

41767/H/11



RTKe
623.812
Mou
S-1

2010

TESIS (MO2350)

STUDI PARAMETRIC HULLFORM DESIGN DALAM KAITAN DENGAN KARAKTERISTIK SEAKEEPING DAN TAHANAN KAPAL

ALI MUNAZID
NRP:4108201004

DOSEN PEMBIMBING
Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D.
Aries Sulisetyono, S.T., MA.Sc., Ph.D.

PROGRAM MEGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK PERANCANGAN BANGUNAN LAUT
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2010

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	11 - 8 - 2010
Terima Dari	H
No Agenda Prp.	-

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

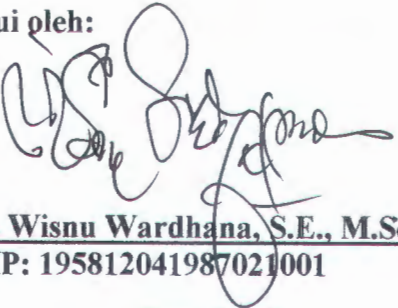
oleh :

Ali Munazid
Nrp. 4108201004

Tanggal Ujian : 14 Juli 2010

Periode Wisuda : Oktober 2010

Disetujui oleh:

- 
1. Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D. (Pembimbing 1)
NIP: 195812041987021001
 2. Aries Sulistyono, S.T., MA.Sc., Ph.D. (Pembimbing 2)
NIP: 195812041987021001
 3. Prof. Ir. P. Indivono, M.Sc., Ph.D. (Penguji)
NIP: 195803051985021001
 4. Rudi Waluyo P., S.T., M.T., Ph.D. (Penguji)
NIP: 197105081997031001

Direktur Program Pascasarjana



Prof. Dr. Ir. Suparno, M.SIE.
NIP: 130 532 035

STUDI PARAMETRIC HULLFORM DESIGN DALAM KAITAN DENGAN KARAKTERISTIK SEAKEEPING DAN TAHANAN KAPAL

Nama Mahasiswa : Ali Munazid
N R P : 4108 201 004
Pembimbing : Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D.
Aries Sulisetyono, S.T., MA.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Beroperasinya *supply vessel* di air laut, *supply vessel* akan berinteraksi dengan air laut. Interaksi *supply vessel* di air laut pada gerak maju akan menimbulkan gerakan air menahan gerak maju kapal (tahanan kapal), sedangkan interaksi yang lain adalah gerakan pada enam derajat kebebasan yaitu : tiga gerak translasi (*surging, swaying, heaving*) dan tiga gerak rotasi (*rolling, pitching, yawing*).

Dengan menganalisa tahanan dan olah gerak serta mengidentifikasi parameter bentuk beberapa *supply vessel* yang ada. Selanjutnya dikembangkan model *artificial neural network*, model regresi dan model spline, Dari pengembangan model *artificial neural network*, model regresi dan model spline, untuk model koefisien tahanan model spline kuadratik lebih baik dan sederhana. Sedangkan untuk olah gerak (*seakeeping*), model *artificial neural network* lebih baik, ada sedikit kelemahan dari model tersebut dimana model *artificial neural network* terdiri dari matrik bobot dan topologi, maka tidak bisa mengeluarkan persamaan seperti model matematik yang lain. Untuk olah gerak model *cubic spline* lebih baik dari pada model regresi.

Kata kunci : *parametric hullform design, seakeeping, tahanan kapal.*

STUDY OF PARAMETRIC HULLFORM DESIGN IN RELATION TO CHARACTERISTIC SEAKEEPING AND SHIP RESISTANCE

By : Ali Munazid
Student Identity Number : 4108 201 004
Supervisor : Ir. Wisnu Wardhana, S.E., M.Sc., Ph.D.
Aries Sulisetyono, S.T., MA.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

Operating of Supply Vessel in sea water, supply vessel will be interaction with sea water. Interaction of Supply Vessel in sea water at ahead motion will generate the movement of sea water to arrest the ahead motion ship (ship resistance). While other interaction is movement of supply vessel at six degree of freedom that is: three translational motion (surging, swaying, heaving) and three rotational motion (rolling, pitching, yawing)

With analysing ship resistance, seakeeping and identify of hullform parametric some supply vessel. Next step is developed artificial neural network model, regresion model and spline model, From development of artificial neural network model, regression model and spline model, to ship resistance coeficient model the better spline kuadratik and simple. While for seakeeping, model the better artificial neural network, there is a few weakness from this model. where artificial neural network model consisted of the matrik of wight and topology, hence cannot release the equation like other matematik model. For seakeeping model the better cubic spline.

Kay Words : parametric hullform design, seakeeping, ship resistance.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil Alamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas Rahmat dan Hidaya-Nya yang diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “*Studi Parametric Hullform Design Dalam Kaitan dengan Karakteristik Tahanan dan Seakeeping*” dengan baik dan tidak kurang suatu apapun.

Keberhasilan dan terselesaikannya tesis ini dengan baik juga tak terlepas dari banyaknya bantuan dari banyak pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak dan Ibu (Alm) serta saudaraku yang tercinta, atas dukungan moral maupun sepirtuil sehingga penulis dapat menyelesaikan dengan baik.
2. Istriku Ike Dian Wulandari serta anaku tercinta Naylah Rahmatina Ali, atas pengertian dan dukungannya sehingga penulis bisa menyelesaikan dengan baik.
3. Bapak dan Ibu mertua serta saudara iparku yang tercinta atas dukungan dan semangatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan dengan baik.
4. Bapak Dr. Ir. A.A. Masroeri, M. Eng. selaku Koordinator Pascasarjana Program Studi Teknologi Kelautan.
5. Bapak Dr. Ir. Suntoyo, M.eng selaku dosen wali dan Koordinator Bidang Kahlilan Teknik Perancangan Bangunan Laut.
6. Bapak Ir. Wisnu Wardhana,S.E., M.Sc., Ph.D. dan Aries Sulisetyono, S.T., MA.Sc., Ph.D. selaku dosen Pembimbing 1 dan 2, dengan penuh kesabaran membimbing, mengarahkan dan motivasi penulis.
7. Para staf dosen dan staf tata usaha di Pascasarjana Program Studi Teknologi Kelautan, Intitut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
8. Temen-temen satu angkatan 2008: Eko, Andi, Samuel, Billi, Dedi Budi, Dedi PAL, Pak Heru, Pak Adi, Pak Samuel, Pak Sahlan, Ibu Dewi, semuanya yang tidak bisa penulis sebutkan satu-satu.

9. Bapak Bagiyo Suwasono, Ibu Ira, Pak Taufik, Pak Irfan, Pak Djogi Lubis dan temen-temen di Lab. Simulasi dan Permodelan dan atas bantuan pikiran, buku, software dll.
10. Temen-temen kostku di KUPAT (keputih utara no 4): kamal, fajar, ali, andi, yogi, aziz, ubay dan alumni kupat yang tidak bisa penulis sebutkan satu-satu.
11. Komputer dan printerku yang mendampingiku selalu serta sepedahku yang dengan setia mengantarku kemana aku ingin pergi.
12. Terakhir kepada warga keputih, penjual makanan, dan semua yang tidak bisa penulis sebutkan satu-satu.....

Akhirnya dengan selesainya Laporan Tesis ini, penulis berharap dapat memberi manfaat bagi para pembaca sekalian. Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat konstruktif dan relevan sangat diharapkan guna mendapatkan hasil yang terbaik.

Penulis

Ali Munazid

DAFTAR ISI

	Hal
Lembar Judul	i
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak	v
Kata Pengantar	ix
Daftar Isi	xi
Daftar Gambar	xiii
Daftar Tabel	xxi
Bab - 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan dan Manfaat	2
Bab - 2 Kajian Pustaka dan Dasar Teori	3
2.1 Perkembangan Perencanaan Kapal	3
2.2 Perencanaan Kapal	4
2.3 Formula Matematik untuk <i>Ship's Hullform</i>	5
2.4 <i>Parametric Design</i> untuk Bentuk Badan Kapal	6
2.5 Gerakan Bangunan Apung di Laut	11
2.6 Tahanan Kapal	12
2.7 Neural Network	16
2.8 Metode Backpropagation	18
2.9 Metode Constructive Backpropagation	27
2.10 Regression	28
Bab - 3 Metodologi Penelitian	31
Bab - 4 Hasil dan Pembahasan	35
4.1 Data <i>Supply Vessel</i>	35
4.2 Artificial Neural Network	38
4.3 Hubungan Parameter Bentuk Terhadap Tahanan	42

4.4	Parameter Bentuk Terhadap Olah Gerak (<i>Seakeeping</i>)	52
4.5	Model Regresi	106
4.6	Model Spline	125
Bab - 5	Penutup	
5.1	Kesimpulan	139
5.2	Saran	139
	Daftar Pustaka	141
	Lampiran	

DAFTAR GAMBAR

		Hal
Gambar 2.1	<i>Design Spiral</i>	5
Gambar 2.2	<i>Conventional Model (clockwise) dan Form Parametric Design (counterclockwise)</i>	6
Gambar 2.3	<i>Bare Hulls</i> dengan Koordinat Cartesian	7
Gambar 2.4	Step Proses Pendefinisian Bentuk Kapal.	7
Gambar 2.5	<i>Basic Curve</i>	8
Gambar 2.6	<i>Parametric of Bulbous Bow</i>	9
Gambar 2.7	<i>Parametric of Stern</i>	9
Gambar 2.8	<i>Generation of Section</i>	10
Gambar 2.9	<i>Generation of Hull Form</i>	11
Gambar 2.10	Gerakan Translasi dan Rotasi	12
Gambar 2.11	Kurva Koefisien Tahanan	13
Gambar 2.12	Komponen Tahanan Spesifik Kapal	14
Gambar 2.13	Jaringan Umpan Maju Satu Lapisan	16
Gambar 2.14	Jaringan Umpan Maju Satu Lapisan Tersembunyi	17
Gambar 2.15	Diagram <i>Backpropagation</i> dengan n Buah Masukan	18
Gambar 2.16	Diagram Alir Algoritma <i>Bacpropagation Standart</i>	25
Gambar 2.17	Diagram alir <i>constructive backpropagation</i>	26
Gambar 3.1	<i>Flow Chart</i> Metodologi Penelitian	31
Gambar 4.1	Kurva Koefisien Tahanan <i>Supply Vessel</i>	35
Gambar 4.2	Data RAO <i>Surging Supply Vessel</i>	36
Gambar 4.3	Data RAO <i>Swaying Supply Vessel</i>	36
Gambar 4.4	Data RAO <i>Heaving Supply Vessel</i>	36
Gambar 4.5	Data RAO <i>Rolling Supply Vessel</i>	37
Gambar 4.6	Data RAO <i>Pitching Supply Vessel</i>	37
Gambar 4.7	Data RAO <i>Yawing Supply Vessel</i>	37
Gambar 4.8	Proses Epochs (iterasi)	38
Gambar 4.9	Perbandingan Target dengan Output Jaringan Tahanan	39
Gambar 4.10	Perbandingan Target dengan Output Jaringan <i>Surging</i>	39
Gambar 4.11	Perbandingan Target dengan Output Jaringan <i>Swaying</i>	40
Gambar 4.12	Perbandingan Target dengan Output Jaringan <i>Heaving</i>	40
Gambar 4.13	Perbandingan Target dengan Output Jaringan <i>Rolling</i>	41
Gambar 4.14	Perbandingan Target dengan Output Jaringan <i>Pitching</i>	41
Gambar 4.15	Perbandingan Target dengan Output Jaringan <i>Yawing</i>	42

Gambar 4.16	Pemvariasian $L/\nabla^{1/3}$ <i>Supply Vessel</i> dengan $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m = 0,925$; $C_{wp} = 0,875$; $L_{cb}/L = 0,5$ dan $L_{cf}/L = 0,5$ terhadap Koefisien Tahanan	43
Gambar 4.17	Pemvariasian L/B <i>Supply Vessel</i> dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m = 0,925$; $C_{wp} = 0,875$; $L_{cb}/L = 0,5$ dan $L_{cf}/L = 0,5$ terhadap Koefisien Tahanan	44
Gambar 4.18	Pemvariasian B/T <i>Supply Vessel</i> dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m = 0,925$; $C_{wp} = 0,875$; $L_{cb}/L = 0,5$ dan $L_{cf}/L = 0,5$ terhadap Koefisien Tahanan	45
Gambar 4.19	Pemvariasian C_b <i>Supply Vessel</i> dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_p = 0,8$; $C_m = 0,925$; $C_{wp} = 0,875$; $L_{cb}/L = 0,5$ dan $L_{cf}/L = 0,5$ terhadap Koefisien Tahanan	46
Gambar 4.20	Pemvariasian C_p <i>Supply Vessel</i> dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_m = 0,925$; $C_{wp} = 0,875$; $L_{cb}/L = 0,5$ dan $L_{cf}/L = 0,5$ terhadap Koefisien Tahanan	47
Gambar 4.21	Pemvariasian C_m <i>Supply Vessel</i> dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_{wp} = 0,875$; $L_{cb}/L = 0,5$ dan $L_{cf}/L = 0,5$ terhadap Koefisien Tahanan	48
Gambar 4.22	Pemvariasian C_{wp} <i>Supply Vessel</i> dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m = 0,925$; $L_{cb}/L = 0,5$ dan $L_{cf}/L = 0,5$ terhadap Koefisien Tahanan	49
Gambar 4.23	Pemvariasian L_{cb}/L <i>Supply Vessel</i> dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m = 0,925$; $C_{wp} = 0,875$ dan $L_{cf}/L = 0,5$ terhadap Koefisien Tahanan	50
Gambar 4.24	Pemvariasian L_{cf}/L <i>Supply Vessel</i> dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m = 0,925$; $C_{wp} = 0,875$ dan $L_{cb}/L = 0,5$ terhadap Koefisien Tahanan	51
Gambar 4.25	Pemvariasian $L/\nabla^{1/3}$ <i>Supply Vessel</i> dengan $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m = 0,925$; $C_{wp} = 0,875$; $L_{cb}/L = 0,5$ dan $L_{cf}/L = 0,5$ terhadap Gerak <i>Surging</i>	53
Gambar 4.26	Pemvariasian L/B <i>Supply Vessel</i> dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m = 0,925$; $C_{wp} = 0,875$; $L_{cb}/L = 0,5$ dan $L_{cf}/L = 0,5$ terhadap Gerak <i>Surging</i>	54
Gambar 4.27	Pemvariasian B/T <i>Supply Vessel</i> dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m = 0,925$; $C_{wp} = 0,875$; $L_{cb}/L = 0,5$ dan $L_{cf}/L = 0,5$ terhadap Gerak <i>Surging</i>	55

Gambar 4.28	Pemvariasian C_b Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_p = 0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Surging	56
Gambar 4.29	Pemvariasian C_p Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Surging	57
Gambar 4.30	Pemvariasian C_m Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p=0,8$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Surging	58
Gambar 4.31	Pemvariasian C_{wp} Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Surging	59
Gambar 4.32	Pemvariasian L_{cb}/L Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Surging	60
Gambar 4.33	Pemvariasian L_{cf}/L Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$ dan $L_{cb}/L=0,5$ terhadap Gerak Surging	61
Gambar 4.34	Pemvariasian $L/\nabla^{1/3}$ Supply Vessel dengan $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Swaying	62
Gambar 4.35	Pemvariasian L/B Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Swaying	63
Gambar 4.36	Pemvariasian B/T Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Swaying	64
Gambar 4.37	Pemvariasian C_b Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_p = 0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Swaying	65
Gambar 4.38	Pemvariasian C_p Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Swaying	66
Gambar 4.39	Pemvariasian C_m Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p=0,8$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Swaying	67

- Gambar 4.40 Pemvariasian C_{wp} Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m = 0,925$; $L_{cb}/L = 0,5$ dan $L_{cf}/L = 0,5$ terhadap Gerak *Swaying* 68
- Gambar 4.41 Pemvariasian L_{cb}/L Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m = 0,925$; $C_{wp} = 0,875$ dan $L_{cf}/L = 0,5$ terhadap Gerak *Swaying* 69
- Gambar 4.42 Pemvariasian L_{cf}/L Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m = 0,925$; $C_{wp} = 0,875$ dan $L_{cb}/L = 0,5$ terhadap Gerak *Swaying* 70
- Gambar 4.43 Pemvariasian $L/\nabla^{1/3}$ Supply Vessel dengan $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m = 0,925$; $C_{wp} = 0,875$; $L_{cb}/L = 0,5$ dan $L_{cf}/L = 0,5$ terhadap Gerak *Heaving* 71
- Gambar 4.44 Pemvariasian L/B Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m = 0,925$; $C_{wp} = 0,875$; $L_{cb}/L = 0,5$ dan $L_{cf}/L = 0,5$ terhadap Gerak *Heaving* 72
- Gambar 4.45 Pemvariasian B/T Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m = 0,925$; $C_{wp} = 0,875$; $L_{cb}/L = 0,5$ dan $L_{cf}/L = 0,5$ terhadap Gerak *Heaving* 73
- Gambar 4.46 Pemvariasian C_b Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_p = 0,8$; $C_m = 0,925$; $C_{wp} = 0,875$; $L_{cb}/L = 0,5$ dan $L_{cf}/L = 0,5$ terhadap Gerak *Heaving* 74
- Gambar 4.47 Pemvariasian C_p Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_m = 0,925$; $C_{wp} = 0,875$; $L_{cb}/L = 0,5$ dan $L_{cf}/L = 0,5$ terhadap Gerak *Heaving* 75
- Gambar 4.48 Pemvariasian C_m Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_{wp} = 0,875$; $L_{cb}/L = 0,5$ dan $L_{cf}/L = 0,5$ terhadap Gerak *Heaving* 76
- Gambar 4.49 Pemvariasian C_{wp} Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m = 0,925$; $L_{cb}/L = 0,5$ dan $L_{cf}/L = 0,5$ terhadap Gerak *Heaving* 77
- Gambar 4.50 Pemvariasian L_{cb}/L Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m = 0,925$; $C_{wp} = 0,875$ dan $L_{cf}/L = 0,5$ terhadap Gerak *Heaving* 78
- Gambar 4.51 Pemvariasian L_{cf}/L Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m = 0,925$; $C_{wp} = 0,875$ dan $L_{cb}/L = 0,5$ terhadap Gerak *Heaving*. 79

Gambar 4.52	Pemvariasian $L/\nabla^{1/3}$ <i>Supply Vessel</i> dengan $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak <i>Rolling</i>	80
Gambar 4.53	Pemvariasian L/B <i>Supply Vessel</i> dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak <i>Rolling</i>	81
Gambar 4.54	Pemvariasian B/T <i>Supply Vessel</i> dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak <i>Rolling</i>	82
Gambar 4.55	Pemvariasian C_b <i>Supply Vessel</i> dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_p = 0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak <i>Rolling</i>	83
Gambar 4.56	Pemvariasian C_p <i>Supply Vessel</i> dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak <i>Rolling</i>	84
Gambar 4.57	Pemvariasian C_m <i>Supply Vessel</i> dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p=0,8$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak <i>Rolling</i>	85
Gambar 4.58	Pemvariasian C_{wp} <i>Supply Vessel</i> dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak <i>Rolling</i>	86
Gambar 4.59	Pemvariasian L_{cb}/L <i>Supply Vessel</i> dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak <i>Rolling</i>	87
Gambar 4.60	Pemvariasian L_{cf}/L <i>Supply Vessel</i> dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$ dan $L_{cb}/L=0,5$ terhadap Gerak <i>Rolling</i> .	88
Gambar 4.61	Pemvariasian $L/\nabla^{1/3}$ <i>Supply Vessel</i> dengan $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak <i>Pitching</i>	89
Gambar 4.62	Pemvariasian L/B <i>Supply Vessel</i> dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak <i>Pitching</i>	90
Gambar 4.63	Pemvariasian B/T <i>Supply Vessel</i> dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak <i>Pitching</i>	91

Gambar 4.64	Pemvariasian C_b Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_p = 0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Pitching	92
Gambar 4.65	Pemvariasian C_p Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Pitching	93
Gambar 4.66	Pemvariasian C_m Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p=0,8$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Pitching	94
Gambar 4.67	Pemvariasian C_{wp} Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Pitching	95
Gambar 4.68	Pemvariasian L_{cb}/L Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Pitching	96
Gambar 4.69	Pemvariasian L_{cf}/L Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$ dan $L_{cb}/L=0,5$ terhadap Gerak Pitching.	97
Gambar 4.70	Pemvariasian $L/\nabla^{1/3}$ Supply Vessel dengan $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Yawing	98
Gambar 4.71	Pemvariasian L/B Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Yawing	99
Gambar 4.72	Pemvariasian B/T Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Yawing	100
Gambar 4.73	Pemvariasian C_b Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_p = 0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Yawing	101
Gambar 4.74	Pemvariasian C_p Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Yawing	102
Gambar 4.75	Pemvariasian C_m Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p=0,8$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Yawing	103

Gambar 4.76	Pemvariasian C_{wp} <i>Supply Vessel</i> dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak <i>Yawing</i>	104
Gambar 4.77	Pemvariasian L_{cb}/L <i>Supply Vessel</i> dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak <i>Yawing</i>	105
Gambar 4.78	Pemvariasian L_{cf}/L <i>Supply Vessel</i> dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $L/B = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$ dan $L_{cb}/L=0,5$ terhadap Gerak <i>Yawing</i> .	106
Gambar 4.79	Estimasi Koefisien Tahanan Total <i>Supply Vessel</i> dengan Metode Holtrop, Model ANN dan Model Koefisien Tahanan.	108
Gambar 4.80	Estimasi RAO Geraka <i>Surging Supply Vessel</i> dengan Mosses, Model ANN dan Model Gerak <i>Surging</i> .	111
Gambar 4.81	Estimasi RAO Geraka <i>Swaying Supply Vessel</i> dengan Mosses, Model ANN dan Model Gerak <i>Swaying</i> .	114
Gambar 4.82	Estimasi RAO Geraka <i>Heaving Supply Vessel</i> dengan Mosses, Model ANN dan Model Gerak <i>Heaving</i> .	116
Gambar 4.83	Estimasi RAO Geraka <i>Rolling Supply Vessel</i> dengan Mosses, Model ANN dan Model Gerak <i>Rolling</i> .	119
Gambar 4.84	Estimasi RAO Geraka <i>Pitching Supply Vessel</i> dengan Mosses, Model ANN dan Model Gerak <i>Pitching</i> .	122
Gambar 4.85	Estimasi RAO Geraka <i>Yawing Supply Vessel</i> dengan Mosses, Model ANN dan Model Gerak <i>Yawing</i> .	125
Gambar 4.86	Estimasi Koefisien Tahanan Total <i>Supply Vessel</i> dengan Metode Holtrop, Model ANN dan Model Spline Kuadratik.	126
Gambar 4.87	Estimasi RAO Geraka <i>Surging Supply Vessel</i> dengan Mosses, Model ANN dan Model <i>Cubic Spline</i> .	128
Gambar 4.88	Estimasi RAO Geraka <i>Swaying Supply Vessel</i> dengan Mosses, Model ANN dan Model <i>Cubic Spline</i> .	130
Gambar 4.89	Estimasi RAO Geraka <i>Heaving Supply Vessel</i> dengan Mosses, Model ANN dan Model <i>Cubic Spline</i> .	132
Gambar 4.90	Estimasi RAO Geraka <i>Rolling Supply Vessel</i> dengan Mosses, Model ANN dan Model <i>Cubic Spline</i> .	134
Gambar 4.91	Estimasi RAO Geraka <i>Pitching Supply Vessel</i> dengan Mosses, Model ANN dan Model <i>Cubic Spline</i> .	136
Gambar 4.92	Estimasi RAO Geraka <i>Yawing Supply Vessel</i> dengan Mosses, Model ANN dan Model <i>Cubic Spline</i> .	138

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1, <i>Basic Curve</i>	8
Tabel 4.1, Data Parameter Bentuk Kapal	35



BAB - 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Supply Vessel adalah salah satu jenis transportasi laut yang memiliki fungsi memindahkan sesuatu melalui perairan/laut. Sebagai bangunan laut yang mengapung di air, dalam operasinya *supply vessel* tersebut akan berinteraksi dengan perairan sekitarnya. Akibat interaksi *supply vessel* yang bergerak maju dengan perairan di sekitarnya akan menimbulkan gerakan air yang menahan gerak maju kapal atau dengan kata lain bahwa tahanan kapal (*ship resistance*) pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada badan kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerak kapal tersebut. Dengan kondisi tersebut besarnya tahanan akan mempengaruhi kecepatan kapal, dengan power mesin yang sama semakin besar hambatan tentunya semakin lambat, dan jika menginginkan kecepatan yang sama akan memperbesar mesin dan berakibat mengurangi daya angkut karena menambah ukuran mesin.

Selain tahanan kapal, akibat interaksi antara kapal dan air secara umum akan menimbulkan gerakan pada enam derajat kebebasan yaitu : tiga gerak translasi (*surge, sway, heave*) dan tiga gerak rotasi (*roll, pitch, yaw*). Dengan beberapa gerakan tersebut kapal yang mengapung di air akan terganggu kinerjanya atau bisa juga akan mengalami kecelakaan/kerusakan jika gerakan tersebut sangat besar.

Besar kecilnya tahanan kapal dan gerak kapal pada enam derajat kebebasan yang dikenal dengan olah gerak kapal (*seakeeping*) dipengaruhi oleh bentuk dan ukuran badan kapal. Bentuk dan ukuran dari badan kapal sendiri ditentukan dan dipengaruhi oleh:

1. Ukuran Utama Kapal (Δ, L, B, T, H)
2. Koefisien Bentuk Kapal (C_b, C_m, C_{wp}, C_p)
3. Perbandingan Ukuran Utama Kapal. ($L/B, L/H, B/T, B/H, T/H$)

Berdasarkan hal-hal tersebut diatas, maka penulis melakukan studi parameter bentuk badan kapal (*parametric hullform design*) dalam kaitannya

dengan karakteristik *seakeeping* dan tahanan kapal. Dengan melakukan studi terhadap beberapa bentuk *supply vessel* yang memiliki parameter bentuk yang berbedah diharapkan akan diketahui hubungan parameter bentuk kapal (*parametric hullform design*) dengan karakteristik tahanan kapal dan olah gerak kapal (*seakeeping*).

1.2 Perumusan Masalah

Studi parameter bentuk badan kapal (*parametric hullform design*) dalam kaitan dengan karakteristik tahanan dan olah gerak kapal dapat dirumuskan permasalahan adalah bagaimana hubungan parameter bentuk badan kapal (*parametric hullform design*) dengan karakteristik tahanan kapal dan olah gerak kapal (*seakeeping*).

1.3 Tujuan dan Manfaat

Tujuan studi parameter bentuk badan kapal (*parametric hull form design*) dalam kaitan dengan karakteristik *seakeeping* dan tahanan adalah untuk mengetahui hubungan parameter bentuk badan kapal (*parametric hullform design*) dengan karakteristik tahanan kapal dan olah gerak kapal (*seakeeping*).

Sedangkan manfaat yang dapat diambil dari studi parameter bentuk badan kapal (*parametric hull form design*) dalam kaitan karakteristik *seakeeping* dan tahanan kapal adalah sebagai acuan awal dalam merencanakan bentuk badan kapal (*supply vessel*) terhadap informasi karakteristik *seakeeping* dan tahanan *supply vessel*.

BAB - 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Perkembangan Perencanaan Kapal

Beberapa ribu tahun yang lalu, ketika manusia menjadi pandai dan gemar berpetualang, suku-suku yang tinggal didekat laut melakukan petualangan di laut. Mereka membangun rakit dan melubangi pohon untuk segera merasakan suasana yang menegangkan ketika melintasi laut, dengan digerakan oleh air pasang, angin, atau alat. Mereka juga mengalami kecelakaan pertama, kapal tenggelam, rusak, terbalik, pembusukan dan nyawa hilang. Alamiah sekali bahwa seorang pembuat kapal yang dihargai karena keberhasilannya dibanding yang lain, mendapat pengakuan dari rekan-rekannya dan diakui sebagai pengerajin. Pengerajin yang pandai mungkin saja memperhatikan bahwa, terbaliknya perahu dapat dikurangi dengan memakai dua batang pohon yang digabungkan, atau jika sebiah cadik dipasang, atau sebuah perahu dapat ber-manouver dengan baik jika padanya dipasang kemudi pada posisi yang tepat. Caranya adala dengan coba-coba dan perangsangnya adalah kebanggaan pada hasil uji kerajinan tangannya.

Keahlian para pengerajin berkembang ketika keahliannya diturunkan dari generasi ke generasi, bangsa Yunani membangun *trireme*-nya, bangsa Romawi memiliki *galley*, bangsa Viking membangun kapal-kapal yang indah untuk mengangkut tentara. Beberapa ratus tahun kemudian, para pengerajin merancang dan membangun kapal besar dan kokoh dengan tetap mengandalkan pengetahuan yang diturunkan dari generasi ke generasi berikutnya. Dan pengetahuan tersebut dijaga kerahasiaannya. Masih saja, mereka belajar dari uji coba dan kegagalan sebab mereka belum memiliki peralatan lain dan bencana di laut tetap saja terjadi.

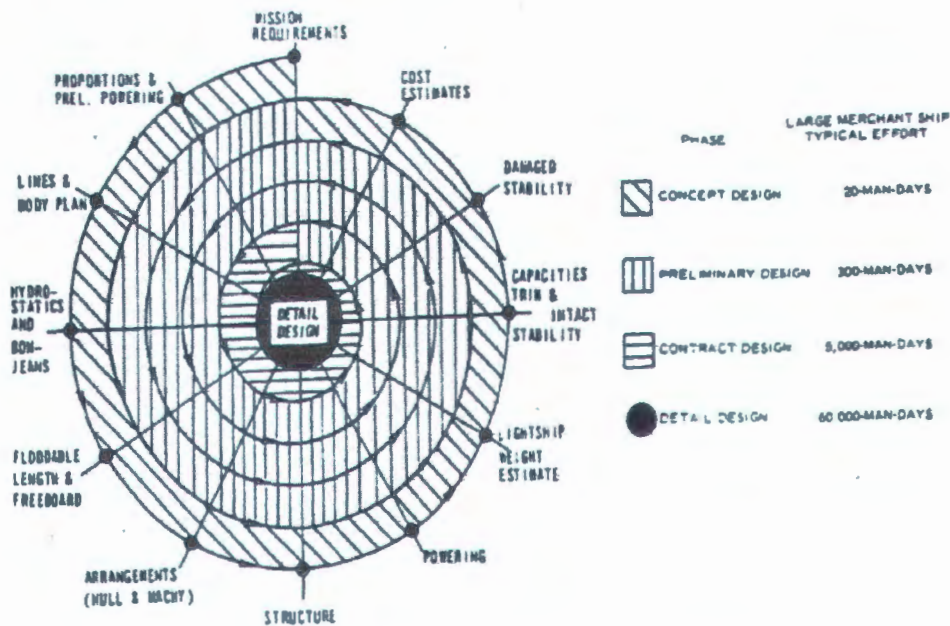
Kebutuhan akan pendekatan secara ilmiah telah diarsakan beberapa ratus tahun sebelum hal tersebut memungkinkan, dan pendekatan secara ilmiah baru sekarang ini memungkinkan, walaupun dasar-dasarnya telah dimulai oleh Archimedes dua ribu tahun yang lalu. Hingga pertengahan abad ke delapan belas rancangan dan pembangunan kapal masih berdasarkan keterampilan tangan dan

baru pertengahan abad ke Sembilan belas ilmu pengetahuan mempengaruhi rancangan dan pembangunan kapal.

2.2 Perencanaan Kapal

Seni dan keterampilan tangan dikembangkan selama beberapa ribu tahun tidak digantikan ilmu pengetahuan. Kebutuhan terhadap pendekatan ilmiah dirasakan perlu, karena seni terbukti tidak cukup untuk menghindari bencana laut. Ilmu pengetahuan menyumbangkan banyak untuk mengurangi kelemahan-kelemahan, tetapi ilmu pengetahuan tetap memerlukan masukan-masukan pengalaman dan kebiasaan yang membawahkan keberhasilan. Ilmu pengetahuan menghasilkan dasar yang benar untuk perkapalan, nilai yang tepat dari kriteria-kriteria yang menentukan keberhasilan kerjanya tetap berdasarkan kebiasaan sebelumnya yang berhasil. Ketika alat yang akurat telah dikembangkan keterampilan ditinggalkan. Padasarnya perancang kapal dalam merencanakan memperhitungkan keselamatan kapal, kemampuan kapal dan geometri kapal, meskipun hal-hal tersebut bukan keputusan yang eksklusif. Dengan keselamatan kapal, perancang kapal memperhitungkan kapal tidak tenggelam atau rusak. Perancang harus yakin kapal cukup kuat, perancang harus memikirkan awak kapal dll. Oleh karena itu perencana dalam merencanakan melibatkan kompromi yang kompleks dari faktor keselamatan, kemampuan dan geometri kapal (Tawekal, ---).

