



ANALISA SISTEM PENGENDALIAN GERAK YAWING NONLINEAR KAPAL DENGAN MENGUNAKAN SISTEM SATU PROPELER DENGAN DUA DAUN KEMUDI

TUGAS AKHIR



Oleh:

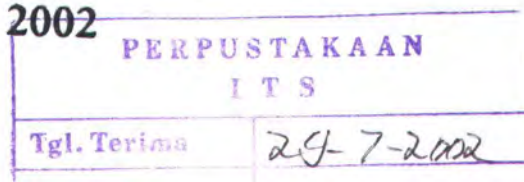
HEROE POERNOMO

NRP. 4297 100 051

RSPe
623.88
Poe
a-1
2002

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA**

2002



**ANALISA SISTEM PENGENDALIAN GERAK
YAWING NONLINEAR KAPAL DENGAN
MENGUNAKAN SISTEM SATU PROPELER
DENGAN DUA DAUN KEMUDI**

TUGAS AKHIR

Oleh:

HEROE POERNOMO

NRP. 4297 100 051

Surabaya, Mei 2002

Mengetahui / Menyetujui

Pembimbing



Dr. Ir. Abdul Munif, M.Eng

NIP. 132 007 643

Ketua Jurusan

Teknik Sistem Perkapalan FTK - ITS



Dr. Ir. A.A. Masroeri, M.Eng

NIP. 131 407 591



ABSTRAK

ABSTRAK

Sistem Vect Twin Rudder (VTR) adalah suatu sistem yang digunakan untuk mengendalikan gerak manuver kapal dengan menggunakan dua daun kemudi yang berbentuk seperti ikan yang terletak dibagian belakang kapal (astern) dan sebuah propeler yang terletak tepat ditengah bagian belakang antara kedua daun kemudi tersebut. Pengaturan posisi kedua daun kemudi tersebut akan menghasilkan gerak kapal yang bervariasi. Tulisan ini membahas model matematika gerak manuver kapal dengan menggunakan sistem VTR, kemudian dilakukan simulasi dari pemodelan matematika tersebut dengan menggunakan koefisien yang didapatkan dari hasil eksperimen CMT, test tahanan kapal, tes propeler dan pengujian di trowongan angin. Selanjutnya akan dibahas sistem pengendalian gerak yawing kapal dengan sistem VTR dan dilakukan simulasi pengendalian intelejen yang menggunakan tiga level pengendalian. Dari hasil simulasi pengendalian intelejen didapatkan bahwa kualitas pengendalian yang dilakukan oleh sistem intelejen sangat baik, dan sistem cepat mencapai keadaan stabil dalam waktu yang singkat yaitu sekitar 150 - 200 detik.



KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

Rasa syukur yang mendalam penyusun panjatkan kehadirat Allah swt, atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulisan tugas akhir ini dapat terselesaikan, sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini penyusun banyak memperoleh bantuan dari beberapa pihak baik berupa ilmu, material dan spiritual. Dalam kesempatan ini penyusun ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr.Ir. A.A. Masroeri, M.Eng Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
2. Dr.Ir. Abdul Munif, M.Eng selaku dosen pembimbing tugas akhir atas masukan ilmu yang diberikan selama ini.
3. Semua Dosen beserta Karyawan Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
4. Bapak dan Ibu dalem tercinta, Mbak Ning beserta “Si Kecil” yang mayax & ngrepotin, Dhek Pipit yang menundaku, terima kasih atas doa, semangat dan segala ejekannya agar cepat menyelesaikan tugas akhir yang tertunda ini.
5. Riris ”Prameswari” Rulaningtyas, yang memberikan dorongan dan semangat baik lahir maupun “Batin” yang tiada hentinya, sehingga dapat terselesaikan tugas akhir yang melelahkan ini.

6. Anif "wergul" *relakan dia pergi* dan Andy W (*Sesama Direksi FUSI*) serta Kopral Didik sbg temen seperjuangan "TA", Masyarakat penghuni Lab.Keandalan: Kadir, Hendi, Yud2, serta temen-temen angkatan '97 yang lainnya atas semua bantuan (walau takkurasakan), semangat dan rasa kebersamaannya selama ini.
7. Sohib yang tak dekat lagi di hati "Diyah dan Maya" thank's for your attantion selama SMA sampai kemarin.
8. Non Danie, Pepeb, Devi, beserta Wulan "Selir2 kecilku yang manis" thank's atas semangat hidup yang diberikan sehingga "***Bikin Hidup ini Lebih Hidup***".
9. Semua murid *Asuhanku* Fredy & Fiky, Reza 'mesum', Rina & Wawan and the last my student Candia thank's for your help in my financial sehingga persoalan dana untuk TA ini lancar-lancar aja heheheeeee.
10. Bantuan dari semua pihak yang tidak dapat penyusun sebutkan satu persatu.

Penyusun menyadari bahwa hasil penelitian yang tertuang dalam tugas akhir ini masih jauh dari sempurna, Oleh sebab itu kritik dan saran tetap dibutuhkan untuk menyempurnakan tugas akhir ini. Harapan penyusun, kiranya tugas akhir ini dapat memberikan sumbangan bagi pengembangan ilmu pengetahuan khususnya di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.

Surabaya, 7 Mei 2002

Penyusun



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

	hal
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR NOTASI	xi
BAB I PENDAHULUAN	I- 1
1.1 Latar Belakang	I- 1
1.2 Permasalahan	I- 2
1.3 Tujuan	I- 3
1.4 Manfaat Tugas Akhir	I- 4
1.5 Metodologi	I- 4
1.6 Sistematika Laporan	I- 5
BAB II DASAR TEORI	II- 1
2.1 Gerak Benda Rigid dengan 6 Derajat Kebebasan	II- 1
2.2 Gerak Manuver Kapal	II- 4
2.3 Transformasi Sistem Koordinat	II- 4

2.4 Gaya Total dan Momen Total pada Kapal	II- 6
2.5 Persamaan Matematis Gerak Manuver Kapal dengan Sistem VTR	II- 7
2.6 Gaya Propeler	II- 9
2.7 Gaya Tahanan (Resistensi) Kapal	II-10
2.8 Gaya Damping	II-11
2.9 Gaya Rudder	II-12
2.10 Pengendalian Intelejen Gerak Manuver Kapal dengan Sistem VTR	II-15
BAB III ANALISA DAN SIMULASI GERAK MANUVER KAPAL	III- 1
3.1 Model Dinamika Gerak Kapal dengan Sistem VTR	III- 1
3.2 Simulasi dan Analisa Gerak Turning Kapal	III- 3
BAB IV SISTEM PENGENDALIAN GERAK YAWING KAPAL BERDASARKAN ARTIFICIAL INTELLIGENT CONTROL	IV- 1
4.1 Gambaran Umum	IV- 1
4.2 Sistem Pengendalian dan Analisa Gerak Yawing Kapal	IV- 3
BAB V KESIMPULAN	V- 1
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN I HASIL SIMULASI GERAK TURNING	
LAMPIRAN II HASIL PENGENDALIAN GERAK YAWING KAPAL	




DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

	hal
Gambar 2.1 Sistem Koordinat pada Rigid Body	II- 2
Gambar 2.2 Sistem Koordinat	II- 5
Gambar 2.3 Sistem Vect Twin Rudder	II- 8
Gambar 2.4 Komponen Gaya Normal pada Rudder	II-12
Gambar 2.5 Kecepatan Aliran Fluida pada Propeler dan Rudder	II-13
Gambar 2.6 Arsitektur Sistem Pengendalian Intelejen	II-16
Gambar 3.1 Model Kapal dngan Sistem VTR	III-5
Gambar 3.2 Gerak Turning Kapal dengan Froude number 0.1	III-7
Gambar 3.3 Gerak Turning Kapal dengan Froude number 0.2	III-8
Gambar 3.4 Gerak Turning Kapal dengan Froude number 0.3	III-9
Gambar 3.5 Gerak Turning Kapal dengan Froude number 0.4	III-10
Gambar 3.6 Perbandingan Sudut Yawing Kapal dengan $F_n = 0.1$	III-11
Gambar 3.7 Perbandingan Sudut Yawing Kapal dengan $F_n = 0.2$	III-12
Gambar 3.8 Perbandingan Sudut Yawing Kapal dengan $F_n = 0.3$	III-13
Gambar 3.9 Perbandingan Sudut Yawing Kapal dengan $F_n = 0.4$	III-14
Gambar 3.10 Perbandingan Sudut Yawing Kapal Defleksi rudder 5^0	III-16
Gambar 3.11 Perbandingan Sudut Yawing Kapal Defleksi rudder 10^0	III-17
Gambar 3.12 Perbandingan Sudut Yawing Kapal Defleksi rudder 30^0	III-18

Gambar 3.13 Kecepatan Surging Kapal dengan $F_n = 0.1$	III-21
Gambar 3.14 Kecepatan Surging Kapal dengan $F_n = 0.4$	III-22
Gambar 3.15 Kecepatan Swaying Kapal dengan $F_n = 0.1$	III-23
Gambar 3.16 Kecepatan Swaying Kapal dengan $F_n = 0.3$	III-24
Gambar 3.17 Kecepatan Yawing Kapal dengan $F_n = 0.1$	III-25
Gambar 4.1 Pengendalian Gerak Mobil	IV-1
Gambar 4.2 Flowchart Pengendalian Gerak Yawing Kapal	IV-6
Gambar 4.3 Pengendalian Kapal $F_n = 0.1$ pada Sudut Heading 20^0	IV-8
Gambar 4.4 Pengendalian Kapal $F_n = 0.1$ pada Sudut Heading 40^0	IV-9
Gambar 4.5 Pengendalian Kapal $F_n = 0.1$ pada Sudut Heading 50^0	IV-10
Gambar 4.6 Pengendalian Kapal $F_n = 0.2$ pada Sudut Heading 20^0	IV-11
Gambar 4.7 Pengendalian Kapal $F_n = 0.2$ pada Sudut Heading 50^0	IV-12
Gambar 4.8 Pengendalian Kapal $F_n = 0.3$ pada Sudut Heading 20^0	IV-13
Gambar 4.9 Pengendalian Kapal $F_n = 0.3$ pada Sudut Heading 40^0	IV-13
Gambar 4.10 Pengendalian Kapal $F_n = 0.3$ pada Sudut Heading 50^0	IV-14
Gambar 4.11 Pengendalian Kapal $F_n = 0.4$ pada Sudut Heading 20^0	IV-15
Gambar 4.12 Pengendalian Kapal $F_n = 0.4$ pada Sudut Heading 50^0	IV-16
Gambar 4.13 Kecepatan Sudut Kapal $F_n = 0.1$	IV-17
Gambar 4.14 Kecepatan Sudut Kapal $F_n = 0.4$	IV-18
Gambar 4.15 Kecepatan Surging Kapal $F_n = 0.1$	IV-19
Gambar 4.16 Kecepatan Surging Kapal $F_n = 0.4$	IV-20
Gambar 4.17 Kecepatan Swaying Kapal $F_n = 0.1$	IV-21
Gambar 4.13 Kecepatan Swaying Kapal $F_n = 0.4$	IV-22



DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

	hal
Tabel 3.1 Koefisien dan Besaran Kapal Hasil Eksperimen	III-5
Tabel 3.2 Kecepatan dan Putaran Propeler Berdasar Froude number	III-6



DAFTAR NOTASI

DAFTAR NOTASI

A_R = luasan kemudi (m^2)

B = lebar kapal (m)

d = draft kapal (m)

D_p = diameter propeller (m)

Fn = Froude number

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

I_{xx}, I_{yy}, I_{zz} = momen inersia kapal pada sumbu x, y dan z (kg m^2)

K, M, N = momen total pada sumbu x, y, dan z

K_T = koefisien gaya dorong propeller

l_R = jarak antara pusat kemudi dengan pusat gravitasi (m)

L = panjang kapal (m)

m = massa kapal (kg)

m_x, m_y, m_z = massa tambahan pada sumbu x, y, dan z (kg)

n = putaran propeller (rpm)

p, q, r = kecepatan sudut pada x, y, dan z (rad/s)

$\dot{p}, \dot{q}, \dot{r}$ = percepatan sudut (rad/s^2)

t = waktu (s)

t_p = koefisien gaya dorong deduksi

T = Gaya dorong propeller (Newton)

u, v, w = kecepatan pada sumbu x, y dan z (m/s)



BAB I

PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sistem satu daun kemudi dengan satu propeler merupakan sistem yang umum digunakan dalam mengendalikan gerak manuver kapal. Sistem kendali ini termasuk sistem yang sederhana, sehingga untuk mengendalikan gerak kapal tertentu mungkin akan mengalami kesulitan. Kesulitan tersebut terutama pada kapal yang tidak dilengkapi bow thruster yaitu penggerak yang terletak dibagian depan kapal sebagai alat Bantu untuk melakukan manuver. Kesulitan yang dialami tersebut antara lain dalam melakukan gerak ke belakang atau berhenti, untuk kapal dengan satu rudder bisaanya dilakukan dengan memutar balik propeler, selain itu untuk gerak hovering (berhenti sementara) juga akan sulit dilakukan. Untuk mengatasi permasalahan gerak diatas salah satunya digunakannya sistem pengendali dengan menggunakan multi rudder yang salah satunya adalah sistem kendali gerak kapal dengan dua daun kemudi dan satu propeler yang terletak dibagian belakang kapal atau dikenal dengan Vect Twin Rudder (VTR).

Sistem kendali gerak VTR ini merupakan sistem pengendali gerak kapal dengan menggunakan dua buah daun kemudi yang bentuknya seperti ikan yang terlatak dibagian belakang kapal (astern) dan tepat dibagian tengah belakang diantara kedua rudder tersebut terdapat sebuah penggerak (propeler). Kedua daun kemudi tersebut dapat bergerak rotasi bebas. Sistem dua daun kemudi tersebut

dirancang dengan memanfaatkan aliran fluida yang berbeda-beda yang melalui kedua daun kemudi kapal pada saat sedang berjalan, jika posisi keduanya diubah-ubah. Propeler yang terletak dibagian tengah belakang dari kedua daun kemudi digunakan untuk mendorong fluida ke arah daun kemudi sehingga menimbulkan gaya reaksi yang berbeda-beda tergantung dari pengaturan posisi kedua daun kemudi.

Salah satu kelebihan sistem VTR ini adalah kemudahan dalam pengaturan gerak kapal. Ada beberapa macam gerak dasar kapal yang dapat dengan mudah dilakukan dengan menggunakan sistem double rudder dan single propeler ini antara lain gerak ke depan dengan kecepatan yang berbeda-beda, gerak hovering, gerak lurus kebelakang, gerak memutar (yawing), dan lain-lain.

1.2. Permasalahan

Kapal dengan sistem Vect Twin Rudder (VTR) ini kedua daun kemudinya dapat digerakkan dengan bebas sampai 360 derajat, ini dianggap mempunyai kelebihan dalam hal pengendalian gerak manuvernya dibandingkan dengan sistem konvensional, seperti sistem pengendalian gerak dengan satu daun kemudi yang bisanya defleksinya terbatas ($\pm 35^{\circ}$). Asumsi diatas melalui tugas akhir ini ingin dibuktikan. Untuk pembuktian ini dilakukan dengan menganalisa performan gerak manuver kapal tersebut. Penganalisaan tersebut dilakukan dengan mengkaji model dinamika gerak manuver kapal dan melakukan simulasi gerak manuvernya. Selain itu penganalisaan performan kapal tersebut diperluas dengan mengkaji sistem pengendalian arah kapal.

Sistem dinamika gerak kapal mengandung efek nonlinier yang kadang-kadang tidak bisa diabaikan. Penganalisaan sistem pengendalian yang efek nonlinieritasnya bisa diabaikan dapat digunakan sistem konvensional dengan transformasi laplace atau dengan aliran sinyal, tetapi untuk gerak dinamis yang efek nonlinieritasnya tidak bisa diabaikan, sistem konvensional tersebut tidak bisa digunakan. Oleh karena itu sistem pengendalian yang digunakan disini adalah sistem pengendalian intelejen.

Batasan Masalah

Pada tugas akhir ini pembahasan dibatasi pada:

- Dinamika gerak manuver kapal.
- Pengendalian arah (gerak yawing) kapal dengan sistem intelejen.
- Permasalahan fluida yang mengalir dibagian propeler dan kemudi, yang dapat menimbulkan gerak kapal yang bervariasi tidak dibahas pada tugas akhir ini.
- Efek dari gangguan luar seperti angin, gelombang, arus atau gangguan lingkungan lainnya diabaikan atau dengan kata lain kapal dianggap bergerak di air tenang.
- Tidak membahas secara detil koefisien-koefisien hidrodinamika.

1.3. Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai dalam tugas akhir ini adalah untuk mengetahui performan dari gerak kapal dengan sistem dua rudder dan satu propeler (VTR) tersebut. Selain itu untuk menerapkan sistem pengendalian

intelejen dalam rangka untuk meningkatkan kualitas pengendalian gerak manuver kapal, dalam hal ini adalah untuk gerak yawing.

1.4. Manfaat Tugas Akhir

Manfaat yang akan dicapai dalam tugas akhir ini adalah:

1. Diketuainya performan atau karakteristik gerak manuver kapal dengan sistem VTR, yang meliputi:
 - Pengaruh kecepatan pada gerak manuver kapal
 - Perubahan kecepatan gerak kapal saat melakukan manuver
 - Pengaruh defleksi kemudi pada gerak kapal
2. Didapatkannya sistem pengendali intelejen yang berdasarkan pada aturan (rule base system) untuk mengendalikan gerak yawing kapal.

1.5. Metodologi

Metode yang dipergunakan dalam menyelesaikan permasalahan dalam tugas akhir ini adalah dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Pemodelan dinamika gerak kapal.
Untuk mengetahui performan gerak kapal, langkah awal yang ditempuh adalah melakukan pemodelan dengan MMG (Mathematical Model Group) yang telah dikenal banyak di Jepang dan telah digunakan secara luas.
2. Melakukan simulasi gerak manuver kapal berdasarkan pemodelan dinamika gerak diatas

Simulasi gerak manuver kapal dilakukan dengan membuat program komputer simulasi gerak turning dan menggunakan koefisien-koefisien hidrodinamika yang didapatkan dari hasil eksperimen model kapal. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik kapal yang selanjutnya akan dipergunakan dalam perencanaan sistem pengendalian gerak yawing kapal tersebut.

3. Perencanaan dan analisa sistem pengendalian intelejen gerak kapal.

Perencanaan sistem pengendalian intelejen bertujuan untuk mengendalikan gerak yawing kapal. Perencanaan sistem pengendalian ini berbasis pada aturan (rule base system) yang dibuat dalam program komputer. Selanjutnya dilakukan simulasi sistem pengendalian gerak yawing dengan beberapa sudut heading atau sudut tujuan kapal. Hasil dari simulasi sistem pengendalian tersebut kemudian dianalisa untuk diketahui performannya.

1.6. Sistematika Laporan

Laporan tugas akhir ini terdiri atas lima bab. Bab pertama adalah pendahuluan, yang terdiri dari latar belakang penulisan tugas akhir, permasalahan dan batasan permasalahan, tujuan penulisan, manfaat dari tugas akhir, metodologi penyelesaian dan sistematika laporan.

Bab kedua adalah teori dasar yang meliputi teori gerak benda dengan enam derajat kebebasan, gaya-gaya yang bekerja pada kapal yang bergerak, model matematis persamaan gerak manuver kapal dengan sistem VTR, serta teori dasar sistem pengendalian intelejen.

Bab tiga membahas simulasi dan analisa gerak manuver kapal. Disini dilakukan simulasi gerak turning kapal dengan membuat program komputer. Tujuan simulasi ini adalah untuk mengetahui karakteristik – karakteristik kapal.

Bab empat membahas perencanaan dan analisa sistem pengendalian gerak yawing kapal. Perencanaan sistem pengendalian dilakukan dengan membuat program komputer, setelah itu dilakukan simulasi sistem pengendalian. Hasil simulasi selanjutnya dianalisa untuk mengetahui peforman sistem pengendaliannya.

Bab lima adalah kesimpulan dari hasil analisa serta saran untuk mengembangkan tugas akhir ini lebih lanjut. Kesimpulan diambil berdasarkan hasil analisa performan gerak manuver kapal dengan sistem VTR dan performan sistem pengendali gerak yawing kapal dengan sistem pengendalian intelejen yang berbasiskan pada aturan (rule base system).





BAB II

DASAR TEORI

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Gerak Benda Rigid dengan 6 Derajat Kebebasan

Sebuah benda yang rigid seperti sebuah kapal, yang massanya konstan dan titik pusat gravitasi, titik G , memiliki sistem koordinat sumbu benda (body axis coordinate system) yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Kapal yang bergerak dengan 6 derajat kebebasan, gerak 6 derajat kebebasan (6 Degree Of Freedoms) tersebut dapat dibedakan menjadi dua macam gerak yaitu:

1. Gerak translasi, gerak ini terdiri dari tiga macam gerak antara lain:
 - surge, yaitu gerak translasi kapal pada sumbu x
 - sway, yaitu gerak translasi kapal pada sumbu y
 - heave, yaitu gerak translasi kapal pada sumbu z
2. Gerak rotasi, yang juga terdiri dari 3 buah gerak antara lain:
 - Roll, yaitu arah gerak rotasi kapal pada sumbu x
 - Pitch, yaitu arah gerak rotasi kapal pada sumbu y
 - Yaw, yaitu arah gerak rotasi kapal pada sumbu z

Apabila gerak dari pusat gaya beratnya, titik G , mempunyai vector kecepatan, \mathbf{V}_G , dan massa kapal adalah m , maka gerak kapal sesuai hukum Newton dapat diekspresikan sebagai berikut:

$$\mathbf{F} = \frac{d(m\mathbf{V}_G)}{dt}$$

$$\mathbf{F} = m \frac{d\mathbf{V}_G}{dt} \quad (2-1)$$

$$\mathbf{F} = m(\dot{\mathbf{V}}_G + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{V}_G)$$

dimana

$$\mathbf{F} = X\mathbf{i} + Y\mathbf{j} + Z\mathbf{k}$$

$$\mathbf{V}_G = u\mathbf{i} + v\mathbf{j} + w\mathbf{k} \text{ dan}$$

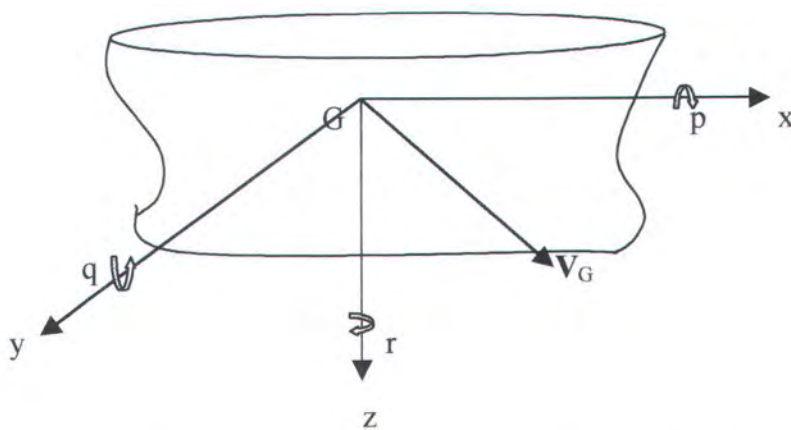
$$\boldsymbol{\omega} = p\mathbf{i} + q\mathbf{j} + r\mathbf{k}$$

Pada gerakan rotasi dapat digambarkan dengan persamaan

$$\mathbf{G} = \frac{d(\mathbf{I}\boldsymbol{\omega})}{dt} = \mathbf{I}\dot{\boldsymbol{\omega}} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{I}\boldsymbol{\omega} \quad (2-2)$$

dimana \mathbf{G} adalah:

$$\mathbf{G} = K\mathbf{i} + M\mathbf{j} + N\mathbf{k}$$



Gambar 2.1. Sistem koordinat pada rigid body

I adalah matrik dari momen inersia yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} I_{xx} & I_{xy} & I_{xz} \\ I_{yx} & I_{yy} & I_{yz} \\ I_{zx} & I_{zy} & I_{zz} \end{bmatrix} \quad (2-3)$$

dimana

$$I_{xx} = \sum_{i=1} m_i (y_i^2 + z_i^2) ; I_{yy} = \sum_{i=1} m_i (x_i^2 + z_i^2) ; I_{zz} = \sum_{i=1} m_i (x_i^2 + y_i^2)$$

$$I_{xy} = I_{yx} = \sum_{i=1} m_i x_i y_i ; I_{xz} = I_{zx} = \sum_{i=1} m_i x_i z_i ; I_{yz} = I_{zy} = \sum_{i=1} m_i y_i z_i$$

m_i adalah massa komponen kapal, sedangkan x_i , y_i , dan z_i adalah titik pusat m_i dari pusat grafitasi.

Komponen skalar dari persamaan (2-1) dan (2-2) dapat diekspresikan sebagai berikut:

$$X = m(\dot{u} - vr + wq)$$

$$Y = m(\dot{v} - wq + ur)$$

$$Z = m(\dot{w} - uq + vp)$$

$$K = I_{xx} \dot{p} + (I_{zz} - I_{yy})qr - (r + pq)I_{xz} + (r^2 - q^2)I_{yz} + (pr - \dot{q})I_{xy}$$

$$M = I_{yy} \dot{q} + (I_{xx} - I_{zz})rp - (p + qr)I_{xy} + (p^2 - r^2)I_{xz} + (qp - \dot{r})I_{yz} \quad (2-4)$$

$$N = I_{zz} \dot{r} + (I_{yy} - I_{xx})pq - (\dot{q} + rp)I_{yz} + (q^2 - p^2)I_{xy} + (rq - \dot{p})I_{xz}$$

2.2. Gerak Manuver Kapal

Sebuah kapal yang bergerak di dalam sebuah fluida seperti air laut, pada dasarnya gerak kapal yang terjadi dapat dibagi dalam tiga bagian. Ketiga gerak tersebut adalah gerak manuver, gerak seakeeping dan gerak rolling. Gerak manuver merupakan gerakan kapal pada permukaan air laut yang terdiri atas 3 macam gerak yaitu:

1. Gerak kedepan (surging)
2. Gerak kesamping (swaying)
3. Gerak berputar pada permukaan air laut (yawing)

Persamaan gerak manuver diatas adalah sebagai berikut (Munif, 2001):

$$\begin{aligned}
 X &= m(\dot{u} - vr) \\
 Y &= m(\dot{v} - ur) \\
 N &= I_{zz} \dot{r}
 \end{aligned}
 \tag{2-5}$$

dimana X adalah total gaya yang bekerja pada badan kapal pada arah sumbu x atau gaya surging total. Y adalah total gaya yang bekerja pada badan kapal pada arah sumbu y atau gaya swaying total. N adalah momen total kapal pada sumbu z atau momen yawing total kapal.

2.3. Transformasi Sistem Koordinat

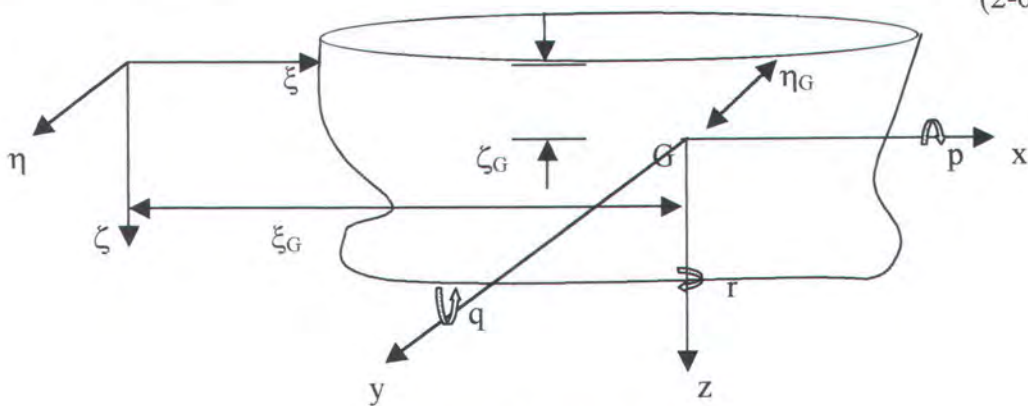
Sebelum membahas lebih jauh mengenai besar gaya total X , Y dan momen total N , akan dijelaskan terlebih dahulu mengenai transformasi sistem koordinat.

