

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \dots \\ F_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{21} & \dots & K_{n1} \\ K_{21} & \dots & & \dots \\ \dots & & \dots & \dots \\ K_{n1} & \dots & \dots & K_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \dots \\ D_n \end{Bmatrix} \quad [2.23]$$

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 persamaan 2.23 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). Beberapa software computer untuk analisis menggunakan elemen hingga diantaranya STAAD-PRO, GT-STRUDEL, NASTRAN, dan ANSYS.

2.6 ANSYS

ANSYS merupakan salah satu software analisis dengan metode elemen hingga untuk menganalisis berbagai macam struktur, aliran fluida, dan perpindahan panas dari software analisis yang lain yaitu CATIA, NASTRAN, Fluent, dan lain sebagainya. (Pinem, 2013).

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).