Design adalah proses-proses penyusunan konsep, pencetusan ide-ide baru, visualisasi, perhitungan, penyusunan bagian-bagian, penghalusan dan penentuan detail untuk menentukan bentuk dari sebuah produk engineering (French, 1985), sedangkan menurut Evans (1959) ada 4 tahap/langkah dalam proses design kapal meliputi yang dijelaskan pada metode *Design Spiral*, dimana proses ship design merupakan suatu proses iterasi (proses yang dilakukan berulang-ulang) mulai dari *mission requirement* sampai dengan *detail design*, seperti diperlihatkan dalam Gambar 2.1 berikut :



Gambar 2.1, *Design Spiral* (Evans, 1959)

2.3 Formula Matematik untuk *Ship's Hull Form*

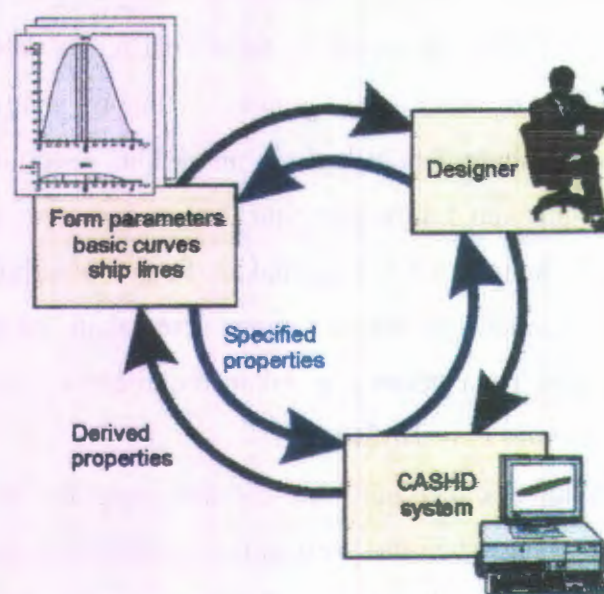
Adm. D.W. Tylor adalah salah satu orang pertama yang berusaha mendefinisikan hull (badan) kapal dengan formula matematika. Tujuannya adalah untuk merancang bentuk badan kapal secara matematik tanpa *planimetering*, *fairing* atau membaca *offsets* sehingga perancang dapat dengan mudah memilih parameter tertentu yang akan menentukan form coefficient (koefisien bentuk), *load water line*, dan *transverse section* (potongan melintang) yang diinginkan. Dia menggunakan fungsi parabola derajat ke-lima untuk kurva section area dan load water line dan menggunakan fungsi parabola derajat ke-empat untuk potongan melintang yang lebih halus, dan menggunakan fungsi hiperbola untuk *fuller transverse section*. Jumlah parameter yang disediakan oleh formula ini memberikan keleluasaan pada perancang dalam membentuk kurva *section-area* dan *load waterline*, *bulbous bow* dan lainnya.

Perhitungan numeric membutuhkan bantuan computer. Bentuk dasar dari kapal dengan *displacement*, stabilitas, *resistance*, *sea-keeping*, dan karakteristik lainnya masih tetap harus dikerjakan. Tujuan metode matematik hanya menghilangkan pekerjaan *laying-off* dari garis di *mold loft* dan memungkinkan penggunaan computer dalam pengaturan *lay-off* otomatis dan fabrikasi struktur.

Banyak keuntungan bisa didapat dari garis matematis tersebut. Metode ini dapat mengurangi kesalahan *fairing* dengan tangan dan mata, yang mana merupakan suatu seni, dan persiapan manual dari *table offsets* yang membutuhkan banyak waktu. Formula ini dapat digunakan sebagai input bagi komputer untuk menghitung kurva, data stabilitas, perhitungan kebocoran secara langsung tanpa lines plan. Selain itu formulasi tersebut dapat digunakan untuk memproduksi garis secara matematika yang tidak hanya memiliki karakteristik yang diinginkan, tetapi juga meminimumkan tahanan dan olah gerak (*sea keeping*) yang optimum.

2.4 Parametric Design untuk bentuk badan kapal

Parameter dalam merencanakan bentuk kapal merupakan ciri pertama bentuk kapal yang didefinisikan melalui deskripsi geometris yang disebut Form Parameter. *Ship Geometri* pada syarat-syarat *longitudinal curve* yang disebut *basic curve* seperti *sectional area curve* dan *water line*. *Basic curve* yang dimodelkan dari masukan parameter bentuk, idealnya memuat hal yang berhubungan dengan semua informasi yang dibutuhkan untuk membuat bentuk kapal (Kwik, 1969), (Reed 1974), (Fuller, 1977), (Nowacki, 1977), (Munchmeyer, 1979).

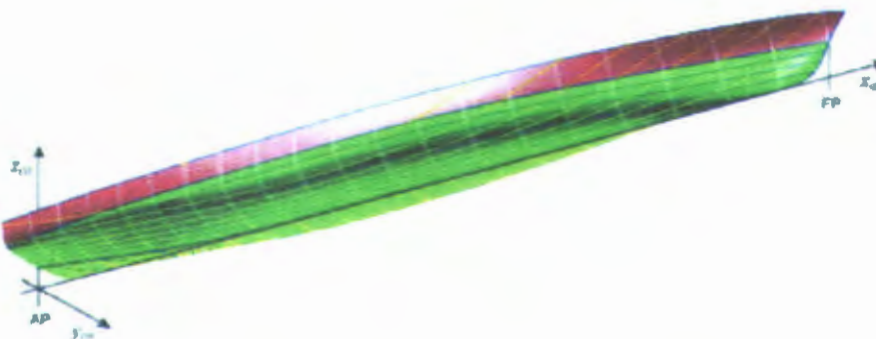


Gambar 2.2, Conventional Model (clockwise) dan Form Parametric Design (counterclockwise) (Harries, 1998)

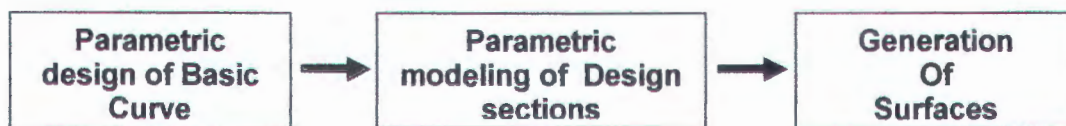
Bentuk badan kapal yang terbuka/kosong (*bare hulls/lines plan*) tanpa tambahan yang lainnya seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.3, Proses memodelkan bentuk badan kapal dibagi dalam 3 langkah yang berurutan seperti digambarkan pada Gambar 2.4, adapun 3 langkah tersebut sebagai berikut :

1. *Parametric design* dari kumpulan *longitudinal basic curve* yang sesuai.
2. *Parametric modeling* dari *design sections* didapat dari *basic curve*.
3. *Surfaces* yang didapat dari interpolasi *design section*

dalam *basic curve* terdiri dari 2, yang pertama adalah *primary basic curves* yang terdiri dari: *sectional area curve*, *design waterline*, *flat of side curve*, *center of bottom curve*, dan *deck*. Sedangkan *basic curve* kedua adalah *secondary basic curves* yang terdiri dari: *curve of tangent angles at beginning*, *curve of tangent angles at end*, *curve of curvatures at beginning*, *curve of curvatures at end*, *curve of vertical moment of sectional area*, *curve of lateral moment of sectional area*. (Harries, 1998)



Gambar 2.3, *Bare Hulls* dengan Koordinat Cartesian



Gambar 2.4, Step Proses Pendefinisian Bentuk Kapal.

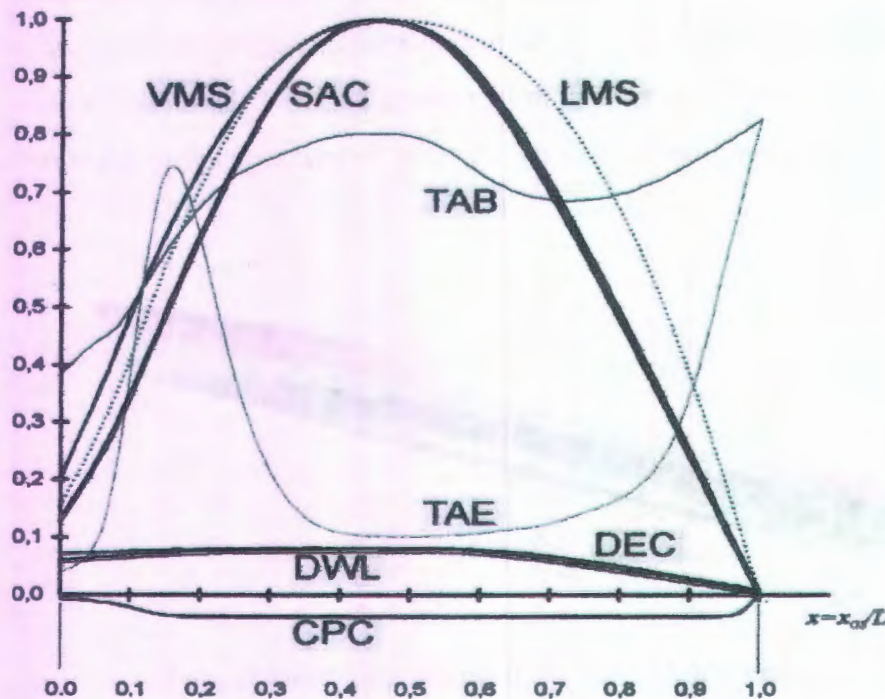
Menurut Harries (1998), *Planer Curve* yang terdiri dari 12 kurva tersebut merupakan kumpulan *Basic Curve* yang saat ini menghasilkan/mendapatkan

design bentuk kapal (*lines plan*), 12 planer curve tersebut sebagaimana dalam Tabel 2.1 dan Gambar 2.5 berikut :

Tabel 2.1. *Basic Curve*

No	Primary Basic Curve		Secondary Basic Curve	
1	Sectional Area Curve	SAC	Curve of Tangent Angles at Beginning	TAB
2	Design Waterline	DWL	Curve of Tangent Angles at End	TAE
3	Flat of Side Curve	FOS	Curve of Curvatures at Beginning	CAB
4	Center Plan Curve	CPC	Curve of Curvatures at End	CAE
5	Flat of Bottom Curve	FOB	Curve of Vertical Moment of Sectional Area	VMS
6	Deck	DEC	Curve of Lateral Moments of Sectional Area	LMS

Sumber: Harries, 1998.



Gambar 2.5, *Basic Curve* (Harries, 1998)

Parametric design untuk bentuk badan kapal dibagi dalam empat tahap yang berurutan yaitu:

1) Specifying form parameters.

a) Principle particulars.

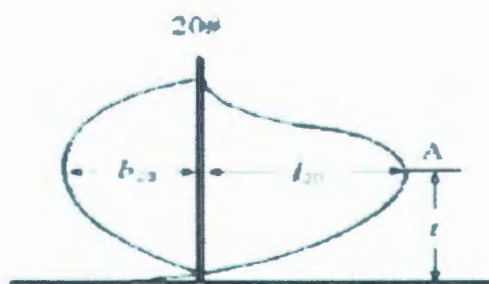
Untuk menyesuaikan permintaan yang spesifik. Ukuran utama kapal dan *coefficient* seperti L_{pp} , B_{mld} , T , C_b , dll harus spesifik.

b) *Parameters of bulbous bow (fore).*

Bulbous bow secara luas digunakan pada bentuk badan kapal untuk mengurangi tahanan kapal. Parameter dari bulbous bow yang direkomendasikan adalah:

$$C_{120} = \frac{b_{20}}{B/2}, C_{l_{20}} = \frac{l_{20}}{L_{pp}}, C_t = \frac{t}{T}$$

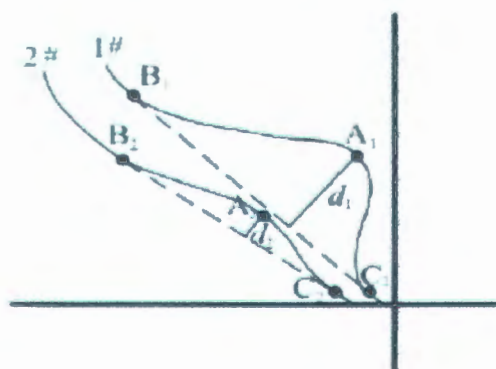
Dimana b_{20} adalah lebar maksimum pada station 20, l_{20} adalah jarak antara station 20 dengan titik ujung A. t adalah tinggi antara titik ujung A dengan base line.



Gambar 2.6, Parametric of Bulbous bow. (Zhang, 2008)

c) *Parameters of stern.*

Garis bentuk badan kapal pada station 1 dan 2 ini hal yang vital untuk hydrodinamic performance, parameter tersebut dapat dilihat sebagaimana gambar berikut :



Gambar 2.7, Parametric of stern (Zhang, 2008)

2) *Parametric design yang terdiri dari longitudinal curves.*

Longitude curve dapat diklasifikasikan dalam *longitude basic curve*, *longitude integral curve* dan *longitude differential curves*.

Longitude basic curve adalah sebagai berikut :

- a. Central Plane Curve (CPC)
- b. Design Waterline (DWL)
- c. Flat of Side Curve (FOS)

Longitude integral curve adalah sebagai berikut :

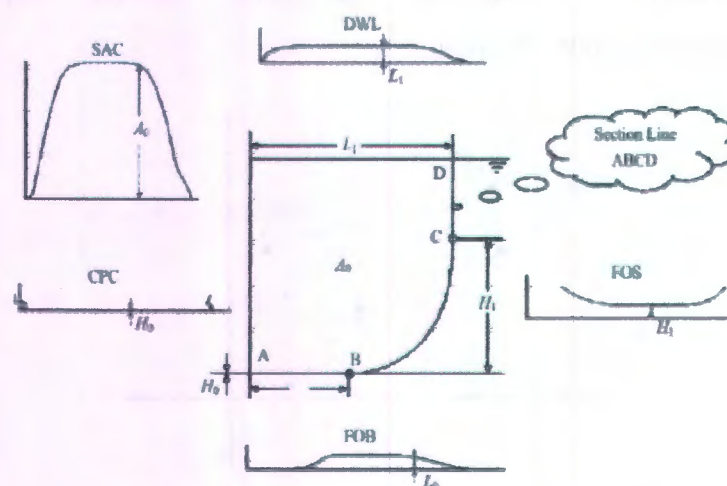
- a. Sectional Area Curve (SAC)
- b. Curve of Vertical Moment of Sectional Area Curve (VMS)
- c. Curve of Lateral Moment of Sectional Area (LMS).

Longitude differential curve adalah sebagai berikut :

- a. Curve of slop at beginning of the section line
- b. Curve of slop at end of the section line
- c. Curve of curvature at beginning of the section line.
- d. Curve of curvature at end of the section line.

3) Parametric modeling of section (body plan)

The parametric design of section adalah dapat disimulasikan seperti contoh pada Gambar 2.8 berikut. Pada garis potong ABCD didapatkan dari kumpulan longitudinal curve SAC, CPC, DWL, FOS, FOB.

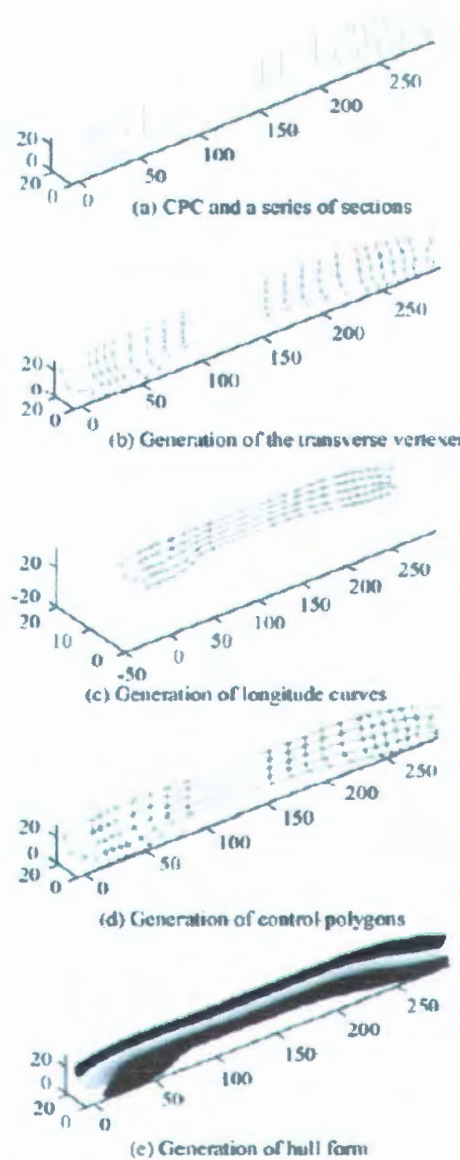


Gambar 2.8, Generation of Section (Zhang, 2008)

4) Generating hullform

Proses modeling bentuk badan kapal seperti pada gambar-2.9 dibawah. Dibagi dalam lima tahap, yaitu:

- (a) *CPC and a series of sections*,
- (b) *Generation of transverse vertexe*,
- (c) *Generation of longitude curve*,
- (d) *Generation of control polygon*,
- (e) *Generation of hull form*.



Gambar 2.9, Generation of hull form (Zhang, 2008)

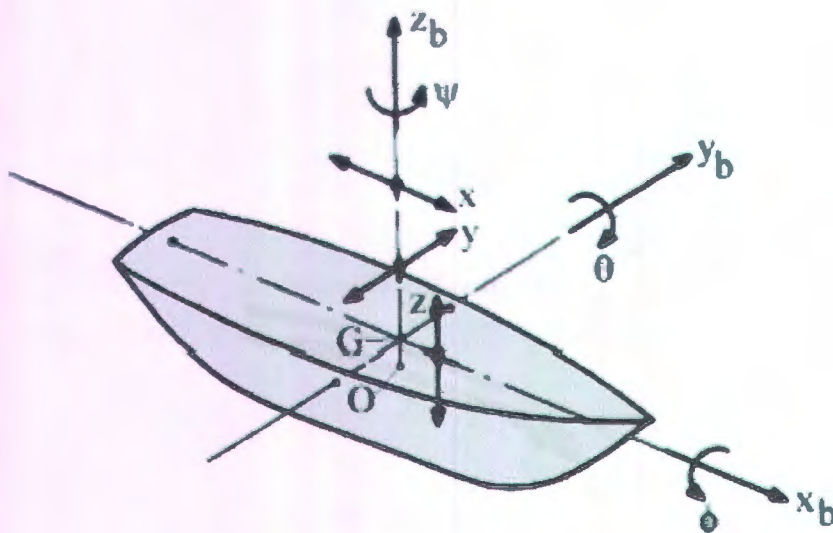
2.5 Gerakan Bangunan Apung di Laut

Pada dasarnya bangunan yang mengapung mempunyai 6 mode gerakan bebas yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu 3 mode gerakan

translasional dan 3 mode gerakan rotasional. Berikut adalah keenam mode gerakan tersebut :

1. Mode gerak translasional
 - ❖ Surge, gerakan transversal arah sumbu x
 - ❖ Sway, gerakan transversal arah sumbu y
 - ❖ Heave, gerakan transversal arah sumbu z
2. Mode gerak rotasional
 - ❖ Roll, gerakan rotasional arah sumbu x
 - ❖ Pitch, gerakan rotasional arah sumbu y
 - ❖ Yaw, gerakan rotasional arah sumbu z

Definisi gerakan bangunan laut dalam enam derajat kebebasan dapat dijelaskan dengan pada Gambar 2-6 dibawah ini. Dengan memakai konversi sumbu tangan kanan tiga gerakan translasi pada arah sumbu x,y dan z, adalah masing-masing surge (x_b), sway (y_b) dan heave (z_b), sedangkan untuk gerakan rotasi terhadap ketiga sumbu adalah roll (ϕ), pitch (θ) dan yaw (ψ).



Gambar - 2.10. Gerakan Translasi dan Rotasi

2.6 Tahanan Kapal

Tahanan kapal (*resistance*) kapal pada suatu kecepatan adalah gaya fluida yang bekerja pada kapal sedemikian rupa sehingga melawan gerak kapal tersebut. Tahanan tersebut sama dengan komponen gaya fluida yang bekerja

sejajar dengan sumbu gerakan kapal. Resistnsnce merupakan istilah yang disukai dalam hidrodinamika kapal, pada Gambar 2-6 dibawah ini menunjukkan kurva tahanan untuk benda yang bergerak dari permukaan atau jauh terbenam di dalam fluida yang sempurna dan fluida yang mempunyai viscositas. Koordinat horizontalnya adalah angka Froude.

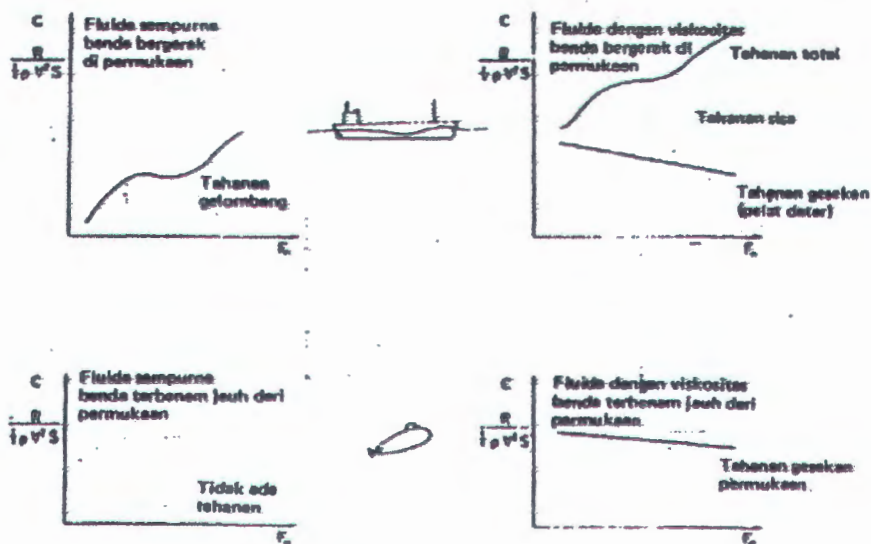
$$Fn = \frac{V}{\sqrt{gL}}, \dots\dots\dots (2.1)$$

Sedangkan ordinatnya adalah koefisien tahan yang didefinisikan sebagai

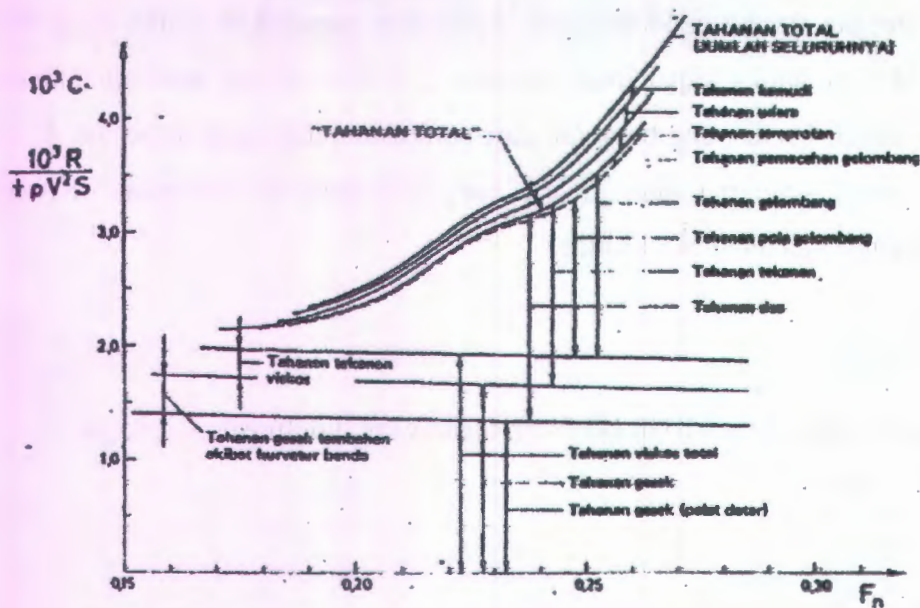
$$C = \frac{Rt}{\frac{1}{2} \rho V^2 S}, \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

- V = Kecepatan
- L = Panjang benda
- g = Percepatan gravitasi
- ρ = Massa jenis
- S = Luas permukaan basah (permukaan yang tercelup air).



Gambar 2.11. Kurva Koefisien Tahanan (Harvald, 1992)



Gambar 2.12. Komponen Tahanan Spesifik Kapal (Harvald, 1992)

Seperti diperlihatkan pada Gambar 2-8 diatas, dengan memakai definisi yang digunakan ITTC komponen-komponen tersebut secara singkat dapat dijelaskan sebagai berikut :

- ❖ **Tahanan Gesek (R_f)** adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan jalan mengintegalkan tegangan tangensial ke seluruh permukaan basah kapal menurut arah gerakan kapal.
- ❖ **Tahanan Sisa (R_r)** adalah kuantitas yang merupakan hasil pengurangan dari tahanan total badan kapal, suatu tahanan gesek yang merupakan hasil perhitungan yang diperoleh dengan memakai rumus khusus. Secara umum, bagian yang terbesar dari tahanan sisa pada kapal adalah tahanan gelombang (*wave making resistance*).
- ❖ **Tahan Viskos (R_v)** adalah komponen tahanan terkait energy yang dikeluarkan akibat viskositas.
- ❖ **Tahanan Tekanan (R_p)** adalah komponen tahanan yang diperoleh dengan jalan mengintegalkan tegangan normal ke seluruh permukaan benda menurut arah gerakan benda.
- ❖ **Tahanan Tekanan Viskos (R_{pv})** adalah komponen tahan diperoleh dengan jalan mengintegalkan komponen tegangan normal akibat viskositas dan

turbulensi. Kuantitas ini tidak dapat langsung diukur, kecuali untuk penda terbenan seluruhnya: dalam hal ini, sama dengan tahanan tekanan.

- ❖ **Tahanan Gelombang (R_w)** adalah komponen tahanan yang terkait dengan energy yang dikeluarkan untuk menimbulkan gelombang gravitasi.
- ❖ **Tahanan pada gelombang (R_{wp})** adalah komponen tahanan yang disimpulkan dari hasil pengukuran elevasi gelombang yang jauh dari kapal atau model; dalam hal ini medan kecepatan bawah permukaan (*sub-surface velocity field*), yang berarti momentum fluida, dianggap dapat dikaitkan dengan pola gelombang dengan memakai yang disebut teori linier. Tahanan yang disimpulkan demikian itu tidak termasuk tahanan pemecahan gelombang (*wave breaking resistance*).
- ❖ **Tahanan Pemecahan Gelombang (R_{wb})** adalah komponen tahanan yang terkait dengan pemecahan gelombang yang berada di buritan kapal.
- ❖ **Tahanan Semprotan/*spray resistance* (R_s)** adalah komponen tahanan yang terkait dengan energy yang dikeluarkan untuk menimbulkan semprotan.

Sebagai tambahan atas komponen tahanan tersebut, beberapa tahanan tambahan (R_a), dijelaskan sebagai berikut :

- ❖ **Tahanan Anggota Badan (*Appendage Resistance*)** : adalah tahanan dari bos poros, peyangga poros (*shaft brackets*), poros, lunas bilga, daun kemudi; dan sebagainya.
- ❖ **Tahanan Kekasaran** adalah tahanan akibat kekasaran, misalnya kekasaran akibat korosi dan *fouling* pada badan kapal.
- ❖ **Tahanan Udara** adalah tahanan yang dialami oleh bagian dari badan kapal yang berada di atas permukaan air dan bangunan atas (bagian badan kapal yang di atas permukaan air).
- ❖ **Tahanan Kemudi**: untuk mempertahankan kelurusan lintasan, koreksi kedudukan umumnya dilakukan dengan memakai daun kemudi. Pemakaian daun kemudi menyebabkan timbulnya komponen tahanan tambahan yang disebut tahanan kemudi.

2.7 *Neural Network*

Neural network merupakan sistem pemrosesan informasi yang memiliki karakteristik seperti jaringan sistem saraf pada manusia dalam menerima rangsangan dan merespon rangsangan yang diterima [2]. *Neural network* dibentuk sebagai generalisasi model matematika dari jaringan syaraf biologi, dengan asumsi :

- Pemrosesan informasi terjadi pada elemen-elemen prosesor sederhana yang dinamakan neuron.
- Sinyal yang dilewatkan di antara neuron-neuron melalui suatu penghubung.
- Setiap penghubung memiliki pembobot tertentu, dengan sinyal yang dikirim akan dikalikan.
- Setiap neuron memiliki fungsi aktivasi (biasanya non-linier) terhadap masukan-masukannya untuk menghasilkan sinyal keluaran.

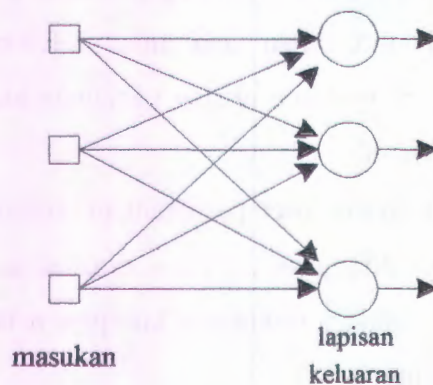
Karakteristik neural network ditentukan beberapa hal :

- ❖ Pola koneksi antar neuron (arsitektur),
- ❖ Metode pembelajaran.
- ❖ Fungsi aktivasi.

2.7.1 Pola Koneksi Antar Neuron (Arsitektur)

Neuron-neuron dalam *neural network* saling berhubungan dengan struktur tertentu. Arsitektur *neural network* dapat dibedakan sebagai berikut :

1. *Single-layer feedforward network*

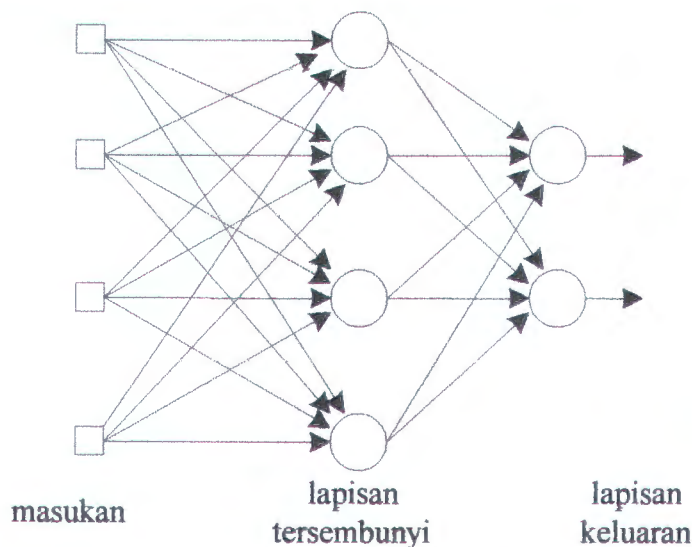


Gambar 2.13. Jaringan umpan maju satu lapisan

Pada Gambar 2.1, lingkaran mewakili sebuah neuron. Simpul-simpul pada input tidak disebut sebagai lapisan karena fungsinya hanya mendistribusikan masukan dan tidak melakukan perhitungan.

2. *Multi-layer feedforward network*

Pada struktur ini, terdapat satu atau beberapa *hidden layer*, yang memiliki simpul-simpul yang disebut *hidden neuron*. Disebut *hidden* karena lapisan antar *layer* ini tidak memiliki akses langsung ke dunia luar.



Gambar 2.14. Jaringan umpan maju dengan satu lapisan tersembunyi

3. Jaringan *Reccurent*

Model jaringan ini mirip dengan jaringan layer tunggal ataupun ganda. Hanya saja terdapat neuron output yang memberikan sinyal pada unit input. Atau lebih dikenal dengan *feedback loop*.

2.7.2 Metode Pembelajaran

Pada proses pembelajaran terdapat bentuk pembelajaran *surpervised learning*, dan *unsupervised learning*. Pada *supervised learning*, vektor input akan berpasangan dengan vektor target untuk menghasilkan output yang sesuai dengan target. Jika vektor output tidak sama dengan vektor target, maka akan timbul *error* yang akan digunakan untuk memperbaiki pembobot sehingga pada proses

pembelajaran berikutnya vektor *output* akan sama dengan vektor target. Salah satu bentuk pemakaian *supervised learning* adalah algoritma *backpropagation*.

2.7.3 Fungsi Aktifasi

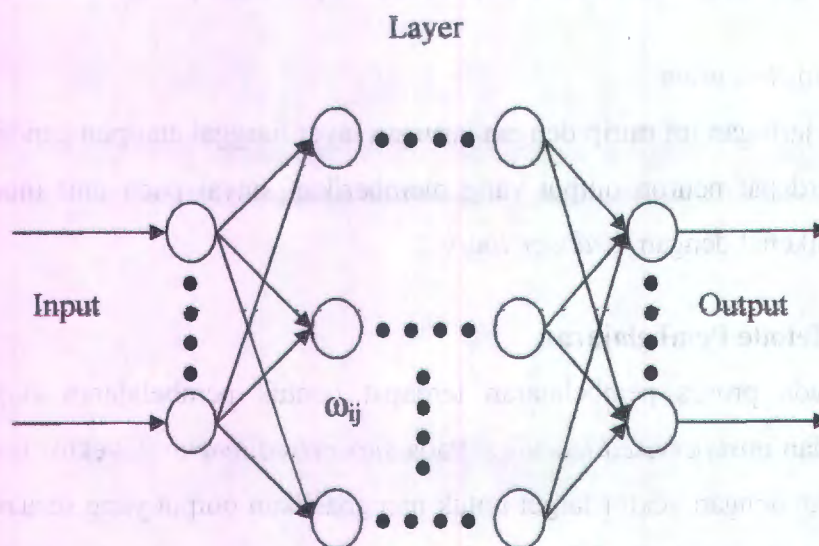
Operasi dasar dari *neural network* merupakan penjumlahan dari perkalian masing-masing sinyal input dengan pembobotnya dan kemudian masuk ke dalam suatu fungsi transfer (fungsi aktivasi) untuk menghasilkan output. Jenis-jenis fungsi aktivasi yang umum digunakan adalah *fungsi identitas*, *step biner*, *sigmoid biner*, dan *sigmoid bipolar*.