Transformasi sistem koordinat ini sering dipergunakan dalam perhitungan gerak kapal. Pada transformasi ini digunakan dua macam sistem sumbu koordinat, yaitu:

1. Sistem sumbu koordinat yang tetap terhadap sumbu bumi yang merupakan sumbu inersia, dan sumbu ini disebut sebagai sistem koordinat sumbu bumi (Earth Fixed Axes Coordinat Sistem) dan diberi simbol ξ , ζ dan η .
2. Sistem sumbu koordinat yang bergerak akan tetapi tetap terhadap benda yang bergerak tersebut (kapal), yang disebut sumbu badan (body axis coordinate sistem) yang dilambangkan dengan simbol x , y dan z .

Secara umum transformasi sistem koordinat gerak benda diekspresikan sebagai berikut (Munif, 2001):

$$\begin{bmatrix} \xi - \xi_G \\ \eta - \eta_G \\ \zeta - \zeta_G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\psi \cos\theta & -\sin\psi \cos\phi + \cos\psi \sin\theta \sin\phi & \sin\psi \sin\phi + \cos\psi \sin\theta \cos\phi \\ \sin\psi \cos\theta & \cos\psi \cos\phi + \sin\psi \sin\theta \sin\phi & -\cos\psi \sin\phi + \sin\psi \sin\theta \cos\phi \\ -\sin\theta & \cos\psi \sin\phi & \cos\theta \cos\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \tag{2-6}$$



Gambar.2.2. Sistem koordinat

Pada Gambar 2.2 ditunjukkan kedudukan pergerakan kapal yang dilihat dari sistem sumbu koordinat tetap bumi yang digunakan sebagai acuan. Untuk gerak manuver, transformasi sistem koordinat didapatkan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \xi - \xi_G \\ \eta - \eta_G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \psi \\ \sin \psi & \cos \psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (2-7)$$

dari perkalian matrik diatas didapatkan persamaan kedudukan kapal sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \xi - \xi_G &= x \cos \psi - y \sin \psi \\ \eta - \eta_G &= x \sin \psi + y \cos \psi \end{aligned} \quad (2-8)$$

2.4. Gaya Total dan Momen Total pada Kapal

Menurut Munif (2001) untuk benda rigid yang bergerak dengan 6 derajat kebebasan dalam fluida, gaya dan momen total dapat dirumuskan secara umum sebagai berikut:

$$\begin{aligned} X &= X_{AM} + X_{DP} + X_{FK} + X_p + X_R \\ Y &= Y_{AM} + Y_{DP} + Y_{FK} + Y_{DIF} + Y_R \\ Z &= Z_{AM} + Z_{DP} - Z_{RS} + Z_{FK} + Z_{DIF} \\ K &= K_{AM} + K_{DP} - K_{RS} + K_{FK} + K_{DIF} + K_R \\ M &= M_{AM} + M_{DP} - M_{RS} + M_{FK} + M_{DIF} \\ N &= N_{AM} + N_{DP} + N_{FK} + N_{DIF} + N_R \end{aligned} \quad (2-9)$$

dimana *AM* menunjukkan indeks dari massa tambahan (added mass), *DP* menunjukkan indeks dari gaya damper atau redaman, *FK* adalah gaya Froude-

Krylov, P adalah pengaruh dari adanya komponen propeler dan R adalah pengaruh dari adanya gaya pada rudernya

Untuk gerak manuver kapal yang hanya terdiri dari gerak surging, swaying dan yawing persamaan matematikanya adalah:

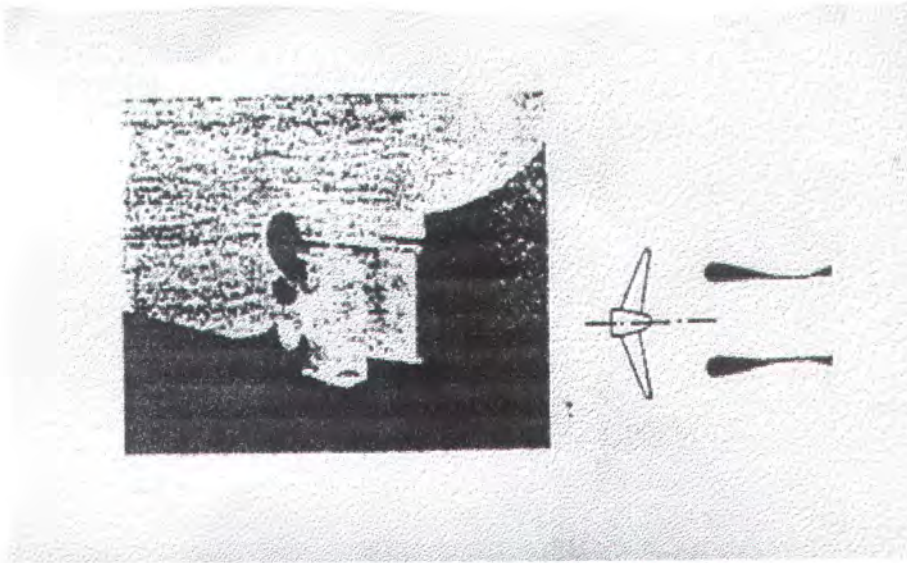
$$\begin{aligned} X &= X_{AM} + X_{DP} + X_{FK} + X_p + X_R \\ Y &= Y_{AM} + Y_{DP} + Y_{FK} + Y_{DIF} + Y_R \\ N &= N_{AM} + N_{DP} + N_{FK} + N_{DIF} + N_R \end{aligned} \quad (2-10)$$

Namun karena diasumsikan bahwa kapal tersebut bergerak di air tenang tanpa ada gangguan-gangguan dari lingkungan, maka persamaan (2-10) dapat disederhanakan menjadi:

$$\begin{aligned} X &= X_{AM} + X_{DP} + X_p + X_R \\ Y &= Y_{AM} + Y_{DP} + Y_R \\ N &= N_{AM} + N_{DP} + N_R \end{aligned} \quad (2-11)$$

2.5. Persamaan Matematika Gerak Manuver Kapal dengan Sistem VTR

Sistem Vect Twin Rudder (VTR) adalah sistem yang digunakan untuk mengendalikan gerak manuver kapal dengan menggunakan dua daun kemudi berbentuk seperti ikan yang terletak dibagian belakang kapal (astern) dan sebuah propeler yang terletak tepat ditengah belakang antara kedua daun kemudi tersebut. Sistem ini ditunjukkan pada Gambar 2.3 berikut ini:



Gambar.2.3 Sistem Vect Twin Rudder

Persamaan matematika gerak manuver kapal dapat dicari dari persamaan gerak benda padat secara umum yang bergerak pada fluida. Untuk mendapatkan persamaan matematika gerak kapal dipergunakan sistem sumbu koordinat tetap terhadap bumi (earth fixed axes) dan sumbu tetap terhadap kapal (body fixed axes).

Dengan menggunakan pemodelan MMG (Mathematical Model Group)(Hamamoto,1987) yang dikenal orang di Jepang dan secara luas digunakan untuk analisa gerak kapal, maka gerak manuver kapal dengan sistem VTR dapat diekspresikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 (m + m_x)\dot{u} - (m + m_y)vr &= T(1-t) - R(u) + X_H(v,r) + X_R(\delta p, \delta s) \\
 (m + m_y)\dot{v} + (m + m_x)ur &= Y_H(v,r) + Y_R(\delta p, \delta s) \\
 (I_{zz} + J_{zz})\dot{r} &= N_H(v,r) + N_R(\delta p, \delta s)
 \end{aligned}
 \tag{2-12}$$

dimana:

m = massa kapal

m_x, m_y = massa tambahan terhadap sumbu x,y

I_{zz} = momen inersia

J_{zz} = momen inersia tambahan

u, v = kecepatan linier pada arah sumbu x,y

r = kecepatan sudut pada bidang x,y

\dot{u}, \dot{v} = Percepatan linier pada arah sumbu x,y

\dot{r} = percepatan sudut pada bidang x,y

T = Gaya dorong kapal

t = koefisien deduksi propeler

R = tahanan kapal

X_{DP}, Y_{DP} = gaya damping

N_{DP} = momen damping

X_R, Y_R = gaya rudder pada arah sumbu x,y

N_R = momen rudder

Untuk koefisien-koefisien gerak diatas didapatkan dari perhitungan secara teoritis atau dengan eksperimen. Eksperimen yang sering dilakukan untuk mendapatkan besaran diatas adalah eksperimen CMT, eksperimen tahanan kapal dan eksperimen di wind tunnel .

2.6. Gaya Propeler

Persamaan gaya propeler pada arah sumbu x, yaitu X_p sebagai gaya dorong efektif propeler adalah:

$$X_p = T(1 - t_p) \quad (2-13)$$

dimana T adalah gaya dorong propeler dan t_p adalah koefisien gaya reduksi.

Harga T dirumuskan dari persamaan dibawah ini:

$$T = \rho K_T D_p^4 n^2 \quad (2-14)$$

sedang koefisien gaya dorong, K_T , dirumuskan sebagai berikut:

$$K_T = C_0 + C_1 J + C_2 J^2 \quad (2-15)$$

dimana C_0 , C_1 dan C_2 adalah koefisien-koefisien yang didapatkan dari percobaan propeler open test di towing tank. Sedangkan untuk koefisien J didapatkan dari persamaan:

$$J = \frac{u(1-w)}{nD_p} \quad (2-16)$$

dimana:

u = kecepatan kapal

w = wake fraction

n = putaran propeler

D_p = diameter propeler



2.7. Gaya Tahanan (Resistensi) Kapal

Tahanan atau resistansi kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerakan kapal tersebut. Tahanan tersebut sama dengan komponen gaya fluida yang bekerja sejajar dengan sumbu gerak kapal (Harvald,1972). Besar tahanan kapal dapat diprediksi dari test tahanan kapal yang dilakukan di towing tank, sehingga secara umum dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$R(u) = \frac{1}{2} \rho U^2 L d C_T \quad (2-17)$$

Dimana:

ρ = massa jenis

U = kecepatan kapal

L = panjang L_{PP} kapal

d = draf kapal

C_T = koefisien tahanan kapal

2.8. Gaya Damping

Gaya damping merupakan gaya redam yang ditimbulkan oleh fluida yang berada disekitar benda rigid. Gaya damping momen yang ditimbulkan karena gaya angkat seperti gaya hidrodinamik dipergunakan model modular-type mathematical seperti model MMG (Ogawa,1978; Hamamoto,1987). Dalam metode ini telah memuat gaya angkat hidrodinamik yang bekerja pada lambung, propeler, kemudi dan juga ternasuk komponen-komponen nonlinear. Dari hasil percobaan model didapatkan persamaan:

$$\begin{aligned} X_{DP} &= X_{vr}vr \\ Y_{DP} &= -(Y_v v + Y_r r + Y_{vv} v^3 + Y_{rr} r^3 + Y_{vvr} v^2 r + Y_{vrr} vr^2) \\ N_{DP} &= -(N_v v + N_r r + N_{vv} v^3 + N_{rr} r^3 + N_{vvr} v^2 r + N_{vrr} v^2 r) \end{aligned} \quad (2-18)$$

Nilai untuk koefisien X_{vr} dan koefisien damping didapatkan dari Circular Motion Test.

2.9. Gaya Rudder

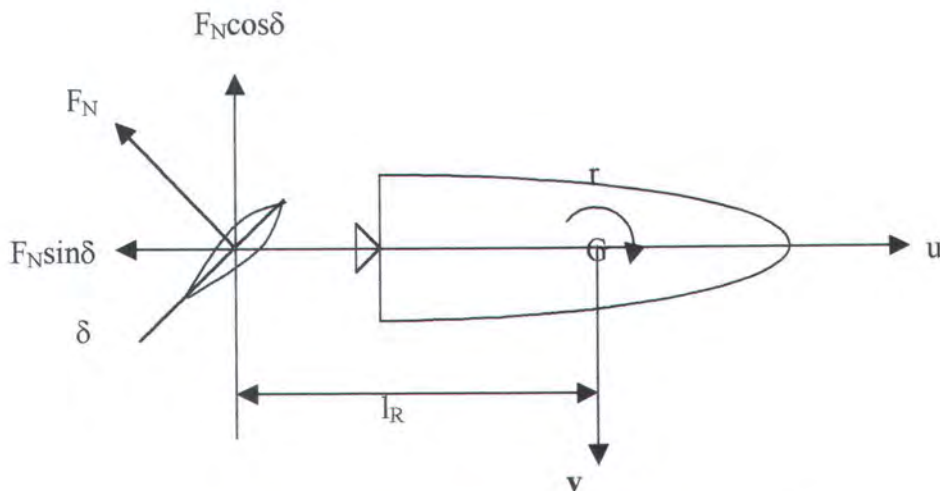
Gaya total pada kemudi yang bekerja normal terhadap permukaan kemudi saat didefleksikan adalah ditunjukkan pada Gambar 2.4. Gaya-gaya tersebut dapat dibedakan menjadi dua komponen, satu yang bekerja pada bidang horizontal yaitu sumbu x , $F_N \sin \delta$ dan yang lainnya yang bekerja pada bidang lateral yaitu sumbu y , $F_N \cos \delta$. Gaya-gaya rudder yaitu X_R dan Y_R , dan momen rudder N_R dengan mempertimbangkan efek interaksi antara hull (badan kapal) dan kemudi dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$X_R = -(1-t_R) F_N \sin \delta$$

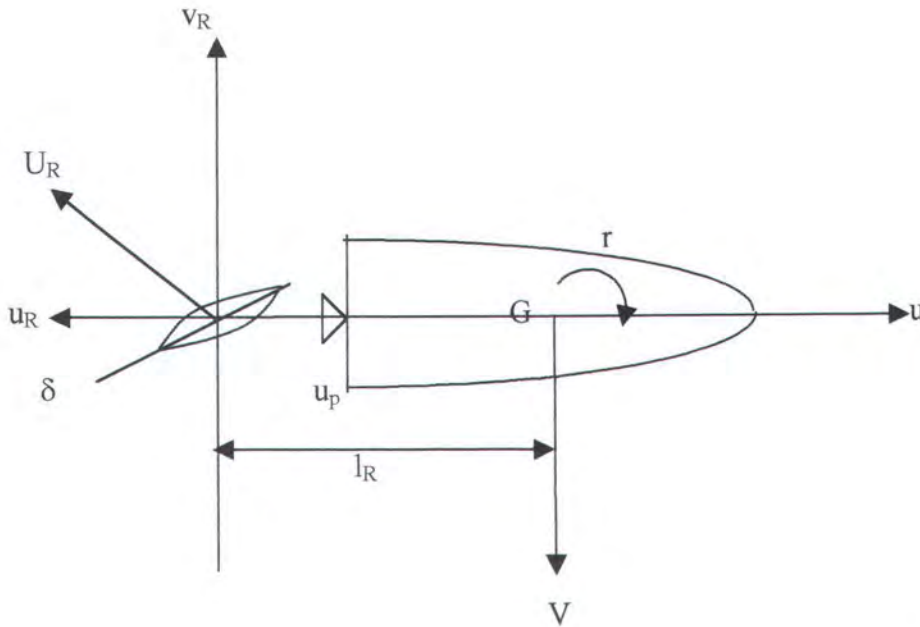
$$Y_R = -(1+a_H) F_N \cos \delta$$

$$N_R = (1+a_H) l_R F_N \cos \delta \quad (2-19)$$

l_R dan h_R adalah jarak pada bidang horizontal dan vertical diantara pusat grafitasi bumi dan pusat gaya rudder. t_R dan a_H adalah koefisien interaksi yang didapat dari percobaan.



Gambar.2.4. Komponen gaya normal pada rudder



Gambar.2.5. Kecepatan aliran fluida pada propeler dan ruder

Pada Gambar 2.5 diatas ditunjukkan efek propeler pada gaya rudder. Kecepatan efektif fluida yang mengalir melalui ruder (effective inflow velocity) adalah U_R . Apabila sudut efektif ruder sebesar α_R , maka gaya total F_N , diformulasikan dengan:

$$F_N = \frac{1}{2} \rho A_R f_\alpha U_R^2 \sin \alpha_R \tag{2-20}$$

U_R dibagi dalam dua komponen u_R dan v_R , sehingga U_R didapatkan dengan rumus

$$U_R = \sqrt{u_R^2 + v_R^2} \tag{2-21}$$

Untuk kecepatan longitudinal dan lateral dirumuskan sebagai berikut:

$$u_R = u_p (1 - k) + k u_p \sqrt{1 + \frac{8K_T}{\pi J^2}} \tag{2-22}$$

dimana u_p adalah kecepatan aliran dari propeler. Kecepatan tersebut dicari dengan persamaan:

$$u_p = u (1 - w) \tag{2-23}$$

Dari hasil substitusi persamaan (2-23) kedalam persamaan (2-22) maka rumus kecepatan dapat ditulis menjadi:

$$u_R = u(1-w) \left[(1-k) + k \sqrt{1 + \frac{8K_T}{\pi \cdot J^2}} \right] \quad (2-24)$$

sedangkan untuk nilai v_R didapatkan dengan rumus:

$$v_R = \gamma v - l_R r \quad (2-25)$$

dimana γ adalah factor aliran straightening. Harga l_R adalah setengah dari panjang L_{PP} kapal. Dengan jalan mensubstitusikan persamaan-persamaan diatas ke dalam persamaan (2-19) maka didapatkan persamaan gaya rudder dan momen rudder menjadi:

$$\begin{aligned} X_R &= -(1-t_R) \frac{1}{2} \rho A_R U_R^2 (f_{\alpha S} \sin \alpha_S \sin \delta_S + f_{\alpha P} \sin \alpha_P \sin \delta_P) \\ Y_R &= -(1+a_H) \frac{1}{2} \rho A_R U_R^2 (f_{\alpha S} \sin \alpha_S \sin \delta_S + f_{\alpha P} \sin \alpha_P \sin \delta_P) \\ N_R &= (1+b_H) l_R \frac{1}{2} \rho A_R U_R^2 (f_{\alpha S} \sin \alpha_S \sin \delta_S + f_{\alpha P} \sin \alpha_P \sin \delta_P) \end{aligned} \quad (2-26)$$

Nilai t_R , a_H , b_H , $f_{\alpha S}$ dan $f_{\alpha P}$ adalah koefisien yang didapatkan dari eksperimen pada daun kemudi.

dimana:

ρ = rapat massa fluida

A_R = luasan daun kemudi

U_R = kecepatan efektif fluida yang mengalir melalui daun kemudi

l_R = jarak pusat daun kemudi dengan pusat berat kapal

α_S, α_P = sudut efektif daun kemudi

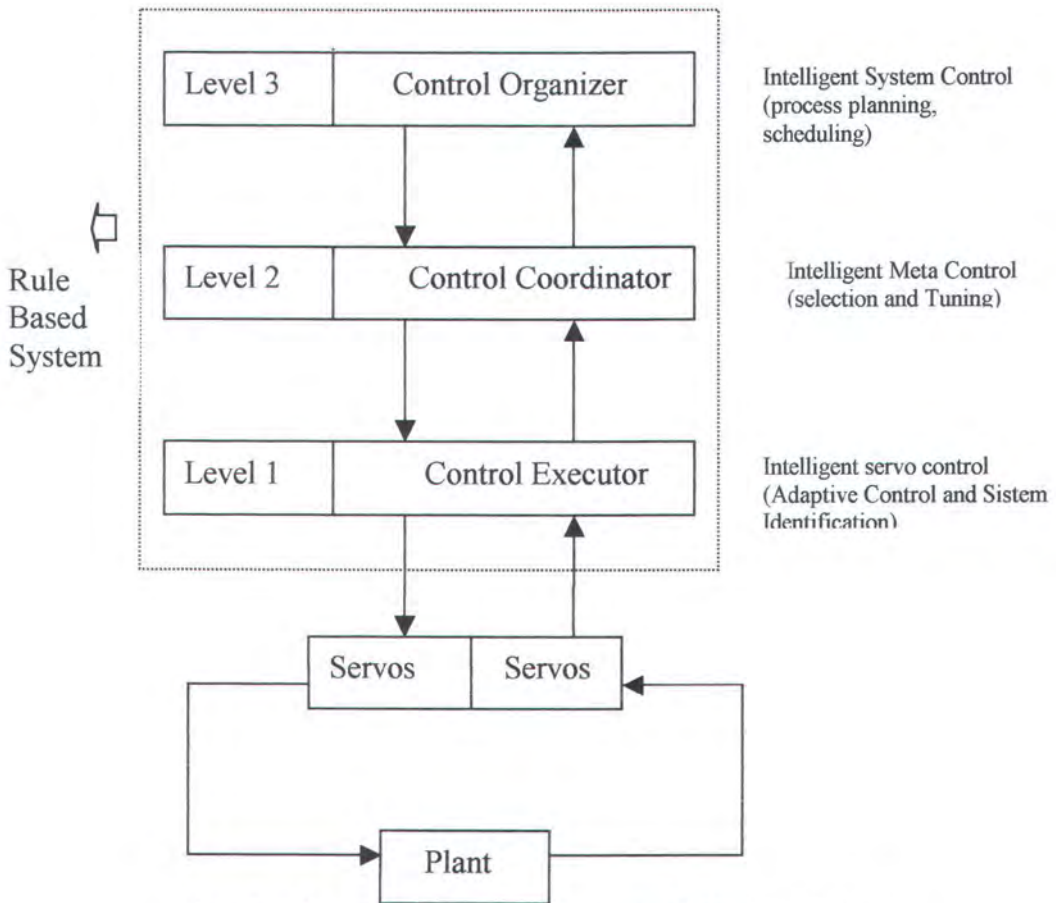
Dengan mensubstitusikan persamaan (2-17), (2-18) dan (2-26) kedalam persamaan (2-12), maka persamaan dapat ditulis dalam bentuk nondimensional sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 (m'_x+m'_y) \dot{u}' - (m'_x+m'_y)v'r' &= T'(1-t) - C_T u'^2 + X'_{vr} v'r' - (1-t_R) A'_R U'^2_R (f_{\alpha S} \sin \delta_S \\
 &\quad \sin \delta_S + f_{\alpha P} \sin \delta_P \sin \delta_P) \\
 (m'_x+m'_y) \dot{v}' + (m'_x+m'_y)u'r' &= Y'_v v' + Y'_r r' + Y'_{vv} v'^3 + Y'_{vr} v'^2 r' + Y'_{vrr} v'r'^2 + \\
 &\quad (1+a_H) A'_R U'^2_R (f_{\alpha S} \sin \delta_S \cos \delta_S + f_{\alpha P} \sin \delta_P \cos \delta_P) \\
 (I'_{zz}+J'_{zz}) \dot{r}' &= N'_v v' + N'_r r' + N'_{vv} v'^3 + N'_{vr} v'^2 r' + N'_{vrr} v'r'^2 + (1+b_H) l'_R \\
 &\quad A'_R U'^2_R (f_{\alpha S} \sin \delta_S \cos \delta_S + f_{\alpha P} \sin \delta_P \cos \delta_P)
 \end{aligned} \tag{2-27}$$

2.10. Pengendalian Intelejen Gerak Manuver Kapal dengan Sistem VTR

Sistem pengendalian intelejen adalah sistem pengendalian yang dapat bekerja seperti cara berpikir manusia. Sistem ini memanfaatkan kelebihan-kelebihan yang ada pada cara berpikir manusia. Secara sederhana cara berpikir manusia adalah menggunakan logika “IF-THEN”, jika ada suatu sebab yang diekspresikan dengan kata “IF” maka perlu dilakukan aksi yang diekspresikan dengan kata “THEN”. Sebagai contoh, jika kapal ingin digerakkan berputar ke arah starboard (gerak yawing) maka daun kemudi diputar ke arah starboard juga dengan sudut tertentu. Jika kapal ingin melakukan gerak turning ke arah port maka daun kemudi diputar ke arah port juga dengan menjaga sudut daun kemudi

tersebut. Pada Gambar 2.6 ditunjukkan salah satu bentuk arsitektur sistem pengendalian intelejen. Pada hirarki sistem pengendalian intelejen tersebut ada pendelegasian tugas pengendalian dari pengendali level tinggi ke level rendah, dan ada aliran informasi dari pengendali level rendah ke pengendali level tinggi.



Gambar 2.6. Arsitektur sistem pengendalian intelejen

Ciri yang menonjol dari sistem pengendalian intelejen diatas adalah pengendali level 3 memiliki kepresisian yang rendah dan pengendaliannya bersifat kualitatif, tetapi pengendali level 3 ini mempunyai intelejensia yang tertinggi. Pada pengendali level 3 ini terjadi perencanaan dasar pengendalian sistem secara

keseluruhan. Pada pengendali level 2 kepresisiannya bertambah tinggi tetapi tingkat intelegensinya menurun. Pada pengendali level 2 ini terjadi penyeleksian aksi pengendalian yang perlu dilakukan, misalnya memilih nilai aksi kendali yang tepat. Pengendali level 1 memiliki tingkat kepresisian yang tertinggi, karena pengendali ini langsung berhubungan dengan perangkat keras, tetapi mempunyai tingkat intelegensia yang paling rendah. Tugas dari pengendali level 1 ini adalah melakukan eksekusi pengendalian, pengukuran atau perhitungan secara langsung dan mendeteksi error secara terus menerus.

Ketiga tingkatan pengendalian diatas, sistem kerjanya jika dalam program komputer digantikan dengan suatu rule base atau aturan-aturan dasar pengendalian. Rule atau aturan tersebut dibuat seperti intelegen atau kecerdasan berfikir pada manusia dalam melakukan analisa. Misalnya jika error yang terjadi besar, maka aksi yang harus dilakukan adalah mendefleksikan kemudi dengan sudut yang besar. Sebaliknya jika sudut yawing kapal sudah mendekati tujuan dan error semakain kecil maka defleksi kemudi harus dikurangi. Proses analisa tersebut terus berlangsung sampai sistem dapat mencapai keadaan setabil sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan.



BAB III

ANALISA DAN SIMULASI GERAK
MANUEVER KAPAL

BAB III

ANALISA DAN SIMULASI GERAK MANUVER KAPAL

3.1. Model Dinamika Gerak Kapal dengan Sistem VTR (Vect Twin Rudder)

Kapal dengan sistem VTR yang bergerak di air tenang tanpa adanya efek gangguan luar seperti angin, gelombang, arus atau gangguan lingkungan lainnya, gerak manuvernya dapat diekspresikan dengan pemodelan gerak MMG (Hamamoto,1987) seperti pada persamaan (3-1) seperti dibawah ini:

$$\begin{aligned}
 (m + m_x)\dot{u} - (m + m_y)vr &= T(1-t) - R(u) + X_H(v,r) + X_R(\delta p, \delta s) \\
 (m + m_y)\dot{v} + (m + m_x)ur &= Y_H(v,r) + Y_R(\delta p, \delta s) \\
 (I_{zz} + J_{zz})\dot{r} &= N_H(v,r) + N_R(\delta p, \delta s)
 \end{aligned} \tag{3-1}$$

Besar gaya tahanan yang bekerja pada kapal saat sedang bergerak tersebut dirumuskan sebagai berikut:

$$R_{(U)} = \frac{1}{2} \rho U^2 L d C_T \tag{3-2}$$

Sedangkan gaya dan momen yang bekerja pada kemudi kapal dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 X_R &= -(1-t_R) \frac{1}{2} \rho A_R U_R^2 (f_{\alpha_S} \sin \alpha_S \sin \delta_S + f_{\alpha_P} \sin \alpha_P \sin \delta_P) \\
 Y_R &= (1+a_H) \frac{1}{2} \rho A_R U_R^2 (f_{\alpha_S} \sin \alpha_S \sin \delta_S + f_{\alpha_P} \sin \alpha_P \sin \delta_P) \\
 N_R &= (1+b_H) I_R \frac{1}{2} \rho A_R U_R^2 (f_{\alpha_S} \sin \alpha_S \sin \delta_S + f_{\alpha_P} \sin \alpha_P \sin \delta_P)
 \end{aligned} \tag{3-3}$$

Koefisien – koefisien seperti t_R , a_H , b_H , $f_{\alpha S}$ dan $f_{\alpha P}$ pada persamaan diatas didapatkan dari hasil eksperimen yang dilakukan pada daun kemudi. ρ adalah rapat massa fluida, A_R merupakan luasan dari daun kemudi, l_R adalah jarak pusat daun kemudi dengan pusat berat kapal dan nilai δ_S , δ_P merupakan sudut efektif daun kemudi saat didefleksi.