2.8 Metode Backpropagation

Algoritma pelatihan *Backpropagation* merupakan salah satu bagian dari *artificial intelligence neural network* dengan metode pelatihan *supervised learning* dan dirancang untuk operasi pada jaringan umpan maju dengan banyak lapisan (*multi-layer feedforward network*).

2.8.1 Arsitektur Backpropagation

Bacpropagation memiliki beberapa unit yang ada dalam satu atau dua *layer* tersembunyi. Gambar 2.15 menunjukkan arsitektur *backpropagation* dengan *n* buah masukan.



Gambar 2.15. Diagram *Backpropagation* dengan *n* buah masukan.

2.8.2 Fungsi aktivasi

Fungsi aktivasi yang digunakan dalam *backpropagation* harus memenuhi beberapa persyaratan yaitu : kontinu, terdiferensial dan merupakan fungsi yang tidak menurun [2]. Antara lain :

- Fungsi Identitas.
Merupakan suatu fungsi yang memiliki nilai output yang sama dengan nilai inputnya.
- Fungsi Sigmoid Biner.
Fungsi *sigmoid biner* merupakan suatu fungsi yang mempunyai interval nilai pada range 0 – 1.
- Fungsi Sigmoid Bipolar.
Fungsi sigmoid bipolar ini hampir sama dengan fungsi sigmoid biner, hanya saja output dari fungsi ini memiliki range antara 1 sampai -1.

2.8.3 Pembelajaran

Pembelajaran (*learning*) *neural network* merupakan proses pengaturan harga – harga dari parameter bobotnya untuk mendapatkan yang terbaik, dengan melatih (*training*) jaringan, menurut unjuk kerja yang dikehendaki.

Kemampuan pembelajaran merupakan juga kemampuan untuk mendekati suatu fungsi , hal yang membuatnya flexibel untuk digunakan pada proses identifikasi dan perkiraan beban.

Jika dimisalkan output suatu jaringan [3] adalah :

$$y_n(u, w), y_n \in Y, \dots \dots \dots (2.3)$$

yang diparameterkan oleh pembobot $w, w \in W$ dan input diberikan u . Proses ini

$$y_n(u, w) - y(u); u \in U, w \in W, \dots \dots \dots (2.4)$$

sehingga

$$y_n(u, w) - y(u) \leq \varepsilon, \dots \dots \dots (2.5)$$

dimana ε adalah harga error yang diteloransi.

Jika input mempunyai pola input U_p sebanyak N_p karena dengan pasangan yang bersesuaian dari input – output training (U_p, Y_p), maka proses training tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$y_n(u_p, w) - y(u_p) \quad w \in W, \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{p=1}^{N_p} y_n(u_p, w) - y(u_p)} \quad w \in W, \dots\dots\dots (2.7)$$

Dan karena

$$y_n(u_p, w) - y(u_p) = e_p(u_p, w) \quad w \in W, \dots\dots\dots (2.8)$$

Persamaan ini sering ditulis

$$E(w) = \frac{1}{N_p} \sum_{p=1}^{N_p} e_p(u_p, w), \dots\dots\dots (2.9)$$

Proses training dianggap selesai jika

$$e_p(u_p, w) \leq \varepsilon, \dots\dots\dots (2.10)$$

2.8.4 Algoritma *backpropagation* standart

Tahapan pada algoritma *backpropagation* meliputi beberapa fase[4], yaitu :

- Propagasi maju
- Tahapan ini dimulai dengan memberikan suatu pola masukan pada jaringan. Misalnya untuk satu vektor masukan dibawah ini

$$X_p = (X_{p1}, X_{p2}, X_{p3}, \dots, X_{pn}) \dots\dots\dots (2.11)$$

- Tiap unit input akan mendistribusikan pola masukan pada lapisan berikutnya (*hidden*). net input untuk *hidden* unit ke-*j* adalah sebagai berikut:

$$net_{pj}^h = \sum_{i=1}^N w_{ji}^h X_{pi} + \theta_j^h \dots\dots\dots (2.12)$$

- Dimana w_{ij}^h adalah pembobot sambungan dari input ke-*i* dan θ_j^h adalah bias. Subskrip *h* mengacu pada kuantitas lapisan tersembunyi

(*hidden*). Misal aktivasi dari node ini sama dengan *net* input , maka output dari node ini adalah :

$$i_{pj} = f_j^h (net_{pj}^h) , \dots \dots \dots (2.13)$$

➤ Sehingga persamaan output menjadi :

$$net_{pk}^o = \sum_{j=1}^L w_{kj}^o i_{pj} + \theta_k^o , \dots \dots \dots (2.14)$$

$$o_{pk} = f_k^o (net_{pk}^o) , \dots \dots \dots (2.15)$$

dengan superskrip *O pk* mengacu pada kuantitas lapisan output.

➤ Propagasi mundur

➤ Tahapan propagasi mundur dihitung dengan membandingkan output jaringan keseluruhan dengan output yang diinginkan. Error yang terjadi digunakan untuk memperbaharui tiap pembobot jaringan.

➤ Error ini diminimalkan pada persamaan :

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^M \delta_{pk}^2 , \dots \dots \dots (2.16)$$

➤ dengan δ_{pk} adalah error pada lapisan output.

➤ Arah perubahan bobot adalah gradien negatif dari E_p , yang dihitung dengan memperhatikan harga bobot w_{kj} . Perubahan pembobot terjadi sesuai dengan arah gradien negatif tersebut.

➤ Penurunan mekanisme backpropagation dalam memperbaiki harga tiap pembobotnya dapat dituliskan pada persamaan berikut :

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^M (y_{pk} - o_{pk}) , \dots \dots \dots (2.17)$$

➤ Maka gradien negatif dari E_p terhadap harga pembobot w_{kj} adalah:

$$\frac{\partial E_p}{\partial w_{kj}^o} = -(y_{pk} - o_{pk}) \frac{\partial f_k^o}{\partial (net_{pk}^o)} \frac{\partial (net_{pk}^o)}{\partial w_{kj}^o} , \dots \dots (2.18)$$

➤ Dimana

$$\frac{\partial (net_{pk}^o)}{\partial w_{kj}^o} = \left[\frac{\partial}{\partial w_{kj}^o} \sum_{j=1}^L w_{kj}^o i_{pj} + \theta_k^o \right] = i_{pj} , \dots \dots \dots (2.19)$$

- sehingga diperoleh gradien negatif sebagai berikut,

$$\frac{\partial E_p}{\partial W_{KJ}^o} = -(y_{pk} - o_{pk}) f_k^o(\text{net}_{pk}^o) i_{pj}, \dots \quad (2.20)$$

- dengan

$$f_k^o(\text{net}_{pk}^o) = \frac{\partial f_k^o}{\partial (\text{net}_{pk}^o)}, \dots \quad (2.21)$$

- Jaringan pada lapisan output

- Pembobot jaringan pada lapisan output diperbaharui mengikuti persamaan berikut,

$$w_{kj}^o(t+1) = w_{kj}^o(t) + \Delta p w_{kj}^o(t), \dots \quad (2.22)$$

- Dimana

$$\Delta p w_{kj}^o(t) = \eta (y_{pk} - o_{pk}) f_k^o(\text{net}_{pk}^o) i_{pj}, \dots \quad (2.23)$$

- dan η adalah konstanta belajar, yang biasanya berharga $0 < \eta < 1$. Dengan fungsi aktivasi output yang digunakan dalam menurunkan algoritma ini adalah fungsi tangen hiperbolik,

$$f_k^o(\text{net}_{pk}^o) = \frac{1 - \exp^{-2 \text{net}_{pk}^o}}{1 + \exp^{-2 \text{net}_{pk}^o}}, \dots \quad (2.24)$$

- yang mempunyai fungsi turunan sebagai berikut,

$$f_k^o = 1 - (f_k^o)^2 = 1 - (O_{pk})^2, \dots \quad (2.25)$$

- maka persamaan untuk mengubah harga pembobot di atas menjadi sebagai berikut,

$$w_{kj}^o(t+1) = w_{kj}^o(t) + \eta (y_{pk} - o_{pk}) (1 - O_{pk})^2 i_{pj}, \dots \quad (2.26)$$

- sehingga jika didefinisikan

$$\delta_{pk}^o = (y_{pk} - o_{pk}) f_k^o(\text{net}_{pk}^o) = \delta_{pk} f_k^o(\text{net}_{pk}^o), \dots \quad (2.27)$$

- maka persamaan untuk memperbaharui harga pembobot dapat ditulis

$$w_{kj}^o(t+1) = w_{kj}^o(t) + \eta \delta_{pk}^o i_{pj}, \dots \quad (2.28)$$

- Jaringan pada lapisan tersembunyi
 - Pembobot pada lapisan tersembunyi (*hidden*) diperbaiki mirip dengan pada lapisan output, namun dengan harga output target yang tidak diketahui.

Secara intuitif, total error E_p dapat diketahui dengan persamaan :

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_k (y_{pk} - o_{pk})^2, \dots \dots \dots (2.29)$$

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_k [y_{pk} - f_k^o(\text{net}_{pk}^o)]^2, \dots \dots \dots (2.30)$$

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_k [y_{pk} - f_k^o(\sum_j w_{kj}^o i_{pj} + \theta_k^o)]^2, \dots \dots \dots (2.31)$$

- Sehingga pembobot lapisan hidden dapat dihitung sebagai berikut

$$\frac{\partial E_p}{\partial w_{ji}^h} = \frac{1}{2} \sum_k \frac{\partial}{\partial w_{ji}^h} (y_{pk} - o_{pk})^2, \dots \dots \dots (2.32)$$

$$\frac{\partial E_p}{\partial w_{ji}^h} = -\sum_k (y_{pk} - o_{pk})^2 \frac{\partial o_{pk}}{\partial (\text{net}_{pk}^o)} \frac{\partial (\text{net}_{pk}^o)}{\partial i_{pj}} \frac{\partial i_{pj}}{\partial (\text{net}_{pj}^h)} \frac{\partial (\text{net}_{pj}^h)}{\partial w_{ji}^h}, \dots \dots (2.33)$$

- Karena

$$\frac{\partial o_{pk}}{\partial (\text{net}_{pk}^o)} = f_k^o(\text{net}_{pk}^o), \dots \dots \dots (2.34)$$

$$\frac{\partial i_{pj}}{\partial (\text{net}_{pj}^h)} = f_k^h(\text{net}_{pj}^h), \dots \dots \dots (2.35)$$

$$\frac{\partial (\text{net}_{pj}^h)}{\partial w_{ji}^h} = x_{pi}, \dots \dots \dots (2.36)$$

- Maka persamaan diatas dapat ditulis

$$\frac{\partial E_p}{\partial w_{ji}^h} = -\sum_k (y_{pk} - o_{pk})^2 f_k^o(\text{net}_{pk}^o) w_{kj}^o f_k^h(\text{net}_{pj}^h) x_{pi}, \dots \dots (2.34)$$

- Pembobot pada lapisan *hidden* diperbaharui sebanding dengan gradien negatif dari E_p

$$\Delta p w_{kj}^o(t) = \eta f^h(\text{net}_{pj}^h) x_{pi} \sum_k (y_{pk} - o_{pk}) f^o(\text{net}_{pk}^o) w_{kj}^o, \quad (2.35)$$

- dengan tetap sebagai *learning rate*. Karena harga telah diketahui, maka persamaan menjadi

$$\Delta p w_{ji}^h(t) = \eta f^h(\text{net}_{pj}^h) x_{pi} \sum_k \delta_{pk}^o w_{kj}^o, \dots \dots \dots (2.36)$$

- Terlihat bahwa perbaikan setiap pembobot pada lapisan *hidden* tergantung pada harga *error* dari lapisan output. Adanya mekanisme inilah yang membuat algoritma ini juga dikenal dengan istilah *error back-propagation*. Mekanisme ini juga memperlihatkan kemampuannya untuk melatih lapisan *hidden* dari jaringan dan juga menghindari keterbatasan jaringan dengan satu lapisan. Dengan mendefinisikan error pada lapisan *hidden*

$$\delta_{pj}^h = f^h(\text{net}_{pj}^h) \sum_k \delta_{pk}^o w_{kj}^o, \dots \dots \dots (2.37)$$

- maka persamaan untuk mengubah harga pembobot yang terdapat pada lapisan *hidden* dapat ditulis:

$$w_{ji}^h(t+1) = w_{ji}^h(t) + \eta \delta_{pj}^h x_{pi}, \dots \dots \dots (2.38)$$

Berikut adalah aliran langkah algoritma *back propagation* :

Step 1 : Inisialisasi bobot dan *offset*, mengatur semua bobot dan *offset* neuron untuk harga random terkecil.

Step 2 : Menghadirkan input dan output yang diinginkan. Menghadirkan X dalam pasangan input output yang diinginkan (X, d) untuk input layer dari *multilayer perceptron* dan spesifikasi output jaringan yang diinginkan menjadi d .

Step 3 : menghitung output yang nyata, digunakan fungsi aktivasi untuk menghitung output jaringan.

Step 4 : bobot disesuaikan menggunakan *algoritma recursive* diawali dari *output layer* dan kerja kebelakang ke *hidden layer* pertama. Mengatur bobot dengan,

$$w_{ji}(t+1) = w_{ji}^h(t) + \eta \delta_{pj}^h x_i, \dots \dots \dots (2.39)$$

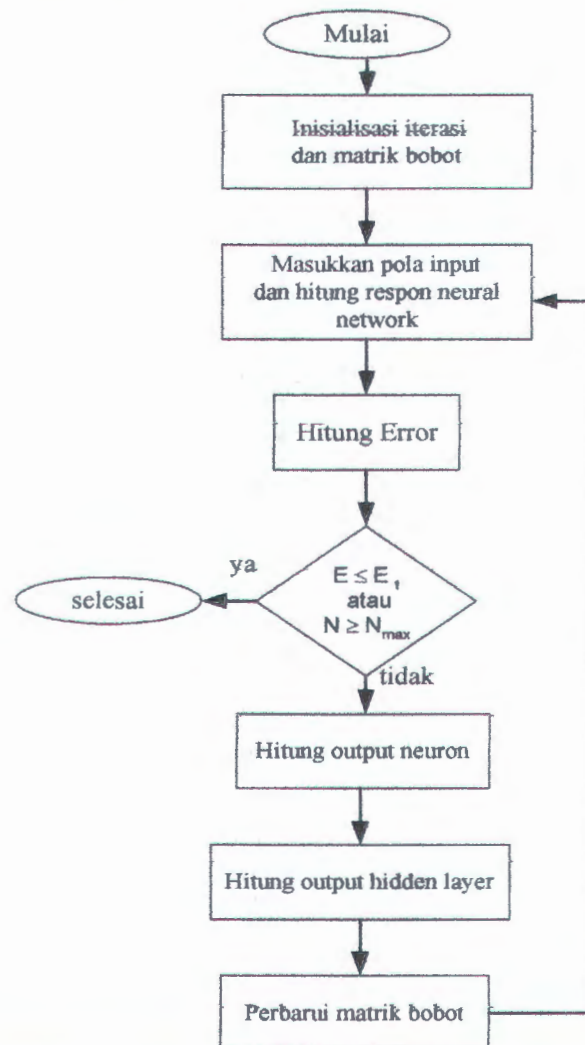
Dimana $W_{ij}(k)$ adalah bobot dari *hidden* neuron I atau input ke neuron j . X_i adalah output lain dari neuron I , α adalah *step size* dan δ adalah *error term* dari neuron j , jika neuron j adalah output neuron, kemudian

$$\delta_i = y_j(1 - y_j)(d_j - y_j), \dots \dots \dots (2.40)$$

Step 5 : Mengulang ke step 2.

Setelah proses pelatihan selesai dilakukan, jaringan dapat dipakai untuk pengenalan pola. Dalam hal ini, hanya propagasi maju yang dipakai untuk menentukan keluaran jaringa.

secara umum diagram alir dari algoritma *backpropagation standart* seperti yang telah diuraikan diatas dapat dilihat seperti gambar 2.16.



Gambar 2.16 Diagram alir algoritma *backpropagation standart* (Kusumadevi,2004)

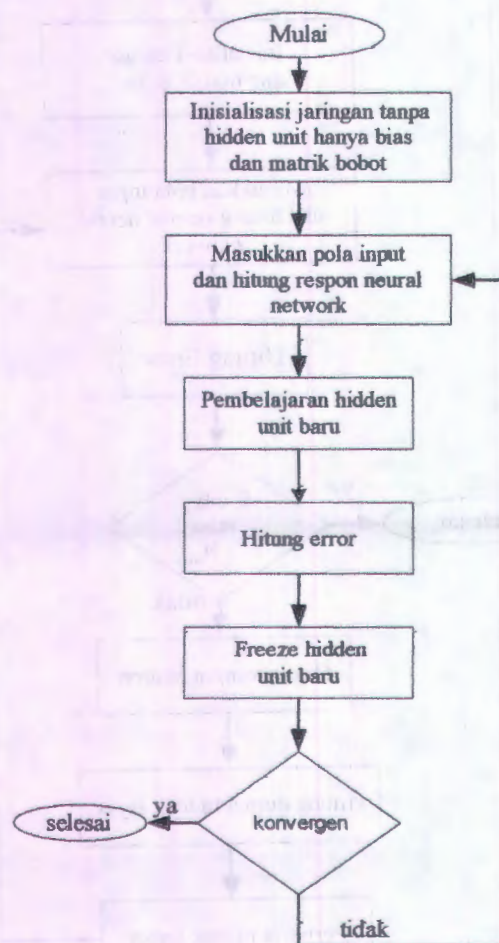
2.9 Metode Constructive Backpropagation

Metode *constructive backpropagation* merupakan konstruksi jaringan yang berdasarkan pembelajaran satu demi satu dan penambahan *hidden unit*.

Metode ini memiliki beberapa keuntungan, antara lain :

- 1) Algoritma *constructive backpropagation* langsung menentukan *neural network* awal.
- 2) Algoritma ini selalu mencari penyelesaian dengan *neural network* yang kecil terlebih dahulu, kemudian baru membentuk *neural network* yang besar sehingga lebih menghemat proses perhitungan.
- 3) *Neural network* dengan ukuran yang berbeda dapat diterapkan untuk mendapatkan penyelesaian yang dikehendaki.

Diagram alir dari algoritma pembelajaran *constructive backpropagation* dapat digambarkan pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17. Diagram alir *constructive backpropagation* (Kusumadevi,2004)

2.9.1 Algoritma *Constructive Backpropagation*

Algoritma dasar dari *constructive backpropagation* adalah:

➤ Inisialisasi.

Jaringan tidak mempunyai hidden unit. Bias pembobot dan hubungan langsung (hubungan *short cut*) dari input ke output unit setelah pembelajaran pembobot dari konfigurasi inisialisasi adalah tetap. Pembobot dari konfigurasi awal dihitung dengan meminimalkan jumlah dari galat rata – rata (*mean of squared error = MSE*).

$$MSE = \sum_{l=1}^n \sum_{k=1}^r (d_{lk} - o_{lk})^2, \dots \dots \dots (2.41)$$

d_{lk} = keluaran yang dikehendaki untuk sempel ke- l dan unit keluaran ke- k

o_{lk} = keluaran *neural network* untuk sempel ke- l dan unit keluaran ke- k

n = jumlah sempel data

r = jumlah unit keluran

➤ Pembelajaran *hidden unit* baru .

Menghubungkan input ke unit baru (unit baru adalah unit ke- i , $i > 0$) dan menghubungkan outputnya ke output unit. Mengatur semua pembobot yang dihubungkan ke unit baru. Seluruh penimbang yang terhubung ke unit baru diatur dengan meminimalkan kriteria *mMSE (modified MSE)*.

$$MSE = \sum_{l,k} \left(d_{lk} - \sum_{j=0}^{i-1} v_{jk} h_{jl} - v_{ik} h_{il} \right)^2, \dots \dots \dots (2.42)$$

$$= \sum_{l,k} (e_{kl}^i - v_{ik} h_{il})$$

d_{lk} = keluaran yang dikehendaki pada unit keluaran ke- k untk pola training ke- l

v_{jk} = interkoneksi dari *hidden unit* ke- j dan unit keluaran ke- k

h_{jl} = keluaran dari *hidden unit* ke- j untuk pola *training* ke- l

e_{kl}^i = sisa galat dalam unit keluaran ke- k untuk pola *training* ke- l

3. Pembekuan (*freeze*) *hidden unit* baru.

Menetapkan pembobot yang dihubungkan ke unit baru secara tetap.

4. Pengetesan konvergensi

Jika jumlah *hidden unit* sekarang menghasilkan solusi yang bisa diterima maka hentikan pembelajaran jika tidak maka kembali ke langkah 2.

2.9. Regression

Multiple regression analysis adalah metode pengembangan dari metode regresi dua variabel. Persamaan metode tersebut sebagai berikut :

$$Y = A_0 + A_1x_1 + A_2x_2 + \dots + A_nx_n, \dots \dots \dots (2.43)$$

Dimana :

Y = *Estimated dependent variable*

X = *Independent variable* yang digunakan untuk mengestimasi *dependent variable*

A = *coefficient* yang berpengaruh terhadap *dependent variable*

Adapun pengembangan regresi untuk nonparametric dengan spline. Secara umum regresi nonparametrik spline dapat disajikan dalam bentuk:

$$y_i = f(x_i) + \varepsilon \quad i=1, \dots, n, \dots \dots \dots (2.44)$$

$$f(x) = \sum_{r=0}^q \beta_r x^r + \sum_{k=1}^m \beta_k (x - K_k)_+^q, \dots \dots \dots (2.45)$$

dengan $f(x_i)$ merupakan fungsi regresi dan dihipotesis dengan menggunakan fungsi spline.

Untuk tujuan estimasi f yang diasumsikan “smooth”, maka secara spesifik f dapat didekati menggunakan regresi spline berderajat q dengan m knot yang disajikan dalam bentuk.

$$f(x) \approx \beta_0 + \beta_1 x + \dots + \beta_q x^q + \sum_{k=1}^m \delta_k (x - K_k)_+^q, \dots \dots \dots (2.46)$$

Dimana,

$\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_q$ = parameter polinomial

$\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_m$ = parameter *truncated*, dan

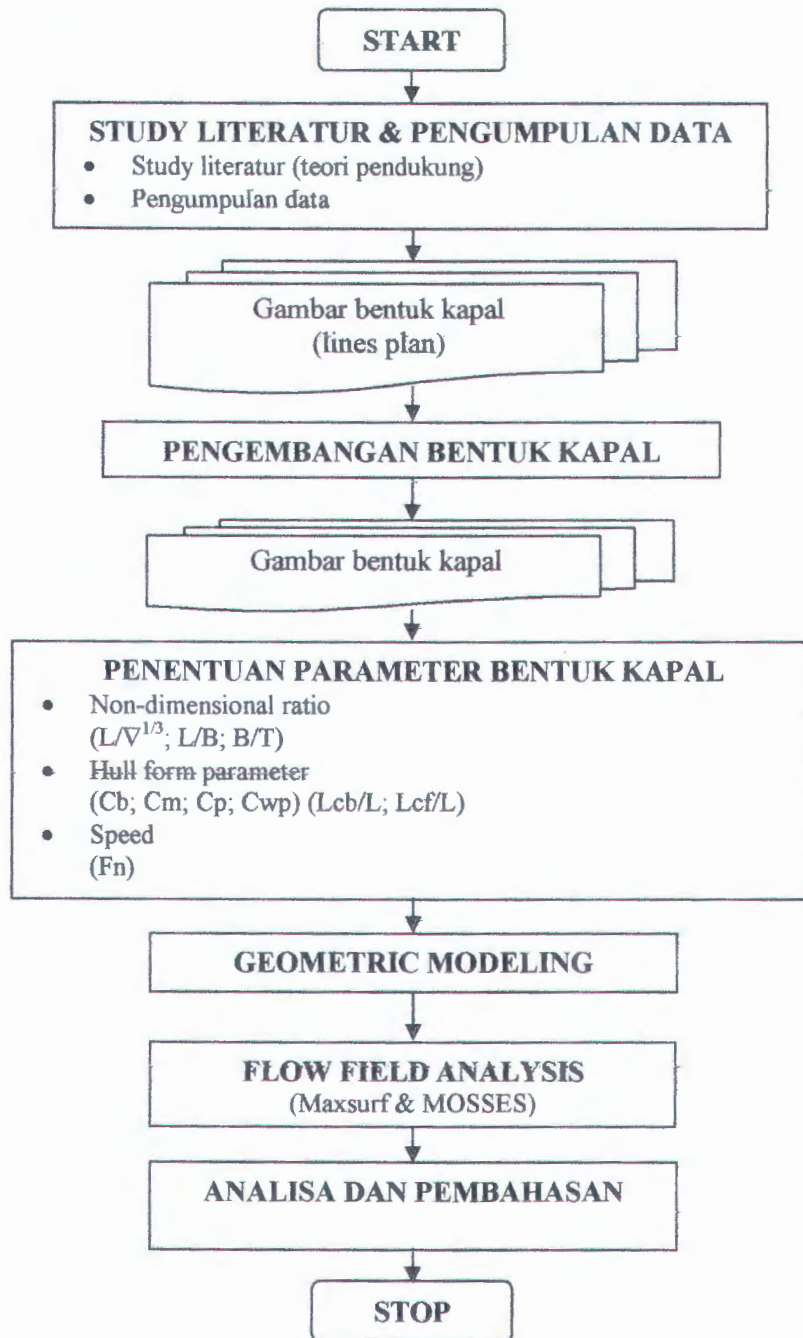
K_1, K_2, \dots, K_m = titik knot

Model yang digunakan dengan memperhatikan tiga hal, yaitu: orde atau derajat model polinomial, jumlah knot, dan lokasi penempatan knot. Orde polinomial ditentukan berdasarkan pola umum yang terjadi pada data. Sedangkan jumlah dan lokasi knot ditentukan berdasarkan perubahan pola perilaku data pada interval tertentu dari kurva. Ada dua strategi untuk menyelesaikan masalah ini. Strategi-1 menggunakan knot yang relatif sedikit dengan alasan kesederhanaan model. Sedangkan strategi-2 menggunakan knot yang relatif banyak dengan alasan memperhatikan model matematis yang ada pada model.

BAB - 3

METODOLOGI PENELITIAN

Secara umum metode penelitian studi *parametric hull form desing* dalam merencanakan bentuk kapal adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1, Flow Chart Metodologi Penelitian

Adapun uraian kegiatan dari *flow chart* tersebut dapat diuraikan sebagai berikut:

○ ***Study Literatur dan Pengumpulan Data***

Study literatur adalah kegiatan mereview dan mencari beberapa literatur dan teori yang mendukung dalam menyelesaikan permasalahan penelitian terutama tentang: design bentuk badan kapal, hidrodinamika kapal, *parametric design*. dll.

Pengumpulan data disini adalah kegiatan pengumpulan data yang dibutuhkan untuk menjawab permasalahan dan memenuhi tujuan yang diinginkan. Berkenaan dengan data yang dibutuhkan pada penelitian tersebut adalah bentuk badan kapal (gambar *lines plan*).

○ ***Pengembangan Bentuk Kapal***

Pengembangan bentuk kapal adalah mengembangkan bentuk kapal yang sudah ada dengan melakukan pengembangan ke arah memanjang atau melebar dan pengembangan ke arah tinggi kapal atau sarat. Dengan maksud untuk mendapatkan parameter yang berbedah. Mengembangkan bentuk awal tersebut secara prinsip tidak merubah bentuk lengkungan kapal.

○ ***Geometric Modeling***

Selanjutnya adalah melakukan *geometric design* yaitu kegiatan memodelkan bentuk badan kapal yang sesuai dengan parameter tersebut. Hasil permodelan tersebut adalah gambar *lines plan* dan daftar offset, dalam pembuatannya dengan menggunakan *software Auto-CAD*.

○ ***Flow field Analysis***

Dari beberapa pemodelan bentuk badan kapal dilakukan pada tahap *geometric design* selanjutnya untuk mengetahui *seakeeping* dan tahanan dilakukan pengujian model dengan menggunakan beberapa *Shoftware* yang membantu. Dalam penelitian ini untuk mengetahui tahanan kapal analisisnya dengan *Maxsurf*, untuk mengetahui *Seakeeping* dengan *MOSES*.

○ ***Analisa dan Pembahasan***

Tahap selanjutnya adalah analisa dan pembahasan dalam hal ini analisa yang dilakukan adalah dengan menggunakan jaringan saraf tiruan (*artificial neural network*). Secara detail metode *neural network* yang digunakan adalah metode pelatihan yang terawasi pada jaringan saraf yang memiliki ciri meminimalkan error pada output yang dihasilkan oleh jaringan yaitu metode *backpropagation*.

Adapun langkah awal pada tahap ini adalah pengumpulan data yang nantinya dipakai sebagai data yang akan dimasukkan ke input jaringan dan data output. Untuk data tersebut diperoleh dari tahap sebelumnya yaitu *Flow field analysis*.

Selanjutnya dilakukan pembangunan / arsitektur jaringan, dalam hal ini jaringan saraf tiruan (*artificial neural network*) dibangun dengan menggunakan *software matlab*. *Artificial neural network* yang dibangun tersebut diberikan inputan data untuk pembelajaran sistem yang dikenal dengan offline-1, selanjutnya setelah sistem belajar dengan data inputan sistem jaringan tersebut di uji coba dengan data baru yang dikenal dengan offline-2. Jika hasil dari uji coba tersebut bagus (error yang terjadi kecil) maka sistem jaringan tersebut dipakai untuk memprediksi.

Selanjutnya untuk mengetahui pengaruh/hubungan parameter bentuk kapal tersebut dengan karakteristik tahanan dan olah gerak kapal adalah dengan memvariasikan setiap parameter dan dengan menggunakan model *Artificial neural network* yang sudah dibangun tersebut diprediksi tahanan maupun olah gerak *Supply Vessel*.

Pengembangan model selanjutnya adalah dengan menggunakan analisis statistik, dari hasil analisa statistik didapatkan model persamaan untuk menentukan koefisien tahanan dan RAO olah gerak *Supply Vessel*.

BAB - 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Supply Vessel

4.1.1 Parameter Bentuk Kapal.

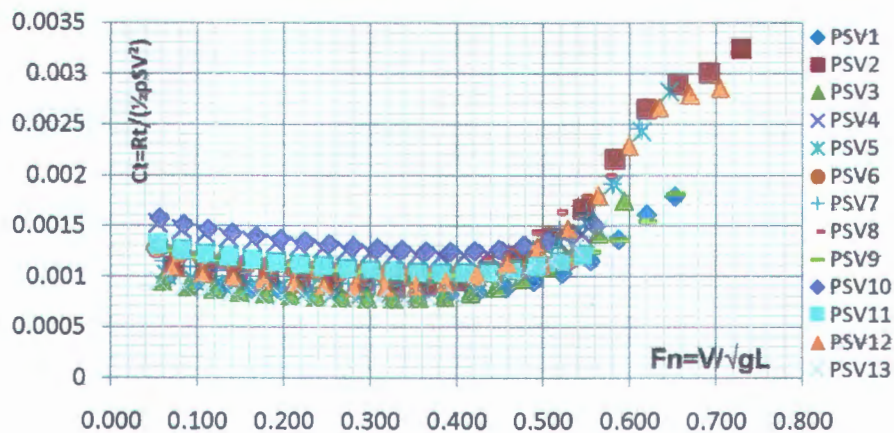
Dari hasil yang dilakukan pada tahap pengumpulan data didapatkan parameter bentuk seperti pada table 4.1

Tabel 4.1. Data Parameter bentuk kapal

Vessel	L (m)	L/B(-)	B/T	$L/\nabla^{1/3}$	C_b	C_m	C_{wp}	C_p	L_{cb}/L	L_{cf}/L
SV-1	53,90	3,369	3,80	3,951	0,65	0,97	0,83	0,66	0,47	0,41
SV-2	43,20	4,000	3,00	4,241	0,64	0,91	0,91	0,70	0,51	0,48
SV-3	64,70	3,697	2,82	3,759	0,67	0,98	0,90	0,68	0,55	0,41
SV-4	77,40	4,031	2,95	4,163	0,61	0,92	0,82	0,66	0,45	0,41
SV-5	54,90	3,921	3,25	4,146	0,72	0,97	0,89	0,74	0,51	0,46
SV-6	82,20	4,281	2,80	4,160	0,63	0,99	0,84	0,64	0,45	0,40
SV-7	61,57	3,732	3,36	3,935	0,76	0,97	0,91	0,78	0,50	0,46
SV-8	69,60	4,218	3,11	4,107	0,80	0,97	0,93	0,81	0,50	0,47
SV-9	53,70	4,475	2,00	3,311	0,68	0,97	0,87	0,69	0,56	0,62
SV-10	72,97	3,801	2,95	4,027	0,60	0,92	0,81	0,95	0,45	0,41
SV-11	76,63	3,991	2,95	4,009	0,61	0,98	0,83	0,62	0,44	0,40
SV-12	46,20	4,278	3,00	4,398	0,65	0,92	0,92	0,72	0,51	0,48
SV-13	71,97	4,113	2,82	4,002	0,69	0,98	0,91	0,71	0,46	0,42
Maks.	82,20	4,475	3,80	4,398	0,80	0,99	0,93	0,95	0,56	0,48
Min.	43,20	3,369	2,00	3,311	0,61	0,91	0,81	0,66	0,44	0,40

4.1.2 Koefisien Tahanan Total

Dengan menggunakan *software Maxsurf*, didapatkan kurva koefisien tahanan *Supply Vessel* sebagaimana pada gambar-4.1:

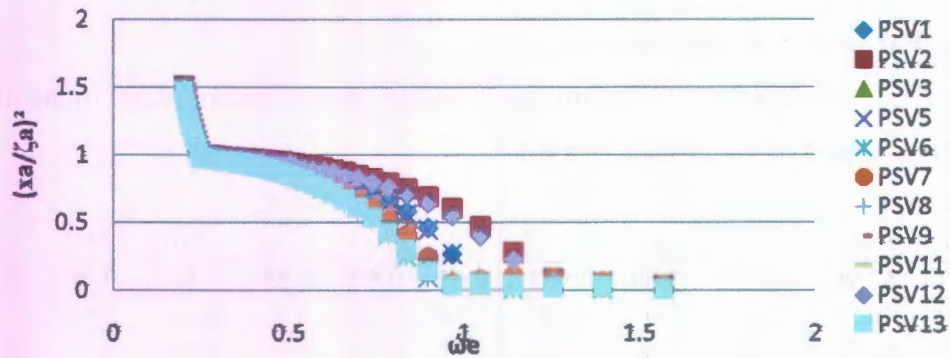


Gambar 4.1. Kurva Koefisien Tahanan *Supply Vessel*

4.1.3 Respon Amplitude Operator (RAO)

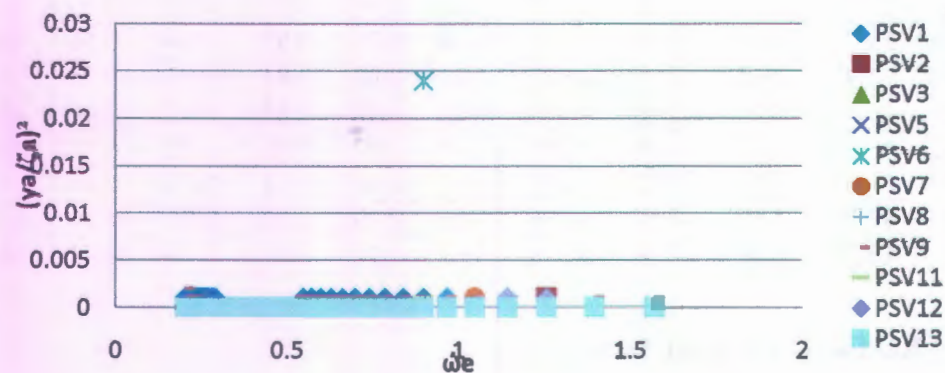
Dengan menggunakan *software Mosses*, didapatkan kurva respon amplitude operator (RAO) supply vessel tiap gerak sebagai berikut :

➤ RAO Surging



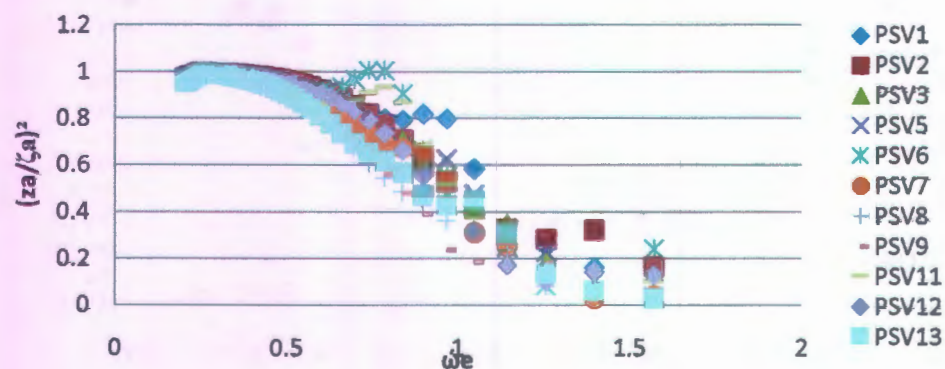
Gambar 4.2, Data RAO Surging Supply Vessel

➤ RAO Swaying



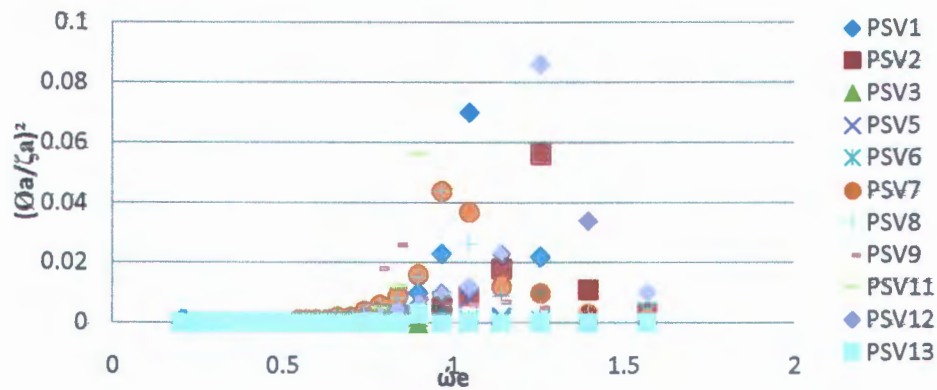
Gambar 4.3, Data RAO Swaying Supply Vessel

➤ RAO Heaving



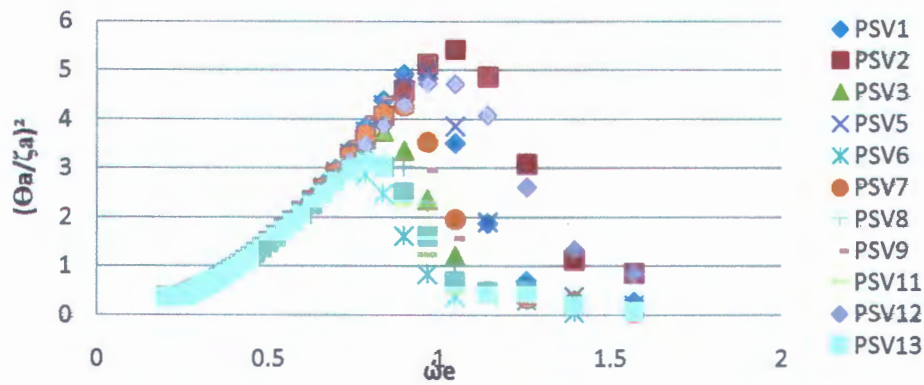
Gambar 4.4, Data RAO Heaving Supply Vessel

➤ **RAO Rolling**



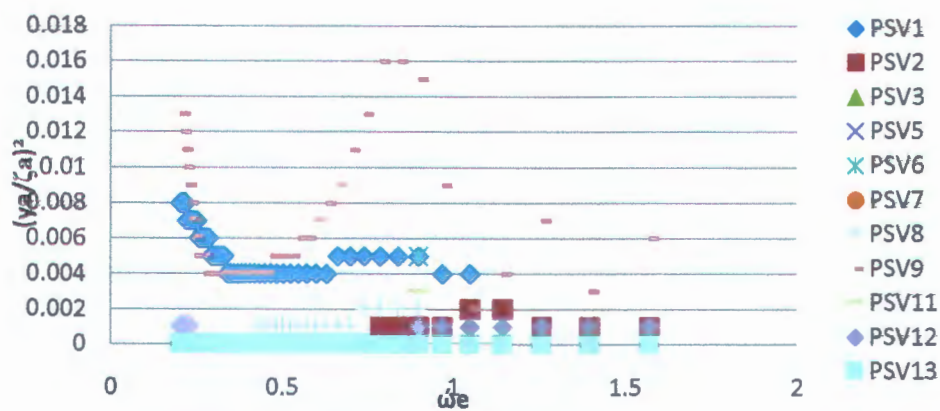
Gambar 4.5, Data RAO Rolling Supply Vessel

➤ **RAO Pitching**



Gambar 4.6, Data RAO Pitching Supply Vessel

➤ **RAO Yawing**



Gambar 4.7, Data RAO Yawing Supply Vessel

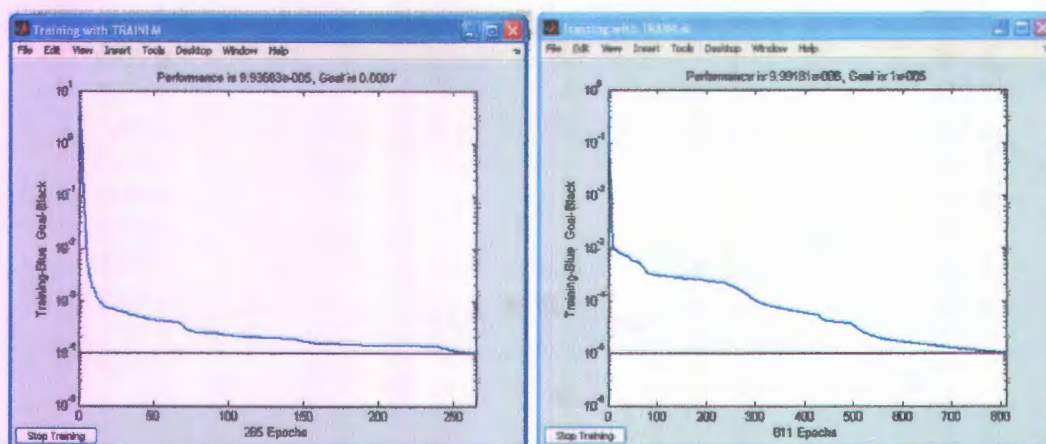
4.2 Artificial Neural Network

4.2.1 Desain Artificial Neural Network.

Konsep dasar *Beckpropagation* merupakan algoritma pembelajaran yang terawasi dengan banyak lapisan untuk mengubah bobot-bobot yang terhubung dengan neuron-neuron yang ada pada lapisan tersembunyinya. Algoritma *Beckpropagation* menggunakan error output untuk mengubah nilai bobotnya dalam arah mundur. Untuk mendapatkan error tersebut, tahap perambatan maju (*forward propagation*) dikerjakan terlebih dahulu. Pada saat perambatan maju, neuron-neuron dikatifkan dengan menggunakan fungsi aktifasi yang dapat dideferensiasikan.

Metode *constructive backpropagation* merupakan konstruksi jaringan yang berdasarkan pembelajaran satu demi satu dan penambahan *hidden unit*. Metode ini memiliki beberapa keuntungan, antara lain : Algoritma *constructive backpropagation* langsung menentukan *neural network* awal, Algoritma ini selalu mencari penyelesaian dengan *neural network* yang kecil terlebih dahulu, dan *Neural network* dengan ukuran yang berbeda dapat diterapkan untuk mendapatkan penyelesaian yang dikehendaki.

Adapun jumlah hidden layer yang digunakan adalah 2. Hal ini dikarenakan system dapat menemukan hasil yang dicari pada hidden layer 1 ini dapat dilihat seperti dalam gambar-4.7. Sedangkan hidden layer yang ke 2 sebagai cadangan untuk mengantisipasi apabila pada hidden layer ke 1 belum ditemukan hasilnya.

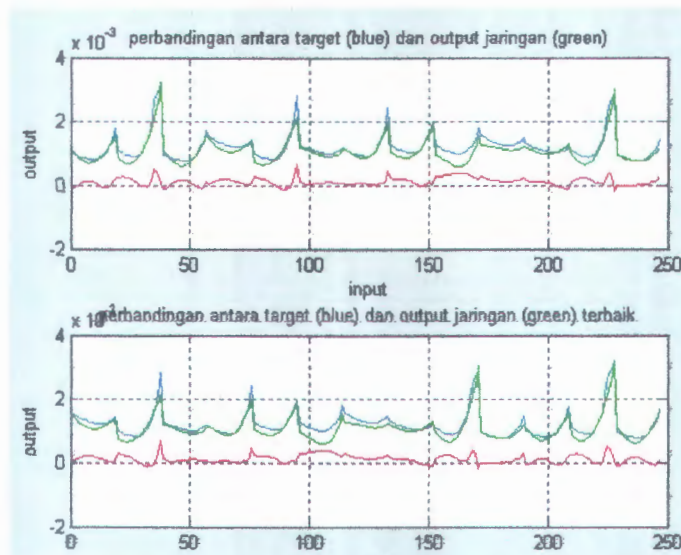


Gambar 4.8, Proses Epochs (iterasi)

4.2.2 Pembelajaran dan Latihan *Artificial Neural Network*

❖ Tahanan

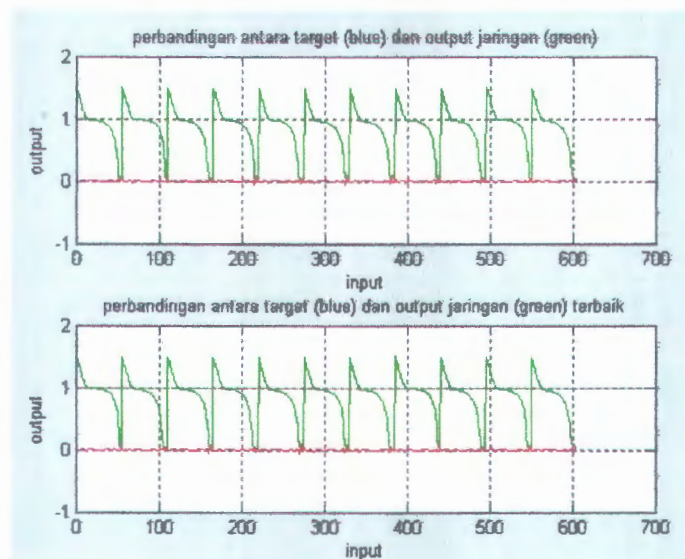
Dari hasil pembelajaran dan uji coba model *artificial neural network* tahanan didapatkan perbandingan antara target dan output jaringan dengan *Mean Square Error* (MSE) = 3.125E-8.



Gambar 4.9, Perbandingan target dengan output jaringan tahanan

❖ Surging

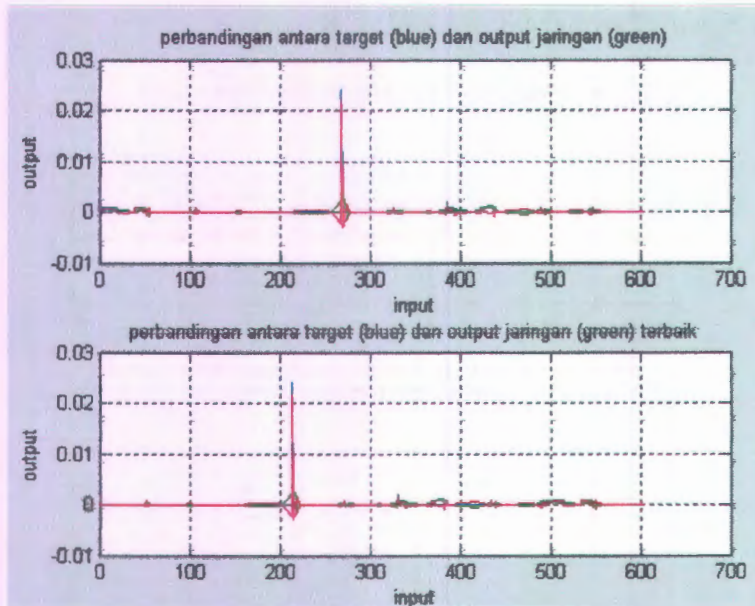
Dari hasil pembelajaran dan uji coba model *artificial neural network* surging didapatkan perbandingan antara target dan output jaringan dengan *Mean Square Error* (MSE) = 9,955E-5.



Gambar 4.10, Perbandingan target dengan output jaringan surging

❖ **Swaying**

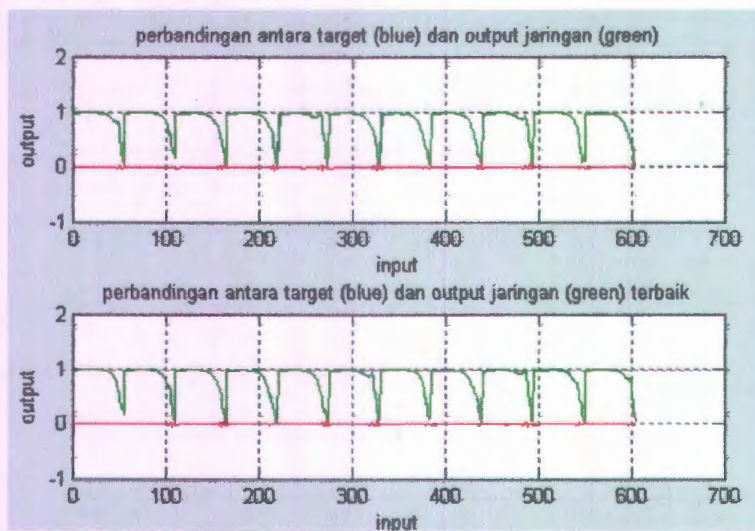
Dari hasil pembelajaran dan uji coba model *artificial neural network* swaying didapatkan perbandingan antara target dan output jaringan dengan Mean Square Error (MSE) = $8.906E-7$.



Gambar 4.11, Perbandingan target dengan output jaringan swaying

❖ **Heaving**

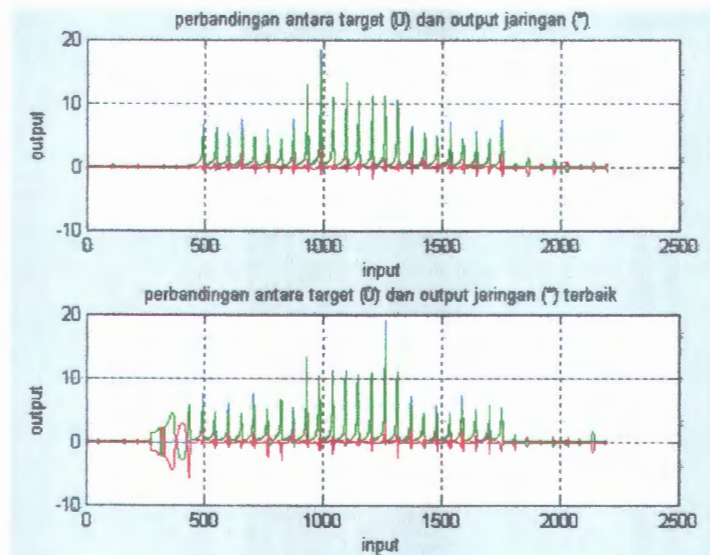
Dari hasil pembelajaran dan uji coba model *artificial neural network* heaving didapatkan perbandingan antara target dan output jaringan dengan Mean Square Error (MSE) = $9,727E-5$.



Gambar 4.12, Perbandingan target dengan output jaringan heaving

❖ **Rolling**

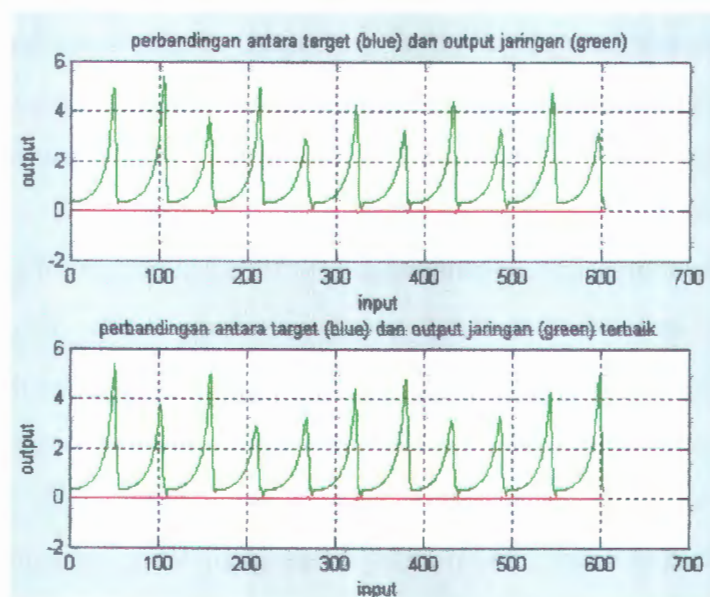
Dari hasil pembelajaran dan uji coba model *artificial neural network* rolling didapatkan perbandingan antara target dan output jaringan dengan Mean Square Error (MSE) = $9,961E-7$



Gambar 4.13, Perbandingan antara target dan output jaringan rolling

❖ **Pitching**

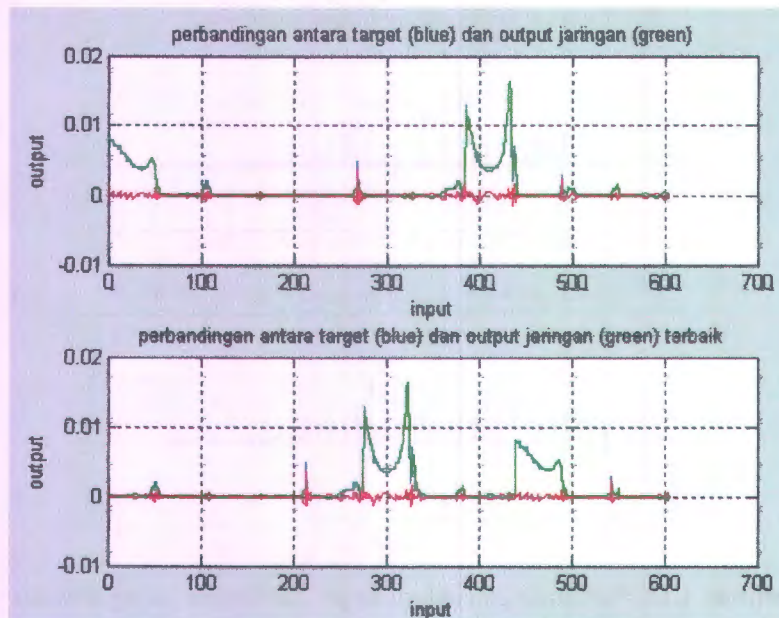
Dari hasil pembelajaran dan uji coba model *artificial neural network* pitching didapatkan perbandingan antara target dan output jaringan dengan Mean Square Error (MSE) = $9,977E-5$



Gambar 4.14, Perbandingan antara target dan output jaringan pitching

❖ Yawing

Dari hasil pembelajaran dan uji coba model *artificial neural network* yawing didapatkan perbandingan antara target dan output jaringan dengan Mean Square Error (MSE) = 9,954E-8



Gambar 4.15, Perbandingan target dengan output jaringan Yawing

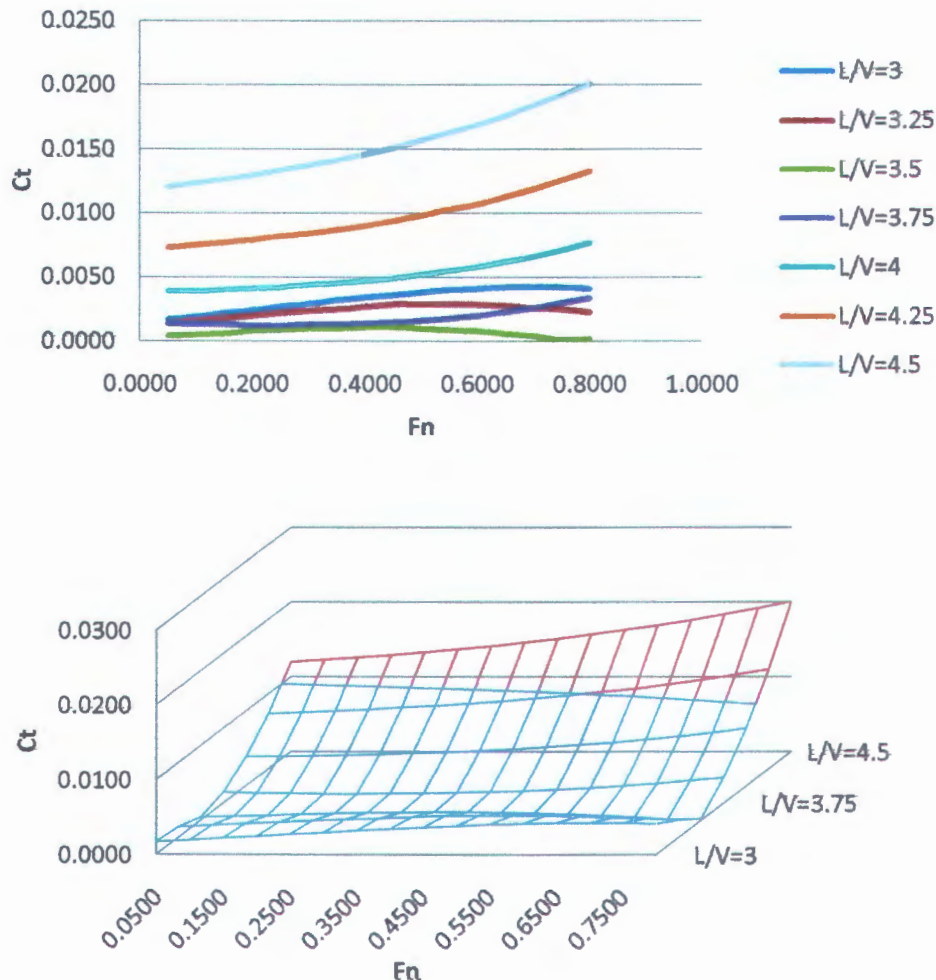
4.3 Hubungan Parameter Bentuk Terhadap Tahanan

4.3.1 Parameter $L/\nabla^{1/3}$

$L/\nabla^{1/3}$ merupakan parameter bentuk kapal yang mendefinisikan kelangsingan bentuk badan kapal (*slimness*), untuk panjang tetap dengan Volume displasemen tinggi, maka akan memerlukan sudut masuk yang tinggi atau bentuk ujung-ujung kapal akan besar / tumpul. Kelangsingan bentuk kapal mempengaruhi karakteristik tahanan dan olah gerak kapal.

Dengan memvariasikan parameter $L/\nabla^{1/3}$ dan mengkonstantakan parameter L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , disini terlihat bahwa pengaruh $L/\nabla^{1/3}$ terhadap koefisien tahanan total (C_t) secara umum memberikan pengaruh positif, ini artinya semakin besar nilai $L/\nabla^{1/3}$ akan memberikan pengaruh meningkatnya nilai koefisien tahanan kapal, seperti terlihat pada gambar 4.16. Dari kondisi tersebut secara umum dapat diterangkan bahwa pengaruh parameter $L/\nabla^{1/3}$ terhadap tahanan kapal adalah dengan meningkatnya nilai $L/\nabla^{1/3}$ akan

meningkatkan besarnya tahanan kapal yang terjadi, atau dapat dikatakan bahwa semakin gemuk bentuk kapal maka semakin tinggi tahanannya.



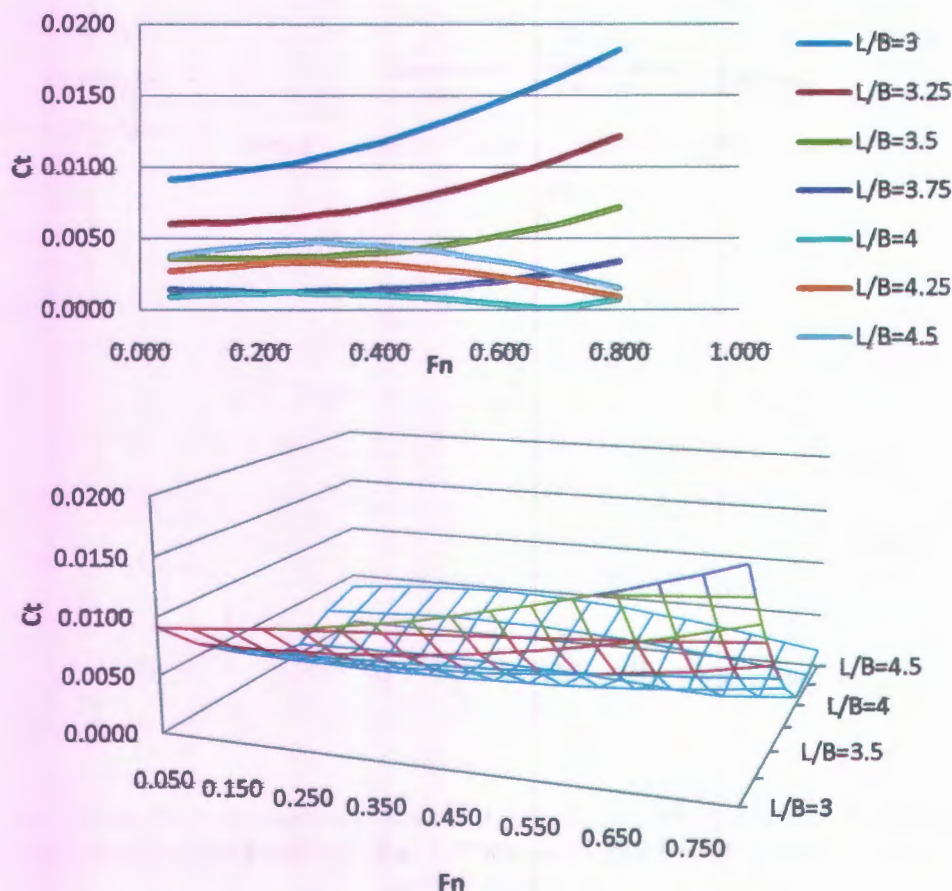
Gambar 4.16, Pemvariasian $L/\nabla^{1/3}$ *Supply Vessel* dengan $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Koefisien Tahanan

4.3.2 Parameter L/B

Meningkatkan panjang kapal (L) akan meningkatkan *frictional resistance* dan mengurangi *wave-making resistance*, untuk lebar yang tetap dengan meningkatkan panjang kapal, maka bentuk ujung-ujung kapal akan meruncing.

Dengan memvariasikan parameter L/B dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.17. pada gambar tersebut terlihat bahwa nilai parameter $L/B < 4$

mempunyai pengaruh negatif, yang artinya semakin besar nilai L/B akan mengecilkan koefisien tahanan. Sedangkan pada $L/B > 4$ mempunyai pengaruh positif, yang artinya besarnya nilai L/B akan memberikan pengaruh meningkatnya nilai koefisien tahanan kapal. Pengaruh parameter L/B terhadap tahanan kapal secara umum dapat dikatakan bahwa peningkatan nilai L/B akan mengurangi besarnya tahanan kapal, atau dapat dikatakan semakin ramping bentuk kapal (L/B yang tinggi) maka akan mengecil tahanan yang ditimbulkan.



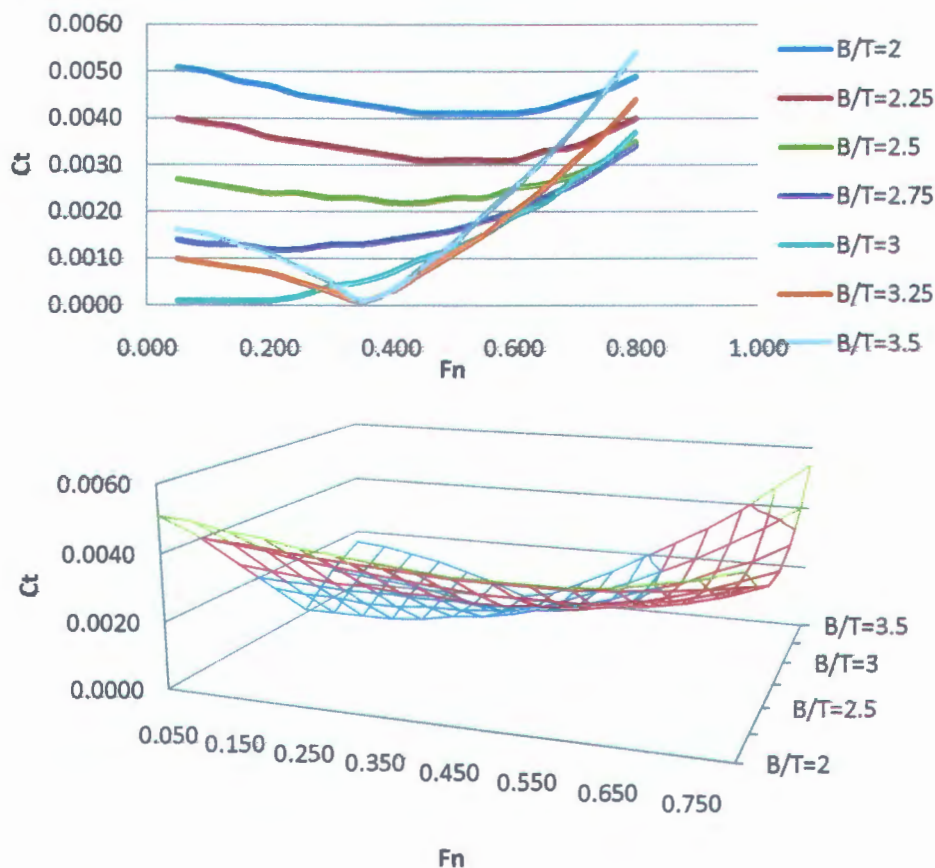
Gambar 4.17, Pemvariasian L/B Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Koefisien Tahanan

4.3.3 Parameter B/T

Pada rentang nilai rasio perbandingan lebar kapal dengan sarat kapal (B/T) yang normal, umumnya meningkatnya tahanan dengan peningkatan rasio perbandingan lebar kapal dengan sarat kapal (B/T). Ini dapat dijelaskan bahwa sudut ujung-ujung dari garis air akan meningkat dan menyebabkan besarnya

distribusi pada air. Dengan nilai yang sangat tinggi parameter B/T aliran disekitar kapal cenderung *vertical plan* bukan *horizontal*, ini bisa mengurangi tahanan kapal.