Dengan mensubstitusikan persamaan matematika untuk gaya tahanan, gaya hidrodinamika dan gaya yang bekerja pada kemudi kedalam persamaan matematika gerak manuver kapal dengan sistem VTR, dapat ditulis dalam bentuk nondimensional sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 (m' + m'_x)\dot{u}' - (m' + m'_y)v'r' &= T'(1-t) - C_T u'^2 + X'_{vr} v'r' - (1-t_R)A'_R U'^2_R (f_{\alpha S} \sin \delta_S \\
 &\quad \sin \delta_S + f_{\alpha P} \sin \delta_P \sin \delta_P) \\
 (m' + m'_y)\dot{v}' + (m' + m'_x)u'r' &= Y'_{v'} v' + Y'_{r'} r' + Y'_{vv} v'^3 + Y'_{vvr} v'^2 r' + Y'_{vrr} v'r'^2 + \\
 &\quad (1+a_H)A'_R U'^2_R (f_{\alpha S} \sin \delta_S \cos \delta_S + f_{\alpha P} \sin \delta_P \cos \delta_P) \\
 (I'_{zz} + J'_{zz})\dot{r}' &= N'_{v'} v' + N'_{r'} r' + N'_{vv} v'^3 + N'_{vvr} v'^2 r' + N'_{vrr} v'r'^2 + (1+b_H)l'_R \\
 &\quad A'_R U'^2_R (f_{\alpha S} \sin \delta_S \cos \delta_S + f_{\alpha P} \sin \delta_P \cos \delta_P)
 \end{aligned}
 \tag{3-4}$$

Besaran yang menggunakan tanda aksen menunjukkan besaran nondimensional atau besaran yang tidak memiliki satuan.

3.2. Simulasi dan Analisa Gerak Turning Kapal

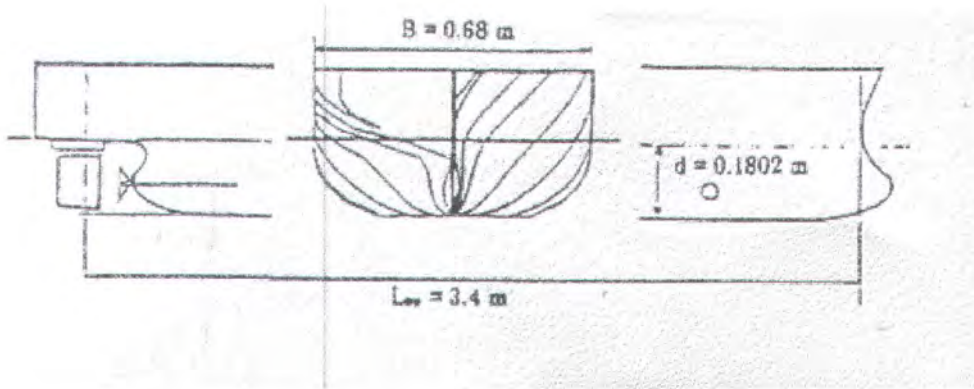
Bedasarkan persamaan nodimensional gerak manuver kapal dengan sistem VTR diatas dapat dilakukan simulasi gerak kapal. Simulasi gerak kapal ini dilakukan dengan terlebih dahulu memasukkan nilai koefisien-koefisien dari hasil eksperimen, seperti ditunjukkan pada Tabel (3.1)(Hamamoto,1987;Munif,1997). Simulasi yang akan dilakukan adalah gerak turning. Simulasi gerak manuver kapal dilakukan dengan gerak turning dengan alasan sebagai berikut:

1. Berdasarkan teori gerak manuver kapal, gerak turning merupakan salah satu gerak manuver kapal yang paling mudah dilakukan. Pada gerak turning sudut kemudi hanya sekali didefleksikan beberapa derajat sesuai keinginan dan setelah itu posisi kemudi terus dipertahankan sampai tercapainya kondisi kapal telah berputar sesuai dengan tujuannya.
2. Dari hasil simulasi gerak turning yang telah dicapai akan dapat diketahui karakteristik gerak manuver kapal, antara lain:
 - Pengaruh sudut kemudi kapal terhadap gerak kapal. Kondisi ini akan terlihat pada perbedaan besarnya sudut defleksi rudder kapal yang akan dilakukan dalam simulasi. Semakin besar sudut rudder didefleksikan maka sudut yawing kapal akan semakin besar dan kapal akan cepat berputar.
 - Pengaruh kecepatan awal kapal dan putaran propeler pada gerak yawing kapal. Kapal dengan Froude number yang berbeda, kecepatan dan putaran propelernya juga berbeda. Perbedaan kecepatan kapal akan berpengaruh pada kecepatan pertambahan sudut yawing kapal. Semakin besar kecepatan kapal maka pertambahan sudut yawing juga besar, sehingga kapal cepat berputar.

- Karakteristik kecepatan surging, swaying dan yawing kapal beserta faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik tersebut. Dengan mengetahui karakteristik-karakteristiknya maka akan mempermudah dalam pembuatan sistem pengendalian gerak manuver kapal tersebut.

Simulasi gerak turning dilakukan dengan membuat program komputer yang menggunakan persamaan gerak manuver kapal dengan sistem VTR berdasarkan pemodelan MMG. Hasil yang didapatkan berupa lintasan atau posisi kapal. Karakteristik kapal akan dapat dilihat dari hasil simulasi dengan jalan merubah sudut kemudi untuk setiap angka Froude number (F_n) yang berbeda. Dengan menggunakan Froude number kapal antara 0.1 sampai 0.4 didapatkan kecepatan awal kapal untuk masing-masing Froude number tersebut. Dengan kecepatan kapal yang berbeda maka putaran propeler kapal juga berbeda, karena semakin besar kecepatan kapal maka putaran propeler juga semakin tinggi.

Simulasi gerak turning dilakukan dengan menetapkan bahwa sumbu tetap pada kapal berhimpit dengan sumbu bumi, jadi $\xi_0 = 0$ dan $\eta_0 = 0$. Untuk kecepatan yawing (r) dan swaying (v) pada kondisi awal adalah nol, sedangkan putaran propeler dan kecepatan surging kapal sama dengan kecepatan awal kapal yang tergantung pada besarnya angka Froude number. Selain kondisi awal diatas, gambar model kapal dengan sistem VTR dan dimensinya serta tabel koefisien-koefisien yang diperlukan dalam perhitungan di persamaan gerak manuver kapal dengan sistem VTR, dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan Tabel 3.1 berikut ini:



Gambar 3.1. Model kapal dengan sistem VTR

Tabel 3.1. Koefisien Gerak Kapal Hasil Eksperimen

Besaran	Nilai	Besaran	Nilai	
m'	0,207	A'_R	0,01711	
m'_x	0,0078	I'_R	0,14706	
m'_y	0,185	w	0,34	
I'_{zz}	0,01294	t_R	0,0	
J'_{zz}	0,0312	a_H	0,25	
Y'_v	-0,368	b_H	1,3	
Y'_r	0,0598	g	0,5	
Y'_{vvv}	-0,2056	k	0,6	
Y'_{vvr}	-0,749	t	0,24	
Y'_{vrr}	-0,401			
N'_v	-0,194	Besaran dasar kapal		
N'_r	-0,112	Besaran	Kapal	Model
N'_{vvv}	1.730	L_{pp} (m)	99.98	3.40
N'_{vvr}	-0,313	B (m)	20.0	0.618
N'_{vrr}	0,0328	d_F (m)	4.8	0.1632
X'_{vr}	-0,102	d_M (m)	5.3	0.1802
C_t	0,0215	d_A (m)	5.8	0.1872

Tabel Froude number kapal beserta kecepatan dan putaran propelernya dapat dilihat pada tabel 3.2 dibawah ini:

Tabel 3.2. Kecepatan dan putaran propeler berdasar Froude number

Model			Kapal		
F_n	u	n	F_n	u	n
0,1	0,5775	5,5646	0,1	3,1318	1,04
0,11	0,6353	6,1211	0,11	3,445	1,145
0,12	0,693	6,6775	0,12	3,7581	1,249
0,13	0,7508	7,234	0,13	4,0713	1,353
0,14	0,8085	7,7904	0,14	4,3845	1,457
0,15	0,8663	8,3469	0,15	4,6977	1,561
0,16	0,924	8,9034	0,16	5,0108	1,665
0,17	0,9818	9,4598	0,17	5,324	1,769
0,18	1,0396	10,016	0,18	5,6372	1,873
0,19	1,0973	10,573	0,19	5,9504	1,977
0,2	1,1551	11,129	0,2	6,2636	2,081
0,21	1,2128	11,686	0,21	6,5767	2,185
0,22	1,2706	12,242	0,22	6,8899	2,289
0,23	1,3283	12,799	0,23	7,2031	2,393
0,24	1,3861	13,355	0,24	7,5163	2,497
0,25	1,4438	13,912	0,25	7,8294	2,601
0,26	1,5016	14,468	0,26	8,1426	2,705
0,27	1,5593	15,024	0,27	8,4558	2,809
0,28	1,6171	15,581	0,28	8,769	2,913
0,29	1,6748	16,137	0,29	9,0822	3,017
0,3	1,7326	16,694	0,3	9,3953	3,121
			0,4	12,527	4,162

Keterangan:

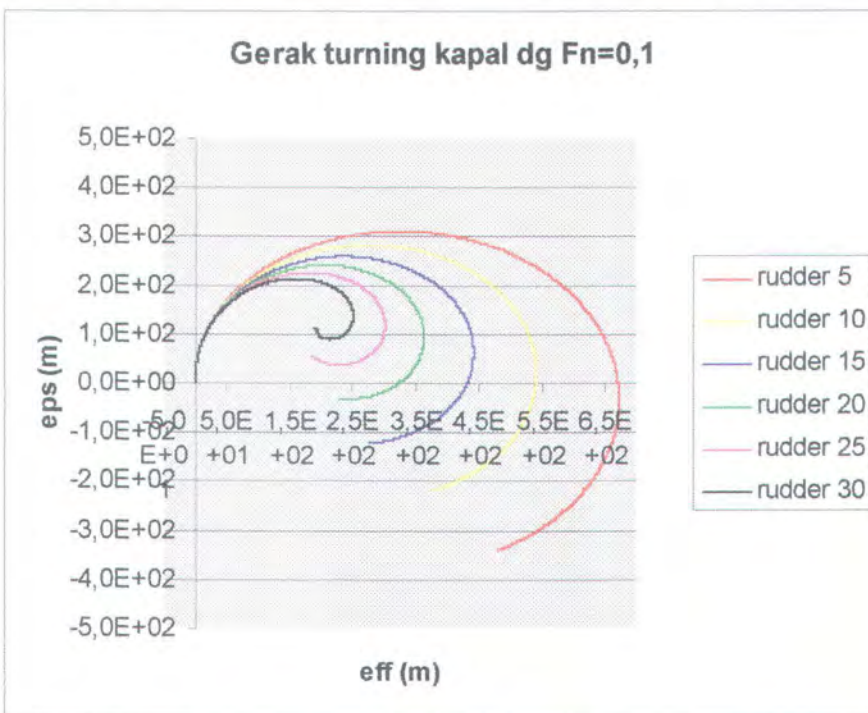
u = kecepatan awal kapal

n = putaran propeler

F_n = Froude number kapal

Simulasi gerak turning kapal dengan Froude number dan sudut kemudi yang dibuat bervariasi menampakkan perbedaan lintasan gerak kapal. Pada umumnya kapal dengan defleksi sudut rudder yang kecil misalnya 5° , lintasan gerak turning kapal tersebut tampak besar yang berarti membutuhkan area lintasan yang besar pula. Pada defleksi sudut rudder yang lebih besar yaitu 10° , 15° , 20° , 25° dan 30° lintasan gerak turning kapal tampak semakin kecil, yang berarti area yang diperlukan untuk melakukan putaran juga semakin kecil. Keadaan tersebut terlihat pada gambar hasil simulasi gerak turning masing-masing Froude number berikut ini.

Kapal dengan Froude number 0.1 dengan mendefleksikan rudder bervariasi, hasil simulasi gerak turningnya adalah Gambar 3.2 dibawah ini:

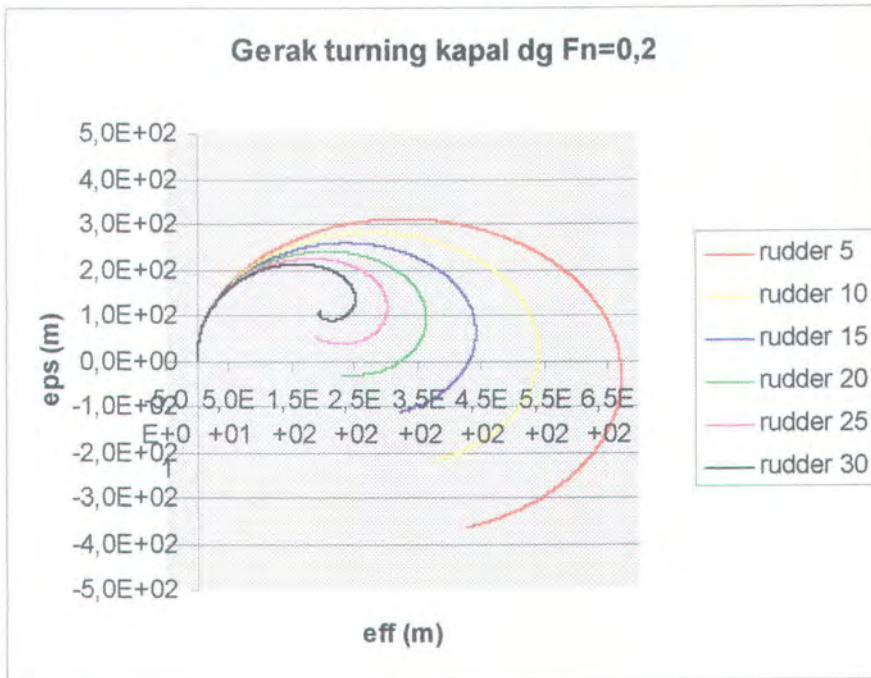


Gambar 3.2. Gerak turning kapal dengan Froude number 0.1

Dari gambar diatas terlihat bahwa kapal dengan defleksi rudder 5° lintasan putar kapal tampak paling besar. Saat rudder didefleksikan sebesar 10° , lintasan kapal

tampak lebih kecil. Pada sudut defleksi rudder yang lebih besar menampakkan hasil lintasan putar kapal yang semakin kecil.

Hasil simulasi gerak turning kapal dengan Froude number 0.2, ditunjukkan Gambar 3.3 dibawah ini:

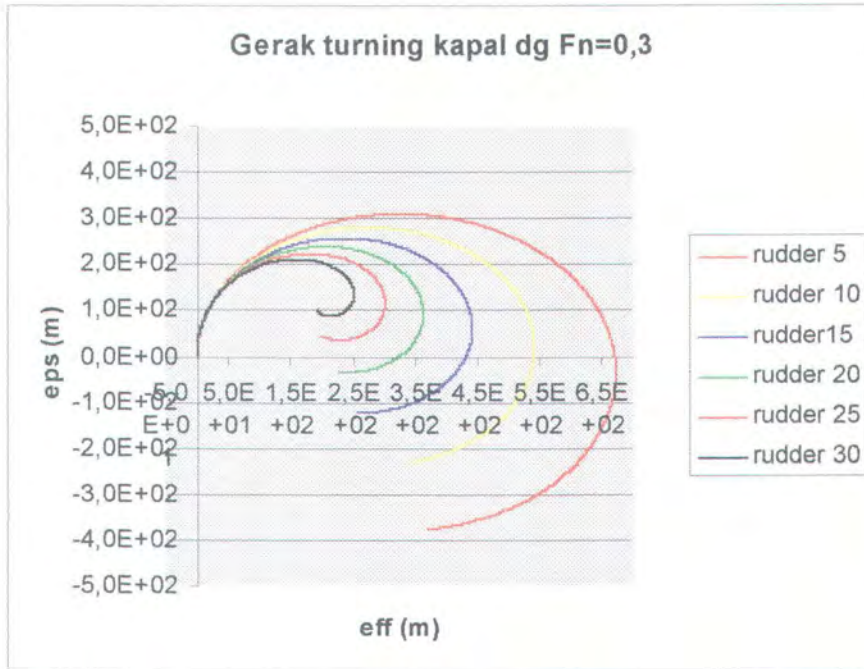


Gambar 3.3. Gerak turning kapal dengan Froude number 0.2

Berdasarkan gambar diatas terlihat hasil simulasi gerak turning kapal dengan Froude number 0.2 hampir sama dengan Froude number 0.1. Saat rudder didefleksikan dengan sudut 5^0 , lintasan turning kapal tampak besar. Semakin besar sudut rudder didefleksikan tampak lintasan turning kapal semakin kecil.

Hasil simulasi gerak turning kapal dengan Froude number 0.3 menunjukkan tren yang sama, seperti ditunjukkan Gambar 3.4 berikut ini:

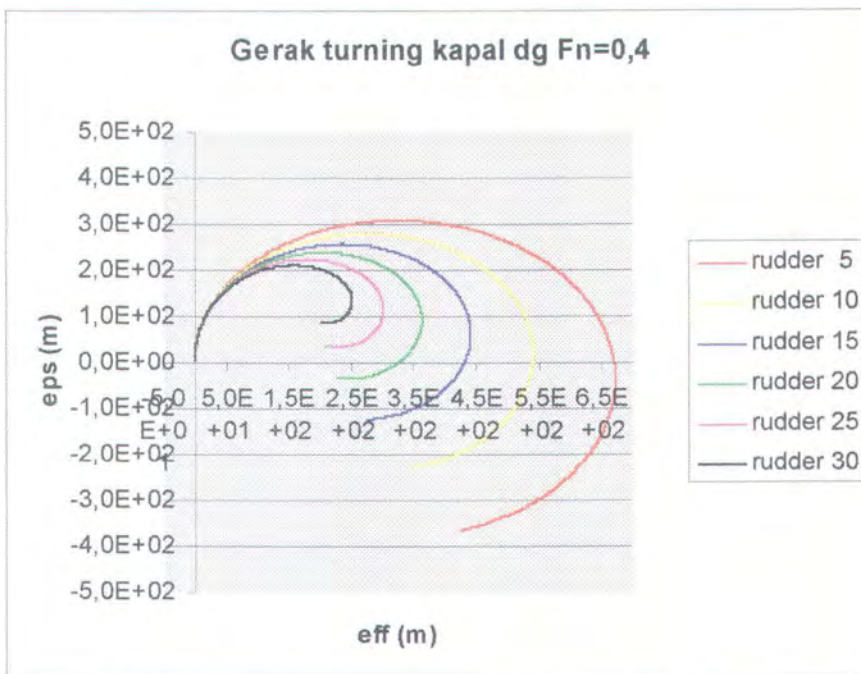




Gambar 3.4. Gerak turning kapal dengan Froude number 0.3

Dalam gambar diatas terlihat kapal dengan defleksi rudder 30⁰ lintasan putar kapal tampak paling kecil. Sedangkan pada rudder yang di defleksikan 5⁰, lintasan kapal tampak paling besar.

Kapal dengan Froude number 0.4, hasil simulasi gerak turning pada masing-masing defleksi sudut rudder menunjukkan tren yang sama seperti hasil simulasi Froude number sebelumnya. Semakin besar sudut rudder didefleksikan, kondisi yang terjadi adalah lintasan turning kapal semakin kecil. Keadaan yang demikian ditunjukkan Gambar 3.5 berikut ini:

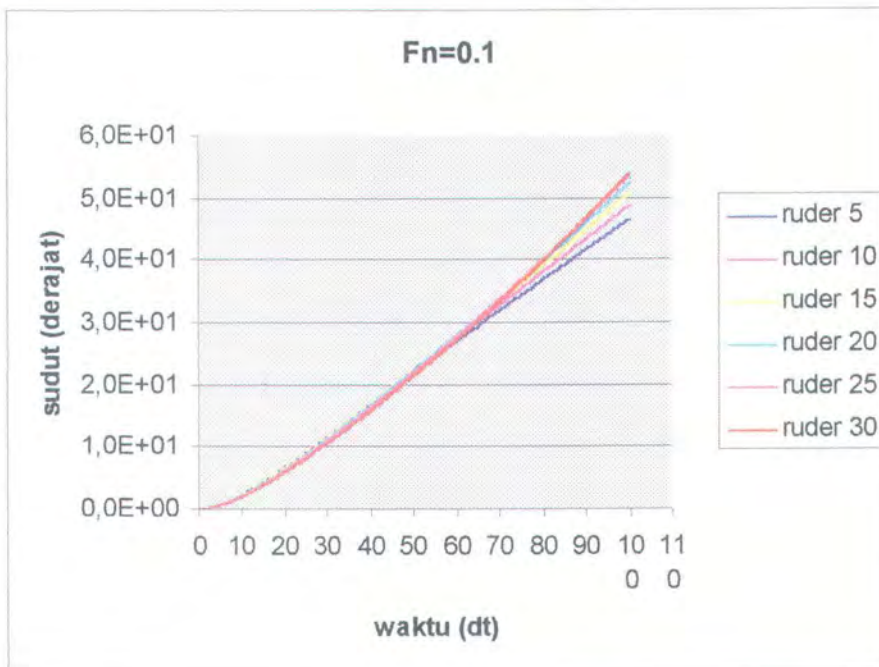


Gambar 3.5. Gerak turning kapal dengan Froude number 0.4

Perbedaan lintasan gerak turning kapal diatas disebabkan oleh perbedaan pertambahan sudut yawing yang ditempuh kapal saat bergerak. Keadaan ini terlihat pada grafik perbandingan kenaikan sudut yawing kapal pada Froude number kapal yang sama dengan sudut rudder yang berbeda maupun pada grafik perbandingan kenaikan sudut yawing kapal pada sudut ruder kapal yang sama terhadap Frode number kapal yang berbeda. Kapal dengan Froude number yang lebih besar lintasan kapal pada defleksi rudder yang sama hampir tidak jauh berbeda, yang membedakan adalah waktu yang diperlukan untuk melakukan putaran tersebut. Kapal dengan Froude number yang besar, waktu yang dibutuhkan untuk turning lebih singkat.

Pada grafik perbandingan sudut yawing kapal dengan merubah besarnya defleksi sudut rudder sebesar 5^0 , 15^0 , 20^0 , 25^0 dan 30^0 pada Froude number kapal

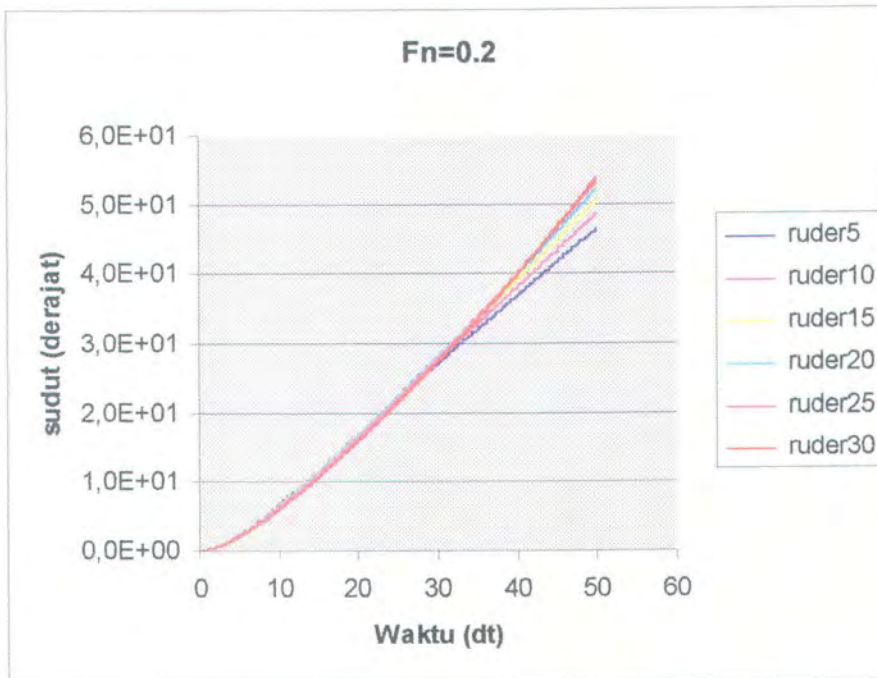
yang sama, menampakkan pencapaian sudut yawing kapal pada detik yang sama kenaikannya berbeda. Secara umum dengan defleksi sudut rudder kapal yang semakin besar maka penambahan sudut yawing kapal juga semakin besar. Pertambahan sudut ini terjadi pada kapal dengan kecepatan rendah yaitu Froude numbernya 0.1 maupun kapal dengan kecepatan yang lebih tinggi yaitu Froude numbernya 0.4. Karakteristik kapal dengan Froude number 0.1 dan pada saat $t = 100$ detik terlihat pada Gambar 3.6 berikut ini:



Gambar 3.6. Perbandingan sudut yawing kapal dengan Froude number 0.1

Pada saat rudder didefleksikan sebesar 5° , sudut yawing yang ditempuh kapal adalah 46.4 derajat. Pada defleksi rudder sebesar 10° , sudut yawing kapalnya sebesar 48.6 derajat. Sedangkan saat defleksi rudder berturut-turut sebesar 15° , 20° , 25° dan 30° sudut yawing kapalnya adalah 51.6, 53.3, 53.9 dan 54.1 derajat.

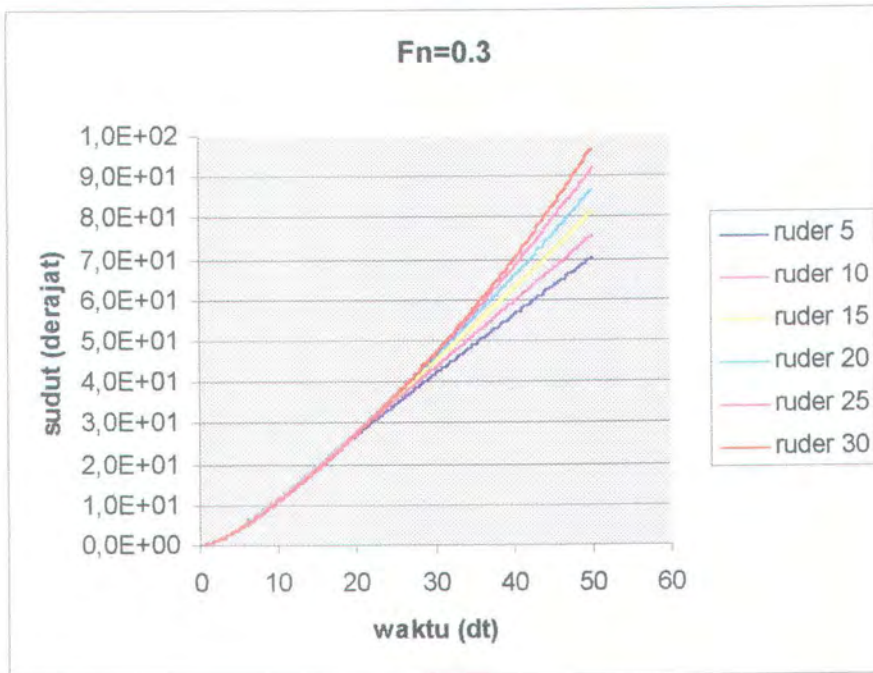
Kapal dengan Froude number 0.2 dalam waktu 50 detik, grafik perbandingan kenaikan sudut yawingnya ditunjukkan Gambar 3.7 dibawah ini:



Gambar 3.7. Perbandingan sudut yawing kapal dengan Froude number 0.2

Pada saat rudder didefleksikan sebesar 5° , maka sudut yawing yang ditempuh kapal adalah 46.4 derajat. Saat defleksi rudder sebesar 10° , sudut yawing kapal sebesar 48.7 derajat. Sedangkan pada defleksi rudder 15° sudut yawingnya adalah 50.6 derajat, defleksi 20° sudut yang ditempuh kapal adalah 52.2 derajat. Sudut yawing yang dicapai kapal saat defleksi rudder berturut-turut sebesar 25° dan 30° adalah 53.4 dan 54 derajat.

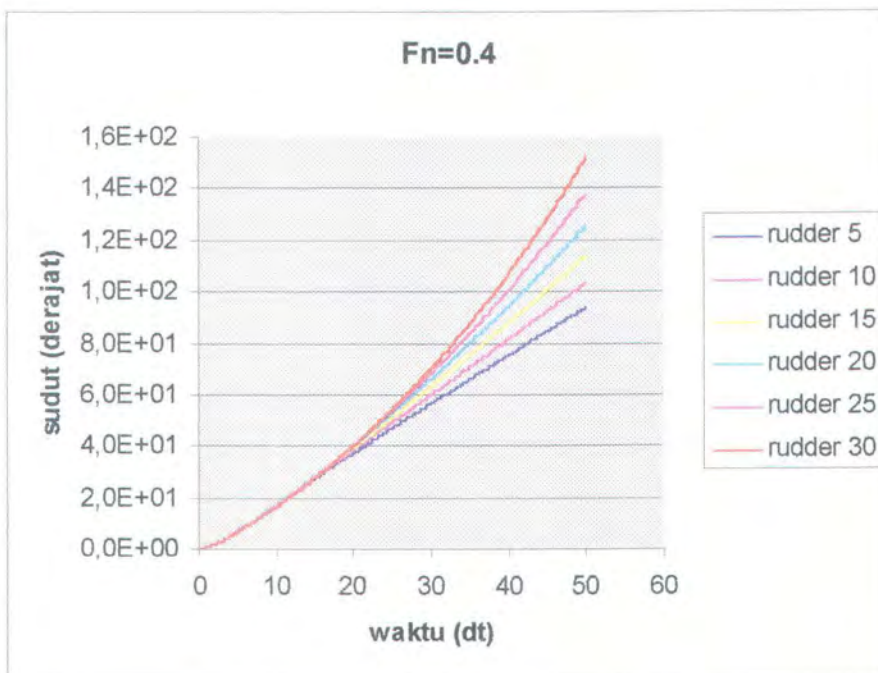
Kapal dengan Froude number 0.3 garfik perbandingan kenikan sudut yawing ditunjukkan pada Gambar 3.8 berikut ini:



Gambar 3.8. Sudut yawing kapal dengan Froude number 0.3

Pada saat rudder didefleksikan sebesar 5° , sudut yawing yang ditempuh kapal adalah 70 derajat. Untuk defleksi rudder sebesar 10° sudut yawing kapal sebesar 75 derajat. Sedangkan pada defleksi rudder berturut-turut sebesar 15° , 20° , 25° dan 30° sudut yawing kapal berturut-turut adalah 81.1, 85.3, 91.5 dan 95.6 derajat.

Untuk Frode number 0.4 pada rentang waktu yang sama grafiknya adalah Gambar 3.9 berikut ini:



Gambar 3.9. Sudut yawing kapal dengan Froude number 0.2

Pada saat rudder didefleksikan sebesar 5° maka sudut yawing yang ditempuh kapal adalah 93.6 derajat. Untuk defleksi rudder sebesar 10° sudut yawing kapal sebesar 103.2 derajat. Sedangkan pada defleksi rudder 15° adalah 114.3 derajat, defleksi 20° sudut yang ditempuh adalah 125.5 derajat. Kenaikan sudut dengan defleksi rudder berturut-turut sebesar 25° dan 30° sudut yawing kapal adalah 138.1 dan 152.4 derajat

Berdasarkan hasil simulasi diatas terlihat bahwa rudder yang didefleksikan sebesar 30° , sudut yawing yang ditempuh kapal pada detik ke-50 lebih tinggi jika dibandingkan dengan yang lain. Sedangkan rudder yang didefleksikan 5° sudut yawing yang ditempuh kapal paling kecil. Perbedaan tersebut terjadi karena pengaruh besarnya sudut rudder kapal yang didefleksikan. Semakin besar sudut rudder didefleksikan, berdasarkan persamaan gerak manuver kapal dengan sistem VTR maka momen gaya rudder semakin besar, sehingga percepatan sudut kapal

juga semakin naik. Dengan semakin bertambahnya percepatan sudut kapal maka kecepatan sudutnya juga semakin naik, sehingga sudut yawing kapal kenaikannya juga semakin besar. Dengan semakin bertambahnya sudut yawing kapal maka lintasan putar kapal semakin kecil.

Karakteristik kapal juga dapat terlihat dari perbandingan kenaikan sudut yawing kapal antar Froude number pada defleksi sudut rudder kapal yang sama. Pada grafik tampak bahwa kapal dengan Froude number yang besar yaitu 0.4 kenaikan sudut yawing kapal pada detik yang sama kenaikannya lebih cepat jika dibandingkan dengan yang lain. Untuk Froude number kapal 0.1 kenaikan sudut yawingnya tampak paling lambat. Perbedaan ini terjadi karena adanya pengaruh perbedaan kecepatan kapal. Kapal dengan Froude number 0.4 kecepatan awalnya adalah 12.527 m/dt sedangkan Froude number 0.1 kecepatan kapal 3.1318 m/dt. Dengan kecepatan kapal yang semakin tinggi maka kecepatan efektif fluida yang mengalir pada rudder juga semakin naik. Dengan mendefleksikan sudut rudder yang semakin besar maka percepatan sudut yawing kapal akan bertambah besar. Hal ini akan berdampak pada kenaikan kecepatan sudut kapal sehingga pertambahan sudut yawing kapal makin cepat pada tiap detik. Hasil perbandingan kenaikan sudut yawing kapal antar Froude number pada defleksi sudut rudder 5° ditunjukkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10. Perbandingan sudut yawing kapal pada defleksi rudder 5°

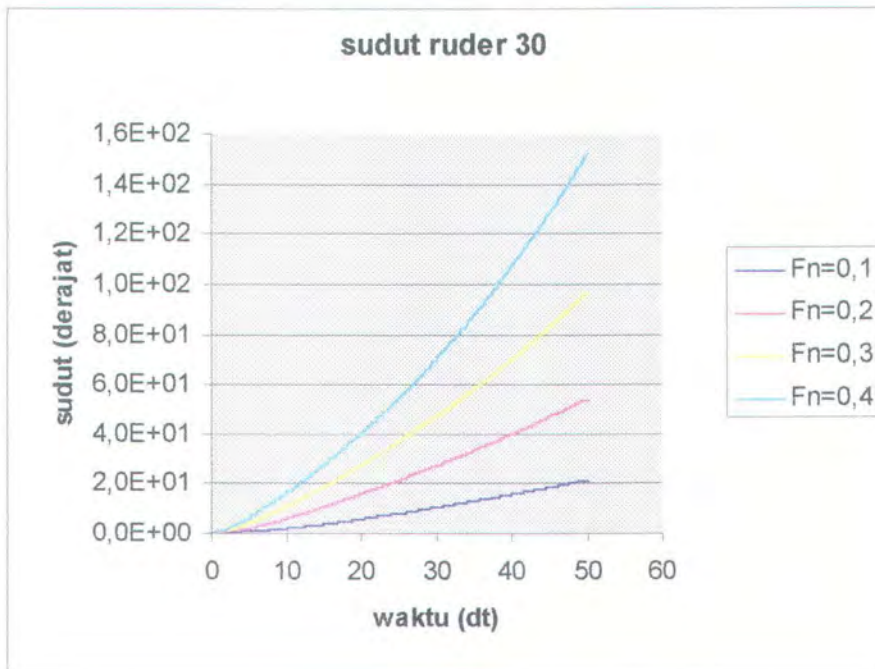
Pada grafik terlihat bahwa pada defleksi rudder 5° untuk Froude number 0.1 pada detik ke-50 sudut yawing kapal adalah sekitar 21.8° . Pada Froude number 0.2 sudut yawing kapal yang tercapai 45.3° . Untuk Froude number 0.3 sudut kapal adalah 70.1° dan Froude number 0.4 sudut yawing yang ditempuh kapal mencapai 95.6° . Berdasarkan hasil diatas terlihat bahwa kapal dengan Froude number 0.4 yang kecepatannya tertinggi, pertambahan sudut yawing kapal adalah paling cepat. Selanjutnya untuk defleksi rudder sebesar 10° selama 50 detik perbedaan sudut yawing kapal semakin besar. Kondisi tersebut terlihat pada Gambar 3.11 berikut ini:



Gambar 3.11. Perbandingan sudut yawing kapal pada defleksi ruder 10^0

Pada Froude number 0.1 sudut yawing yang dicapai kapal adalah 22.1^0 , untuk Froude number 0.2 sudut kapal 48.7^0 , sedang pada Froude number 0.3 sudut yawing kapal 75.7^0 dan Froude number 0.4 sudut yawing yang ditempuh kapal adalah 103.5^0 .

Perbedaan kenaikan sudut yawing kapal semakin jelas terlihat pada defleksi ruder 30^0 selama 50 detik seperti Gambar 3.12 berikut ini:



Gambar 3.12. Perbandingan sudut yawing kapal pada defleksi rudder 30°

Pada Froude number 0.1 sudut yawing kapal sebesar 22.28° . Froude number 0.2 sudut yawing kapal sekitar 54° , sedangkan untuk Froude number 0.3 sudut kapal 96.8° dan pada Froude number 0.4 sudut yawing kapal mencapai 152.3° . Berdasarkan hasil diatas dapat diketahui bahwa secara umum kapal dengan kecepatan yang lebih tinggi, kenaikan sudut yawing kapal saat melakukan turning juga semakin cepat. Dengan demikian maka lintasan gerak turning kapal juga semakin kecil dalam melakukan satu putaran.

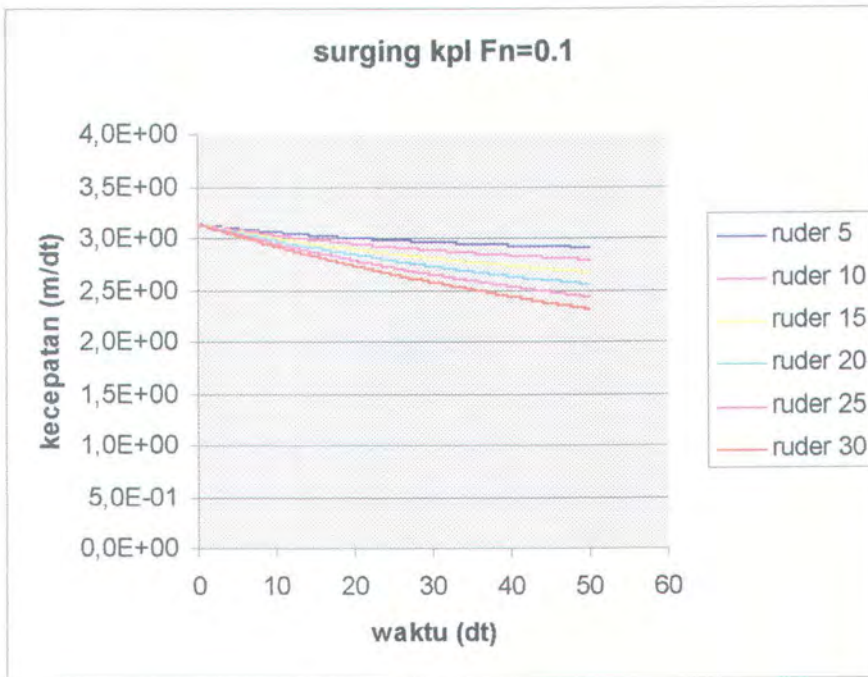
Berdasarkan hasil simulasi penambahan sudut yawing kapal pada masing-masing Froude number untuk defleksi sudut rudder yang sama, terlihat perbedaan bentuk garis kenaikan sudut. Pada defleksi rudder sebesar 5° penambahan sudut yawing kapal untuk masing-masing Fn tampak berupa garis linear atau garis lurus. Pada Froude number 0.1 persamaan garis tersebut adalah $y = 0.467t - 2.2017$. Untuk Froude number 0.2 persamaan garisnya adalah $y = 0.982t - 2.6507$.

sedangkan pada Froude number 0.3 adalah $y = 1.459t - 2.3493$ dan untuk Froude number 0.4 persamaan garis kenaikan sudut yawingnya adalah $y = 1.924t - 1.935$. Pada defleksi rudder 10° pertambahan sudut yawing kapal untuk tiap Froude number juga masih tampak sama yaitu masih berupa garis linear.

Perbedaan mulai tampak pada defleksi rudder kapal sebesar 15° pada gb.1 lampiran. Pertambahan sudut yawing kapal pada tiap Froude number sama yaitu berupa garis nonlinear. Pada Froude number 0.1 dan 0.2 kenaikan sudut membentuk garis dengan persamaan yaitu $y = 0.0033t^2 + 0.3079t - 0.9661$ untuk Froude number 0.1 dan Froude number 0.2 persamaan garisnya adalah $y = 0.0039t^2 + 0.879t - 2.0471$. Pada Froude number 0.3 persamaan garisnya adalah $y = 0.0054t^2 + 1.4133t - 2.537$ dan Froude number 0.4 adalah $y = 0.0079t^2 + 1.9438t - 2.7839$. Pada defleksi sudut rudder yang lebih besar yaitu 20° , 25° dan 30° garis kenaikan sudut yawing kapal pada umumnya berupa garis nonlinear untuk semua Froude number. Pertambahan kenaikan sudut yang berupa garis linear tersebut disebabkan oleh defleksi rudder yang kecil yaitu 5° dan 10° , sehingga jika dimasukkan dalam perhitungan $\sin \delta$ nilainya akan sama dengan nilai δ itu sendiri yang begitu kecil. Hal ini berakibat pada percepatan sudut kapal pertambahannya menjadi kecil yang juga mempengaruhi kecepatan sudut dan pertambahan sudut yawing kapal tiap detik juga kecil dan cenderung sebanding dengan kenaikan waktu, oleh sebab itu garis kenaikan sudut berupa garis linear atau lurus. Pada grafik pertambahan sudut yang berupa garis nonlinear, hal ini dipengaruhi oleh defleksi sudut rudder dan kecepatan kapal. Semakin besar defleksi sudut rudder dan kecepatan kapal yang semakin cepat maka percepatan dan kecepatan sudut

juga bertambah tinggi. Hal ini berpengaruh pada percepatan sudut terus bertambah besar pada tiap detik sehingga penambahan kenaikan sudut semakin cepat, oleh karena itu grafiknya membentuk suatu garis yang nonlinear.

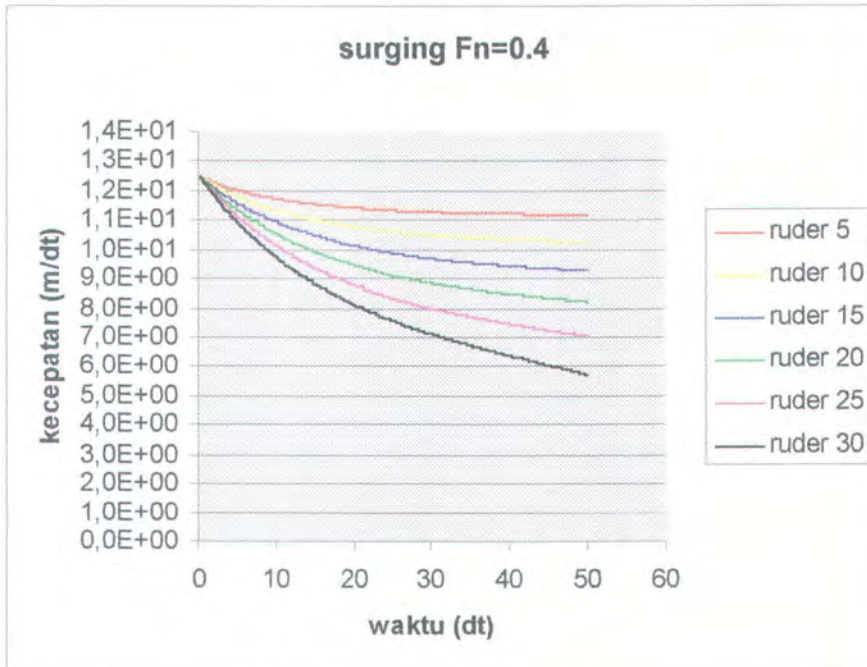
Karakteristik kapal yang lainnya adalah kecepatan surging kapal. Pada umumnya pada saat turning kecepatan surging kapal akan menurun. Penurunan kecepatan surging ini dipengaruhi adanya gaya tahanan oleh fluida disekitar kapal pada saat kapal berbelok. Pengaruh lainnya adalah adanya gaya rudder kapal pada arah sumbu x. Gaya-gaya ini dalam perhitungan bertanda negatif yang berarti mempengaruhi pengurangan nilai dalam perhitungan. Pada gaya rudder dipengaruhi oleh besar defleksi sudut rudder kapal dan kecepatan kapal. Semakin besar sudut defleksi rudder maka kecepatan surging kapal akan semakin turun. Pada kapal dengan kecepatan rendah yang Froude numbernya 0.1, perbandingan penurunan kecepatan surging kapal jika sudut rudder dibuat berbeda yaitu antara 5° sampai 30° tampak perbedaannya sangat kecil sehingga garis grafiknya tampak berhimpit. Kondisi yang demikian terlihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13. Kecepatan surgung kapal dengan $F_n=0.1$

Pada detik ke 50, untuk defleksi sudut rudder sebesar 5° kecepatan surgungnya adalah 2.99 m/dt dan sudut rudder 10° kecepatan surgung kapal adalah 2.98 m/dt. Untuk defleksi sudut rudder yang lebih besar yaitu 30° kecepatan surgung kapal adalah 2.4 m/dt.

Semakin bertambah besar kecepatan kapal yaitu Froude number kapal lebih besar dari 0.1 dalam grafik tampak perbedaan penambahan sudut yawing kapal juga semakin besar, seperti ditunjukkan Gambar 3.14 yaitu kapal dengan Froude number 0.4.

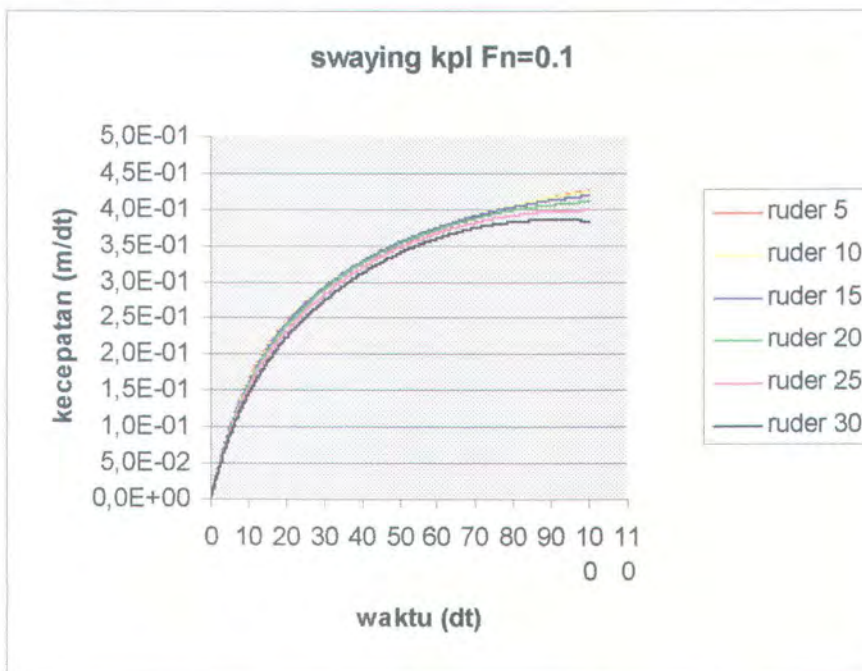


Gambar 3.14. Kecepatan surgung kapal dengan $F_n=0.4$

Pada Froude number 0.4 saat detik ke 50 dari kecepatan awal 12.527 m/dt untuk defleksi rudder 5° sudut yawing kapal turun menjadi 11.2 m/dt. Pada defleksi 10° sudut yawing kapal 10.3 m/dt, sedangkan untuk defleksi sebesar 15° kecepatan surgung 9.2 m/dt. Jika defleksi sudut rudder sebesar 20° kecepatan surgung kapal 8.1 m/dt dan jika defleksinya 25° kecepatannya adalah 7 m/dt. Untuk defleksi rudder sebesar 30° pada grafik kecepatan surgung sudah mencapai 5.9 m/dt. Berdasarkan hasil diatas terlihat bahwa semakin besar sudut rudder yang didefleksikan menyebabkan kecepatan surgung kapal akan semakin cepat menurun. Hal ini disebabkan karena semakin besar sudut rudder maka gaya rudder dalam persamaan juga semakin besar yang berarti kecepatan kapal yang searah sumbu x (surgung) akan berkurang sehingga menjadi turun.

Karakteristik kapal lainnya yang dapat diketahui dari hasil simulasi ini adalah mengenai kecepatan kapal searah sumbu y atau kecepatan swaying.

Berdasarkan grafik terlihat bahwa pada umumnya kecepatan swaying kapal mengalami kenaikan dari kondisi awal kapal yaitu saat mulai bergerak adalah nol. Kenaikan kecepatan swaying kapal beberapa saat kemudian konstan berupa garis lurus. Pada grafik kecepatan swaying kapal pada Froude number 0.1 dengan mendefleksikan sudut rudder yang berbeda sebesar 5° sampai 30° kecepatan swaying kapal tampak naik dari posisi nol sampai sekitar 0.4 m/dt kemudian konstan berupa garis horizontal. Kondisi tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.15 dibawah ini:

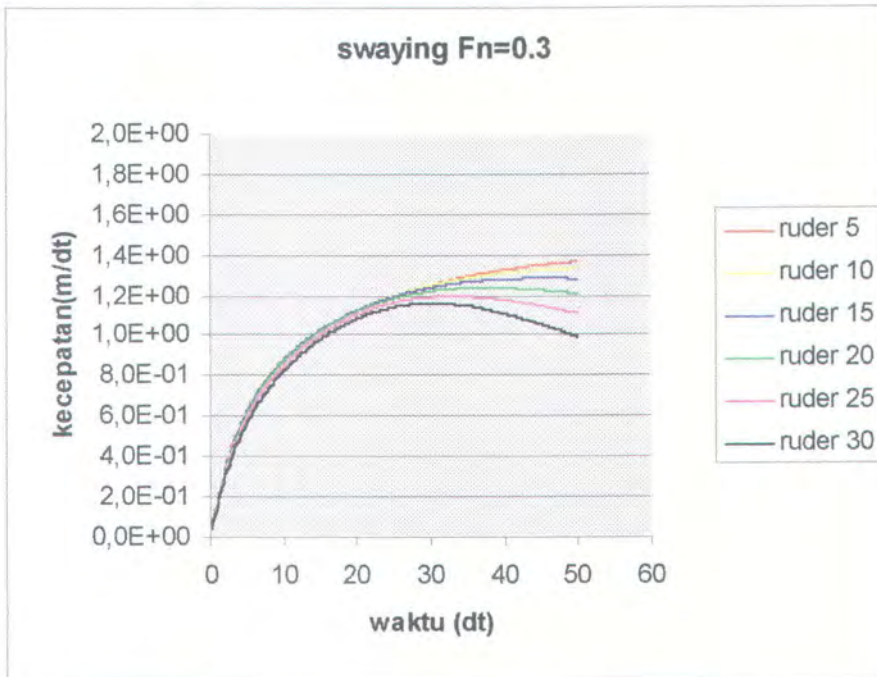


Gambar 3.15. Kecepatan swaying kapal dengan $F_n=0.1$

Perbedaan kenaikan kecepatan swaying kapal untuk defleksi sudut rudder berbeda sangat kecil sehingga garis yang tampak saling berhimpit.

Untuk Froude number 0.2 kenaikan kecepatan bertambah besar yaitu sampai sekitar 0.9 m/dt kemudian baru mendatar, namun perbedaan antar defleksi rudder masih tampak kecil. Semakin bertambah kecepatan kapal maka kecepatan

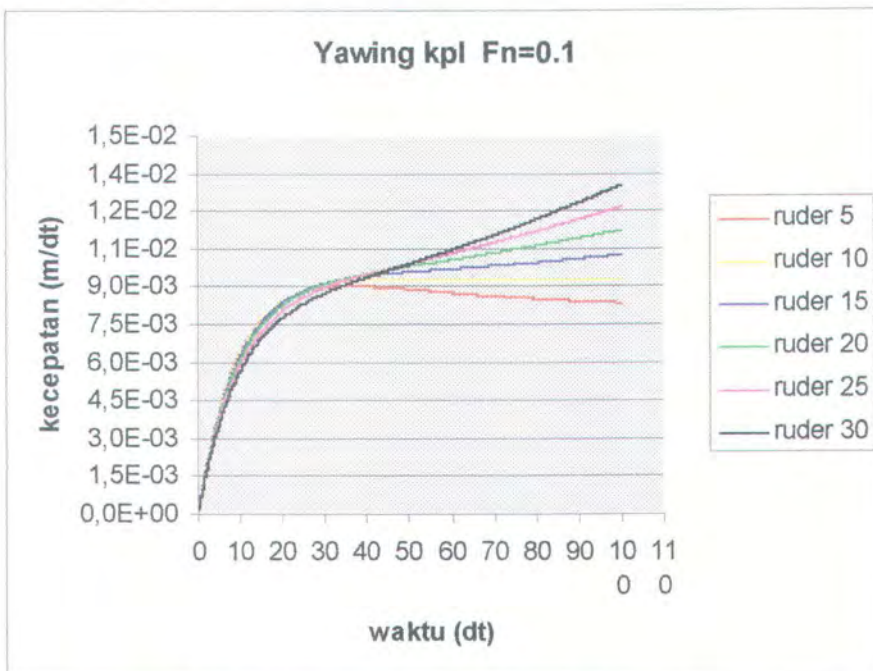
swayingnya juga besar. Hal ini terlihat pada kapal dengan Froude number 0.3 dimana kenaikan kecepatan swaying kapal tampak semakin tinggi dari keadaan awalnya. Grafiknya terlihat pada Gambar 3.16 dibawah ini:



Gambar 3.16. Kecepatan swaying kapal dengan $F_n=0.3$

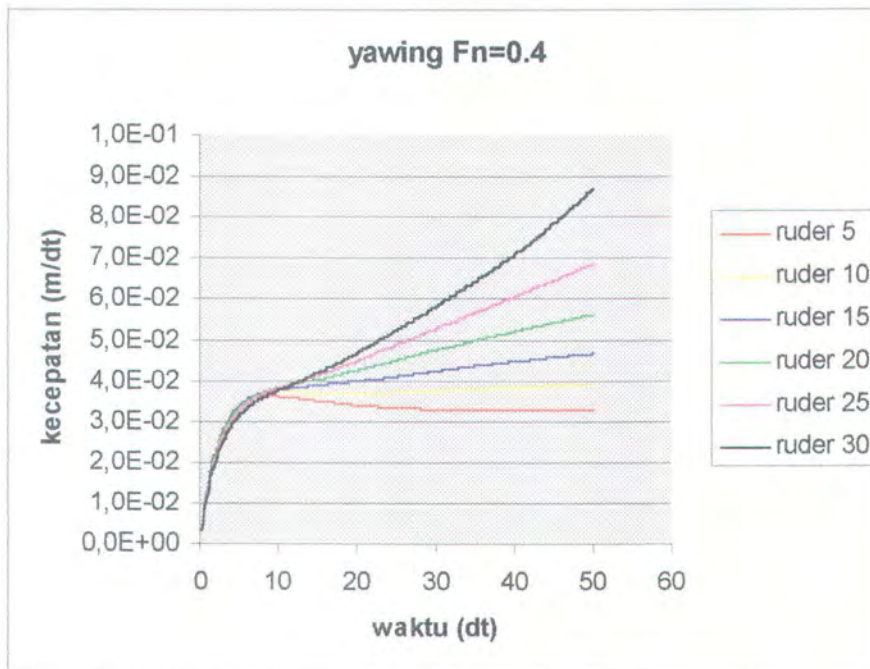
Pada Froude number 0.3 perbedaan kecepatan swaying antar defleksi kemudi berbeda mulai terlihat, yaitu saat defleksi sebesar 5° pada saat $t = 50$ detik, kecepatannya adalah 1.38 m/dt . Semakin besar sudut rudder didefleksikan kecepatannya tampak menurun, seperti terlihat pada defleksi rudder sebesar 30° pada detik yang sama kecepatannya adalah 1 m/dt . Kondisi tersebut terjadi karena saat defleksi sudut kemudi kecil misalnya 5° , untuk melakukan turning kapal memerlukan waktu yang lebih lama, sehingga grafik kecepatan swaying kapal masih terus naik. Pada kemudi yang didefleksikan lebih besar misalnya 30° , kapal semakin cepat berbelok, sehingga kecepatan swaying tampak lebih cepat menurun dan kemudian konstan.