Dengan memvariasikan parameter B/T dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.18. pada gambar tersebut terlihat bahwa parameter $B/T > 3,25$ mempunyai pengaruh positif yang artinya semakin besar nilai B/T akan meningkatkan nilai koefisien tahanan sedangkan pada $B/T < 3,25$ negatif yang artinya semakin besar B/T akan mengecilkan nilai koefisien tahanan. Pada gambar tersebut terlihat bahwa pada $B/T > 2,75$ dengan meningkatnya kecepatan kapal maka akan meningkat tahananya, dapat dikatakan bahwa pada area tersebut kapal akan mendapatkan tahanan yang semakin besar dengan meningkatnya kecepatan kapal.

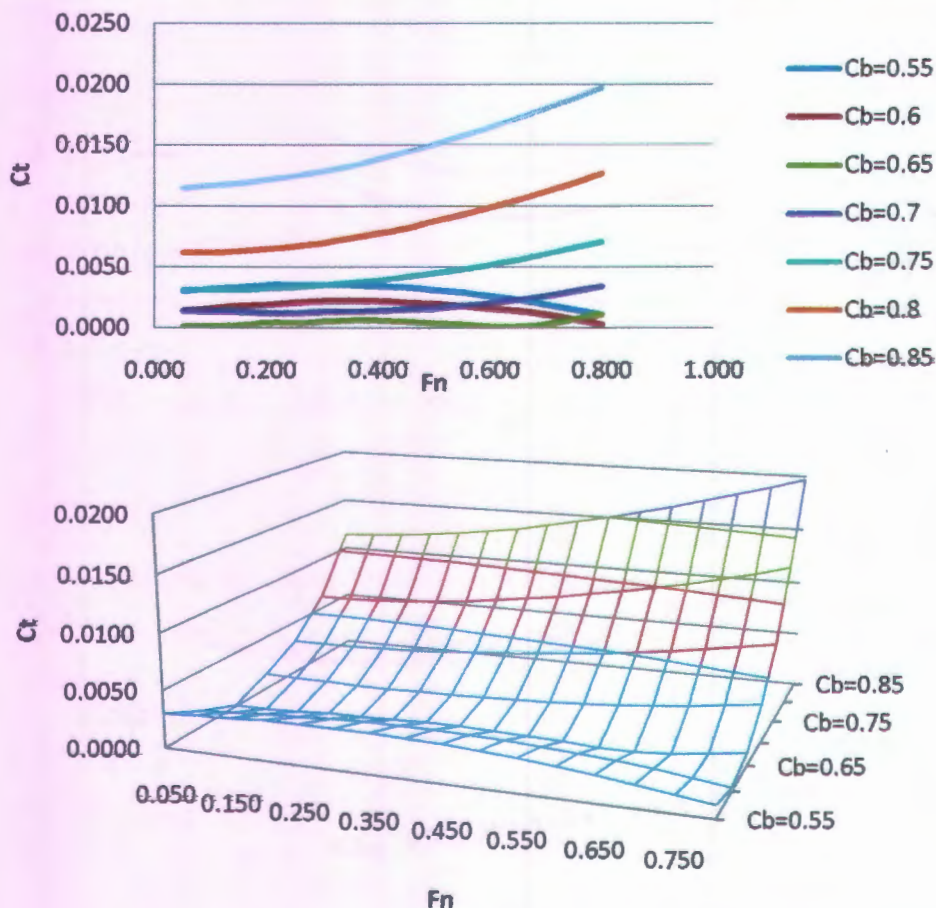


Gambar 4.18, Pemvariasian B/T Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Koefisien Tahanan

4.3.4 Parameter C_b

C_b merupakan parameter bentuk kapal yang mendefinisikan *fullness*, secara umum meningkatnya parameter bentuk C_b akan diikuti dengan meningkatnya tahanan kapal. Karena parameter C_b dapat mempresentasikan gemuk atau kurus bentuk kapal, besar C_b akan memperlihatkan kegemukan bentuk kapal dan cenderung kegemukan akan meningkatkan tahanan kapal.

Dengan memvariasikan parameter C_b dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.19. pada gambar tersebut terlihat bahwa parameter $C_b > 0,65$ mempunyai pengaruh positif dan $C_b < 0,65$ mempunyai pengaruh negatif. Pengaruh C_b terhadap tahanan kapal secara umum dapat dijelaskan bahwa semakin besar nilai C_b (bentuk kapal yang gemuk) akan memberikan tahanan kapal yang besar.

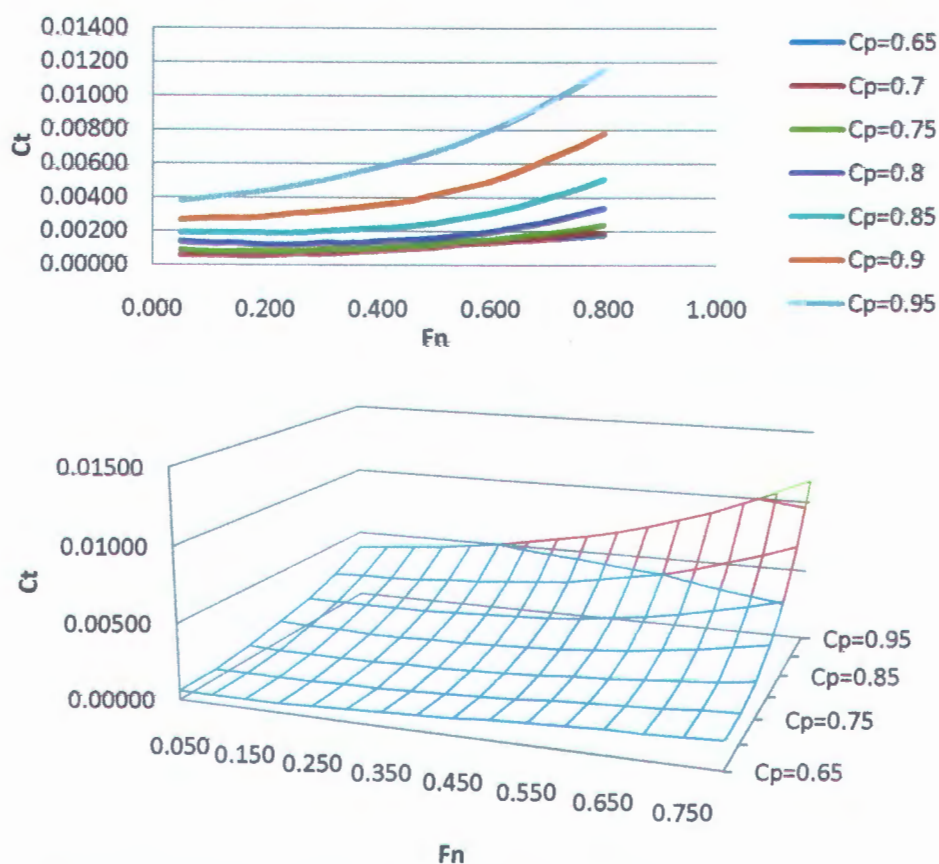


Gambar 4.19, Pemvariasian C_b Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Koefisien Tahanan

4.3.5 Parameter C_p

Hampir sama dengan C_b , C_p merupakan parameter bentuk kapal yang mendefinisikan *fullness*, secara umum meningkatnya parameter bentuk C_p akan diikuti dengan meningkatnya tahanan kapal. Karena parameter C_p dapat mempresentasikan gemuk atau kurus bentuk kapal, besar C_p akan memperlihatkan kegemukan bentuk kapal dan cenderung kegemukan akan meningkatkan tahanan kapal.

Dengan memvariasikan parameter C_p dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.20. pada gambar tersebut terlihat bahwa parameter C_p mempunyai pengaruh positif. Pengaruh C_p terhadap tahanan kapal secara umum dapat dijelaskan bahwa semakin besar nilai C_p (bentuk kapal yang gemuk) akan memberikan tahanan kapal yang besar.

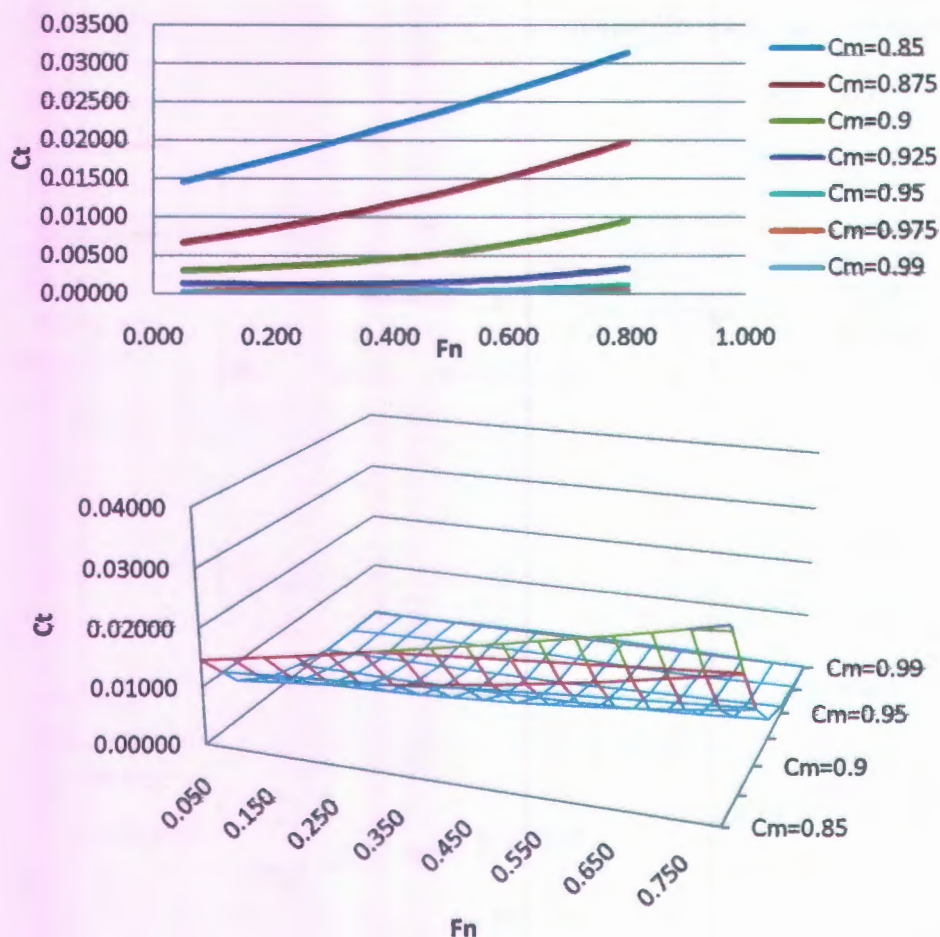


Gambar 4.20, Pemvariasian C_p Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Koefisien Tahanan

4.3.6 Parameter C_m

C_m adalah koefisien potongan melintang atau perbandingan antara luas potongan melintang badan kapal dengan luas persegi yang mengelilinginya. Secara umum parameter tersebut memperlihatkan bentuk tengah kapal, semakin besar parameter C_m semakin besar bentuk tengahnya.

Dengan memvariasikan parameter C_m dan mengkonstantakan parameter $L/V^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_p , C_{wp} , C_{cb}/L dan C_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.21. pada gambar tersebut terlihat bahwa parameter C_m mempunyai pengaruh negatif, dimana semakin besar nilai C_m akan mengurangi besarnya koefisien tahanan total kapal. Pengaruh C_m terhadap tahanan kapal secara umum dapat dijelaskan bahwa semakin besar nilai C_m akan memberikan tahanan kapal mengecil.

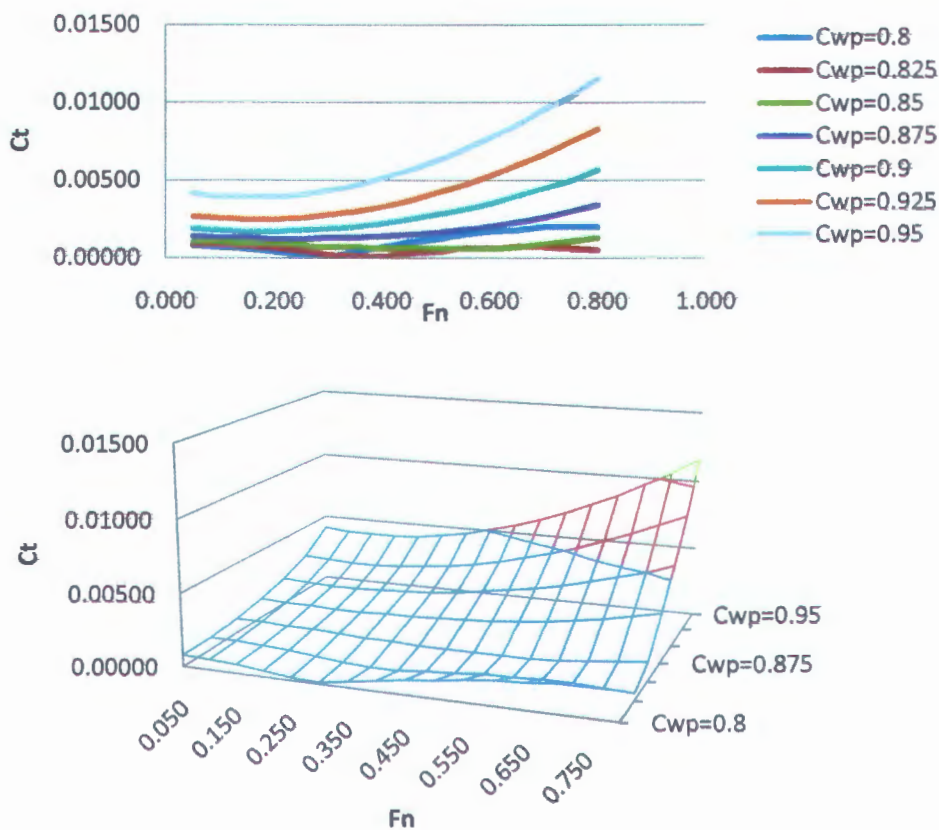


Gambar 4.21, Pemvariasian C_m Supply Vessel dengan $L/V^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_{wp}=0,875$; $C_{cb}/L=0,5$ dan $C_{cf}/L=0,5$ terhadap Koefisien Tahanan

4.3.7 Parameter C_{wp}

C_{wp} adalah koefisien potongan garis air atau perbandingan antara luas garis air dengan luas persegi yang mengelilinginya. Secara umum parameter tersebut memperlihatkan bentuk pada garis airnya, semakin besar parameter C_{wp} semakin besar bentuk garis air, dan kecenderungan bentuk ujung garis air akan besar. Hal ini ada kemungkinan menimbulkan *wave-making resistance*.

Dengan memvariasikan parameter C_{wp} dan mengkonstantakan parameter $L/\sqrt{V}^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.22. pada gambar tersebut terlihat bahwa parameter C_{wp} mempunyai pengaruh positif, yang artinya semakin besar nilai C_{wp} akan memberikan pengaruh meningkatnya nilai koefisien tahanan kapal. hal ini dapat dikatakan bahwa semakin besar luas permukaan air akan memberikan tahanan yang semakin besar dan ada kecenderungan semakin besar kecepatan maka akan meningkat tahanannya.

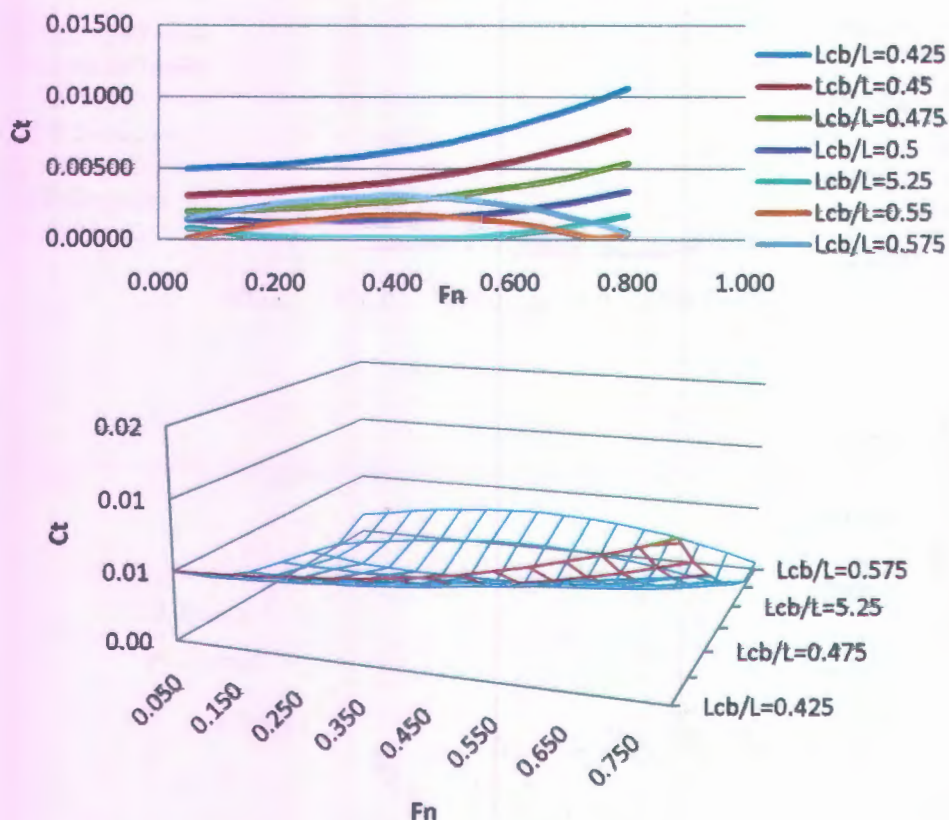


Gambar 4.22, Pemvariasian C_{wp} Supply Vessel dengan $L/\sqrt{V}^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Koefisien Tahanan

4.3.8 Parameter L_{cb}/L

Parameter L_{cb}/L merupakan parameter yang memperlihatkan letak titik pusat apung kapal terhadap panjang kapal. Terhadap bentuk kapal, titik pusat apung tersebut mempengaruhi bentuk depan dan belakang kapal. Apabila letak titik pusat apung di depan *midship* ($L_{cb}/L > 0,5$) maka bentuk bagian depan kapal lebih besar dari bagian belakang kapal. Sebaliknya jika $L_{cb}/L < 0,5$ maka bentuk belakang akan lebih besar dari bentuk bagian depan. Hal ini akan mempengaruhi tahanan kapal.

Dengan memvariasikan parameter L_{cb}/L dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.23. pada gambar tersebut terlihat parameter $L_{cb}/L < 0.55$ mempunyai pengaruh negatif. Sedangkan pada $L_{cb}/L > 0.55$ mempunyai pengaruh positif. Pengaruh L_{cb}/L terhadap tahanan kapal secara umum adalah semakin besar nilai L_{cb}/L maka semakin besar nilai koefisien tahanan kapal.

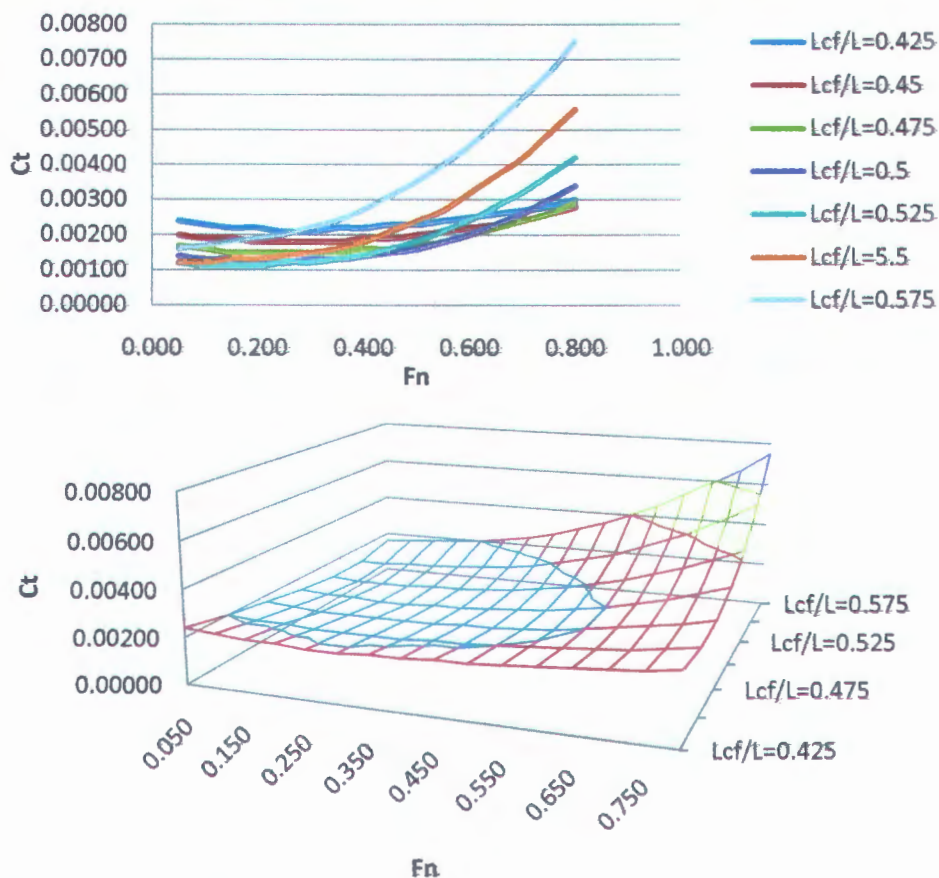


Gambar 4.23, Pemvariasian L_{cb}/L Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Koefisien Tahanan

4.3.9 Parameter L_{cf}/L

Parameter L_{cf}/L merupakan parameter yang memperlihatkan letak titik pusat garis air terhadap panjang kapal. Terhadap bentuk kapal, titik pusat garis air tersebut mempengaruhi bentuk garis air bagian depan dan belakang kapal. Apabila letak titik pusat apung di depan *midship* ($L_{cb}/L > 0,5$) maka bentuk bagian depan kapal lebih besar dari bagian belakang kapal. Sebaliknya jika $L_{cb}/L < 0,5$ maka bentuk belakang akan lebih besar dari bentuk bagian depan.

Dengan memvariasikan parameter L_{cf}/L dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , dan L_{cb}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar-4.22. pada gambar tersebut terlihat bahwa parameter L_{cf}/L mempunyai pengaruh positif. Pengaruh L_{cf}/L terhadap tahanan kapal secara umum adalah semakin besar nilai L_{cf}/L maka semakin besar nilai koefisien tahanan kapal



Gambar 4.24. Pemvariasian L_{cf}/L Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$ dan $L_{cb}/L=0,5$ terhadap Koefisien Tahanan

4.4 Parameter Bentuk Terhadap Olah Gerak (*Seakeeping*)

Secara umum ini hal yang sulit untuk menentukan pengaruh bentuk kapal terhadap olah gerak kapal (*seakeeping*), karena merubah satu parameter untuk menggerakkan titik pusat dari gaya apung selalu berubah lainnya. Serangkaian data series harus di kosultasikan kemungkinannya, tapi terminology umum dapat diberikan bahwa: peningkatan ukuran akan mengurangi gerak kapal, peningkatan panjang kapal akan mengurangi kemungkinan gelombang yang cukup panjang menjadi resonansi, *bulbous bow* dapat mengurangi gerak pada gelombang yang pendek tapi meningkatkan gerak pada gelombang yang panjang.

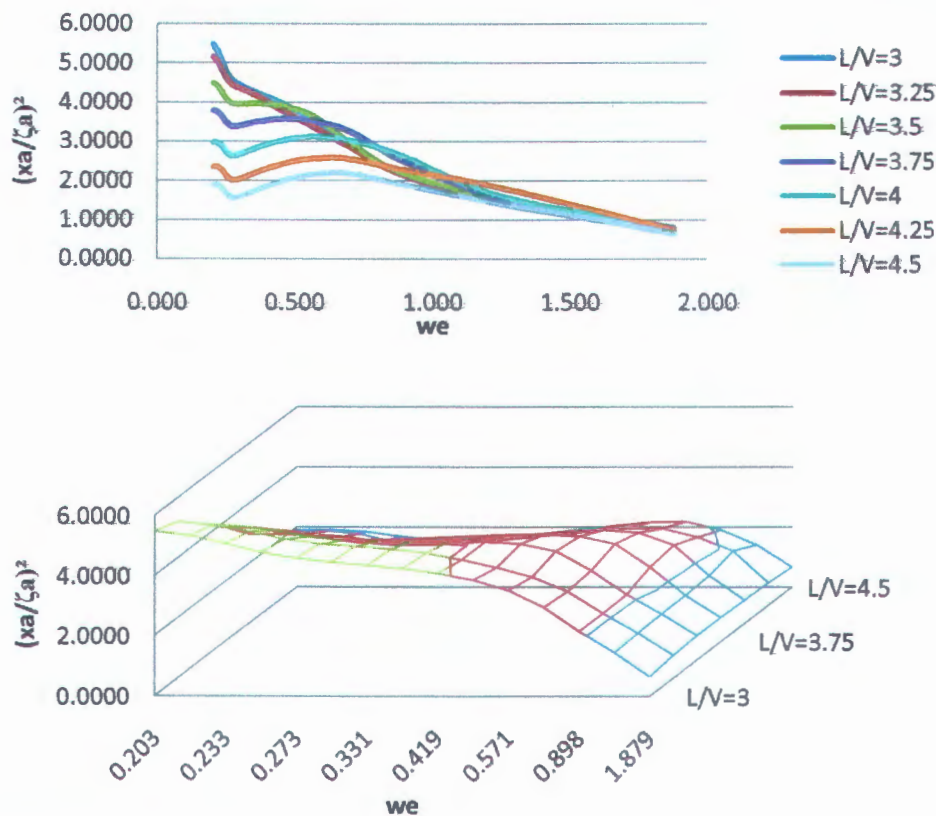
Karena merubah bentuk kapal akan dapat memberikan efek kebalikan pada kondisi gelombang yang berbedah, dan tipe laut adalah bentukan dari beberapa gelombang, hasilnya sering sedikit berubah. Untuk bentuk yang konvensional akan mudah ditemukan. Secara keseluruhan olah gerak kapal di gelombang sedikit sekali dipengaruhi oleh variasi dari parameter utama bentuk badan kapal.

4.4.1 Gerak *Surging*

❖ Parameter $L/\nabla^{1/3}$

Parameter $L/\nabla^{1/3}$ adalah parameter bentuk badan kapal yang mendefinisikan kelangsingan bentuk badan kapal. secara umum dapat diartikan bahwa semakin kecil rasio kelangsingan ($L/\nabla^{1/3}$) maka bentuk badan kapal kelihatan gemuk/besar, dan sebaliknya semakin besar rasio kelangsingan ($L/\nabla^{1/3}$) maka bentuk badan kapal akan kelihatan langsing/kurus.

Dengan memvariasikan parameter $L/\nabla^{1/3}$ dan mengkonstantakan parameter L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , pada gambar 4.25, pengaruh $L/\nabla^{1/3}$ terhadap respon amplitude gerak *surging* adalah negatif artinya semakin besar nilai $L/\nabla^{1/3}$ maka respon amplitude operatornya semakin besar dan ini terjadi pada *wave encountering* < 1 sedangkan pada area *wave encountering* > 1 relatif sama. Dengan kondisi tersebut gerak translasi kearah sumbu x (*surging*) akan semakin mengecil jika rasio kelangsingan kapal $L/\nabla^{1/3}$ besar, atau dapat dikatakan bahwa semakin langsing bentuk kapal ($L/\nabla^{1/3}$ besar) maka respon amplitudo yang ditimbulkan akan mengecil.

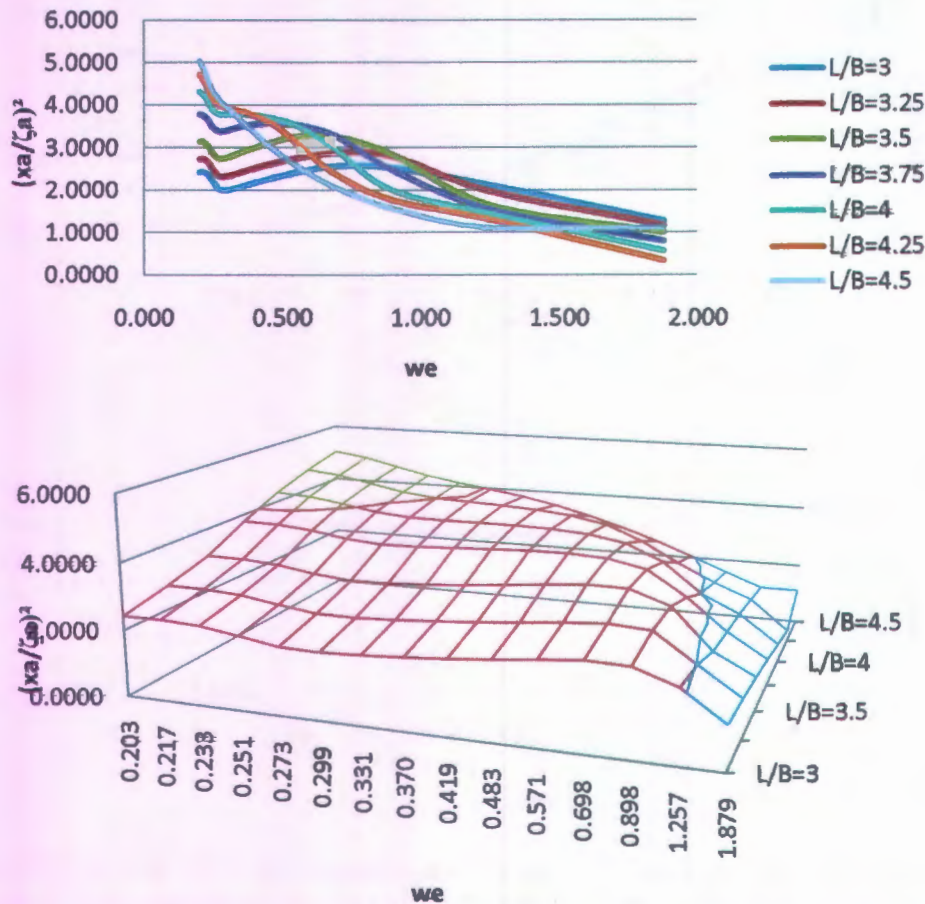


Gambar 4.25, Pemvariasian $L/V^{1/3}$ *Supply Vessel* dengan $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak *Surging*

❖ Parameter L/B

L/B adalah parameter bentuk badan kapal yang memperlihatkan perbandingan antara panjang kapal dan lebar kapal. Untuk lebar yang tetap dengan meningkatkan panjang kapal, maka bentuk badan kapal bagian ujung-ujung kapal akan meruncing.

Dengan memvariasikan parameter L/B dan mengkonstantakan parameter $L/V^{1/3}$, B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan seperti pada gambar 4.26. dari gambar terlihat secara umum L/B memberi pengaruh positif dan negatif tergantung (we) *wave encountering*. Dengan kondisi tersebut dapat dikatakan besarnya gerak translasi ke arah sumbu x (*surging*) tergantung we , pada $we > 1$ semakin besar L/B semakin mengecil respon amplitudo yang terjadi, sedangkan pada $we < 1$ besarnya respon amplitudo pada tiap (we) *wave encountering* itu berbedah pada saat tertentu semakin besar L/B semakin besar respon yang terjadi sedangkan pada (we) *wave encountering* yang lain makin mengecil.

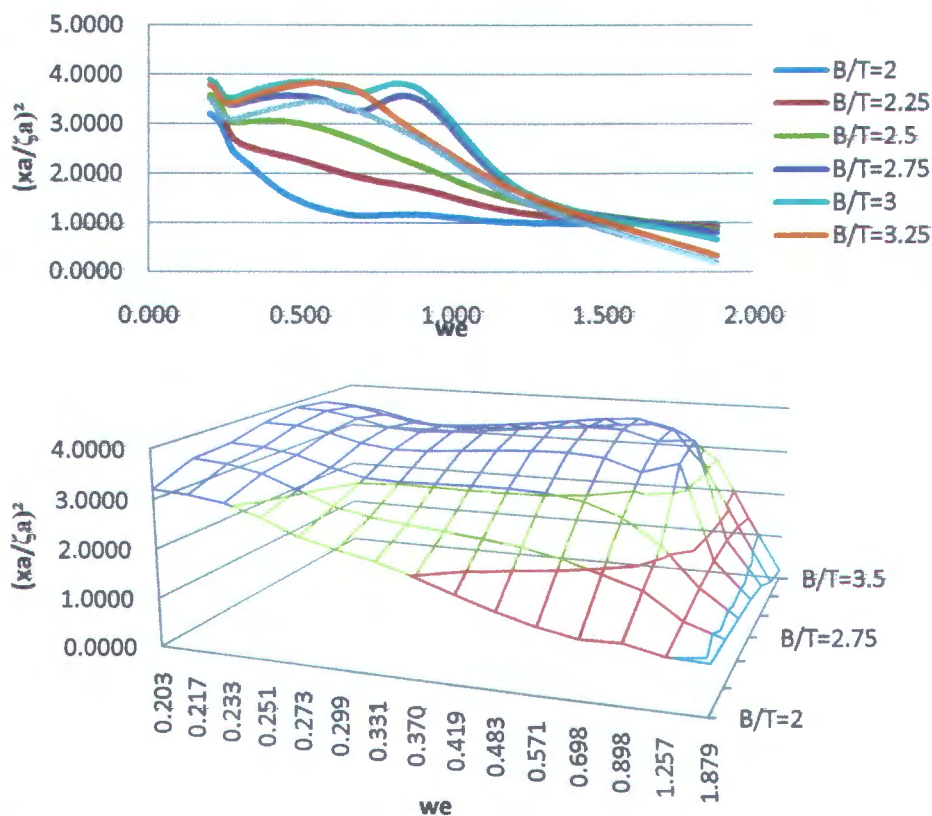


Gambar 4.26. Pemvariasian L/B Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak *Surging*

❖ Parameter B/T

B/T adalah parameter bentuk badan kapal yang memperlihatkan perbandingan antara lebar kapal dengan tinggi sarat kapal. Untuk lebar kapal yang tetap dengan meningkatnya tinggi sarat kapal maka rasio B/T akan mengecil.