Dari hasil simulasi gerak turning, karakteristik kapal lainnya yang dapat diamati adalah kecepatan sudut yawing kapal. Berdasar grafik kecepatan sudut terlihat bahwa secara umum adalah naik. Pada Froude number 0.1 kenaikan kecepatan sudut yawing kapal untuk semua defleksi rudder yaitu 5 sampai 30 derajat berkisar 0.01 m/dt. Perbedaan kenaikan kecepatan sudut antar rudder kecil seperti terlihat pada Gambar 3.17 berikut ini:



Gambar 3.17. Kecepatan yawing kapal dengan $F_n=0.1$

Pada Froude number yang lebih besar perbedaannya mulai terlihat. Untuk defleksi rudder yang kecil yaitu 5° kenaikan kecepatan sudut lebih rendah jika dibandingkan dengan defleksi yang lebih besar yaitu 30° saat diukur pada waktu yang sama. Hal ini terlihat pada grafik kenaikan sudut untuk Froude number 0.4 pada Gambar 3.18 sebagai berikut:



Gambar 3.18. Kecepatan yawing kapal dengan $F_n=0.4$

Pada defleksi rudder 5° kecepatan sudutnya pada detik ke 50 adalah 0.032 m/dt, sedangkan defleksi 10° adalah 0.039 m/dt. Untuk defleksi sudut rudder 15° kecepatan sudutnya sebesar 0.047 m/dt, defleksi 20° adalah 0.058 m/dt, sudut rudder 25° adalah 0.069m/dt dan defleksi ruder sebesar 30° kecepatan sudutnya adalah 0.088 m/dt. Kenaikan kecepatan sudut ini disebabkan oleh momen rudder dan momen hidrodinamika. Pada momen rudder pertambahannya disebabkan oleh sudut defleksi rudder. Semakin besar defleksinya maka momen rudder juga semakin bertambah. Selain itu pengaruh kecepatan efektif aliran fluida yang mengalir pada rudder juga berperan dalam kenaikan kecepatan sudut kapal.



BAB IV

SISTEM PENGENDALIAN GERAK
YAWING KAPAL BERDASARKAN
INTELLIGENT CONTROL

BAB IV

SISTEM PENGENDALIAN GERAK YAWING KAPAL BERDASARKAN ARTIFICIAL INTELLIGENT CONTROL

4.1. Gambaran Umum

Usaha yang kita lakukan dalam mengendalikan gerak suatu benda adalah dengan membuat suatu sistem kontrol gerak benda tersebut agar dapat mencapai tujuan yang telah kita tetapkan. Sebagai gambaran yang sederhana adalah pengendalian gerak mobil, seperti Gambar 4.1 dibawah ini:



Gambar 4.1. Pengendalian gerak mobil

Dalam pengendalian gerak mobil seperti gambar diatas, seorang sopir atau pengemudi berperan sebagai pemegang kendali sekaligus pembuat keputusan untuk gerak mobil tersebut. Keputusan yang diambil dalam usaha pengendalian berdasarkan pada kemampuan manusia dalam menganalisa permasalahan disekitarnya berdasarkan yang dilihat dengan mata. Setelah melalui suatu proses

pemikiran maka akan dibuat suatu keputusan sebagai respon atau tanggapan terhadap permasalahan tersebut tentang apa yang harus dilakukan. Sebagai contoh adalah saat ingin membelokkan mobil untuk menghindari lubang, pengemudi akan berfikir dan mengambil suatu keputusan bagaimana mengendalikan gerak mobil untuk menghindarinya. Setelah keputusan diambil maka pengemudi akan meresponnya dengan jalan memutar kemudi mobil beberapa derajat sesuai dengan apa yang diputuskannya.

Berdasar pola pemikiran pada gambaran diatas, maka direncanakan suatu sistem pengendalian gerak yawing kapal yang berdasarkan kemampuan berfikir buatan atau Artificial Intelligent (AI) seperti halnya pada manusia. Jadi sistem Artificial Intelligent adalah suatu sistem kendali dengan kecerdasan buatan seperti kemampuan berfikir pada manusia. Diterapkannya AI pada sistem pengendalian karena AI ini dianggap memiliki banyak kelebihan. Ada beberapa alasan yang mendasari digunakannya AI dalam sistem pengendalian adalah sebagai berikut :

1. Dalam suatu sistem atau proses biasanya terlalu rumit dan komplek untuk dipahami dan ditampilkan secara sederhana. Permasalahan yang lain tentang model yang dipergunakan termasuk sulit dan mahal untuk dapat dievaluasi, variabel-variabelnya kemungkinan tidak mudah untuk diukur dan variabel-variabel penyebab juga mungkin tidak dapat diketahui. Dalam proses, subyeknya terlalu luas dan pengaruh dampak lingkungan yang dapat mempengaruhi proses juga tidak dapat diprediksi.
2. Orang yang mengoperasikannya atau seorang operator dapat merespon operasi yang komplek dan mendesak.

3. Tindakan manusia kadang- kadang sulit untuk dianalisa dan juga sering tidak tetap atau inkonsisten, tidak handal dan mudah melakukan kesalahan atau error.
4. Pada Artificial Intelligent ini dilakukan penggabungan antara kecerdasan yang positif dan kreatifitas dari pola berfikir manusia dan untuk menghindari tindakan-tindakan yang cenderung tidak tetap atau inkonsisten.

Penggunaan Artificial Intelligent dalam sistem pengendalian sebenarnya berdasarkan pada beberapa komponen antara lain neurophysiology (sistem jaringan syaraf), psycology, operation research, teori sistem kontrol, ilmu pengetahuan komputer dan ilmu pengetahuan yang lainnya. Pada prinsipnya Artificial Intelligent merupakan Intelligent Sistem (IS) yang pada umumnya berisikan tentang proses pembelajaran dan adaptasi. Hal ini didasarkan pada pemikiran bahwa pembelajaran tidak akan dapat terjadi tanpa adanya variasi dalam parameter-parameter proses yang memenuhi dan berdasarkan percobaan atau eksperimen, fakta dan bukti serta pengetahuan.

4.2.Sistem Pengendalian dan Analisa Gerak Yawing Kapal

Untuk dapat mengaplikasikan sistem artificial intelligent pada pengendalian gerak yawing kapal maka akan dibuat suatu program komputer yang bertujuan untuk mengendalikan dan mengontrol gerakan kapal. Program komputer tersebut dibuat dengan masukan berupa sudut tujuan yang hendak dicapai dan melihat error yang masih terjadi selama proses berlangsung. Hasil yang didapatkan nantinya adalah sudut yawing kapal dari posisi awal sampai kapal

mencapai sudut tujuan yang telah ditetapkan sebelumnya. Proses pengendalian gerak yawing kapal dengan program komputer adalah dengan memasukkan inputan sudut heading yang akan dituju dan data-data kapal kedalam program. Setelah itu program akan melakukan perhitungan berdasarkan persamaan matematika, selanjutnya akan dianalisa lebih lanjut dalam rule-rule atau aturan-aturan yang dibuat dalam program. Rule-rule ini dibuat berdasarkan cara berfikir seperti pada manusia, yang apabila menemui suatu permasalahan maka akan menganalisanya dan menentukan respon apa yang harus dilakukan.

Prinsip-prinsip program pengendalian gerak yawing ini adalah melalui tiga cara pengendalian. Yang pertama adalah pengendalian berdasarkan pada sudut yawing yang telah dicapai kapal. Dalam pengendalian ini, sudut rudder didefleksikan berdasarkan pada range sudut yawing yang telah ditempuh kapal. Jika sudut yawing yang ditempuh kapal masih dibawah $1/4$ kali dari sudut heading yang akan dituju maka kemudi didefleksikan sebesar $1/2$ kali dari sudut heading yang dituju. Jika sudut yawing yang telah ditempuh kapal besarnya antara $1/4$ sampai dengan $1/2$ kali dari sudut heading maka kemudi harus didefleksikan sebesar $1/3$ kali dari sudut heading yang hendak ditempuh. Apabila sudut yawing kapal telah masuk daerah sebesar $1/2$ sampai dengan $3/4$ kali dari sudut heading maka kemudi harus dikurangi defleksinya menjadi $1/6$ kali dari sudut heading yang dituju. Defleksi kemudi ini terus dikurangi hingga menjadi 0^0 apabila sudut yawing yang ditempuh kapal telah berada antara $3/4$ sampai 1 kali dari sudut heading yang hendak ditempuh.

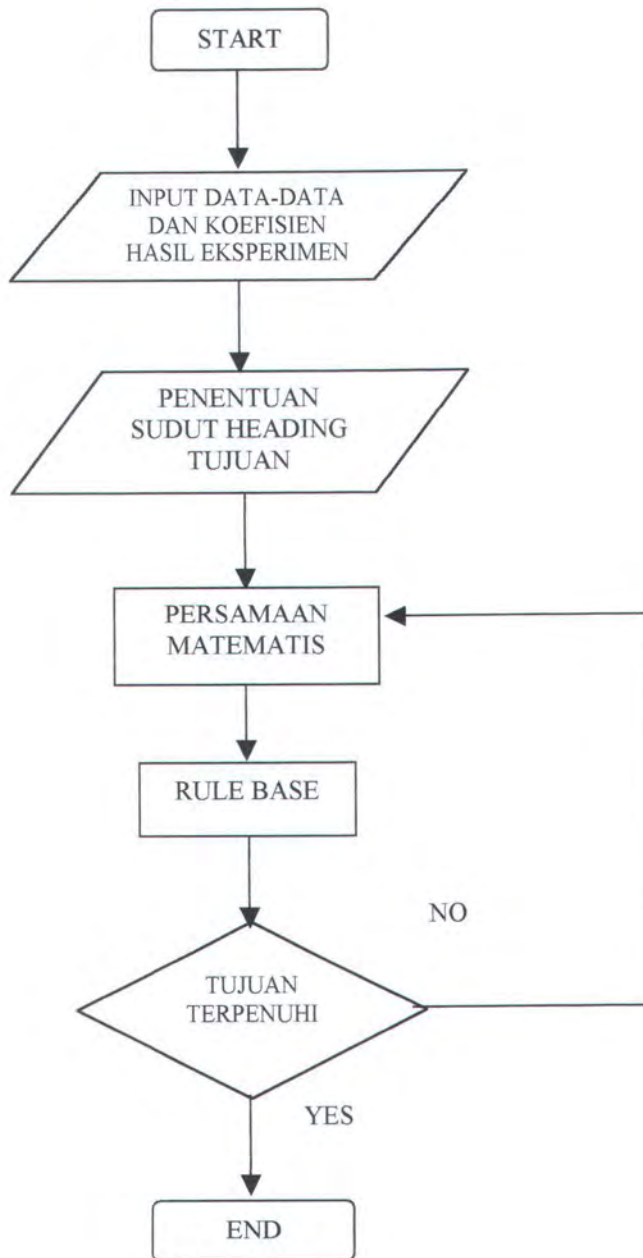


Langkah kedua adalah pengendalian defleksi kemudi berdasarkan nilai error yang masih terjadi. Apabila error yang terjadi masih besar yaitu lebih besar dari $1/8$ kali dari sudut heading maka kemudi harus didefleksikan sebesar $1/8$ kali dari sudut heading tujuan. Namun bila error telah mencapai $1/8$ sampai $1/12$ kali dari sudut heading tujuan maka respon yang harus dilakukan kapal adalah mengurangi defleksi kemudi menjadi $1/10$ kali dari sudut heading tujuan. Jika error berada antara $1/12$ sampai $1/16$ kali dari sudut heading maka defleksi kemudi dikurangi menjadi $1/14$ kali dari sudut heading. Untuk error masih terjadi antara $1/16$ sampai $1/20$ kali dari sudut heading maka sudut kemudi menjadi $1/16$ kali dari sudut heading. Sedangkan jika nilai error telah mencapai 0 sampai $1/20$ kali dari sudut heading maka sudut defleksi rudder dikurangi hingga menjadi $1/20$ kali dari sudut heading yang hendak dituju.

Pengendalian tahap ketiga adalah mengontrol nilai kecepatan sudut kapal (r). Kondisi ini dilakukan jika error yang terjadi sudah dibawah 0 atau sudut yawing kapal telah melebihi sudut heading yang dituju. Jika nilai r lebih besar dari 0.003 maka sudut kemudi didefleksikan kearah negatif sebesar $1/10$ kali dari sudut heading. Untuk nilai r antara 0.001 sampai dengan 0.003 maka kemudi harus didefleksikan negatif sebesar $1/20$ kali dari sudut heading. Sedangkan jika nilai r lebih kecil dari 0.001 maka kemudi didefleksikan negatif sebesar $1/30$ kali dari sudut heading tujuan.

Proses kerja tersebut berlanjut sampai kapal mencapai sudut heading tujuan yang telah ditetapkan dalam program. Diagram alir program pengendalian

gerak yawing ini dapat dilihat pada Gambar 4.2 flowchart pengendalian gerak yawing kapal berikut ini:

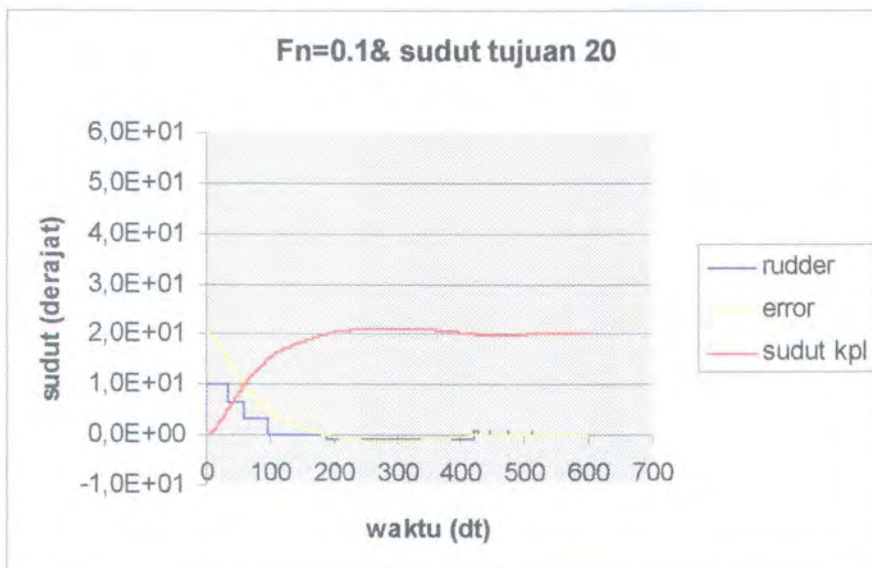


Gambar 4.2. Flowcart Pengendalian Gerak yawing Kapal

Dari flowchart diatas inputan yang harus dimasukkan adalah sudut tujuan, data kapal dan koefisien hasil eksperimen yang diperlukan. Selanjutnya ditentukan waktu iterasi yang akan dilakukan, maka secara otomatis program akan bekerja melakukan perhitungan. Hasil perhitungan selanjutnya dianalisa dalam rule base system dan dikontrol apakah sudut tujuan sudah terpenuhi atau belum. Apabila masih belum terpenuhi maka proses akan berulang sampai tujuan yang ditetapkan tercapai.

Pengendalian dilakukan pada kapal dengan froude number yang berbeda yaitu 0,1 sampai dengan 0,4 dengan sudut tujuan adalah 20^0 , 30^0 , 40^0 dan 50^0 . Untuk kondisi awal kapal seperti pada simulasi gerak turning yaitu dengan menganggap sumbu tetap bumi (earth fixed axes) berhimpit dengan sumbu tetap pada kapal (body fixed axes), sehingga posisi kapal untuk detik ke nol adalah $\xi_0 = 0$ dan $\eta_0 = 0$. Sedangkan untuk kecepatan sudut yawing (r) dan kecepatan swaying (v) pada kondisi awal adalah nol, untuk putaran propeler dan kecepatan surging kapal sama dengan kecepatan awal kapal yang tergantung pada besarnya angka froude number.

Hasil dari proses pengendalian gerak yawing kapal dengan Froude number 0.1 untuk beberapa sudut heading cukup baik namun masih memerlukan waktu yang lebih lama jika dibandingkan dengan Froude number lainnya dalam mencapai kesetabilan sistem. Jika kita amati hasil dari grafik pengendalian untuk semua sudut heading tujuan rata-rata memerlukan waktu sekitar 400 detik untuk mencapai keadaan setabil. Untuk sudut heading 20^0 hasil grafik pengendaliannya seperti Gambar 4.3.

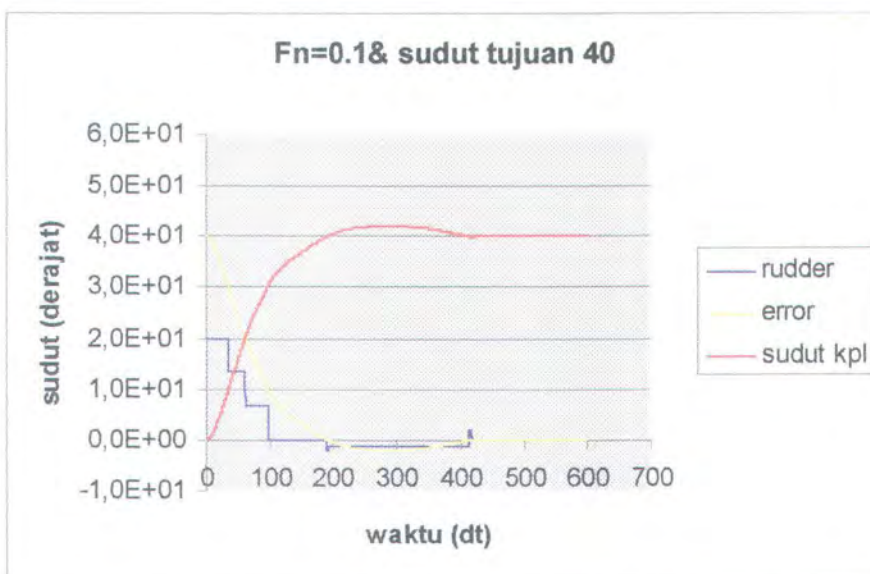


Gambar 4.3. Pengendalian gerak kapal $F_n=0.1$ pada sudut heading 20°

Dari grafik diatas terlihat bahwa pada saat sudut yawing yawing yang ditempuh kapal kecil dan error masih besar yaitu sekitar 20° - 15° terlihat kemudi defleksinya besar yaitu sebesar 10° dan dipertahankan sampai sekitar 40 detik. Respon gerak kapal adalah penambahan sudut yawing kapal semakin cepat dari posisi awal kapal yaitu dari 0° sampai 7° , selain itu nilai error juga turun dengan cepat. Selanjutnya defleksi kemudi kapal dikurangi menjadi sekitar 6 derajat selama kurang lebih 20 detik. Respon yang terjadi adalah sudut yawing kapal tetap bertambah tetapi tidak secepat sebelumnya, pertambahan sudutnya adalah dari 7° menjadi 10° . Setelah itu defleksi kemudi dikurangi lagi menjadi sekitar 3° selama 40 detik, mengakibatkan pertambahan sudut yawing kapal makin melambat. Selanjutnya kemudi dikembalikan keposisi semula yaitu 0° selama kurang lebih 100 detik, namun sudut yawing kapal masih terus bertambah meskipun lambat. Karena pertambahan sudut terus berlangsung sampai melebihi sudut heading yang

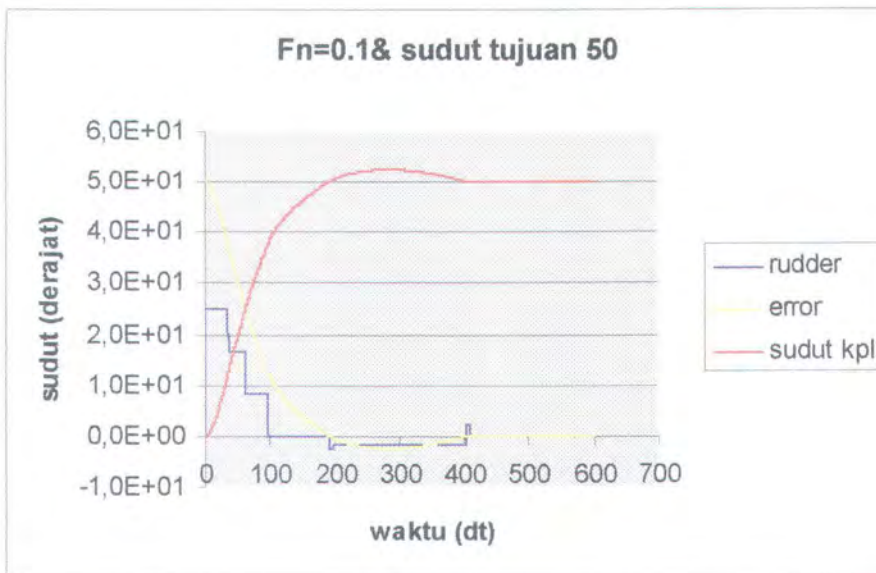
telah ditetapkan yaitu 20 derajat, maka kapal meresponnya dengan mendefleksikan kemudi kapal kearah negatif sebesar kurang lebih 1 derajat selama 200 detik. Sudut kapal akhirnya kembali lagi ke posisi sudut heading yang ditetapkan yaitu 20 derajat dan kemudian terus konstan setabil.

Untuk sudut heading yang lebih besar, pada umumnya sama yaitu dalam pencapaian sudut tujuan cukup baik. Pengendalian gerak kapal oleh kemudi juga sama yaitu secara bertahap dikurangi hingga keposisi awal yaitu menjadi 0^0 sesuai dengan penambahan sudut yawing kapal. Selain itu frekuensi pendefleksian kemudi untuk mencapai keadaan setabil tampak tidak cepat. Perbedaan yang tampak adalah mengenai maksimum overshoot sudut terhadap sudut yang telah ditetapkan. Pada grafik tampak bahwa semakin besar sudut heading maka maksimum overshootnya sudut juga semakin besar. Kondisi ini terlihat pada grafik pengendalian dengan sudut tujuan atau sudut heading 40^0 seperti Gambar 4.4 dibawah ini:



Gambar 4.4. Pengendalian gerak kapal $F_n=0.1$ pada sudut heading 40^0

Pada grafik terlihat bahwa maksimum overshoot dari sudut tujuan sekitar 2 derajat yaitu dari sudut heading sebesar 40° sampai kelebihan sudut maksimum yang ditempuh kapal sebelum kembali ketujuan adalah 42° . Overshoot semakin besar untuk sudut heading 50° seperti Gambar 4.5 dibawah ini:



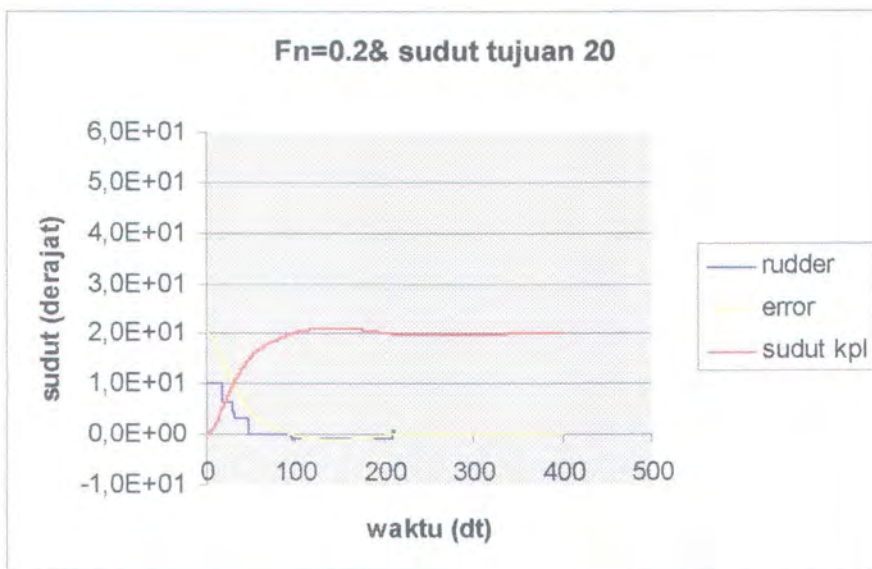
Gambar 4.5. Pengendalian gerak kapal $F_n=0.1$ pada sudut heading 50°

Pada grafik terlihat maksimum overshoot kurang lebih 3 derajat, yaitu dari sudut heading yang ditetapkan sebesar 50° hingga sudut yawing maksimum yang ditempuh kapal sebelum setabil sebesar 52.4° . Semakin besarnya overshoot disebabkan oleh kecepatan sudut yang masih bertambah dan belum menjadi nol. Indikasi ini terlihat pada defleksi sudut kemudi kapal saat sudut yawing kapal mulai melebihi sudut heading yang ditetapkan yaitu didefleksikan ke arah negatif.

Pada kapal dengan Froude number 0.2 maksimum overshoot juga semakin besar untuk sudut heading yang besar. Sudut kemudi pada saat awal didefleksikan ke arah negatif tampak semakin besar. Hal ini menandakan bahwa pada saat

menjelang sudut heading yang pertama kali, nilai r masih bertambah. Untuk membuat nilai r menjadi nol maka kemudi didefleksikan negatif. Semakin besar nilai r saat sudut yawing kapal melebihi sudut tujuan maka defleksi kemudi kearah negatif juga semakin besar.

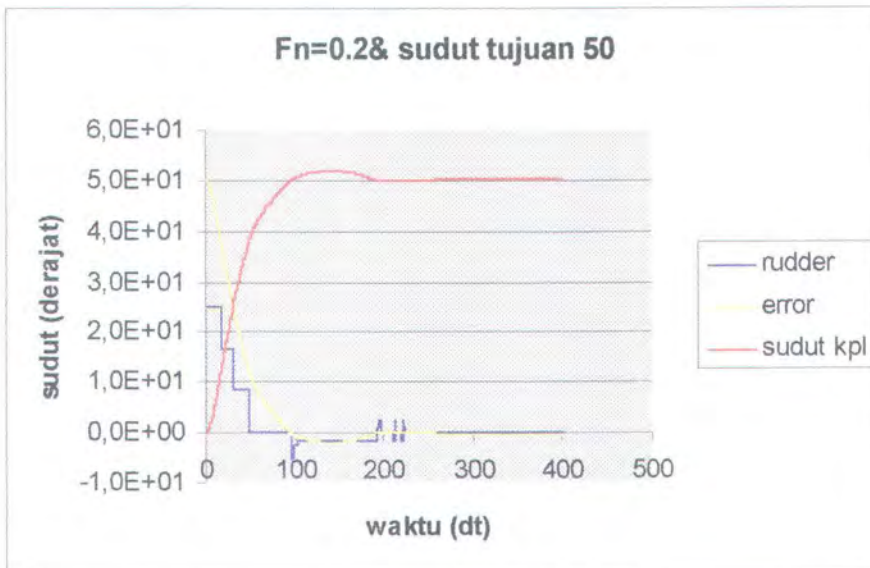
Pada pengendalian gerak kapal dengan Froude number 0.2 waktu yang diperlukan untuk mencapai keadaan setabil semakin pendek, yaitu sekitar 200 detik. Hal ini terlihat pada Gambar 4.6 dibawah ini:



Gambar 4.6. Pengendalian gerak kapal $F_n=0.2$ pada sudut heading 20^0

Pada sudut heading 20 derajat terlihat sudut kapal menjadi setabil setelah proses berlangsung selama kurang lebih 200 detik. Kondisi tersebut tampak dalam grafik yaitu kapal telah mencapai sudut 20^0 dan kemudian terus konstan. Error yang terjadi setelah detik ke-200 juga telah menjadi nol dan juga terlihat defleksi kemudi tampak setabil pada keadaan 0^0 .

Pada sudut heading kapal yang lebih besar yaitu 50^0 , pencapaian keadaan setabil juga tampak sama yaitu setelah detik ke-200 seperti Gambar 4.7.