Dengan memvariasikan parameter B/T dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.27. Pada gambar tersebut terlihat bahwa pengaruh parameter B/T terhadap respon amplitudo gerak *surging* mempunyai pengaruh positif. Dengan kondisi tersebut maka gerak translasi ke arah sumbu x (*surging*) akan semakin besar jika rasio B/T semakin besar, ini berarti dengan lebar yang konstan semakin besar sarat kapal maka respon amplitudo gerak *surging* semakin kecil atau dapat dikatakan dengan sarat konstan maka semakin lebar bentuk kapal maka gerak *surging* akan semakin besar.

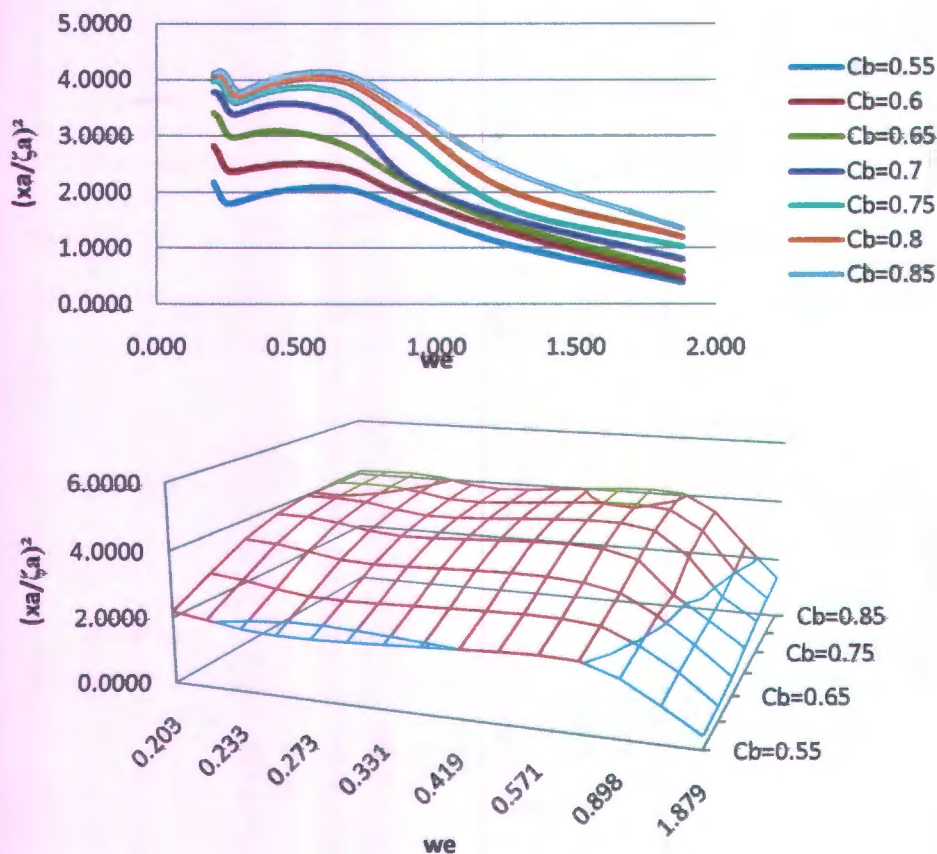


Gambar 4.27. Pemvariasian B/T Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Surging

❖ Parameter C_b

C_b adalah merupakan parameter bentuk kapal yang mendefinisikan *fullness* dari bentuk kapal. C_b sendiri merupakan salah satu koefisien bentuk badan kapal yang memperlihatkan besar dan kecilnya suatu bentuk badan kapal, kecilnya nilai C_b akan memperlihatkan kurusnya bentuk kapal, begitu pula sebaliknya tingginya nilai C_b memperlihatkan gemuknya badan kapal.

Dengan memvariasikan parameter C_b dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.28. pada gambar tersebut terlihat bahwa parameter C_b mempunyai pengaruh positif, dengan demikian semakin besar bentuk kapal (gemuk /nilai C_b besar) maka akan meningkatkan besarnya respon amplitude gerak surging *supply vessel*, ini berarti bentuk badan *supply vessel* yang gemuk (C_b besar) maka akan menimbulkan respon amplitude gerak *surging* yang besar.

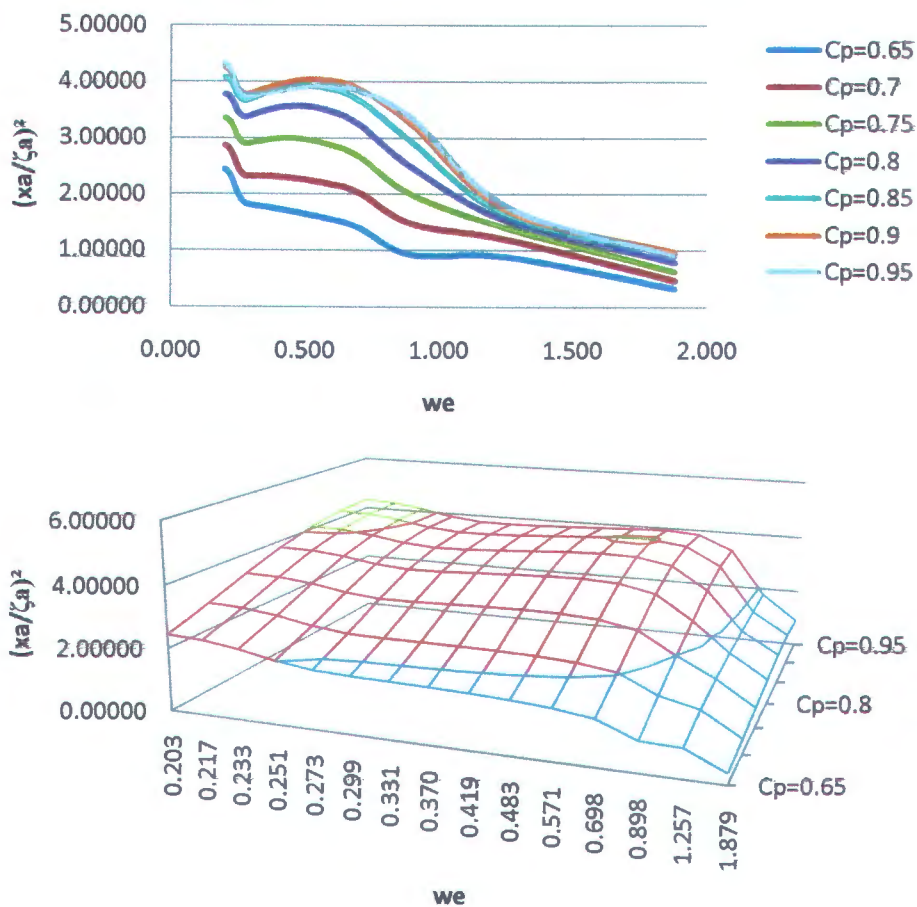


Gambar 4.28. Pemvariasian C_b Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Surging

❖ Parameter C_p

Sama dengan C_b , C_p adalah merupakan parameter bentuk kapal yang mendefinisikan *fullness* dari bentuk kapal. C_p sendiri merupakan salah satu koefisien bentuk badan kapal yang memperlihatkan besar dan kecilnya suatu bentuk badan kapal, kecilnya nilai C_p akan memperlihatkan kurusnya bentuk kapal, begitu pula sebaliknya tingginya nilai C_p memperlihatkan gemuknya badan kapal

Dengan memvariasikan parameter C_p dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar-4.27. pada gambar tersebut terlihat bahwa parameter C_p mempunyai pengaruh positif, dimana semakin besar nilai C_p akan meningkatkan besarnya respon amplitude gerak surging *supply vessel*, ini berarti bentuk badan *supply vessel* yang gemuk (C_p besar) maka akan menimbulkan respon amplitude gerak *surging* yang besar.

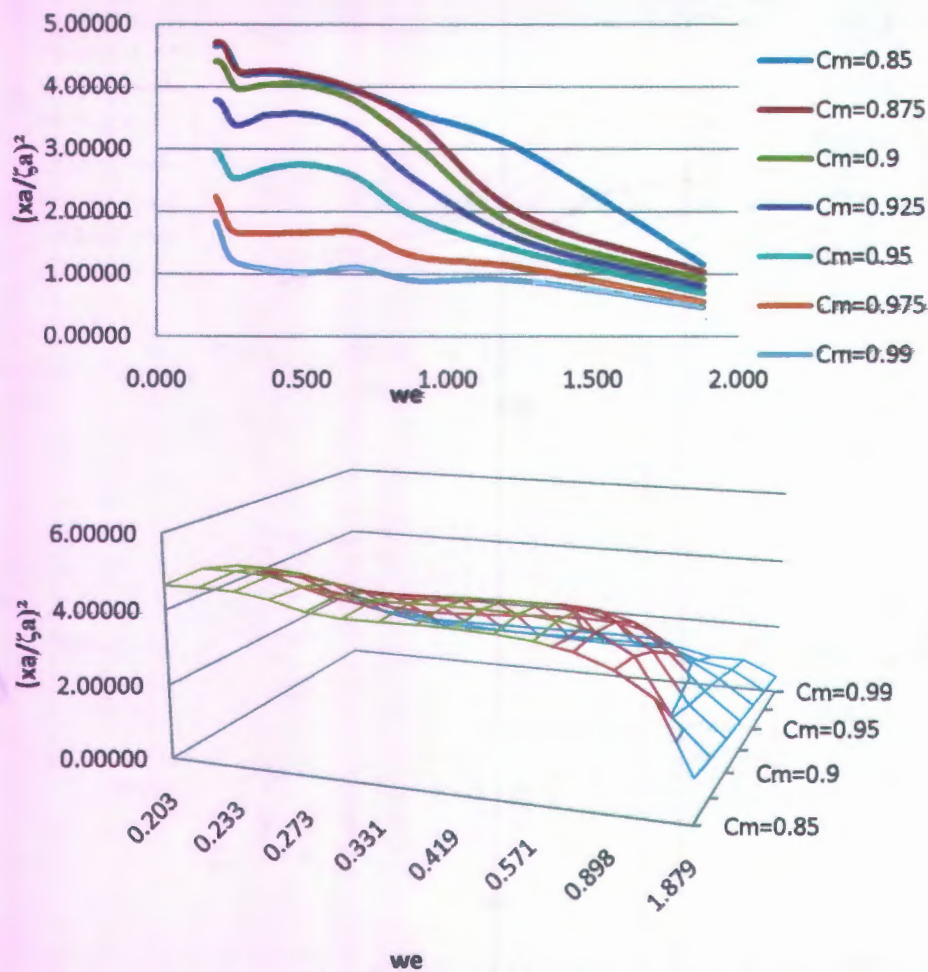


Gambar 4.29, Pemvariasian C_p Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Surging

❖ Parameter C_m

C_m adalah koefisien bentuk kapal yang memperlihatkan bentuk potongan melintang bagian tengah kapal, besarnya nilai C_m akan memperlihatkan besarnya potongan melintang bagian tengah kapal.

Dengan memvariasikan parameter C_m dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.30. pada gambar tersebut terlihat bahwa parameter C_m mempunyai pengaruh negatif, dimana semakin besar nilai C_m akan mengurangi besarnya respon amplitude gerak surging *supply vessel*, ini berarti bentuk potongan melintang (C_m) badan *supply vessel* yang besar maka akan menimbulkan respon amplitude gerak *surging* yang kecil.

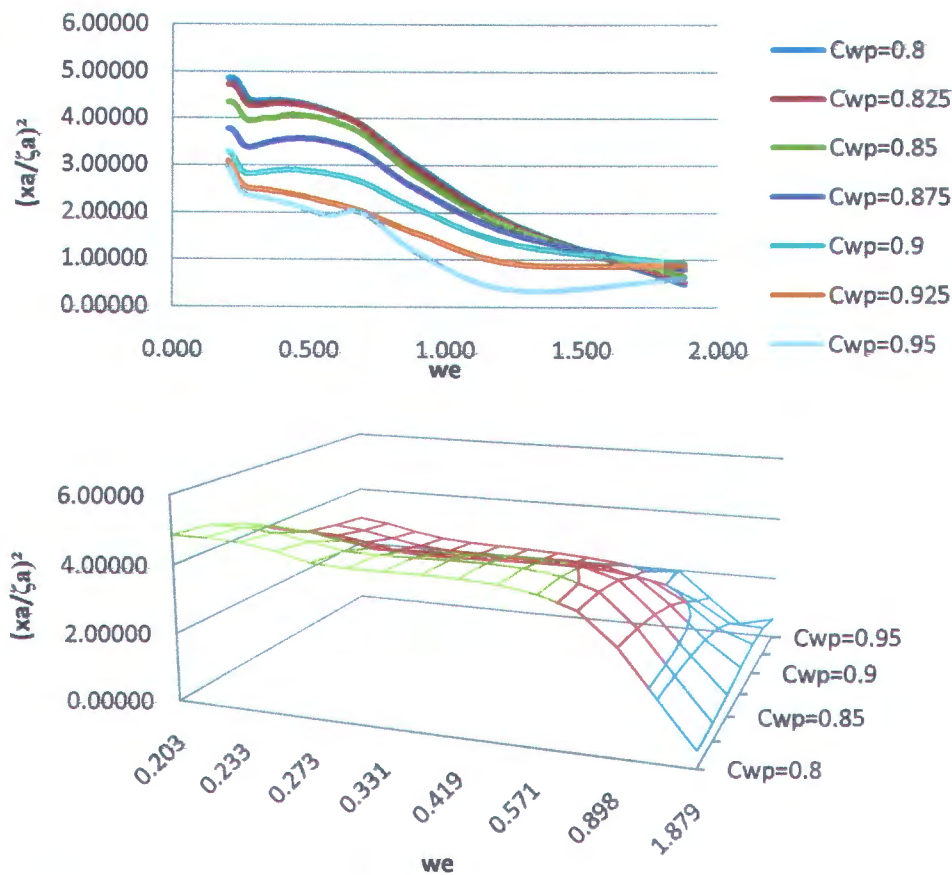


Gambar 4.30, Pemvariasian C_m Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Surging

❖ Parameter C_{wp}

C_{wp} adalah koefisien bentuk kapal yang memperlihatkan bentuk potongan memanjang bagian garis air kapal (sarat kapal). besarnya nilai C_{wp} akan memperlihatkan besarnya potongan bagian garis air kapal (sarat kapal).

Dengan memvariasikan parameter C_{wp} dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.31. pada gambar tersebut terlihat bahwa parameter C_{wp} mempunyai pengaruh negatif, dimana semakin besar nilai C_{wp} akan mengurangi besarnya respon amplitude gerak surging *supply vessel*, ini berarti semakin luas bidang garis dengan panjang dan lebar konstan (C_{wp} besar) maka akan menimbulkan respon amplitude gerak *surging* yang kecil.

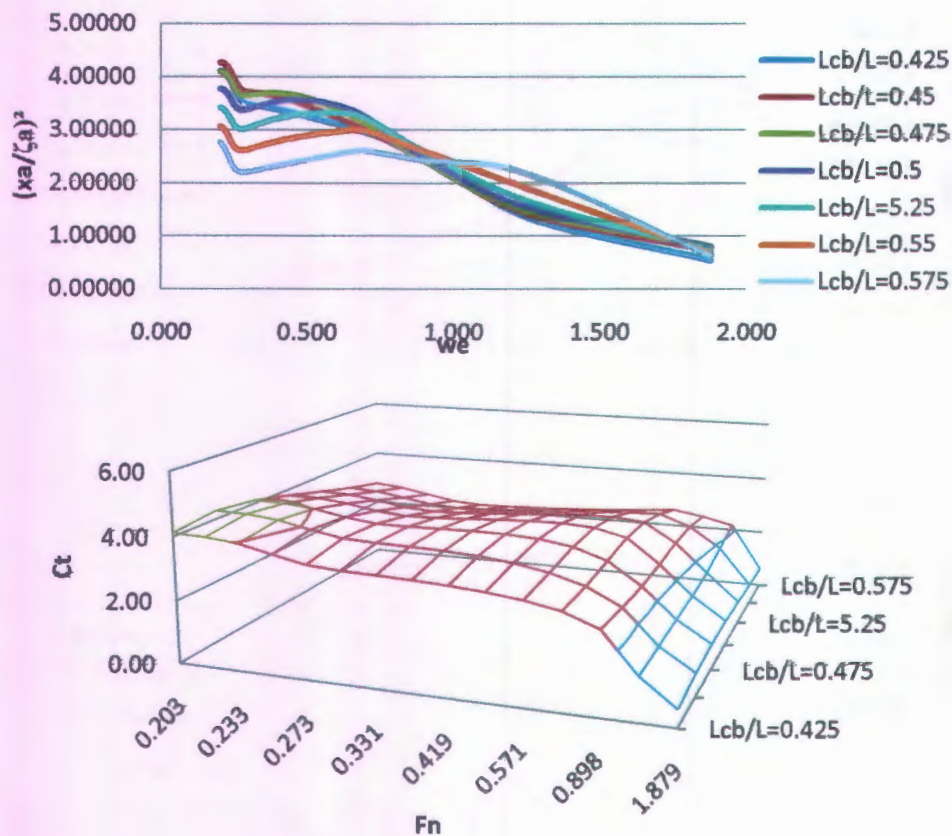


Gambar 4.31, Pemvariasian C_{wp} *Supply Vessel* dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak *Surging*

❖ Parameter L_{cb}/L

Parameter L_{cb}/L merupakan parameter yang memperlihatkan letak titik pusat apung kapal terhadap panjang kapal. Terhadap bentuk kapal, titik pusat apung tersebut mempengaruhi bentuk depan dan belakang kapal. Apabila letak titik pusat apung di depan *midship* ($L_{cb}/L > 0,5$) maka bentuk bagian depan kapal lebih besar dari bagian belakang kapal. Sebaliknya jika $L_{cb}/L < 0,5$ maka bentuk belakang akan lebih besar dari bentuk bagian depan.

Dengan memvariasikan parameter L_{cb}/L dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.32. pada gambar tersebut terlihat bahwa parameter L_{cb}/L mempunyai pengaruh negatif, dimana semakin besar nilai L_{cb}/L akan mengurangi besarnya respon amplitude gerak *surging supply vessel*, ini berarti semakin besar L_{cb}/L maka akan menimbulkan respon amplitude gerak *surging* yang kecil.

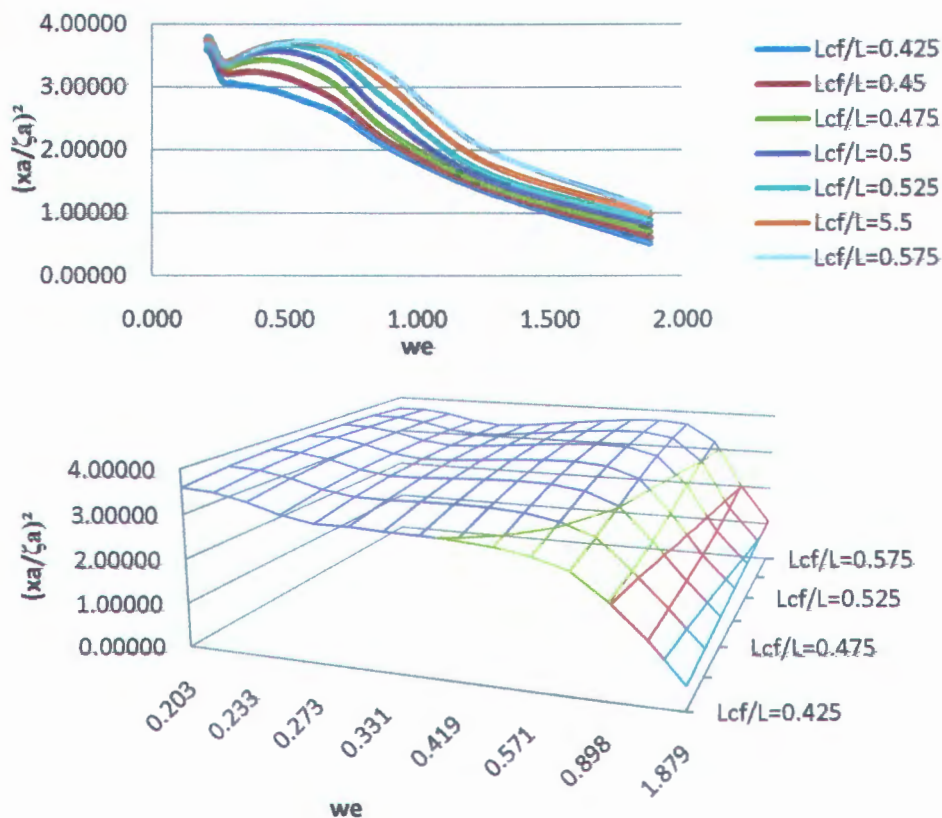


Gambar 4.32, Pemvariasian L_{cb}/L Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Surging

❖ Parameter L_{cf}/L

Parameter L_{cf}/L merupakan parameter yang memperlihatkan letak titik pusat garis air terhadap panjang kapal. Terhadap bentuk kapal, titik pusat garis air tersebut mempengaruhi bentuk garis air bagian depan dan belakang kapal. Apabila letak titik pusat apung di depan *midship* ($L_{cb}/L > 0,5$) maka bentuk bagian depan kapal lebih besar dari bagian belakang kapal. Sebaliknya jika $L_{cb}/L < 0,5$ maka bentuk belakang akan lebih besar dari bentuk bagian depan.

Dengan memvariasikan parameter L_{cf}/L dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , dan L_{cb}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar-4.31. pada gambar tersebut terlihat bahwa parameter L_{cf}/L mempunyai pengaruh positif, dimana semakin besar nilai L_{cf}/L akan besar respon amplitude gerak surging *supply vessel*, ini berarti semakin besar L_{cf}/L maka akan menimbulkan respon amplitude gerak *surging* yang besar.



Gambar 4.33, Pemvariasian L_{cb}/L Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak surging

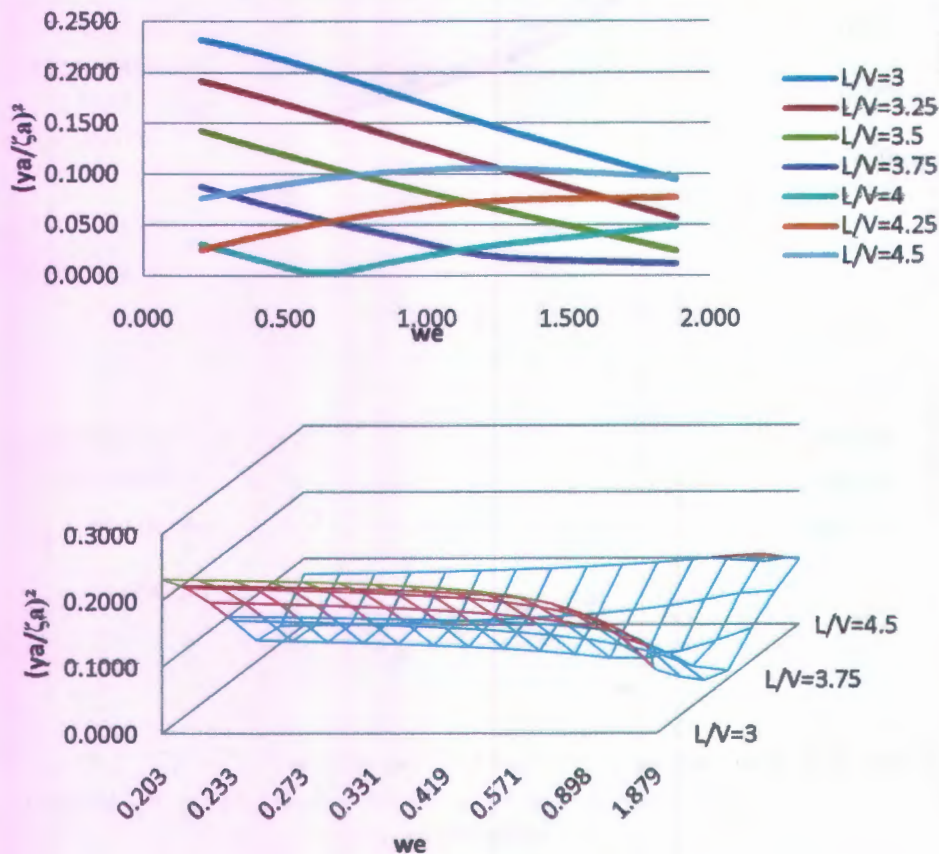
4.4.2 Gerak Swaying

❖ Parameter $L/\nabla^{1/3}$

Parameter $L/\nabla^{1/3}$ adalah parameter bentuk badan kapal yang mendefinisikan kelangsingan bentuk badan kapal. secara umum dapat diartikan bahwa semakin kecil rasio kelangsingan ($L/\nabla^{1/3}$) maka bentuk badan kapal kelihatan gemuk/besar, dan sebaliknya semakin besar rasio kelangsingan ($L/\nabla^{1/3}$) maka bentuk badan kapal akan kelihatan langsing/kurus.

Dengan memvariasikan parameter $L/\nabla^{1/3}$ dan mengkonstantakan parameter L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , pada gambar 4.34, pengaruh $L/\nabla^{1/3}$ terhadap respon amplitude gerak surging negatif pada $L/\nabla^{1/3} < 3,75$ sedangkan $L/\nabla^{1/3} > 3,75$ positif, ini berarti pengaruh kelangsingan bentuk badan kapal terhadap respon amplitude gerak swaying pada $L/\nabla^{1/3} < 3,75$ semakin besar $L/\nabla^{1/3}$

maka *respon amplitudo* yang terjadi akan mengecil sedangkan pada $L/\nabla^{1/3} > 3,75$ semakin besar $L/\nabla^{1/3}$ maka akan membesar *respon amplitudo* gerak *swaying*.

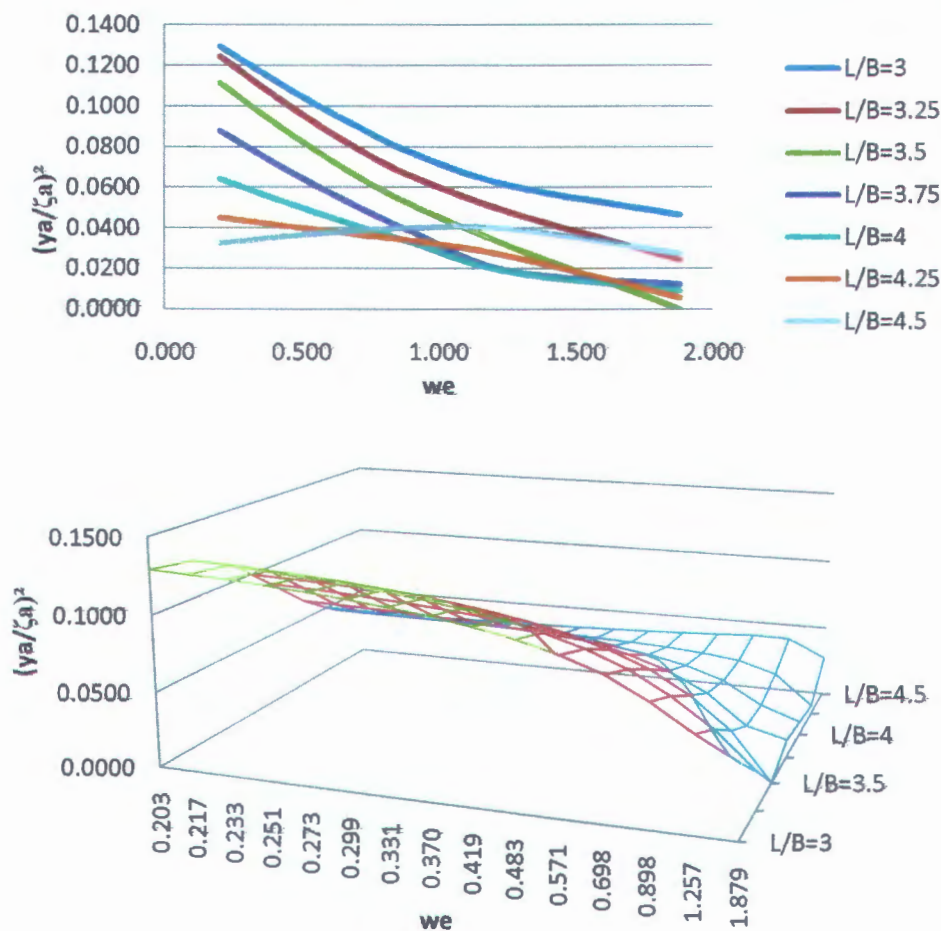


Gambar 4.34, Pemvariasian $L/\nabla^{1/3}$ *Supply Vessel* dengan $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak *Swaying*

❖ Parameter L/B

L/B adalah parameter bentuk badan kapal yang memperlihatkan perbandingan antara panjang kapal dan lebar kapal. untuk lebar yang tetap dengan meningkatkan panjang kapal, maka bentuk badan kapal bagian ujung-ujung kapal akan meruncing.

Dengan memvariasikan parameter L/B dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan seperti pada gambar-4.33. dari gambar terlihat L/B memberi pengaruh negatif pada $L/B < 4$ dan positif pada $L/B > 4$. Dengan kondisi tersebut maka gerak translasi kearah sumbu y (*swaying*) akan semakin kecil jika rasio L/B semakin besar pada $L/B < 4$ dan pada $L/B > 4$ akan besar gerak translasi kearah sumbu y jika rasio L/B semakin besar.

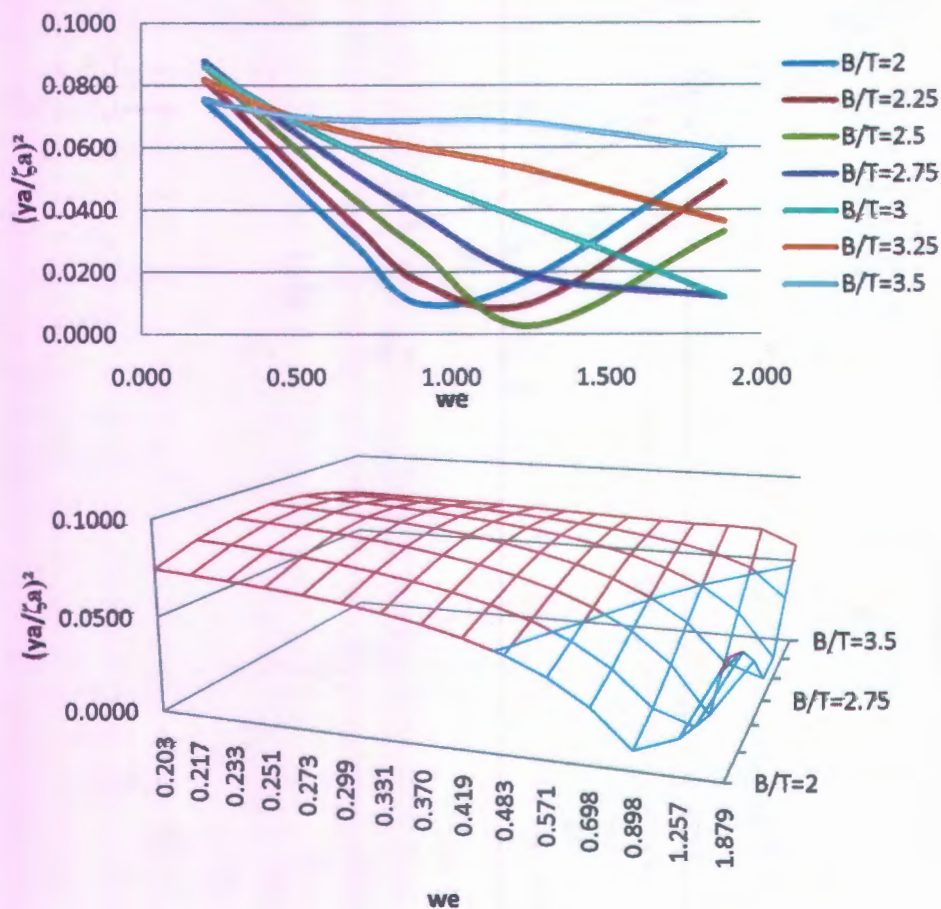


Gambar 4.35, Pemvariasian L/B Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak *Swaying*

❖ Parameter B/T

B/T adalah parameter bentuk badan kapal yang memperlihatkan perbandingan antara lebar kapal dengan tinggi sarat kapal. Untuk lebar kapal yang tetap dengan meningkatnya tinggi sarat kapal maka rasio B/T akan mengecil.