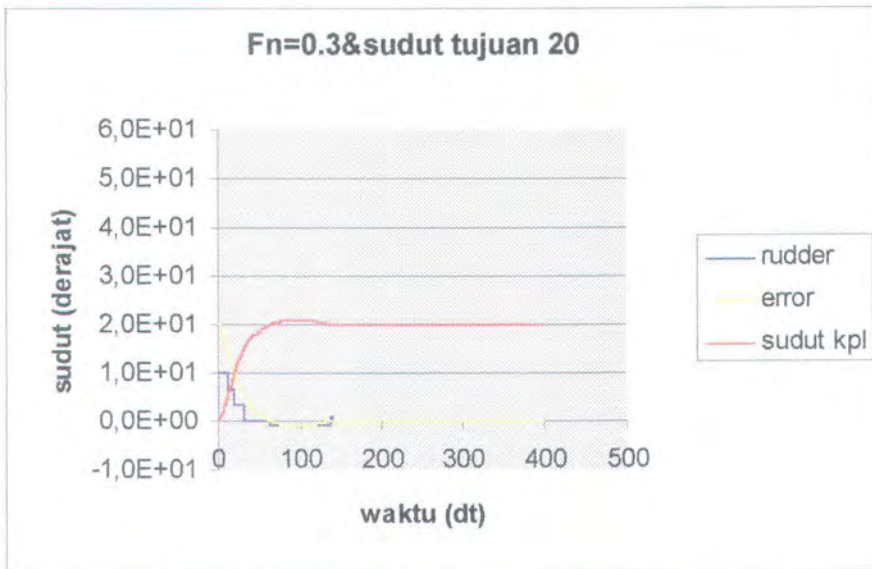


Gambar 4.7. Pengendalian gerak kapal $F_n=0.2$ pada sudut heading 50°

Pertambahan sudut tampak berbeda pada besar maksimum overshoot sudut, yaitu lebih besar. Defleksi kemudi pada saat awal didefleksikan kearah negatif tampak besar, kemudian berkurang sedikit dan konstan sampai sekitar 200 detik. Respon yang demikian disebabkan karena pada saat awal mendekati sudut heading tujuan kecepatan sudut kapal masih bertambah besar, sehingga direspon oleh kapal dengan mendefleksikan kemudi ke negatif yang juga besar. Setelah kecepatan sudut kapal mulai turun, defleksi kemudi diperkecil. Hal ini bertujuan agar penurunannya tidak terlalu cepat dan dapat cepat menjadi nol sehingga sudut yawing kapal dapat konstan pada tujuan yang ditetapkan. Hasil pengendalian untuk sudut heading tujuan 30° dan 40° dapat dilihat pada lampiran.

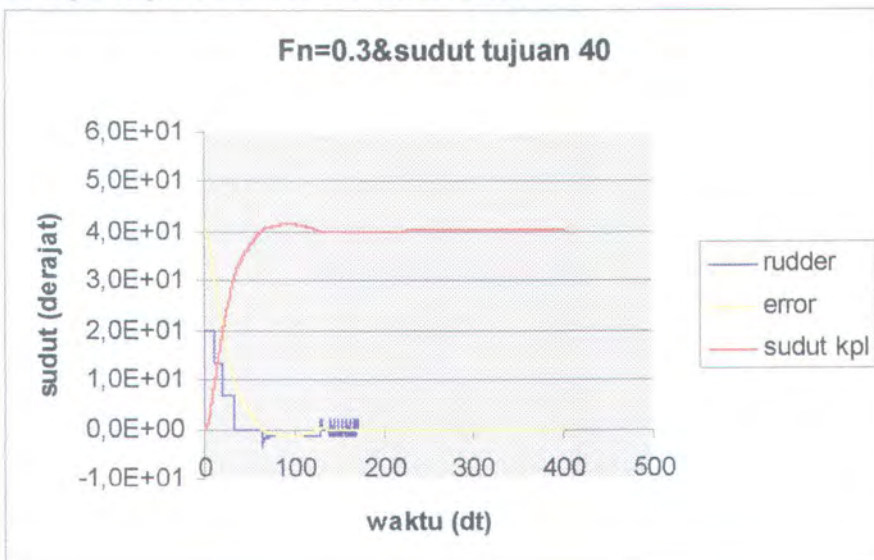
Pengendalian gerak yawing kapal dengan Froude number 0.3 menampakkan hasil yang lebih cepat untuk mencapai keadaan setabil. Waktu yang diperlukan untuk setabil tersebut sekitar 136 detik, yaitu sudut yawing kapal

sudah mencapai tujuan dan konstan. Keadaan ini terlihat pada grafik pengendalian kapal dengan sudut heading 20^0 sebagai berikut:



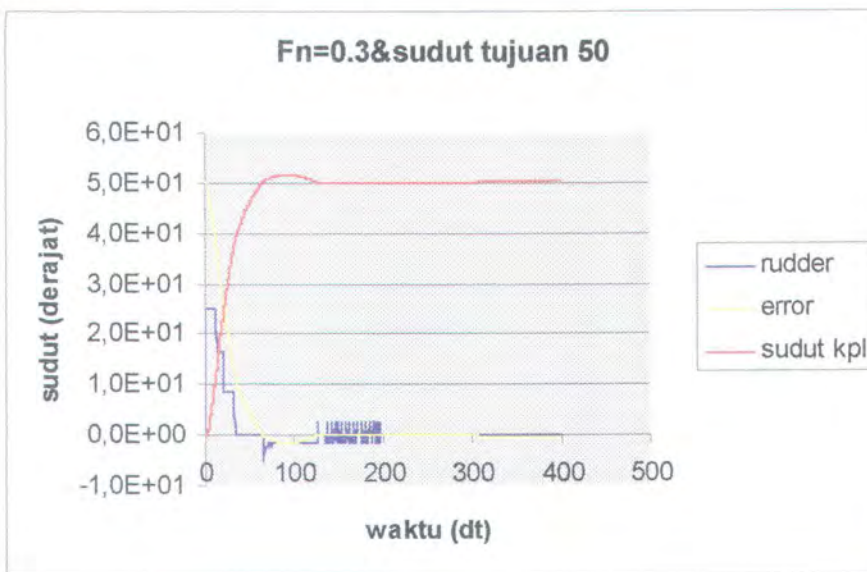
Gambar 4.8. Pengendalian gerak kapal $F_n=0.3$ pada sudut heading 20^0

Pada Gambar 4.8 diatas terlihat bahwa keadaan setabil tercapai pada detik ke-136, Keadaan kemudi juga sudah setabil pada detik tersebut. Jika dilihat pada sudut heading 40^0 frekuensi defleksi kemudi saat kapal mencapai sudut tujuan tampak semakin cepat seperti Gambar 4.9 dibawah ini:



Gambar 4.9. Pengendalian gerak kapal $F_n=0.3$ pada sudut heading 40^0

Pada Gambar 4.9 terlihat kapal mencapai sudut heading tujuan dan setabil pada detik ke-136, namun pada defleksi kemudi tampak untuk beberapa saat frekuensinya lebih cepat, setelah itu konstan di nol pada sekitar detik ke-170. Kondisi demikian hampir sama untuk kapal dengan sudut heading 50^0 . Frekuensi kemudi tampak cepat untuk waktu yang lebih lama seperti ditunjukkan pada grafik berikut ini:

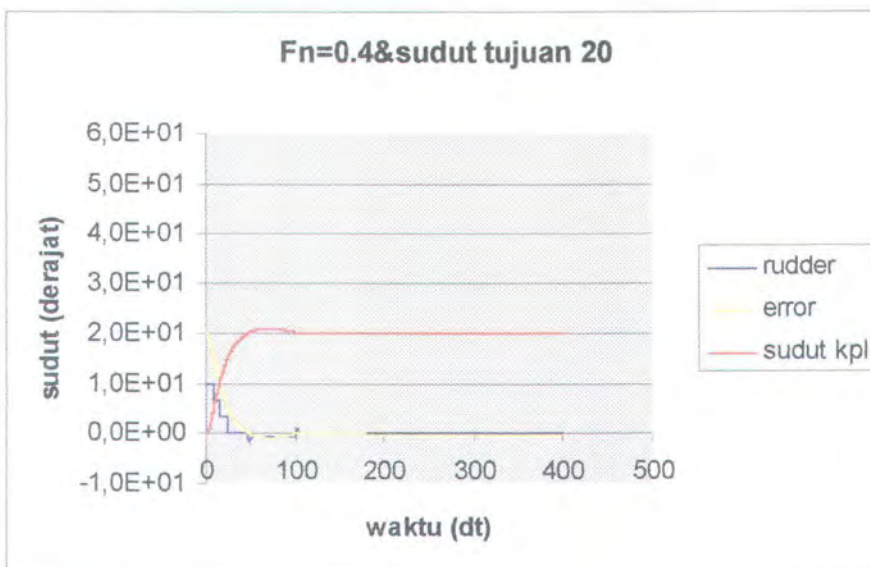


Gambar 4.10. Pengendalian gerak kapal $F_n=0.3$ pada sudut heading 50^0

Dari Gambar 4.10 diatas terlihat bahwa frekuensi defleksi cepat dan berlangsung mulai detik ke-130 sampai sekitar 200, setelah itu konstan dengan defleksi kemudi 0 derajat. Respon kapal yang demikian disebabkan program pengendalian berusaha mempertahankan kesetabilan sudut yawing kapal yang telah mencapai tujuan karena kecepatan sudut kapal masih berubah-ubah yang berakibat pada sudut yawing kapal berubah. Agar sudut yawing kapal tetap setabil maka nilai r harus nol sehingga kapal tidak berbelok lagi. Untuk mencapai kondisi tersebut maka kapal meresponnya dengan mendefleksikan kemudi terkadang kearah

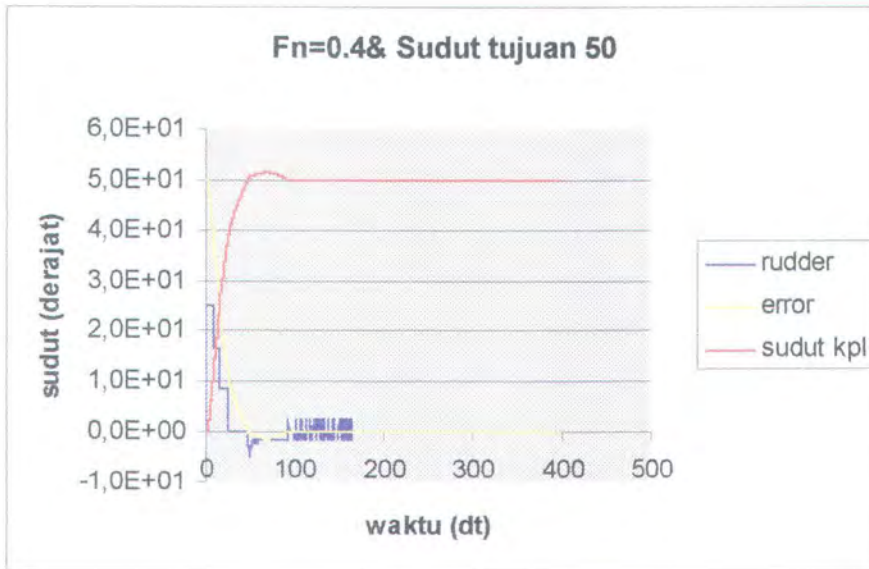
negatif dan terkadang kearah positif tergantung nilai r yang kadang positif dan negatif juga. Pengendalian ini dilakukan dengan tujuan agar kecepatan sudut kapal berangsur-angsur menjadi nol, sehingga kemudi juga setabil pada defleksi 0^0 .

Pada kapal dengan Froude number 0.4, pencapaian sudut heading yang telah ditentukan dapat dilakukan dalam waktu yang lebih singkat yaitu setelah 100 detik dari mulai saat kapal bergerak. Jika dilihat dalam grafik tampak frekuensi defleksi cepat dan berlangsung lama sesuai dengan semakin besarnya sudut heading yang dituju. Jika pada pada $F_n = 0.3$ defleksi kemudi semakin cepat mulai pada sudut heading 40^0 derajat, namun pada Froude number 0.4 ini sudah terjadi pada sudut heading 30^0 seperti terlihat pada Gambar 4.11 dibawah ini:



Gambar 4.11. Pengendalian gerak kapal $F_n=0.4$ pada sudut heading 20^0

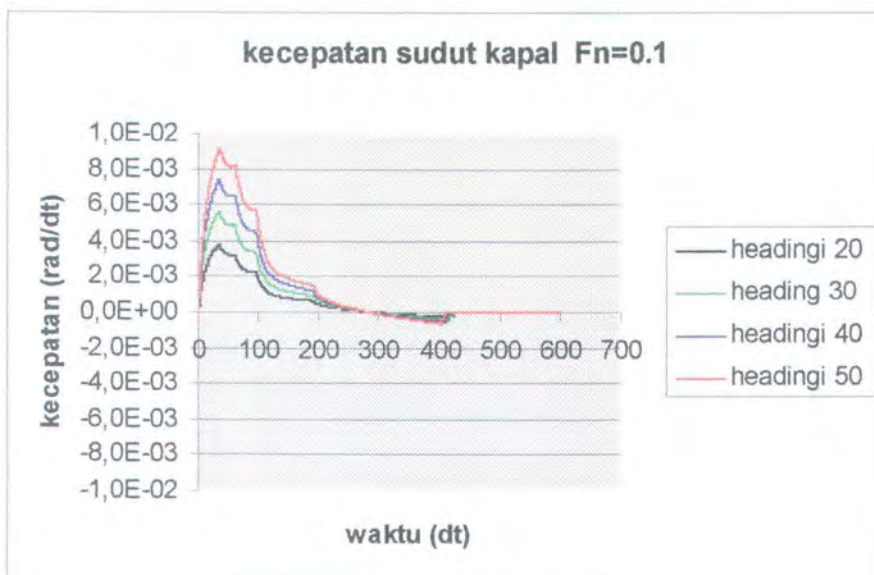
Defleksi kemudi cepat dan waktunya tampak semakin lama untuk kapal dengan sudut heading yang lebih besar yaitu 50^0 seperti terlihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12. Pengendalian gerak kapal $F_n=0.4$ pada sudut heading 50°

Dalam gambar di atas terlihat sudut heading dapat dicapai dan konstan dalam waktu 100 detik. Frekuensi defleksi semakin cepat tampak berlandsung selama kurang lebih 75 detik. Ini lebih lama dari pada sudut heading 30° yang hanya sekitar 25 detik. Respon yang demikian ini disebabkan oleh pengaruh besarnya sudut heading dan kecepatan kapal. Semakin besar sudut heading yang dituju maka sudut kemudi kapal yang didefleksikan juga harus semakin besar, sehingga kecepatan sudut kapal (r) juga semakin besar selanjutnya berdampak pada pertambahan sudut yawing kapal semakin cepat. Pada saat mencapai sudut heading yang ditentukan, pengendalian nilai r agar menjadi nol semakin sulit dan membutuhkan waktu yang lebih lama. Oleh karena itu respon kemudi tampak berdefleksi lebih cepat agar nilai r menjadi nol sehingga sudut yawing kapal setabil dan tidak berubah lagi.

Perubahan kecepatan sudut untuk masing-masing sudut heading pada kapal dengan Froude number yang sama, menampakkan hasil yang berbeda. Pada umumnya semakin besar sudut heading yang dituju maka penambahan sudut yawing kapal juga semakin besar. Kondisi ini dapat dilihat dalam gambar grafik kecepatan sudut kapal dengan Froude number 0.1 sebagai berikut:

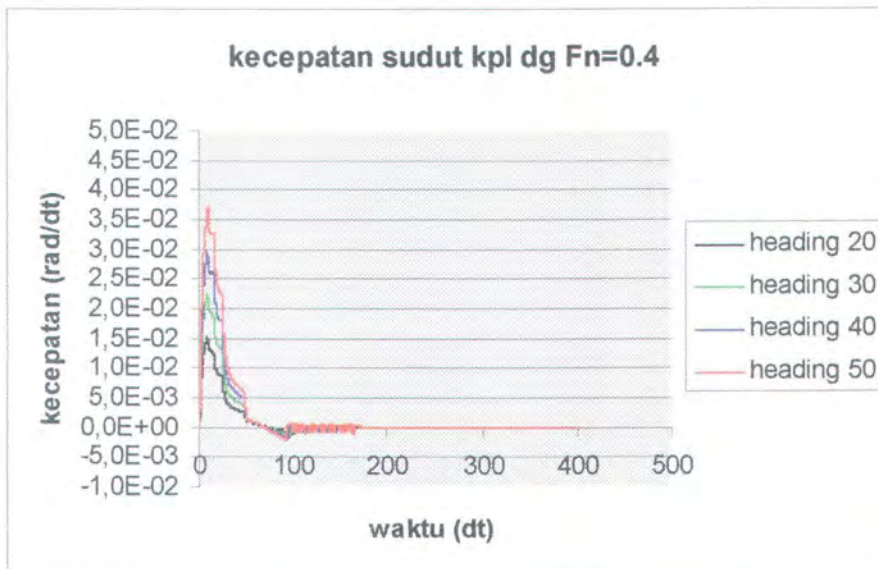


Gambar 4.13. kecepatan sudut kapal Fn=0.1

Dalam Gambar 4.13 terlihat bahwa semakin besar sudut heading maka kenaikan kecepatan sudut juga tampak semakin besar. Untuk sudut heading 20° kecepatan maksimum sebelum kembali turun adalah 0.0042 rad/dt. Sudut heading 30° adalah 0.0051 rad/dt, sedangkan sudut heading 40° kecepatan maksimumnya 0.0075 rad/dt dan sudut heading 50° adalah 0.0095 rad/dt. Kenaikan kecepatan sudut ini dipengaruhi oleh momen rudder. Semakin besar sudut heading maka kemudi juga didefleksikan semakin besar. Dengan semakin besar sudut defleksi maka momen rudder juga bertambah besar. Semakin besar momen ruder mengakibatkan terjadinya penambahan kecepatan sudut kapal. Karena dalam mengendalikan

gerak yawing kapal, setelah mencapai sudut heading yang diinginkan kecepatan sudut harus dibuat menjadi nol dengan tujuan agar sudut kapal tidak berubah lagi, oleh sebab itu dalam grafik tampak setelah osilasi kecepatan sudut akhirnya konstan di nol yaitu setelah detik ke 400.

Semakin besar Froude number kapal maka dalam grafik terlihat pertambahan kecepatan sudut juga tampak semakin besar. Hal ini dapat dilihat dalam gambar grafik gerak yawing kapal dengan Froude number 0.4 berikut ini:

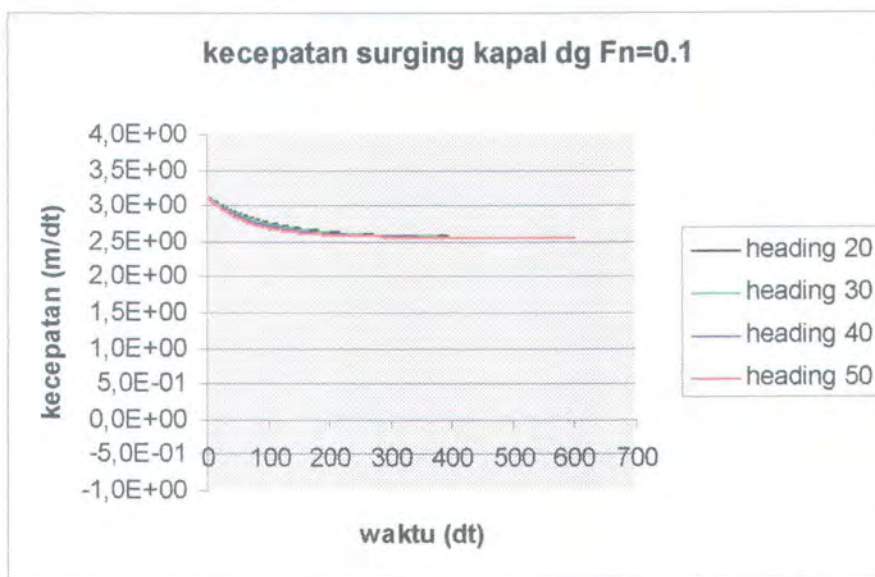


Gambar 4.14. kecepatan sudut kapal Fn= 0.4

Pada semua sudut heading tujuan pada Gambar 4.14 diatas terlihat pertambahannya lebih cepat dari Froude number 0.1. Untuk sudut heading 50° kecepatan tertinggi sebelum dikendalikan menjadi nol adalah 0.00375 rad/dt, sudut heading 40° adalah 0.003 rad/dt. Untuk sudut heading 30° kecepataannya 0.00225 rad/dt dan sudut heading 20° adalah 0.0015 rad/dt. Hasil pengendalian kecepatan sudut untuk Froude number 0.2 dan 0.3 selengkapnya dapat dilihat dalam lampiran. Berdasarkan grafik hasil pengendalian tampak bahwa semakin

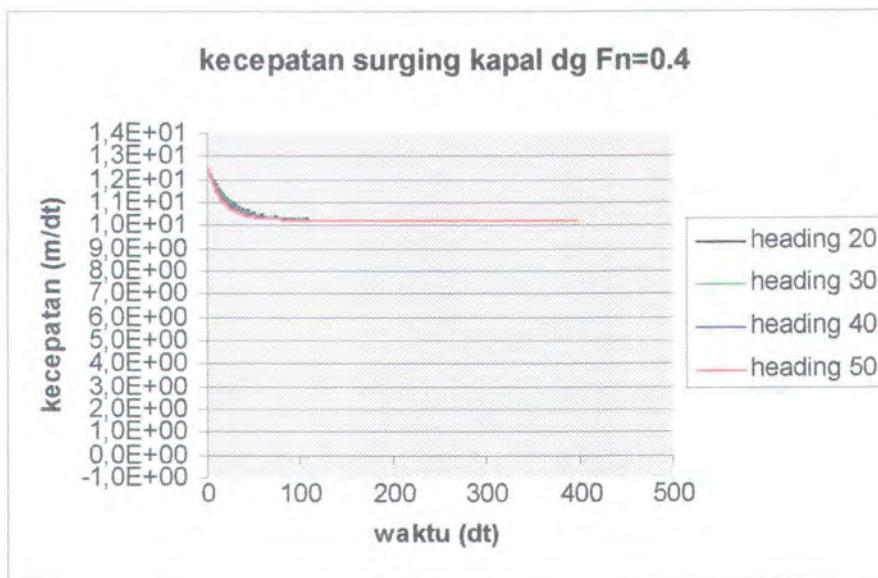
besar Froude number kapal kecepatan kapal menjadi nol lebih cepat. Ini menunjukkan bahwa kapal lebih cepat menjadi stabil setelah mencapai sudut heading yang diinginkan.

Sedangkan untuk kecepatan surging kapal pada semua Froude number menampilkan tren yang menurun kemudian konstan. Berdasarkan grafik nampak bahwa semakin besar Froude number kapal maka kecepatan surgingnya juga lebih besar. Hal ini seperti terlihat dalam gambar grafik kecepatan surgng pada Froude number 0.1 berikut ini:



Gambar 4.15. kecepatan surging kapal $F_n = 0.1$

Dalam Gambar 4.15 diatas terlihat penurunan kecepatan surging kapal kecil, dari kecepatan awal 3.1318 m/dt kemudian turun hingga konstan pada kecepatan 2.65 m/dt. Penurunan kecepatan untuk tiap sudut heading yang berbeda menunjukkan hasil yang kecil sekali, sehingga penampakan grafik tampak saling berhimpit dan kemudian konstan pada kecepatan yang sama. Kapal dengan Froude number 0.4 menampilkan hasil seperti Gambar 4.16.

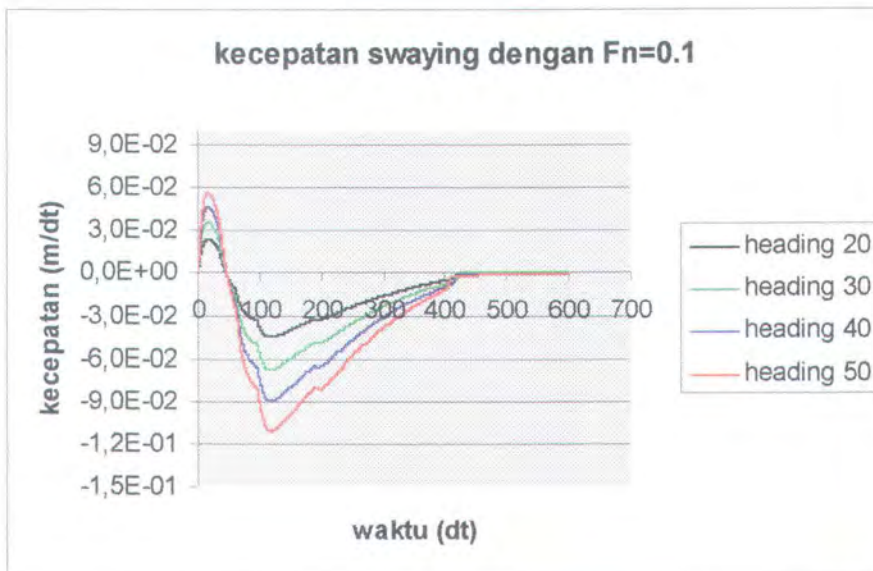


Gambar 4.16. kecepatan surging kapal $F_n= 0.4$

Berdasarkan Gambar 4.16 diatas tampak bahwa kecepatan surging menurun yaitu dari kecepatan surging awalnya adalah 12.527 m/dt hingga konstan pada kecepatan 10.15 m/dt dan ini terjadi setelah detik ke-100. Untuk hasil pengendalian gerak surging kapal dengan Froude number 0.2 dan 0.3 dapat dilihat dalam lampiran. Pada Froude number 0.2 penurunan kecepatan berlangsung dari 6.2636 m/dt sampai kemudian konstan pada 5 m/dt dan terjaji setelah 200 detik. Sedangkan Froude number 0.3 kecepatan surging kapal turun dari 9.395 m/dt menjadi 7.81 m/dt. Penurunan kecepatan surging ini disebabkan oleh adanya pengaruh gaya tahanan dan gaya rudder pada sumbu x. Semakin besar gaya tahanan dan gaya ruder kapal maka pengurangan kecepatan surging akan semakin besar, sehingga dalam grafik tampak berupa garis-garis yang menurun. Untuk gaya rudder sendiri banyak dipengaruhi oleh sudut defleksinya dan juga kecepatan kapal. Semakin besar sudut defleksi rudder dan kecepatan kapal maka gaya rudder searah sumbu x juga akan semakin besar. Karena setelah kapal

mencapai sudut heading yang diinginkan harus konstan dan stabil maka sudut kemudi dikembalikan ke posisi semula yaitu nol derajat yang pada akhirnya berdampak pada gaya rudder menjadi nol sehingga penurunan kecepatan surging kapal berhenti dan menjadi konstan.

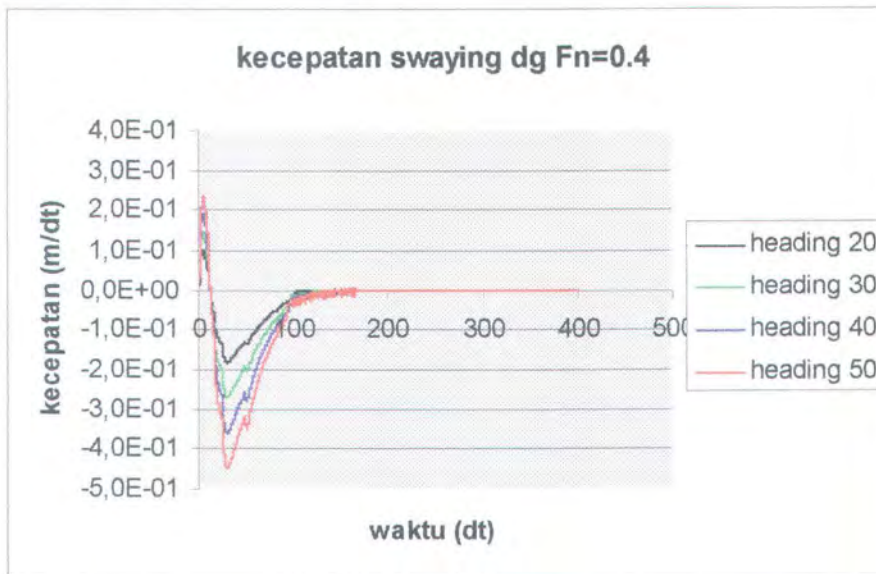
Hasil pengendalian untuk gerak swaying menunjukkan tren yang berosilasi untuk beberapa saat dan setelah itu kembali konstan di nol. Pada umumnya kecepatan swaying awalnya tampak naik, setelah beberapa saat turun terus bahkan sampai negatif, setelah itu naik lagi dan kemudian konstan di nol. Semakin besar angka Froude number kapal, hasil pengendalian dalam grafik menampakkan osilasi yang semakin besar. Hal ini terlihat seperti Gambar 4.17 dibawah ini:



Gambar 4.17. kecepatan swaying kapal Fn= 0.1

Dalam grafik tampak bahwa sudut heading yang besar menampakkan osilasi kecepatan yang paling besar. Untuk mencapai kondisi stabil maka kecepatan swaying kapal harus nol. Oleh karena itu dalam grafik tampak bahwa semuanya akhirnya konstan di 0 m/dt setelah 400 detik.


Sedangkan untuk kapal dengan Froud number 0.4, hasil gambar grafik kecepatan swaying adalah sebagai berikut:



Gambar 4.18. kecepatan swaying kapal $F_n = 0.4$

Dari Gambar 4.18 diatas terlihat osilasi kecepatannya besar, untuk yang kearah positif sekitar 0.23 m/dt, sedang yang arah negatif sekitar 0.45 m/dt dan ini terjadi pada sudut heading 50° . Semakin kecil sudut heading tampak osilasi kecepatan juga tampak kecil. Pada akhirnya semua menjadi konstan 0 m/dt setelah detik ke-175. Untuk hasil pengendalian kecepatan swaying kapal dngan Froude number 0.2 dan 0.3 dapat dilihat dalam lampiran.

Berdasarkan grafik hasil pengendalian yang telah dibahas didepan, terlihat bahwa sistem pengendalian yang dibuat dalam program komputer dapat bekerja dengan baik. Indikasi ini didasarkan pada hasil grafik pengendalian yang menunjukkan bahwa kapal dapat dengan cepat mencapai sudut heading yang diinginkan dan kemudian setabil dalam jangka waktu yang relatif pendek.



BAB V

KESIMPULAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

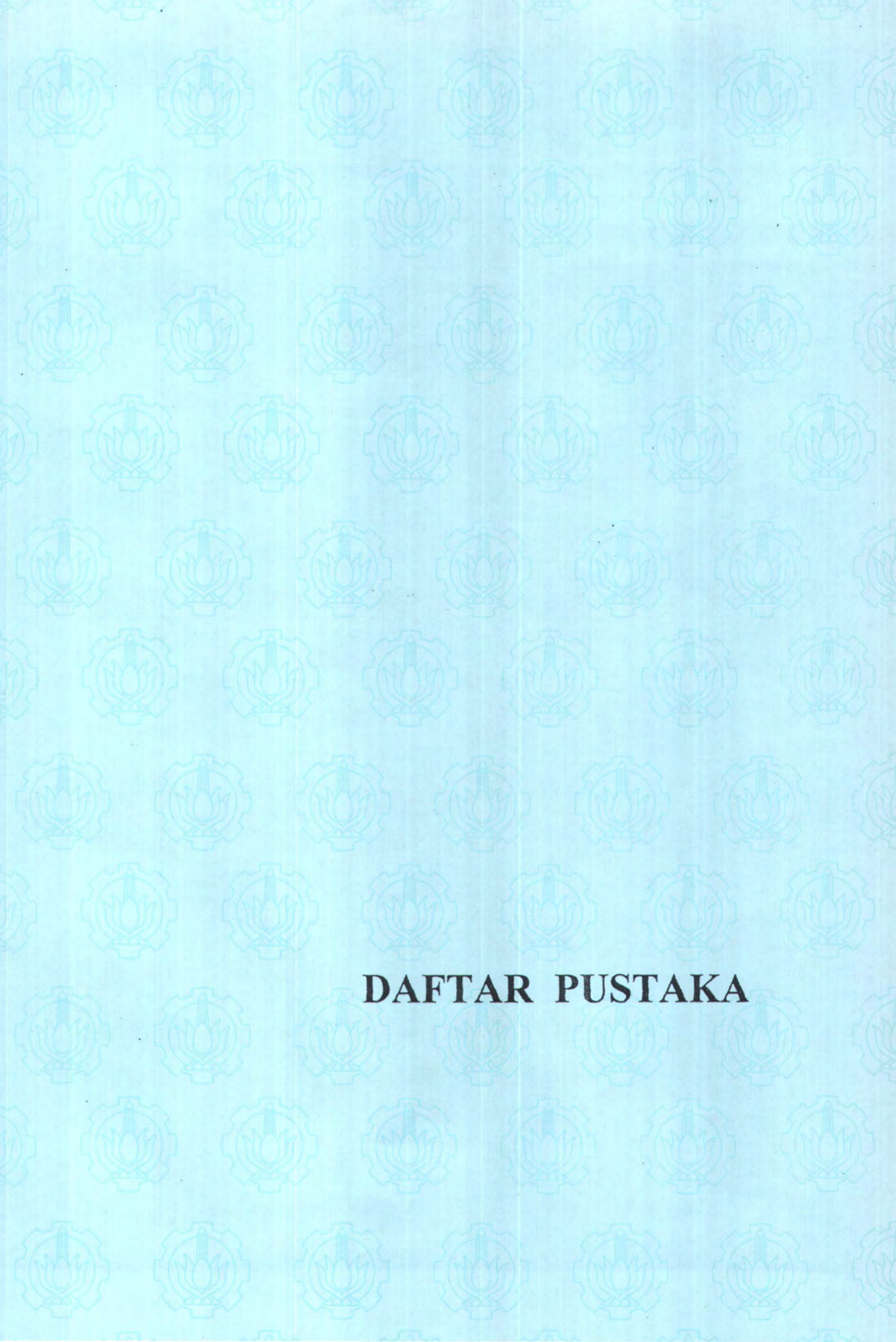
Berdasarkan hasil pembahasan dan analisa performan sistem pengendalian gerak yawing kapal, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil simulasi gerak turning kapal, dapat diketahui karakteristik kapal sebagai berikut:
 - Semakin besar angka Froude number, kapal akan lebih cepat melakukan turning. Keadaan ini disebabkan karena kapal memiliki kecepatan yang lebih besar.
 - Semakin besar sudut kemudi didefleksikan, penambahan sudut yawing yang ditempuh kapal juga semakin besar, sehingga kapal dapat cepat melakukan turning.
 - Kecepatan surging kapal saat turning ternyata adalah semakin menurun dan kemudian menjadi konstan.
2. Telah berhasil dibuat sistem pengendalian intelejen yang dapat mengendalikan gerak yawing kapal dan memiliki respon yang cepat. Untuk mencapai sudut heading tujuan. diperlukan waktu yang cukup singkat yaitu sekitar 100 detik. Kondisi stabil yang ditandai kecepatan sudut menjadi konstan di nol dan sudut yawing kapal tidak mengalami penambahan lagi tercapai dalam waktu sekitar 150 detik. Maksimum overshoot yang terjadi

juga kecil yaitu sekitar 2^0 , sehingga pengendalian agar menjadi stabil pada sudut tujuan menjadi lebih mudah dan lebih cepat.

5.2. Saran

Untuk mengembangkan tugas akhir ini lebih lanjut, pada perencanaan program pengendalian gerak yawing kapal khususnya dalam rule base system perlu diperbaiki lagi. Perbaikan ini dimaksudkan agar didapatkan sistem pengendalian yang lebih sempurna sehingga kapal dapat lebih cepat mencapai tujuan dan cepat mencapai stabil. Selain itu agar frekuensi defleksi kemudi yang tinggi saat mempertahankan sudut tujuan kapal yang tercapai, dapat diturunkan sehingga menjadi lebih baik.



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

1. Munif, A., "Numerical Modeling on Extreme Motions and Capsizing of an Intact Ship in Following and Quartering Seas", Department of Naval Architecture and Ocean Engineering Graduate School of Engineering Osaka University, Japan, 2001.
2. Hamamoto, M. , "Basic Mathematical Model of Ship Manuverability", The3rd Symposium on Ship Maneuverability,Japan, 1987.
3. Harris C.J,Moor C.G, Brown,M. ,"Intelligent Control Aspects of Fuzzy Logic and Neural Nets", World Scientific Publishing Co.Pte.Ltd., 1993.
4. Munif, A., "Analisa Sistem Pengendalian Gerak Manuver Kapal dengan Dua Daun Kemudi", Prosiding Temu Ilmiah PPI Korda Kansai, Japan, 1997.
5. Ogawa, A and Kasai,M.,"On the Mathematical Model of Maneuvering Motion",International Shipbuilding Progress, Vol.25, pp. 306-319, 1978.
6. Hamamoto, M. , "Basic Mathematical Model of Ship Manuverability", The4rd Symposium on Ship Maneuvering,Japan, 1987.
7. Hamamoto, M. , "Research on Ship Manuverability with Vect Twin Rudder System", Japan, 1996.
8. Harvald, Sv. Aa., "Tahanan dan Propulsi Kapal", Penerbit Airlangga University Press, Surabaya, 1992.

9. Yan, J., Ryan, M., Power, J., "Using Fuzzy Logic", Prentice Hall, London, 1994
10. Lukito, E., "Belajar Sendiri Pemrograman dengan Turbo Pascal 7.0", PT Elex Media Komputindo, Jakarta, 1987.



LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

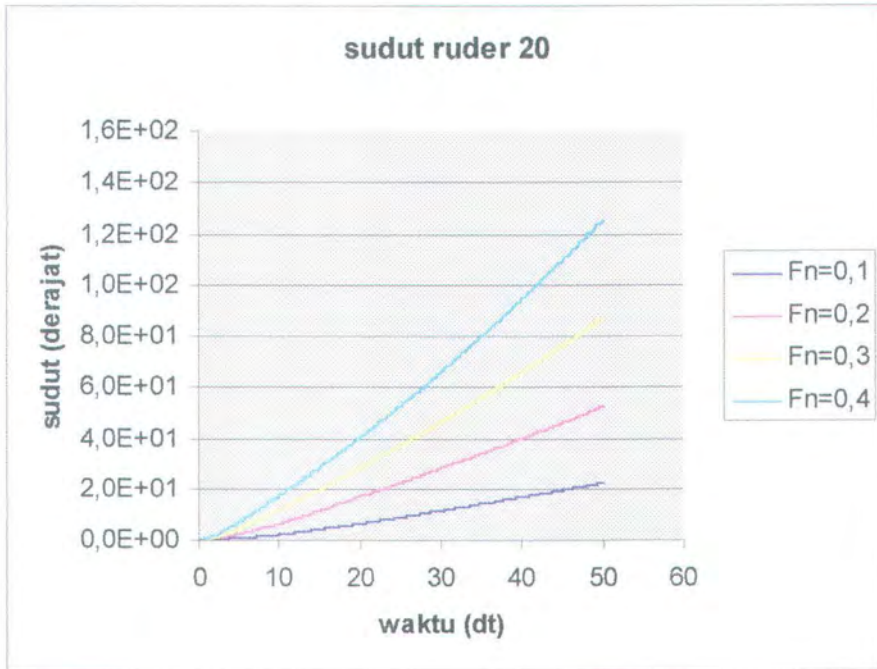
HASIL SIMULASI GERAK TURNING KAPAL

Berikut ini merupakan hasil simulasi gerak turning kapal dengan sistem VTR. Simulasi gerak turning dilakukan untuk mengetahui karakteristik kapal yang akan digunakan dalam perencanaan program pengendalian gerak yawing kapal. Hasil simulasinya adalah sebagai berikut:

- Perbandingan sudut yawing yang dicapai kapal pada defleksi rudder 15° dengan Froud number yang berbeda



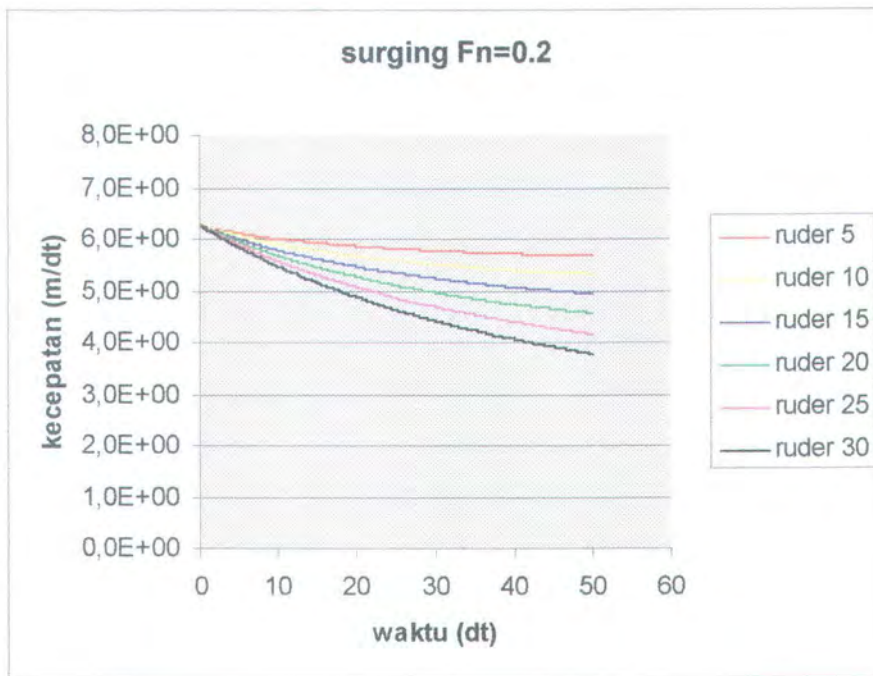
- Perbandingan sudut yawing yang dicapai kapal pada defleksi rudder 20°



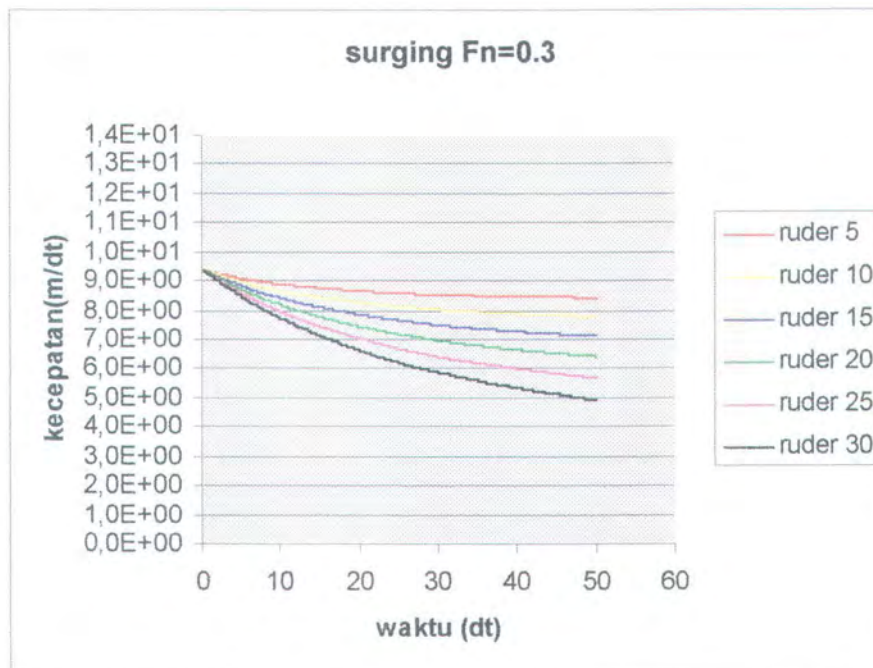
- Perbandingan sudut yawing yang dicapai kapal pada defleksi ruder 25°



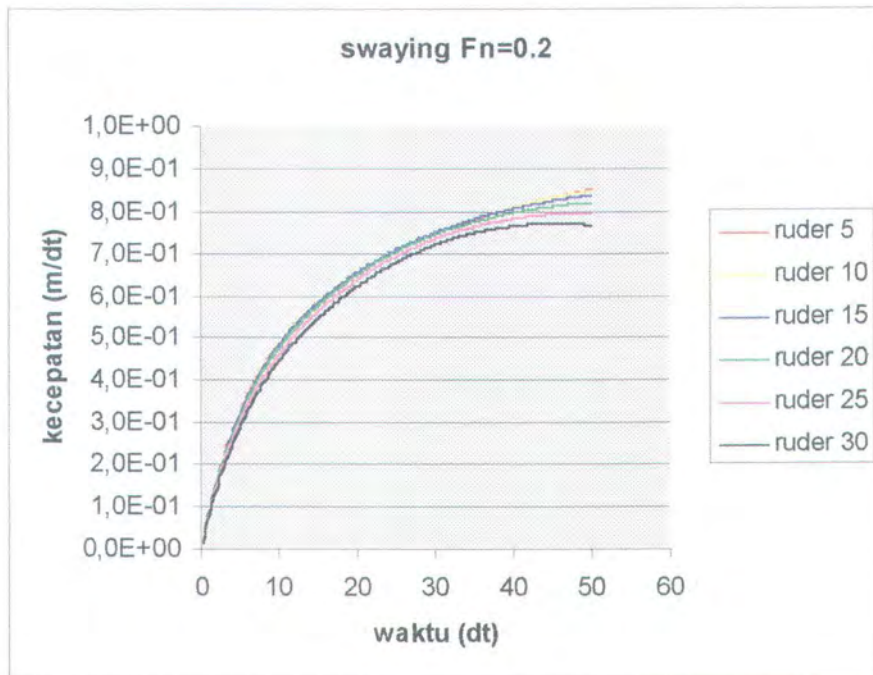
- Kecepatan surging kapal dengan Froude number 0.2



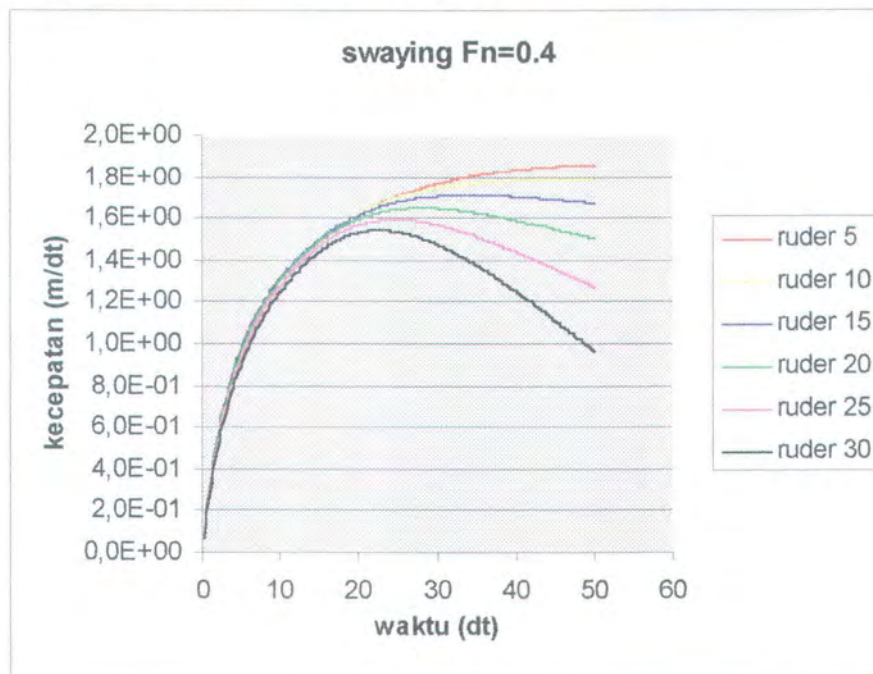
- Kecepatan surging kapal dengan Froude number 0.3



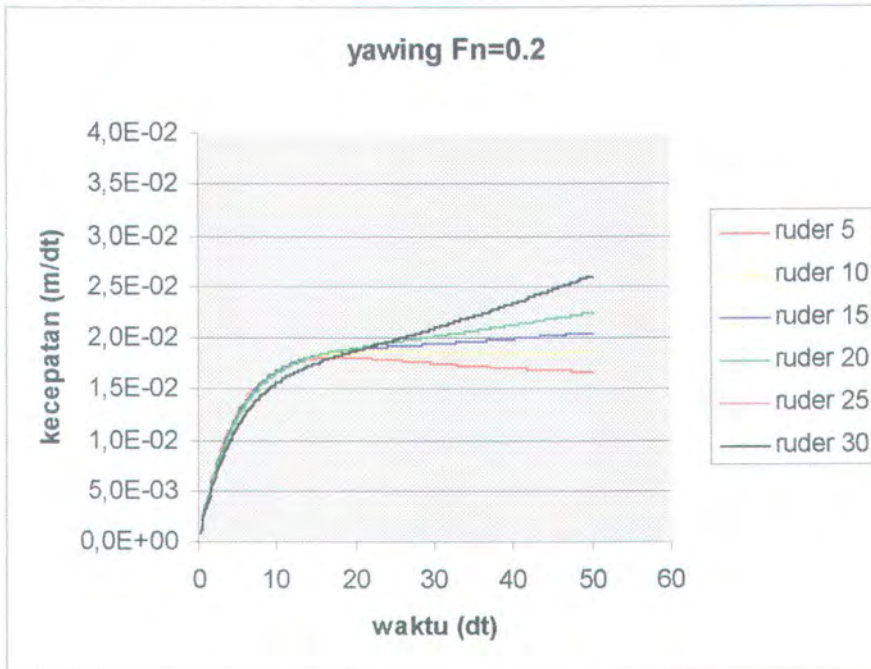
- Kecepatan swaying kapal dengan Froude number 0.2



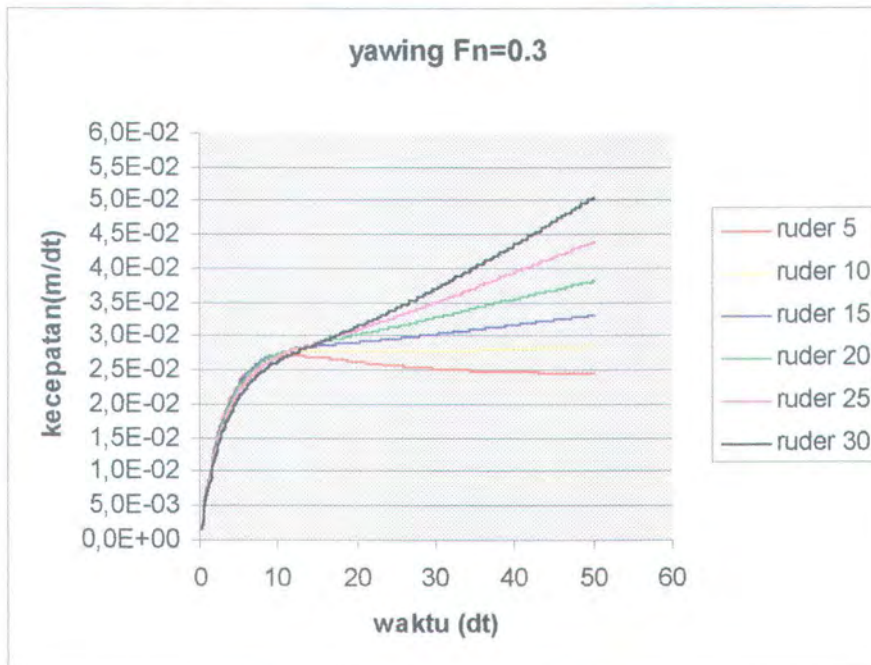
- Kecepatan swaying kapal dengan Froude number 0.4



- Kecepatan yawing kapal dengan Froude number 0.2



- Kecepatan yawing kapal dengan Froude number 0.3

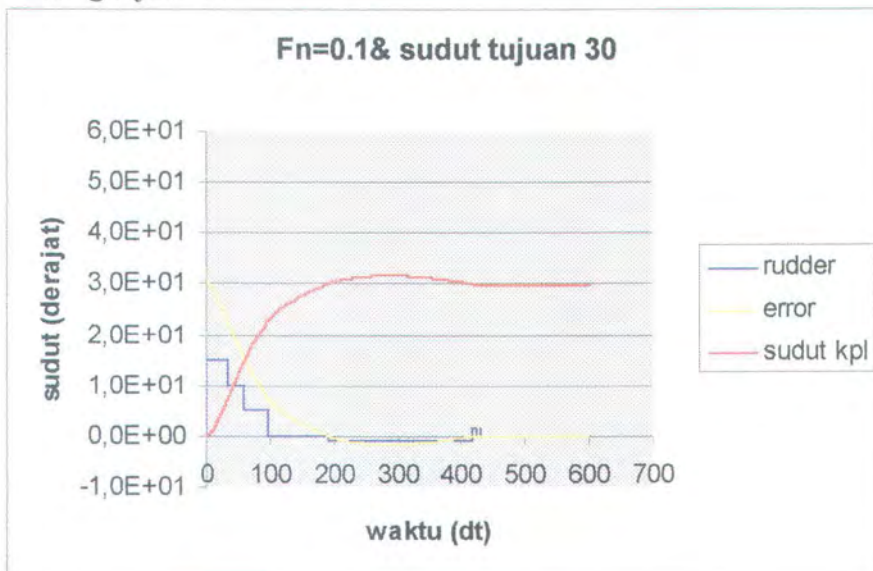


LAMPIRAN 2

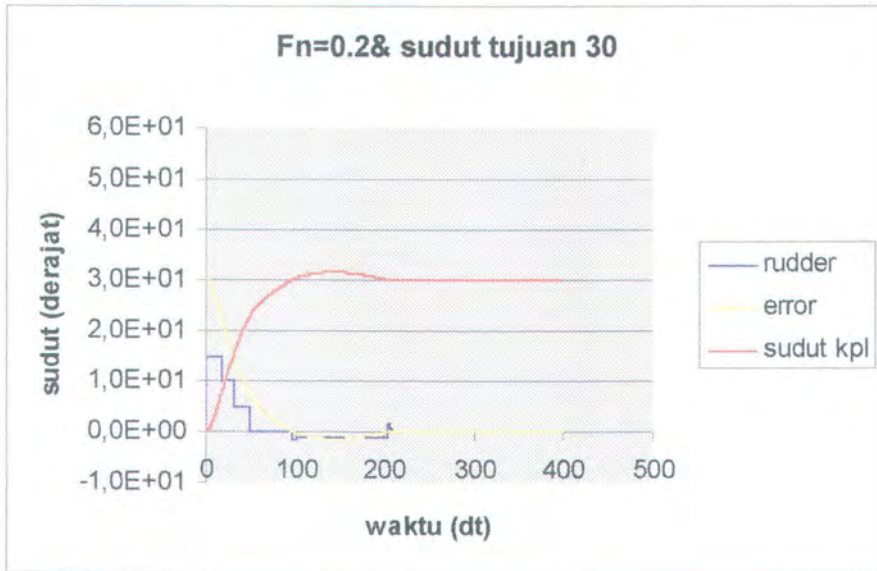
HASIL SIMULASI PENGENDALIAN GERAK YAWING KAPAL

Berikut ini hasil simulasi pengendalian intelejen pada gerak yawing kapal dengan sistem VTR. Simulasi dilakukan pada kapal dengan beberapa Froude number dan sudut heading tujuan bervariasi. Hasil simulasinya adalah sebagai berikut:

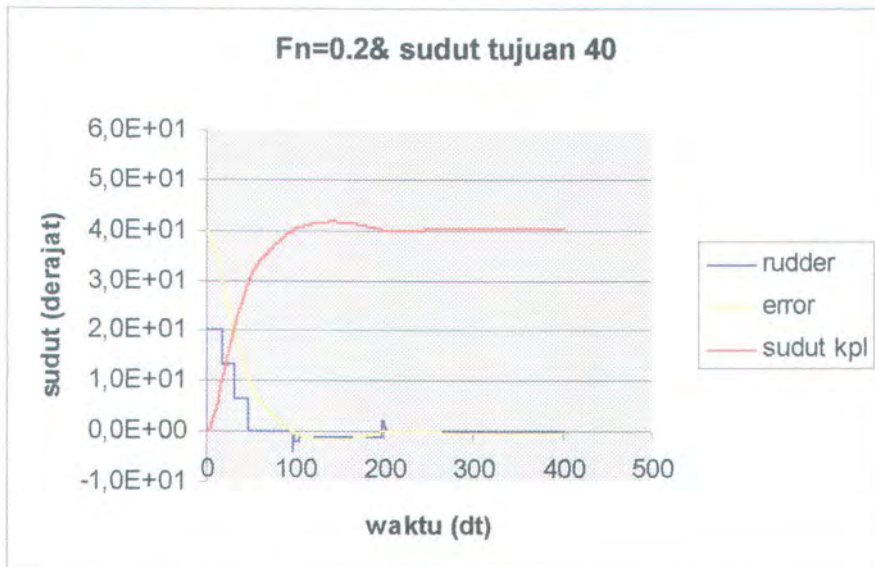
- Pengendalian gerak Yawing kapal dengan Froude number 0.1 dan sudut heading tujuan 30°