Dengan memvariasikan parameter B/T dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.36. Pada gambar tersebut terlihat bahwa parameter B/T mempunyai pengaruh positif. Dengan kondisi tersebut maka gerak translasi ke arah sumbu y (*swaying*) akan semakin besar jika rasio B/T tinggi, ini berarti dengan lebar yang konstan dan semakin besar sarat kapal maka respon amplitudo gerak *swaying* semakin kecil.

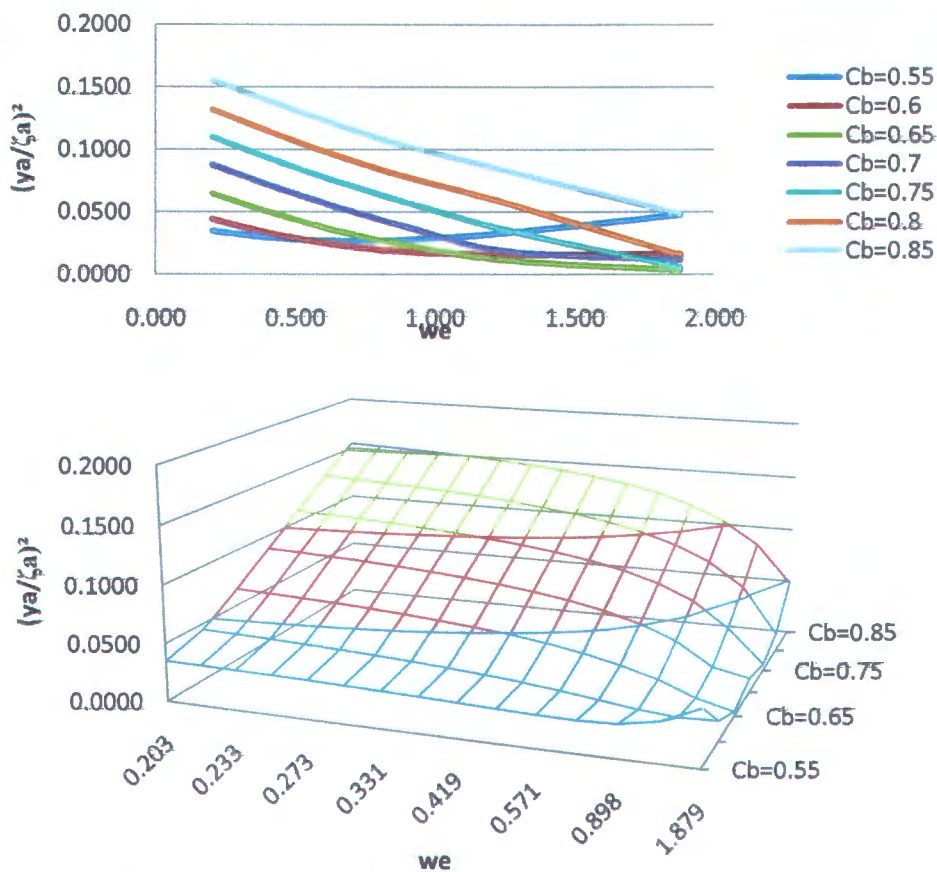


Gambar 4.36, Pemvariasian B/T Supply Vessel dengan $L/\sqrt{V}^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Swaying

❖ Parameter C_b

C_b adalah merupakan parameter bentuk kapal yang mendefinisikan *fullness* dari bentuk kapal. C_b sendiri merupakan salah satu koefisien bentuk badan kapal yang memperlihatkan besar dan kecilnya suatu bentuk badan kapal, kecilnya nilai C_b akan memperlihatkan kurusnya bentuk kapal, begitu pula sebaliknya tingginya nilai C_b memperlihatkan gemuknya badan kapal.

Dengan memvariasikan parameter C_b dan mengkonstantakan parameter $L/\sqrt{V}^{1/3}$, L/B , B/T , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.37. pada gambar tersebut terlihat bahwa parameter C_b mempunyai pengaruh positif, dimana semakin besar nilai C_b akan meningkatkan besarnya respon amplitude gerak *Swaying supply vessel*, ini berarti semakin gemuk bentuk badan kapal (C_b besar) maka *respon amplitude* yang terjadi akan semakin besar.

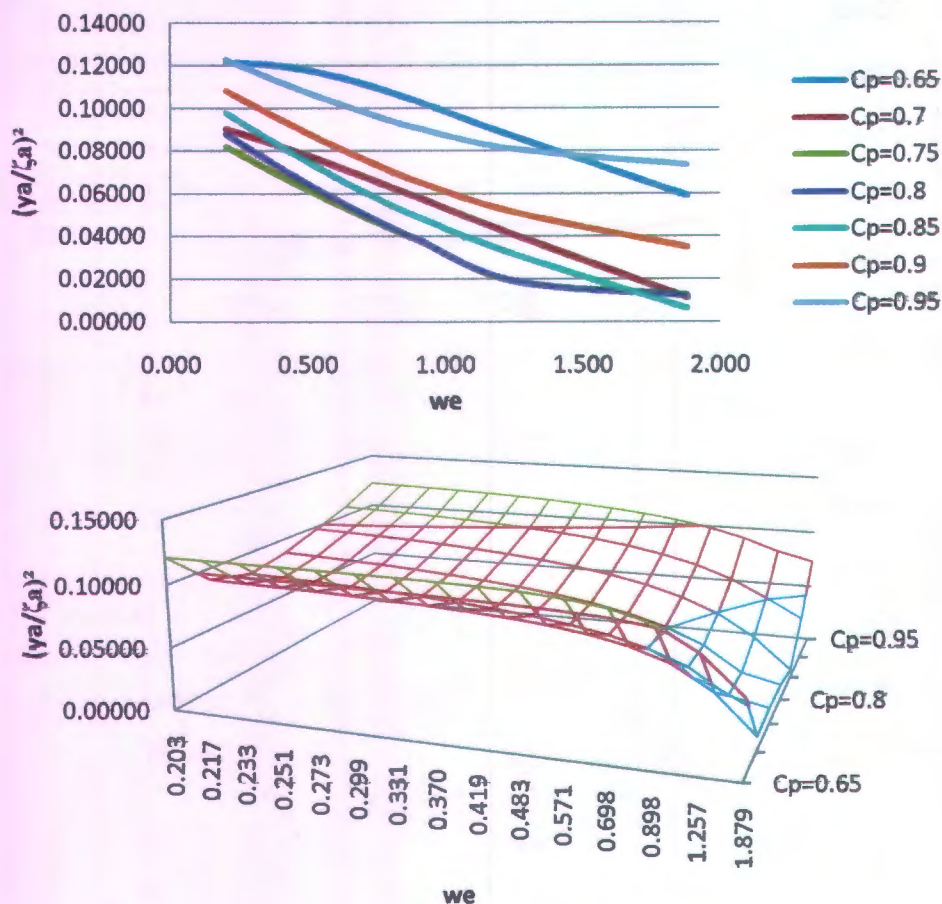


Gambar 4.37, Pemvariasian C_b Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak *swaying*

❖ Parameter C_p

Sama dengan C_b , C_p adalah merupakan parameter bentuk kapal yang mendefinisikan *fullness* dari bentuk kapal. C_p sendiri merupakan salah satu koefisien bentuk badan kapal yang memperlihatkan besar dan kecilnya suatu bentuk badan kapal, kecilnya nilai C_p akan memperlihatkan kurusnya bentuk kapal, begitu pula sebaliknya tingginya nilai C_p memperlihatkan gemuknya badan kapal

Dengan memvariasikan parameter C_p dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.38. pada gambar tersebut terlihat bahwa parameter C_p mempunyai pengaruh negatif pada $C_p < 0,75$ dan pada $C_p > 0,75$ pengaruh positif, ini berarti semakin gemuk bentuk kapal (C_p besar) pada $C_p < 0,75$ respon amplitude semakin kecil sedangkan pada $C_p > 0,75$ respon amplitude semakin besar.

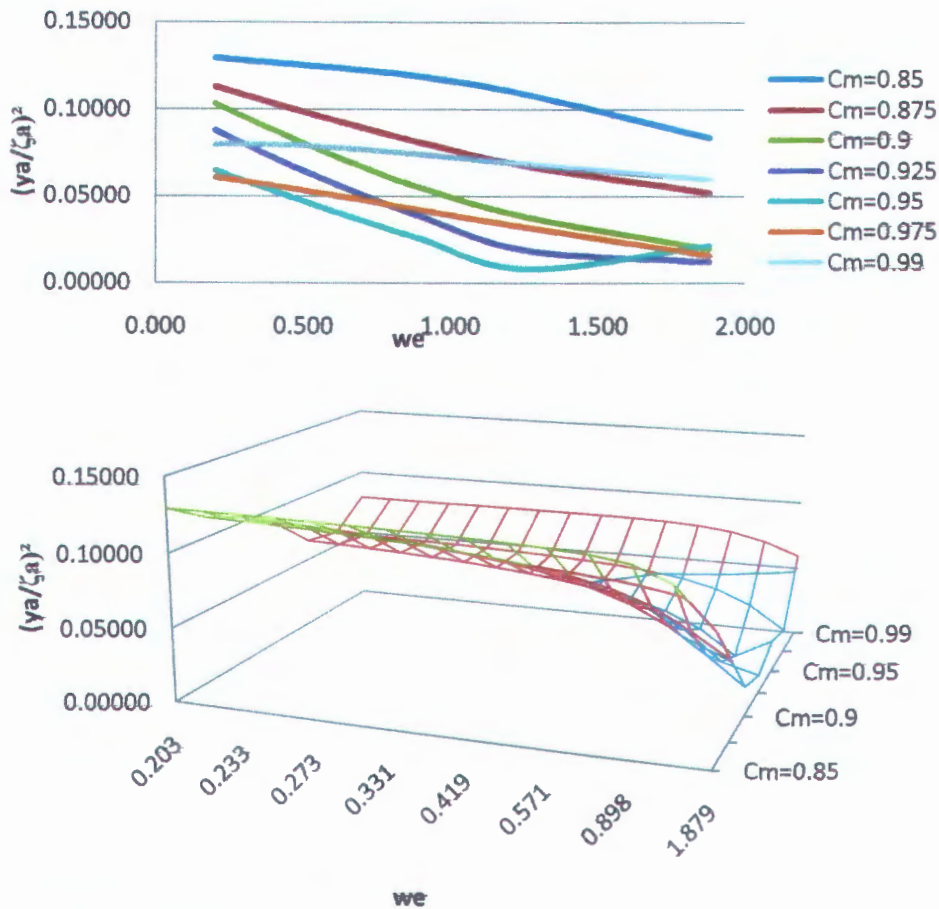


Gambar 4.38, Pemvariasian C_p Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Swaying

❖ Parameter C_m

C_m (Coefisien Midship) adalah koefisien bentuk kapal yang memperlihatkan bentuk potongan melintang bagian tengah kapal. besarnya nilai C_m akan memperlihatkan besarnya potongan melintang bagian tengah kapal.

Dengan memvariasikan parameter C_m dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.39. pada gambar tersebut terlihat bahwa parameter C_m mempunyai pengaruh negatif pada $C_m < 0,95$ dan pengaruh positif pada $C_m > 0,95$, dimana semakin besar nilai C_m akan mengurangi besarnya respon amplitude gerak swaying supply vessel pada $C_m < 0,95$ dan sebaliknya pada $C_m > 0,95$ nilai respon amplitude akan meningkat.

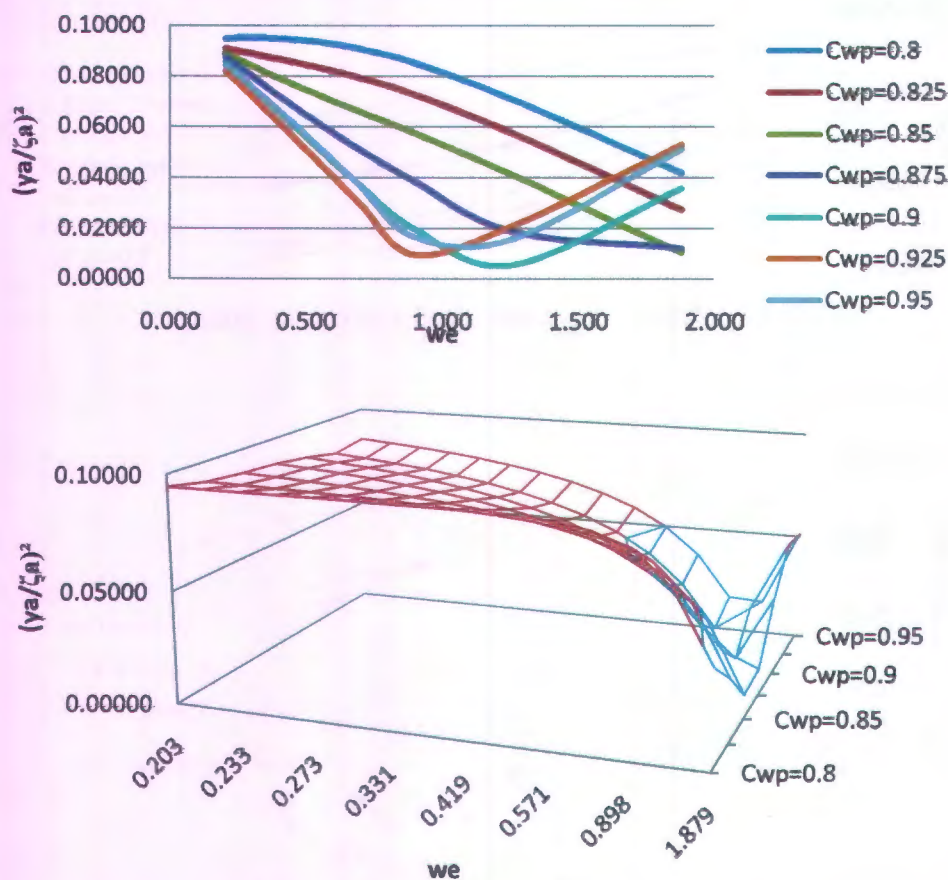


Gambar 4.39, Pemvariasian C_m Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Swaying

❖ Parameter C_{wp}

C_{wp} adalah koefisien bentuk kapal yang memperlihatkan bentuk potongan memanjang bagian garis air kapal (sarat kapal). besarnya nilai C_{wp} akan memperlihatkan besarnya potongan bagian garis air kapal (sarat kapal).

Dengan memvariasikan parameter C_{wp} dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.40 pada gambar tersebut terlihat bahwa parameter C_{wp} mempunyai pengaruh negatif, ini berarti semakin besar nilai C_{wp} akan mengurangi besarnya respon amplitude gerak *swaying supply vessel*, atau semakin luas bidang garis air dengan panjang dan lebar konstan maka respon amplitude gerak swaying akan mengecil dan pada we tertentu akan mengalami perubahan pola membesar pada $we > 1$.

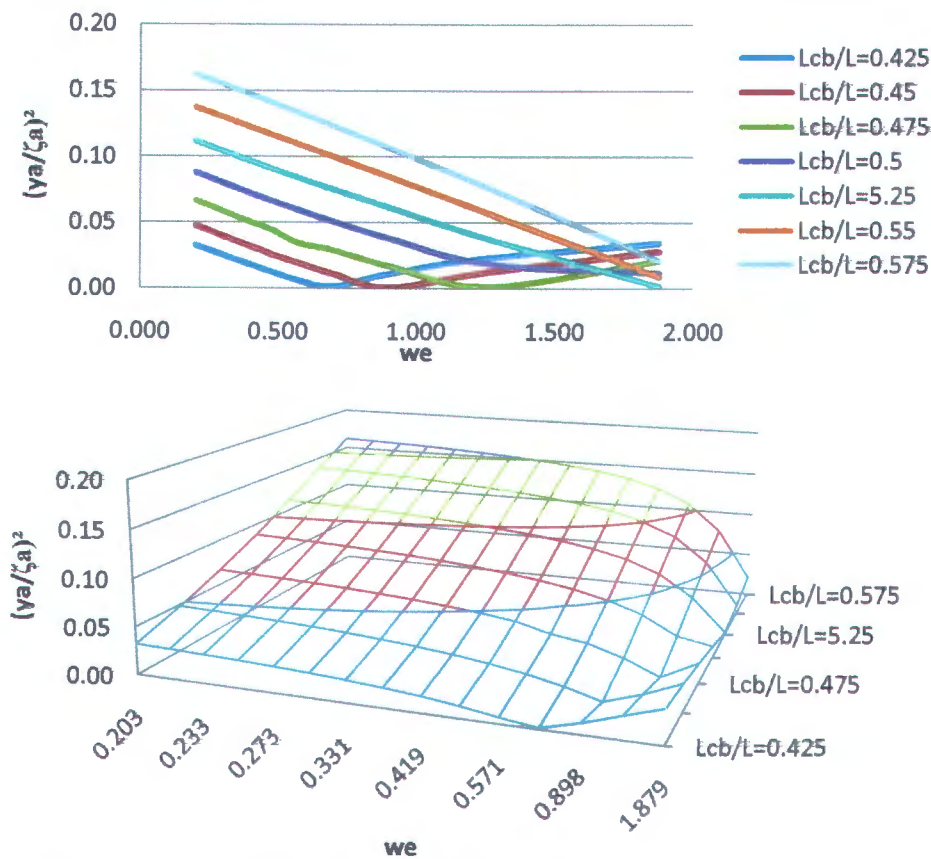


Gambar 4.40, Pemvariasian C_{wp} Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Swaying

❖ Parameter L_{cb}/L

Parameter L_{cb}/L merupakan parameter yang memperlihatkan letak titik pusat apung kapal terhadap panjang kapal. Terhadap bentuk kapal, titik pusat apung tersebut mempengaruhi bentuk depan dan belakang kapal. Apabila letak titik pusat apung di depan *midship* ($L_{cb}/L > 0,5$) maka bentuk bagian depan kapal lebih besar dari bagian belakang kapal. Sebaliknya jika $L_{cb}/L < 0,5$ maka bentuk belakang akan lebih besar dari bentuk bagian depan.

Dengan memvariasikan parameter L_{cb}/L dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.41. pada gambar tersebut terlihat parameter L_{cb}/L mempunyai pengaruh positif. dimana semakin besar nilai L_{cb}/L akan meningkatkan besarnya respon amplitude gerak *swaying supply vessel*.

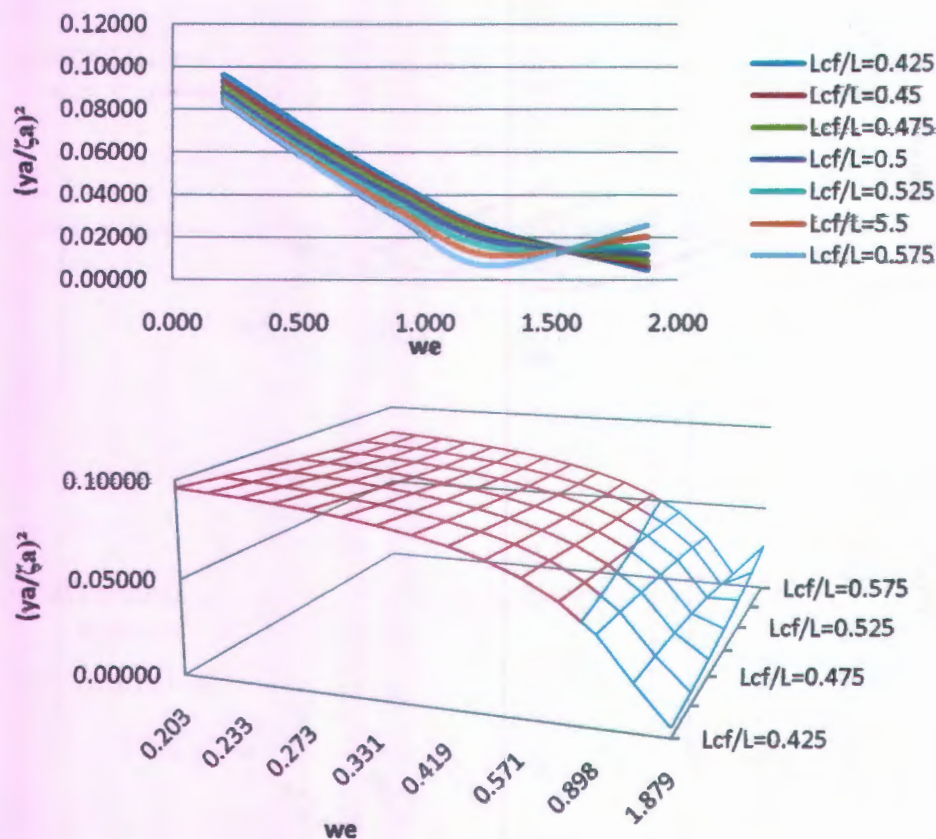


Gambar 4.41. Pemvariasian L_{cb}/L Supply Vessel dengan $L/\sqrt{V}^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Swaying

❖ Parameter L_{cf}/L

Parameter L_{cf}/L merupakan parameter yang memperlihatkan letak titik pusat garis air terhadap panjang kapal. Terhadap bentuk kapal, titik pusat garis air tersebut mempengaruhi bentuk garis air bagian depan dan belakang kapal. Apabila letak titik pusat apung di depan *midship* ($L_{cb}/L > 0,5$) maka bentuk bagian depan kapal lebih besar dari bagian belakang kapal. Sebaliknya jika $L_{cb}/L < 0,5$ maka bentuk belakang akan lebih besar dari bentuk bagian depan.

Dengan memvariasikan parameter L_{cf}/L dan mengkonstantakan parameter $L/\sqrt{V}^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , dan L_{cb}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.40. pada gambar tersebut terlihat bahwa parameter L_{cf}/L mempunyai pengaruh negatif, ini berarti semakin besar nilai L_{cf}/L akan mengurangi besarnya respon amplitude gerak *swaying supply vessel*.



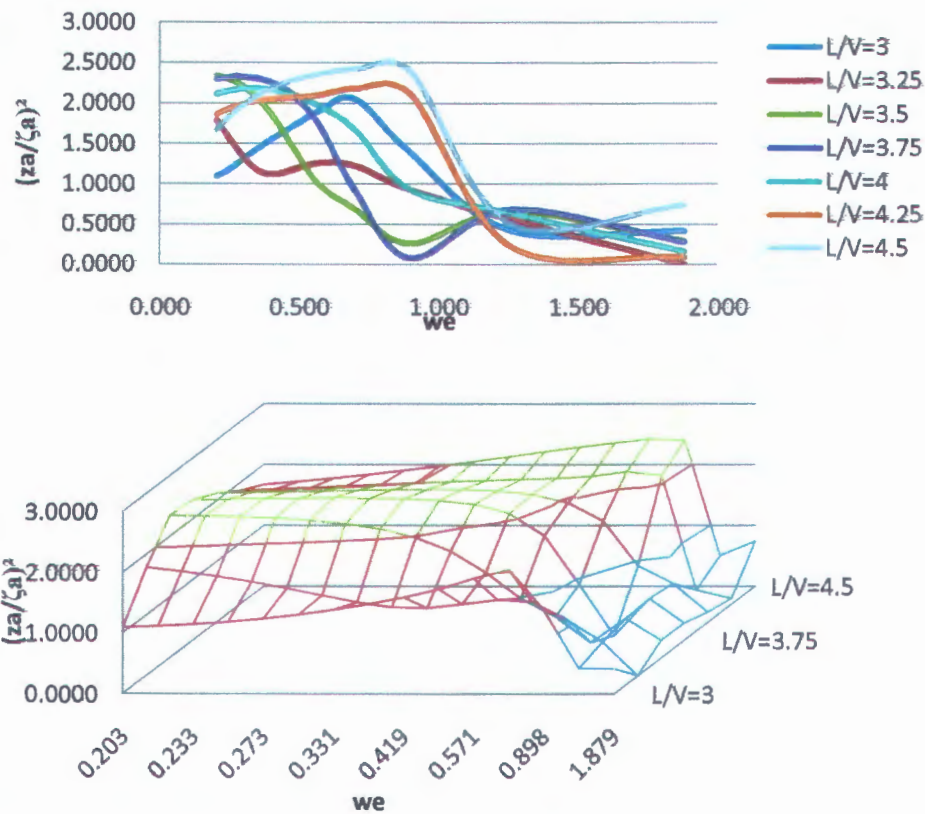
Gambar 4.42, Pemvariasian L_{cf}/L Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak Swaying

4.4.3 Gerak *Heaving*

❖ Parameter $L/\nabla^{1/3}$

Parameter $L/\nabla^{1/3}$ adalah parameter bentuk badan kapal yang mendefinisikan kelangsingan bentuk badan kapal. secara umum dapat diartikan bahwa semakin kecil rasio kelangsingan ($L/\nabla^{1/3}$) maka bentuk badan kapal kelihatan gemuk/besar, dan sebaliknya semakin besar rasio kelangsingan ($L/\nabla^{1/3}$) maka bentuk badan kapal akan kelihatan langsing/kurus.

Dengan memvariasikan parameter $L/\nabla^{1/3}$ dan mengkonstantakan parameter L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , pada gambar 4.43, pengaruh $L/\nabla^{1/3}$ terhadap respon amplitudo gerak surging positif. Dengan kondisi tersebut gerak translasi kearah sumbu z (*heaving*) akan semakin mengecil jika rasio kelangsingan kapal $L/\nabla^{1/3}$ besar, ini berarti dengan panjang yang konstan dan semakin besar volume displasemen kapal maka respon amplitudo gerak *heaving* semakin kecil.

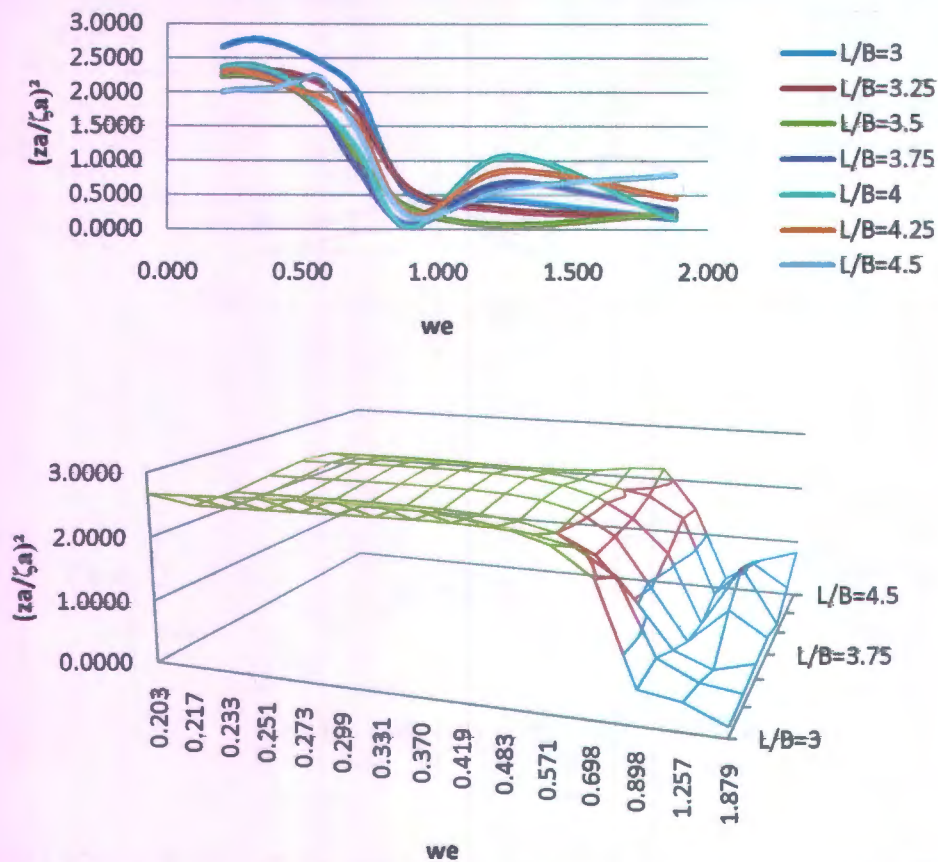


Gambar 4.43, Pemvariasian $L/V^{1/3}$ Supply Vessel dengan $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak *heaving*

❖ **Parameter L/B**

L/B adalah parameter bentuk badan kapal yang memperlihatkan perbandingan antara panjang kapal dan lebar kapal. Untuk lebar yang tetap dengan meningkatkan panjang kapal, maka bentuk badan kapal bagian ujung-ujung kapal akan meruncing.

Dengan memvariasikan parameter L/B dan mengkonstantakan parameter $L/V^{1/3}$, B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan seperti pada gambar 4.44. Dari gambar terlihat L/B memberi pengaruh negatif pada $L/B < 3,75$ dan positif pada $L/B > 3,75$. Dengan kondisi tersebut maka gerak translasi ke arah sumbu z (*heaving*) akan semakin kecil jika rasio L/B semakin besar pada $L/B < 3,75$, dan pada $L/B > 3,75$ akan besar gerak translasi ke arah sumbu y jika rasio L/B semakin besar.

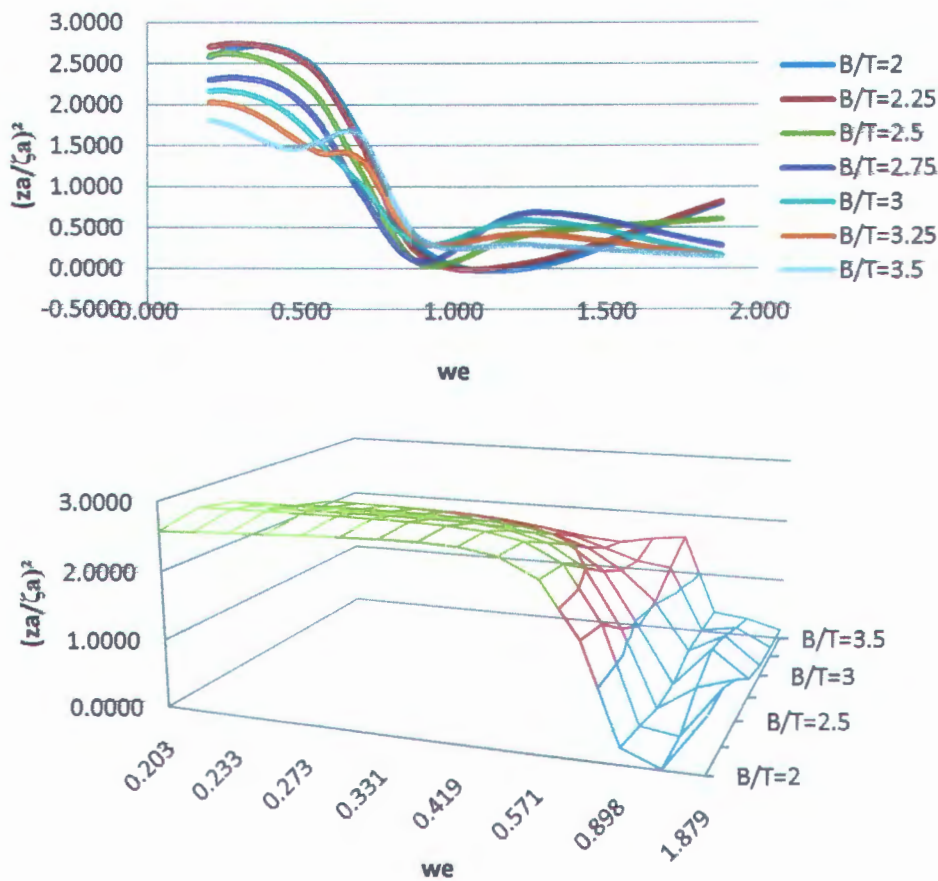


Gambar 4.44, Pemvariasian L/B Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m = 0,925$; $C_{wp} = 0,875$; $L_{cb}/L = 0,5$ dan $L_{cf}/L = 0,5$ terhadap Gerak *heaving*

❖ **Parameter B/T**

B/T adalah parameter bentuk badan kapal yang memperlihatkan perbandingan antara lebar kapal dengan tinggi sarat kapal. Untuk lebar kapal yang tetap dengan meningkatnya tinggi sarat kapal maka rasio B/T akan mengecil.

Dengan memvariasikan parameter B/T dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.45. Pada gambar tersebut terlihat bahwa parameter B/T mempunyai pengaruh negatif. Dengan kondisi tersebut maka gerak translasi ke arah sumbu z (*heaving*) akan semakin besar jika rasio B/T tinggi, ini berarti dengan lebar yang konstan dan semakin besar sarat kapal maka respon amplitudo gerak *heaving* semakin besar, atau dengan sarat yang konstan dengan semakin lebar bentuk kapal maka *respon amplitudo* gerak *heaving* kapal akan semakin mengecil.