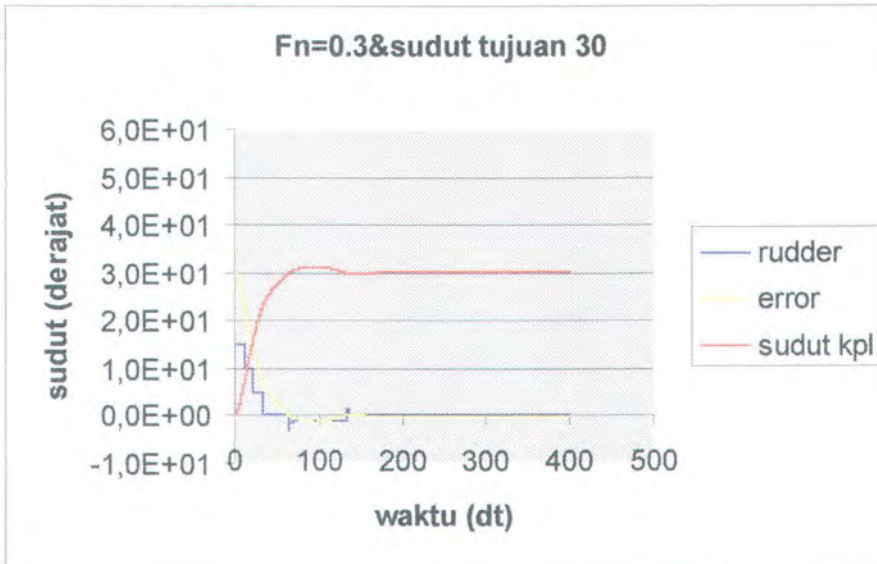
- Pengendalian gerak Yawing kapal dengan Froude number 0.2 dan sudut heading tujuan 30°



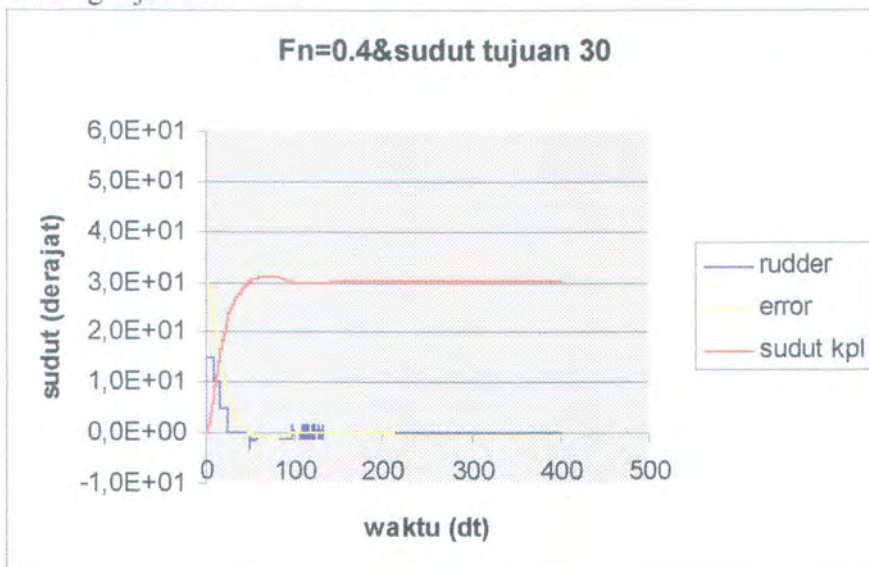
- Pengendalian gerak Yawing kapal dengan Froude number 0.2 dan sudut heading tujuan 40°



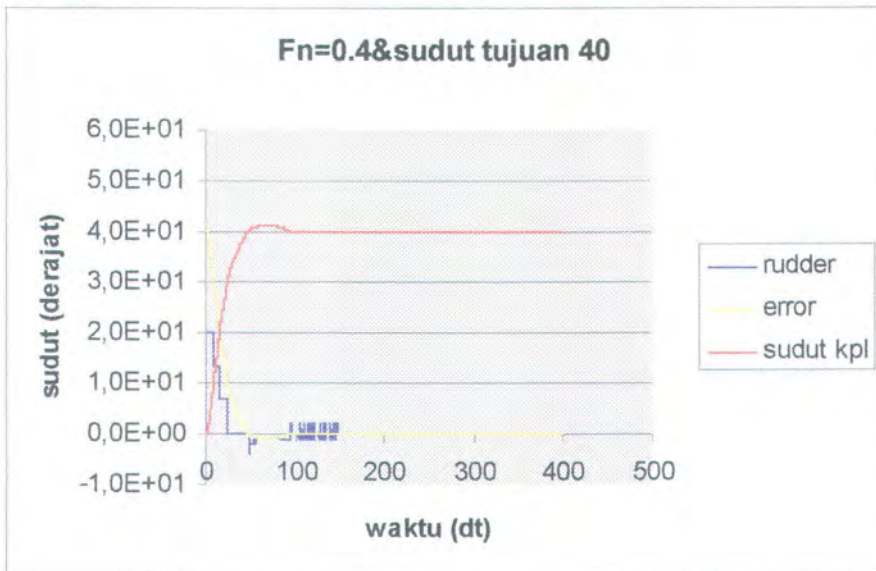
- Pengendalian gerak Yawing kapal dengan Froude number 0.3 dan sudut heading tujuan 30°



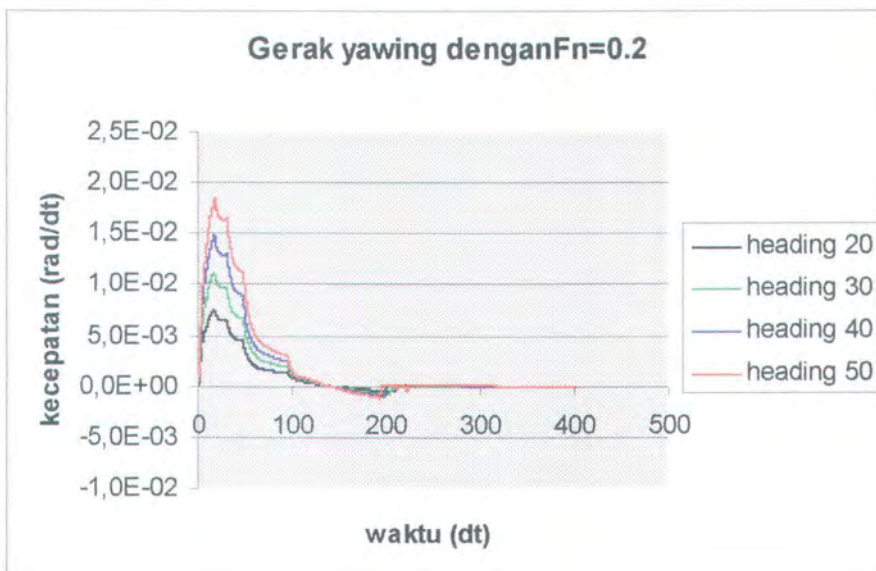
- Pengendalian gerak Yawing kapal dengan Froude number 0.4 dan sudut heading tujuan 30°



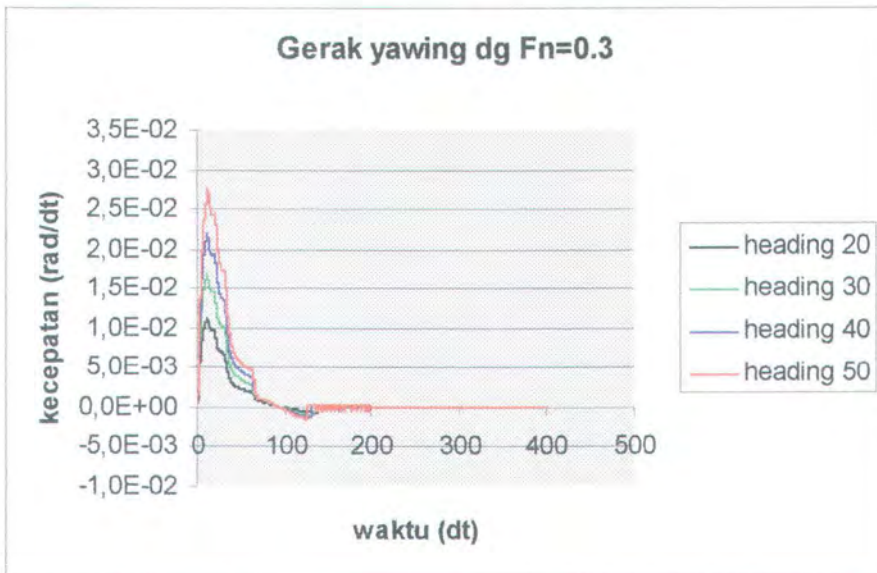
- Pengendalian gerak Yawing kapal dengan Froude number 0.4 dan sudut heading tujuan 40°



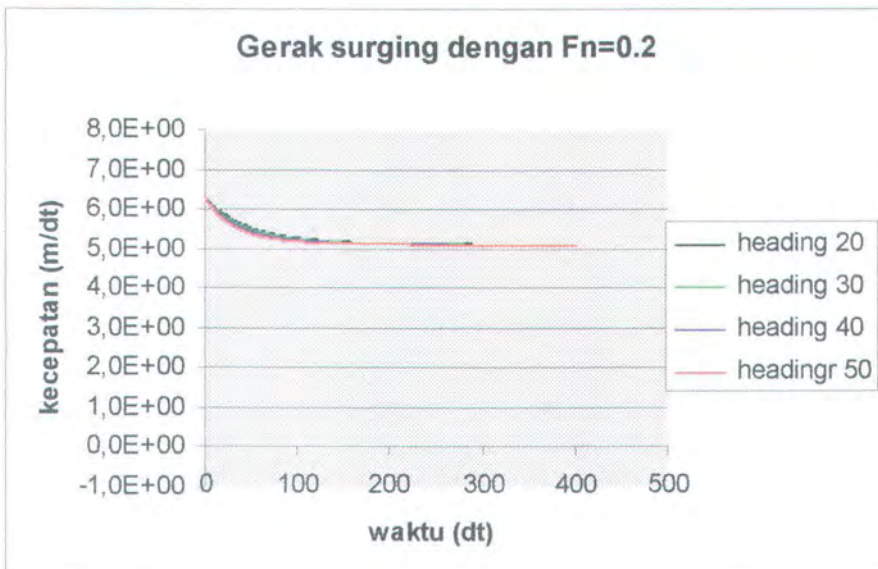
- Karakteristik kecepatan sudut pada pengendalian gerak Yawing kapal dengan Froude number 0.2



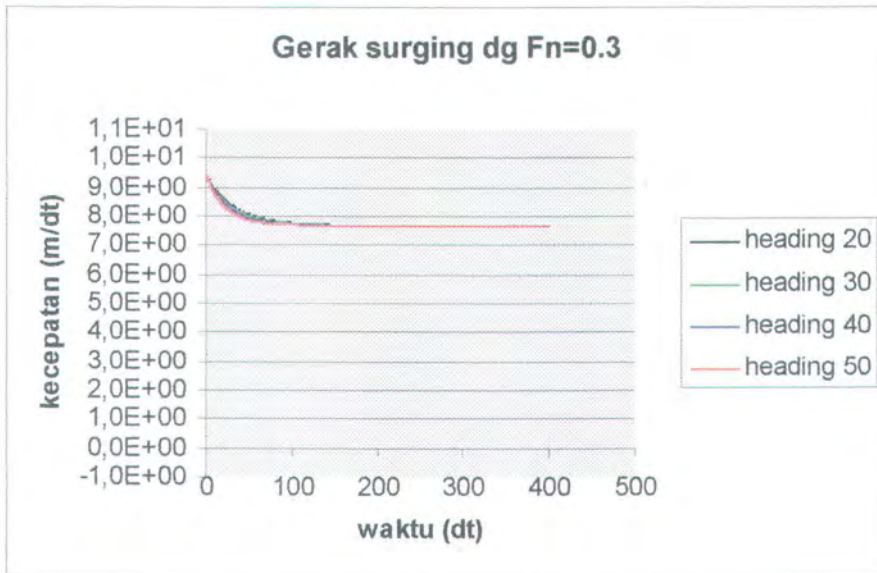
- Karakteristik kecepatan sudut pada pengendalian gerak Yawing kapal dengan Froude number 0.3



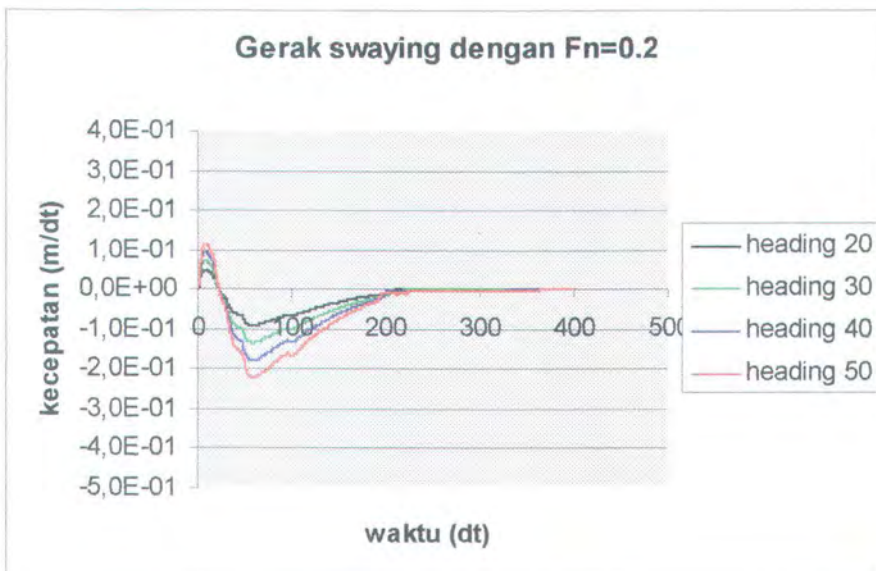
- Karakteristik kecepatan surging pada pengendalian gerak Yawing kapal dengan Froude number 0.2



- Karakteristik kecepatan surging pada pengendalian gerak Yawing kapal dengan Froude number 0.3



- Karakteristik kecepatan swaying pada pengendalian gerak Yawing kapal dengan Froude number 0.2



PROGRAM PENGENDALIAN GERAK YAWING KAPAL

```

Uses winCrt;
var
L, d, Dprop, Ct, n, k, gama, Ta, J, kt, Lr, w, ma, max, may, Izz, Jzz, Y
av, Yar, Yvvv, Yvvr, Yvrr, Yrrr,
Nav, Nar, Nvvv, Nrerr, Nvvr, Nvrr, Xvr, Aar, lar, Bh, Ah, tr, tc, fas
, fap, U, ut, ua, urt, uda, ud, V,
vt, va, vrt, vda, vd, rt, ra, rda, rd, Ur, Uar, x, y, r, sudut, eps, ef
f, dt, ap, as, error, yaw:real;
time, iterasi, tujuan:integer;
data1, data2:text;
Begin
  Clrscr;
  (*digunakan untuk menyimpan data hasil simulasi
  pengendalian*)
  assign(data1, 'D:\DATATA\mydocu~1\sudut120.dat');
  rewrite(data1);
  (*digunakan untuk menyimpan data hasil karakteristik
  kec. Surging, swaying dan yawing*)
  assign(data2, 'D:\DATATA\mydocu~1\turnbal20.dat');
  rewrite(data2);
  write('Banyaknya iterasi = '); readln(iterasi);
  (*besaran kapal*)
  L:=99.98;d:=5.3;Dprop:=3.5;
  n:=1.04; ;(*putaran propeller kapal*)
  k:=0.6;gama:=0.5;
  Lr:=49.99;
  ut:=3.1318; (*kecepatan surging kapal*)
  vt:=0.0; (*kecepatan swaying kapal*)
  ap:=0;as:=0; ( sudut rudder kapal )
  rt:=0.0; r:=0.0; (*kecepatan sudut kapal*)
  (*koefisien hasil eksperimen*)
  w:=0.34;ma:=0.207;max:=0.0078;may:=0.185;Izz:=0.01294;
  Jzz:=0.0312;Yav:=-0.368;Yar:=0.0598;Yvvv:=-0.2056;
  Yrrr:=0;Yvvr:=-0.749;Yvrr:=-0.401;Nav:=-0.194;
  Nar:=-0.112;
  Nvvv:=1.730;Nrerr:=0;Nvvr:=-0.313;Nvrr:=0.0328;
  Xvr:=-0.102;
  Ct:=0.0215;Lar:=0.5;Aar:=0.01711;tr:=0;Ah:=0.25;
  Bh:=1.3; tc:=0.24;fas:=2.75;fap:=2.75;dt:=0.4;
  eff:=0.0;eps:=0.0; (*posisi awal kapal*)
  Clrscr;
  writeln('=====');
  writeln('=====');
  {writeln('t(det)          eps          eff
sudut          ');}
  writeln('t(det)          KECEPATAN          sudut          error          ');

```

```

writeln('=====');
=====');
  for time:=1 to iterasi do
  begin
  tujuan:=20;(*sudut yawing yang akan dilakukan kapal*)
  error:=(tujuan-sudut*180/Pi); (*sudut yang masih
harus dicapai kapal*)
  write(data1,time);write(data1,' ',ap);write(data1,'
',error);
  writeln(data1,' ',sudut*180/Pi);
  write(data2,time);write(data2,' ',ut); write(data2,'
',vt);writeln(data2,' ',r);
  write(time);{write(eps:13:5);write(eff:10:5);}
  write(' ',r:9:5);
  write(sudut*180/Pi:9:5);writeln(error:9:5);
  {write('Masukkan sudut ap = ');
  readln(ap);
  as:=ap;}
  U:=sqrt(ut*ut+vt*vt); (*kecepatan kapal*)
  va:=vt/U;ua:=ut/U;ra:=r*L/U;
  J:=(1-w)*ut/(n*Dprop);
  Kt:=0.6099-0.3581*J-0.67088*J*J;
  Ta:=Dprop*Dprop*Dprop*Dprop*n*n*Kt/(0.5*L*d*U*U);
  urt:=(1-w)*ut*((1-k)+(k*sqrt(1+8*Kt/(Pi*J*J))));
  vrt:=gama*vt-Lr*r;
  Ur:=sqrt(urt*urt+vrt*vrt);
  Uar:=Ur/U;
  uda:=(Ta*(1-tc)-Ct*ua*ua+Xvr*va*ra-(1-
tr)*Aar*Uar*Uar*fap*sin(ap*Pi/180)*(sin(ap*Pi/180)+
sin(as*Pi/180))+(ma+may)*va*ra)/(ma+max);
  ud:=uda*U*U/L; (*percepatan pada gerak surging kapal*)
  ut:=ut+ud*dt; (*kecepatan pada gerak surging kapal*)
  x:=ut*dt;
vda:=(Yav*va+Yar*ra+Yvvv*va*va*va+Yvrr*ra*ra*ra+Yvvr*va
*va*ra+
Yvrr*va*ra*ra+(1+Ah)*Aar*Uar*Uar*fap*sin(ap*Pi/180)*(co
s(ap*Pi/180)+
cos(as*Pi/180))-(ma+max)*ua*ra)/(ma+may);
  vd:=vda*U*U/L; (*percepatan pada gerak swaying kapal*)
  vt:=vt+vd*dt; (*kecepatan pada gerak swaying kapal*)
  y:=vt*dt;
rda:=(Nav*va+Nar*ra+Nvvv*va*va*va+Nvrr*ra*ra*ra+Nvvr*va
*va*ra+
Nvrr*va*ra*ra+(1+Bh)*lar*Aar*Uar*Uar*fap*sin(ap*Pi/180)
*(cos(ap*Pi/180)+
cos(as*Pi/180)))/(Izz+Jzz);
  rd:=rda*U*U/L/L; (*percepatan sudut pada gerak yawing
kapal*)

```



```

r:=r+rd*dt;(*kecepatan sudut pada gerak yawing
kapal*)
sudut:=sudut+r*dt; (*sudut yang ditempuh kapal*)
eps:=eps+x*cos(sudut)-y*sin(sudut); (*posisi kapal
pada sumbu x*)
eff:=eff+x*sin(sudut)+y*cos(sudut); (*posisi kapal
pada sumbu y*)
(*rule base sistem*)
yaw:=1/2*tujuan;
if ((sudut*180/Pi<=1/4*tujuan)and (r>=0)) then
Begin
{ write('Masukkan sudut ap = ');
readln(ap);}
ap:=yaw;
end;
if ((sudut*180/Pi>1/4*tujuan) and
(sudut*180/Pi<=1/2*tujuan)and (r>0)) then
Begin
{ write('Masukkan sudut ap = ');
readln(ap);}
ap:=2/3*yaw;
end;
if ((sudut*180/Pi>1/2*tujuan) and
(sudut*180/Pi<=3/4*tujuan)and (r>0)) then
Begin
{ write('Masukkan sudut ap = ');
readln(ap);}
ap:=1/3*yaw;
end;
if ((sudut*180/Pi>3/4*tujuan) and
(sudut*180/Pi<=tujuan)and (r>0)) then
Begin
{ write('Masukkan sudut ap = ');
readln(ap);}
ap:=0;
end;
if ((error>1/4*yaw) and (r<0)) then
Begin
{ write('Masukkan sudut ap = ');
readln(ap);}
ap:=1/4*yaw;
end;
if ((error<=1/4*yaw) and (error>1/6*yaw) and (r<0))
then
Begin
{ write('Masukkan sudut ap = ');
readln(ap);}
ap:=1/5*yaw;
end;

```

```

    if ((error<=1/6*yaw) and (error>1/8*yaw) and (r<0))
then
    Begin
    { write('Masukkan sudut ap = ');
      readln(ap);}
      ap:=1/7*yaw;
    end;
    if ((error<=1/8*yaw) and (error>1/10*yaw) and (r<0))
then
    Begin
    { write('Masukkan sudut ap = ');
      readln(ap);}
      ap:=1/8*yaw;
    end;
    if ((error<=1/10*yaw) and (error>0) and (r<0)) then
    Begin
    { write('Masukkan sudut ap = ');
      readln(ap);}
      ap:=1/10*yaw;
    end;
    if ((error<0) and (r>0.002) ) then
    Begin
    { write('Masukkan sudut ap = ');
      readln(ap);}
      ap:=-1/5*yaw;
    end;
    if ((error<0) and (r>0.001) and (r<=0.002)) then
    Begin
    { write('Masukkan sudut ap = ');
      readln(ap);}
      ap:=-1/10*yaw;
    end;
    if ((error<=0) and (r>0.0001) and (r<=0.001)) then
    Begin
    { write('Masukkan sudut ap = ');
      readln(ap);}
      ap:=-1/15*yaw;
    end;
    {readln;}
end;

End.

```



FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN - ITS
JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

KAMPUS ITS KEPUTIH SUKOLILO SURABAYA 60111
TELP. 5994754, 5994251 - 55. PES 1102 FAX 5994754

SURAT KEPUTUSAN Pengerjaan Tugas Akhir KS1701

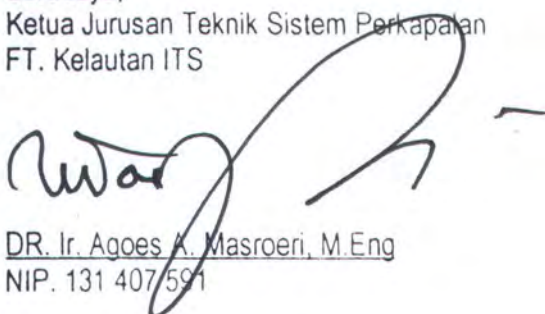
Sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS, maka perlu diterbitkan Surat Keputusan Pengerjaan Tugas Akhir yang memberikan tugas kepada mahasiswa tersebut di bawah untuk mengerjakan Tugas sesuai judul dan lingkup bahasan yang telah ditentukan.

Nama Mahasiswa : HEROE POERNOMO
Nrp : 4297 100 051
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. ABDUL MUNIF
2. -

Tanggal Diberikan Tugas :
Tanggal Diselesaikan Tugas :
Judul Tugas Akhir :

ANALISA SISTEM PENGENDALIAN GERAK YAWING
NONLINEAR KAPAL DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM
SATU PROPELER DENGAN DUA DAUN KEMUDI

Surabaya,
Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
FT. Kelautan ITS



DR. Ir. Agoes A. Masroeri, M.Eng
NIP. 131 407 591

Surabaya,
Yang menerima tugas:

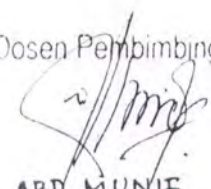
Mahasiswa

Dosen Pembimbing II

Dosen Pembimbing I


NRP. 4297 100 051


NIP


ABD. MUNIF
NIP. 132 007 643



LEMBAR EVALUASI PRESENTASI PROPOSAL (P-1) TUGAS AKHIR

Setelah membaca, menimbang, dan mempelajari Presentasi Proposal Tugas Akhir yang dilaksanakan oleh:

Nama / NRP : Herde Purnomo / 4297 100 051
 Judul Proposal : Analisa sistem Pengendalian Gerak Yawing Nonlinier Kapal Dengan Menggunakan Sistem satu Propeller Dengan Dua Daun Kemudi

Maka Tim Dosen Penilai memutuskan mahasiswa tersebut diatas :

1. Menerima proposal tanpa perbaikan
2. Menerima proposal dengan perbaikan atau catatan
3. Menolak proposal.

Dan menetapkan Dosen Pembimbing Tugas Akhir ybs adalah:

1. Dr. Ir. Abd Munif, MEng sebagai Dosen Pembimbing Utama
2. sebagai Dosen Pembimbing Pendamping

Hal-hal yang menjadi catatan pada penulisan Proposal Tugas Akhir tersebut adalah:

(bila diperlukan dapat dilanjutkan pada halaman kosong dibalik)


- Langsung ke dosen pembimbing
- Perlu belajar lebih lanjut

Surabaya,

Tim Dosen Penilai Presentasi Proposal Tugas Akhir,

Tanda Tangan

1. Dr. Ir. AA. Masroeri, MEng	(Ketua Tim)	1.....
2. Ir. Dwi Priyanta, MSE	(Anggota)	2.....
3. Dr. Ir. Abd Munif, MEng	(Anggota)	3.....
4. Ir. Sardono Sarwito, MSc	(Anggota)	4.....
5. Made Ariana, ST, MT	(Anggota)	5.....
6.	(Anggota)	6.....

Tanda tangan mahasiswa 
 HERDE PURNOMO



LEMBAR EVALUASI PRESENTASI INTERIM (P-2) TUGAS AKHIR

Setelah membaca, menimbang, dan mempelajari Presentasi Interim Tugas Akhir yang dilaksanakan oleh:

Nama / NRP : Heroe Purnomo / 4297 100 051
 Judul Tugas Akhir : ANALISA SISTEM PENGENDALIAN GERAK
 YAWWING NONLINIER KAPAL DENGAN MEMBUK-
 UKAN SISTEM SATU PROPELER Dg. DUA DAUN PEMUDI
 Dosen Pembimbing: 1. Dr. Ir. Abdul Munif, M.Eng.
 2.

Maka Tim Dosen Penilai memutuskan mahasiswa tersebut diatas :

- A. Langsung mengikuti Presentasi Akhir Istimewa (P3+) pada tanggal 15 des 2001
- B. Melanjutkan penulisan TA dan mengikuti Presentasi Akhir Reguler (P3) pada tanggal 20 Jan 2002
- C. Melanjutkan penulisan TA dan mengikuti Presentasi Interim (P2) pada semester berikutnya.
- D. Membatalkan penulisan TA.

Hal-hal yang menjadi catatan pada penulisan Tugas Akhir tersebut adalah:
 (bila diperlukan dapat dilanjutkan pada halaman kosong dibalik)

Surabaya, 29/11/01

Tim Dosen Penilai Presentasi Interim Tugas Akhir,

- | | |
|--------------------------------|-------------|
| 1. Dr. Ir. AA Masroeri, M.Eng. | (Ketua Tim) |
| 2. Ir. Alim Wicoko, MSc | (Anggota) |
| 3. Ir. Toni Bambang N. | (Anggota) |
| 4. Dr. Ir. Abdul Munif, M.Eng. | (Anggota) |
| 5. Ir. Edy Setyoko, MSc | (Anggota) |
| 6. Ir. Arias P.H. | (Anggota) |
| 7. Ir. Dwi Priyanti, MSE | |
| 8. Ir. Saebanos, MSc | |

Tanda Tangan

1.	2.
3.	4.
5.	6.
7.	8.

Tanda tangan mahasiswa