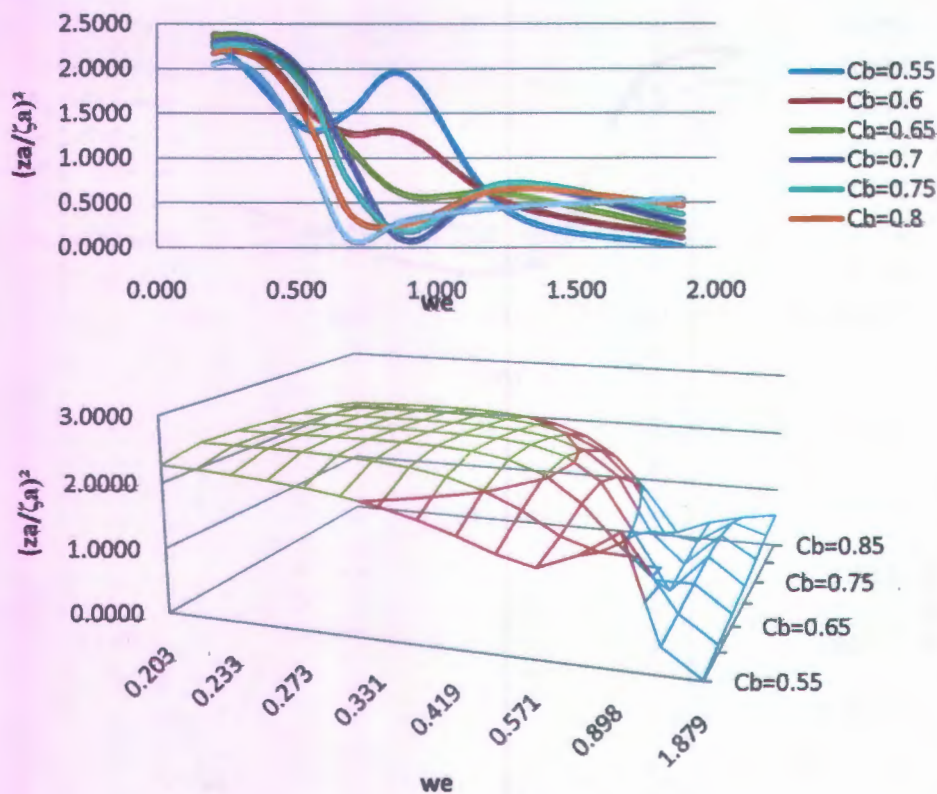


Gambar 4.45, Pemvariasian B/T Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak *heaving*

❖ Parameter C_b

C_b adalah merupakan parameter bentuk kapal yang mendefinisikan *fullness* dari bentuk kapal. C_b sendiri merupakan salah satu koefisien bentuk badan kapal yang memperlihatkan besar dan kecilnya suatu bentuk badan kapal, kecilnya nilai C_b akan memperlihatkan kurusnya bentuk kapal, begitu pula sebaliknya tingginya nilai C_b memperlihatkan gemuknya badan kapal.

Dengan memvariasikan parameter C_b dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.46. pada gambar tersebut terlihat bahwa parameter C_b mempunyai pengaruh negatif. dimana semakin besar nilai C_b akan mengurangi besarnya *respon amplitude* gerak *heaving* *supply vessel*, atau dengan semakin gemuk bentuk kapal (C_b besar) maka *respon amplitude* gerak *heaving* yang terjadi akan mengecil.

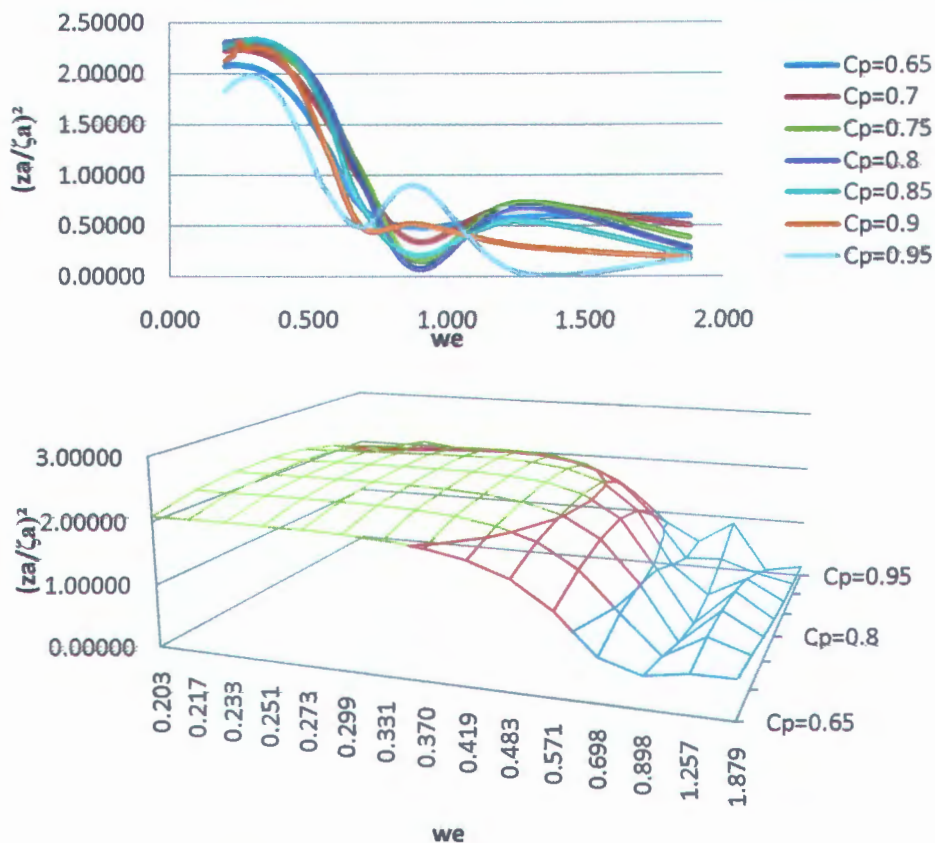


Gambar 4.46. Pemvariasian C_b Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak heaving

❖ Parameter C_p

Sama dengan C_b , C_p adalah merupakan parameter bentuk kapal yang mendefinisikan *fullness* dari bentuk kapal. C_p sendiri merupakan salah satu koefisien bentuk badan kapal yang memperlihatkan besar dan kecilnya suatu bentuk badan kapal, kecilnya nilai C_p akan memperlihatkan kurusnya bentuk kapal, begitu pula sebaliknya tingginya nilai C_p memperlihatkan gemuknya badan kapal

Dengan memvariasikan parameter C_p dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.47. pada gambar tersebut terlihat bahwa parameter C_p mempunyai pengaruh negatif. dimana semakin besar nilai C_p akan mengurangi besarnya respon amplitude gerak heaving supply vessel, atau dengan semakin gemuk bentuk kapal (C_p besar) maka respon amplitude gerak heaving yang terjadi akan mengecil.

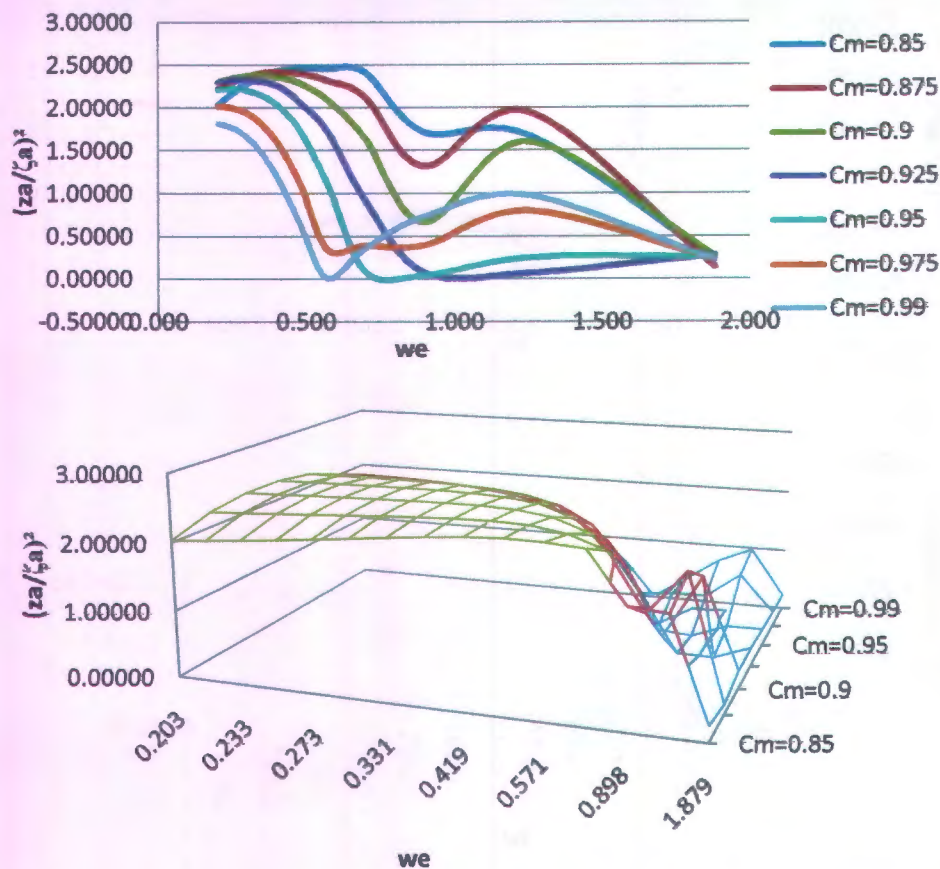


Gambar 4.47. Pemvariasian C_p Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak heaving

❖ Parameter C_m

C_m (Coefisien Midship) adalah koefisien bentuk kapal yang memperlihatkan bentuk potongan melintang bagian tengah kapal. besarnya nilai C_m akan memperlihatkan besarnya potongan melintang bagian tengah kapal.

Dengan memvariasikan parameter C_m dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.48. pada gambar tersebut terlihat bahwa pengaruh parameter C_m terhadap respon amplitude gerak heaving mempunyai pengaruh negatif, dimana semakin besar nilai koefisien potongan melintang bagian tengah kapal (C_m) akan mengurangi besarnya respon amplitude gerak heaving supply vessel yang dihasilkan, dengan semakin besar potongan melintang bagian tengah kapal (C_m) maka respon amplitude gerak heaving yang dihasil akan mengecil.

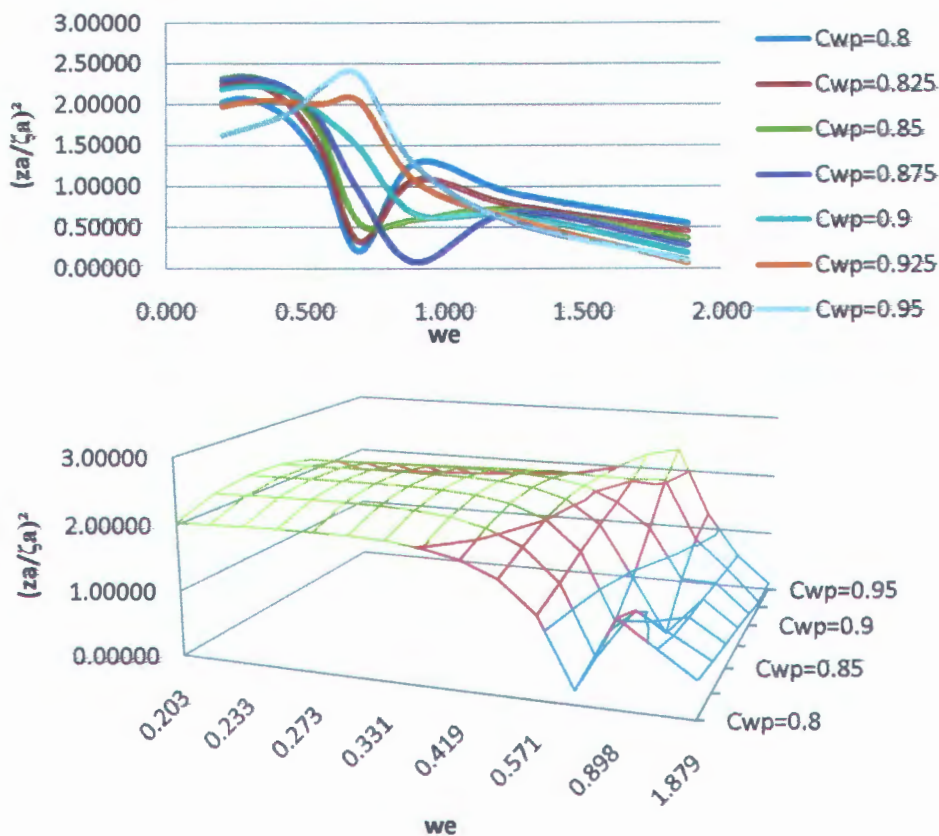


Gambar 4.48, Pemvariasian C_m Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak heaving

❖ Parameter C_{wp}

C_{wp} adalah koefisien bentuk kapal yang memperlihatkan bentuk potongan memanjang bagian garis air kapal (sarat kapal). besarnya nilai C_{wp} akan memperlihatkan besarnya potongan bagian garis air kapal (sarat kapal).

Dengan memvariasikan parameter C_{wp} dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.49. pada gambar tersebut terlihat bahwa pengaruh parameter C_{wp} terhadap respon amplitude gerak heaving mempunyai pengaruh positif. dimana semakin besar nilai C_{wp} akan meningkatkan besarnya respon amplitude gerak heaving supply vessel, atau dengan besarnya bentuk badan kapal/bentuk badan gemuk (C_b besar) maka akan meningkatkan besarnya respon amplitude gerak heaving yang ditimbulkan.

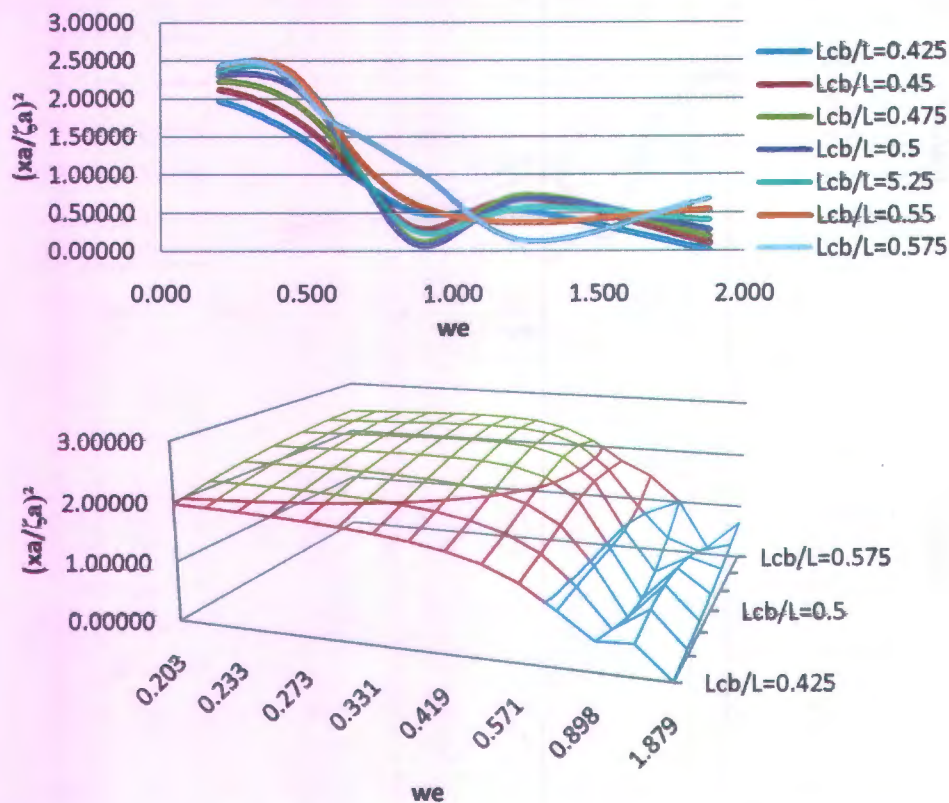


Gambar 4.49, Pemvariasian C_{wp} Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak heaving

❖ Parameter L_{cb}/L

Parameter L_{cb}/L merupakan parameter yang memperlihatkan letak titik pusat apung kapal terhadap panjang kapal. Terhadap bentuk kapal, titik pusat apung tersebut mempengaruhi bentuk depan dan belakang kapal. Apabila letak titik pusat apung di depan *midship* ($L_{cb}/L > 0,5$) maka bentuk bagian depan kapal lebih besar dari bagian belakang kapal. Sebaliknya jika $L_{cb}/L < 0,5$ maka bentuk belakang akan lebih besar dari bentuk bagian depan.

Dengan memvariasikan parameter L_{cb}/L dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.50. pada gambar tersebut terlihat parameter L_{cb}/L mempunyai pengaruh positif. dimana semakin besar nilai L_{cb}/L akan meningkatkan besarnya respon amplitude gerak heaving supply vessel.

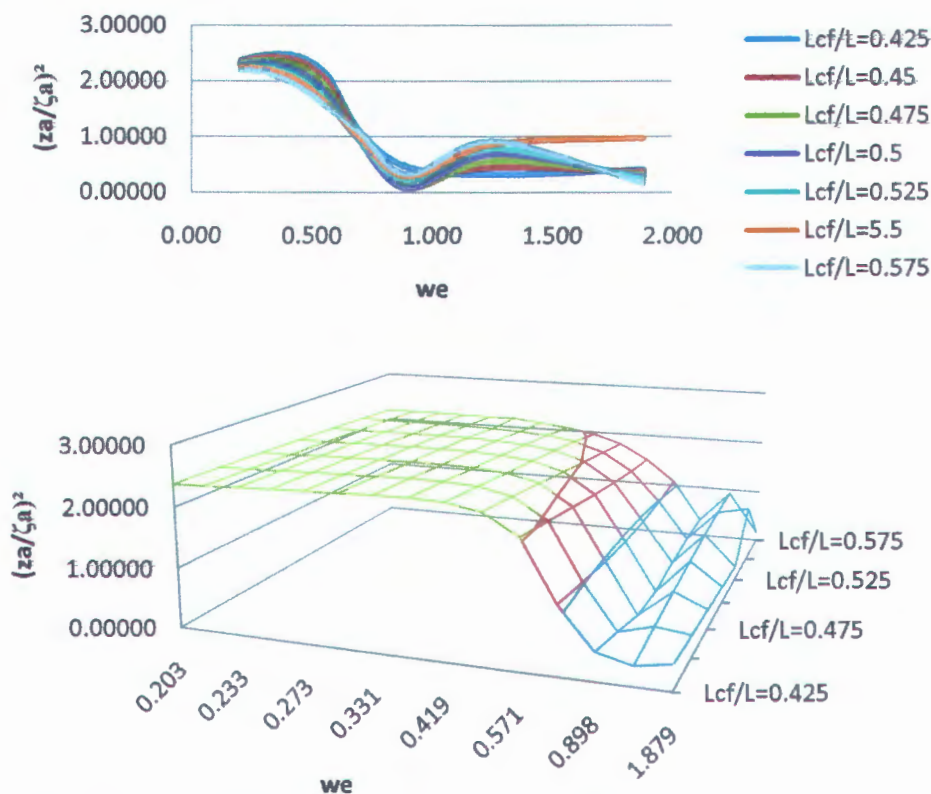


Gambar 4.50, Pemvariasian L_{cb}/L Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak heaving

❖ Parameter L_{cf}/L

Parameter L_{cf}/L merupakan parameter yang memperlihatkan letak titik pusat garis air terhadap panjang kapal. Terhadap bentuk kapal, titik pusat garis air tersebut mempengaruhi bentuk garis air bagian depan dan belakang kapal. Apabila letak titik pusat apung di depan *midship* ($L_{cb}/L > 0,5$) maka bentuk bagian depan kapal lebih besar dari bagian belakang kapal. Sebaliknya jika $L_{cb}/L < 0,5$ maka bentuk belakang akan lebih besar dari bentuk bagian depan.

Dengan memvariasikan parameter L_{cf}/L dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , dan L_{cb}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.51. pada gambar tersebut terlihat bahwa parameter L_{cf}/L mempunyai pengaruh negatif. dimana semakin besar nilai L_{cf}/L akan mengurangi besarnya respon amplitude gerak heaving supply vessel,



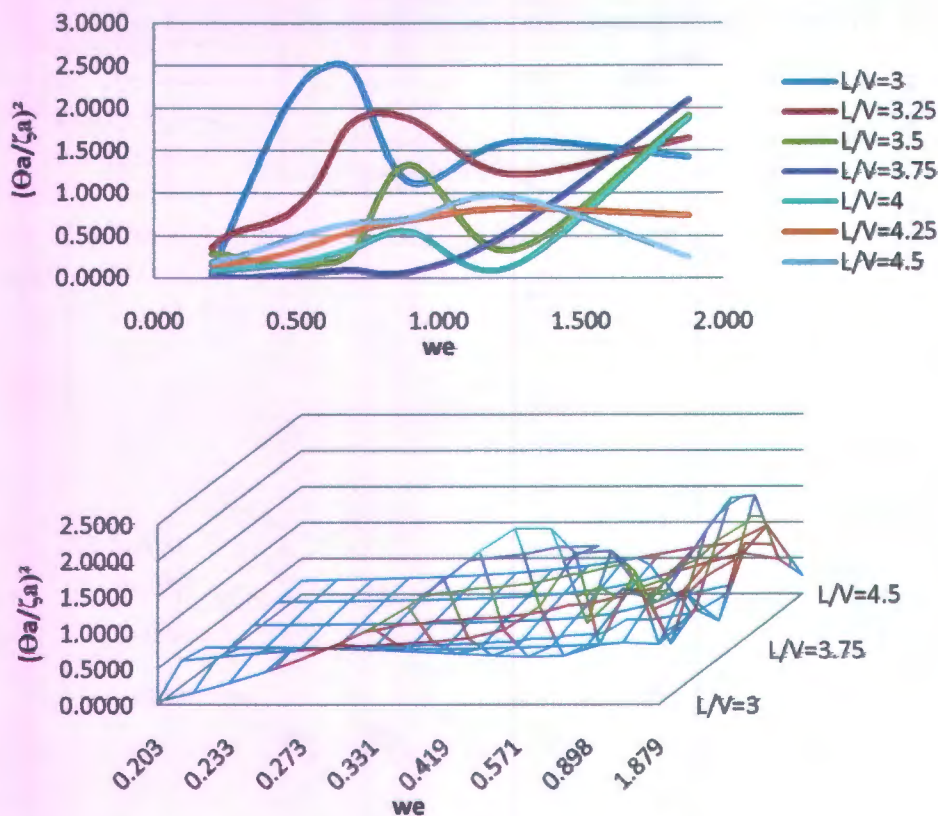
Gambar 4.51. Pemvariasian L_{cf}/L Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap gerak *heaving*

4.4.4 Gerak *Rolling*

❖ Parameter $L/\nabla^{1/3}$

Parameter $L/\nabla^{1/3}$ adalah parameter bentuk badan kapal yang mendefinisikan kelangsingan bentuk badan kapal. secara umum dapat diartikan bahwa semakin kecil rasio kelangsingan ($L/\nabla^{1/3}$) maka bentuk badan kapal kelihatan gemuk/besar, dan sebaliknya semakin besar rasio kelangsingan ($L/\nabla^{1/3}$) maka bentuk badan kapal akan kelihatan langsing/kurus.

Dengan memvariasikan parameter $L/\nabla^{1/3}$ dan mengkonstantakan parameter L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , pada gambar 4.52, pengaruh $L/\nabla^{1/3}$ terhadap respon amplitudo gerak surging negatif. Dengan kondisi tersebut gerak rotasi kearah sumbu x (*rolling*) akan semakin mengecil jika rasio kelangsingan kapal $L/\nabla^{1/3}$ besar, ini berarti dengan panjang yang konstan dan semakin besar volume displasemen kapal maka respon amplitudo gerak *heaving* semakin besar.

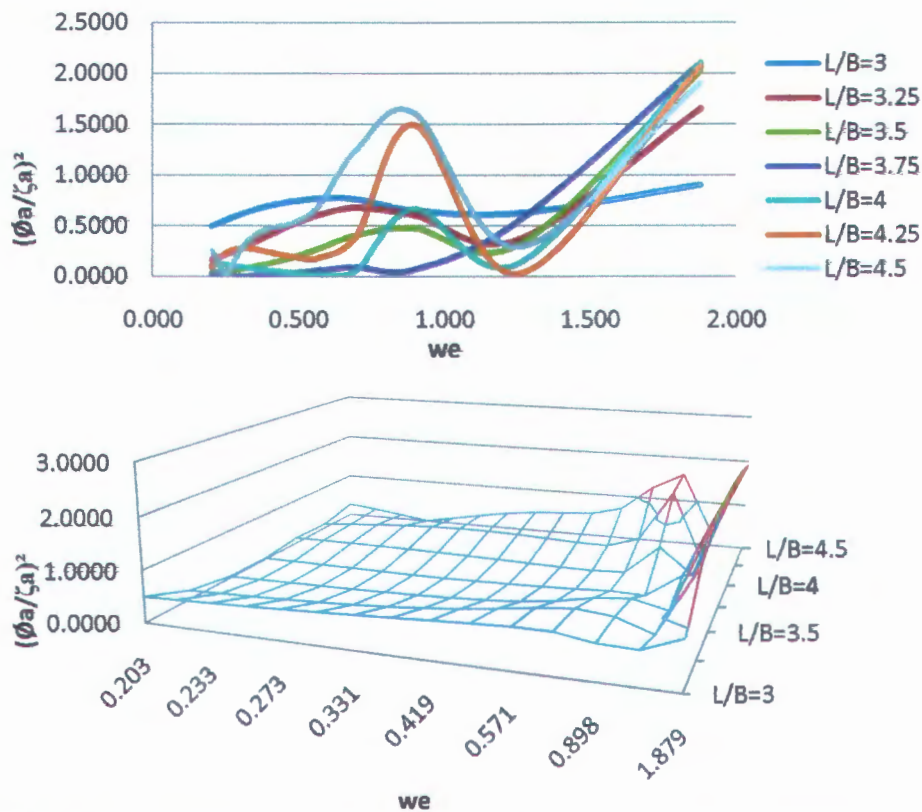


Gambar 4.52, Pemvariasian $L/V^{1/3}$ Supply Vessel dengan $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak rolling

❖ Parameter L/B

L/B adalah parameter bentuk badan kapal yang memperlihatkan perbandingan antara panjang kapal dan lebar kapal. untuk lebar yang tetap dengan meningkatkan panjang kapal, maka bentuk badan kapal bagian ujung-ujung kapal akan meruncing.

Dengan memvariasikan parameter L/B dan mengkonstantakan parameter $L/V^{1/3}$, B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan seperti pada gambar-4.51. dari gambar terlihat L/B memberi pengaruh negatif pada $L/B < 3,75$ dan positif pada $L/B > 3,75$. Dengan kondisi tersebut maka gerak rotasi kearah sumbu x (rolling) akan semakin kecil jika rasio L/B semakin besar pada $L/B < 3,75$, dan pada $L/B > 3,75$ akan besar gerak translasi kearah sumbu y jika rasio L/B semakin besar. dengan panjang bentuk badan kapal yang konstan dan lebar kapal yang semakin besar pada $L/B < 3,75$ respon amplitude gerak rolling akan mengecil sedangkan pada $L/B > 3,75$ akan semakin membesar.

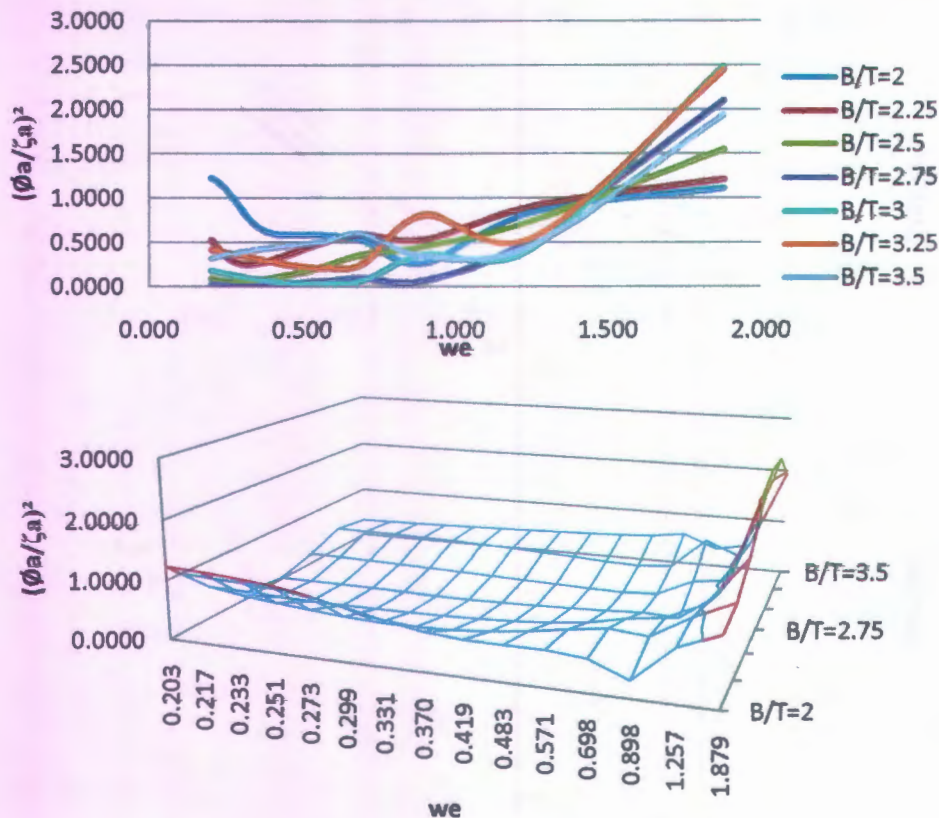


Gambar 4.53. Pemvariasian L/B Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak *rolling*

❖ Parameter B/T

B/T adalah parameter bentuk badan kapal yang memperlihatkan perbandingan antara lebar kapal dengan tinggi sarat kapal. untuk lebar kapal yang tetap dengan meningkatnya tinggi sarat kapal maka rasio B/T akan mengecil.

Dengan memvariasikan parameter B/T dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.54. pada gambar tersebut terlihat bahwa parameter B/T mempunyai pengaruh negatif pada parameter bentuk $B/T < 2,5$ dan pengaruh positif pada parameter bentuk $B/T > 2,5$. Dengan kondisi tersebut maka gerak rotasi kearah sumbu x (*rolling*) akan semakin besar jika rasio B/T tinggi pada $B/T > 2,5$ sedangkan pada $B/T < 2,5$ sebaliknya, atau dengan sarat yang konstan semakin lebar bentuk badan kapal maka *respon amplitude* gerak *rolling* yang terjadi akan mengecil pada parameter bentuk $B/T < 2,5$ sedangkan pada parameter bentuk $B/T > 2,5$ *respon amplitude* gerak *rolling* yang terjadi akan membesar.

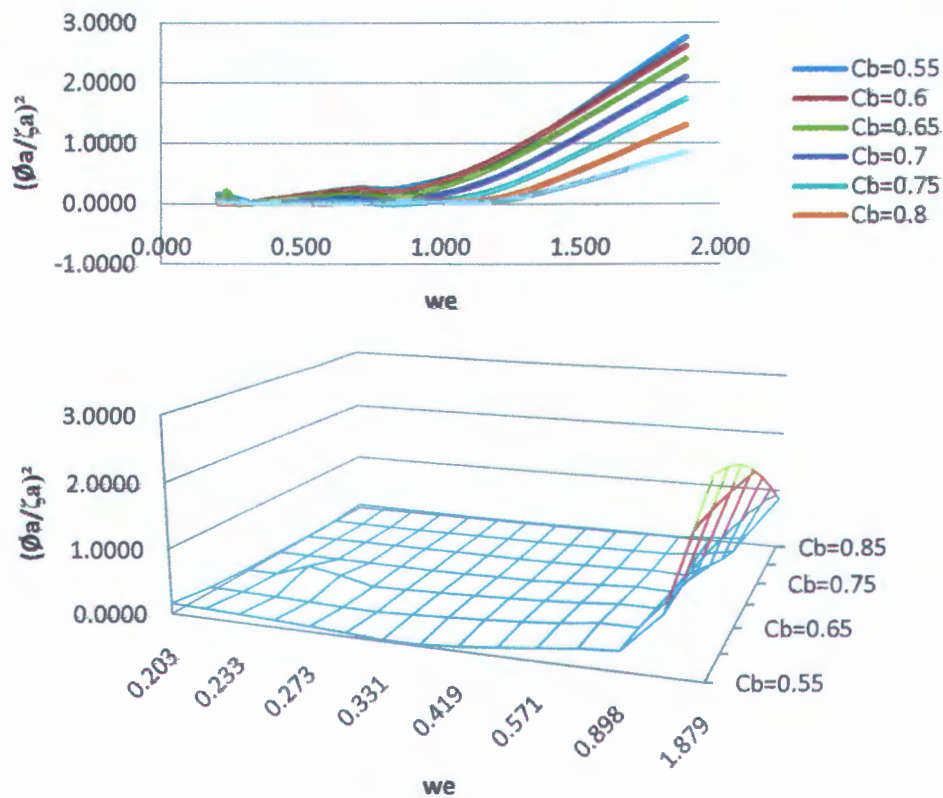


Gambar 4.54, Pemvariasian B/T Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak rolling

❖ Parameter C_b

C_b adalah merupakan parameter bentuk kapal yang mendefinisikan *fullness* dari bentuk kapal. C_b sendiri merupakan salah satu koefisien bentuk badan kapal yang memperlihatkan besar dan kecilnya suatu bentuk badan kapal, kecilnya nilai C_b akan memperlihatkan kurusnya bentuk kapal, begitu pula sebaliknya tingginya nilai C_b memperlihatkan gemuknya badan kapal.

Dengan memvariasikan parameter C_b dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.55. pada gambar tersebut terlihat bahwa hubungan parameter C_b terhadap *respon amplitude* gerak rolling mempunyai pengaruh negatif. dimana semakin besar nilai C_b akan mengurangi besarnya respon amplitude gerak rolling supply vessel, dengan membesarnya bentuk badan kapal/bentuk badan kapal yang gemuk (C_b besar) maka *respon amplitude* gerak rolling yang dihasilkan akan mengecil.

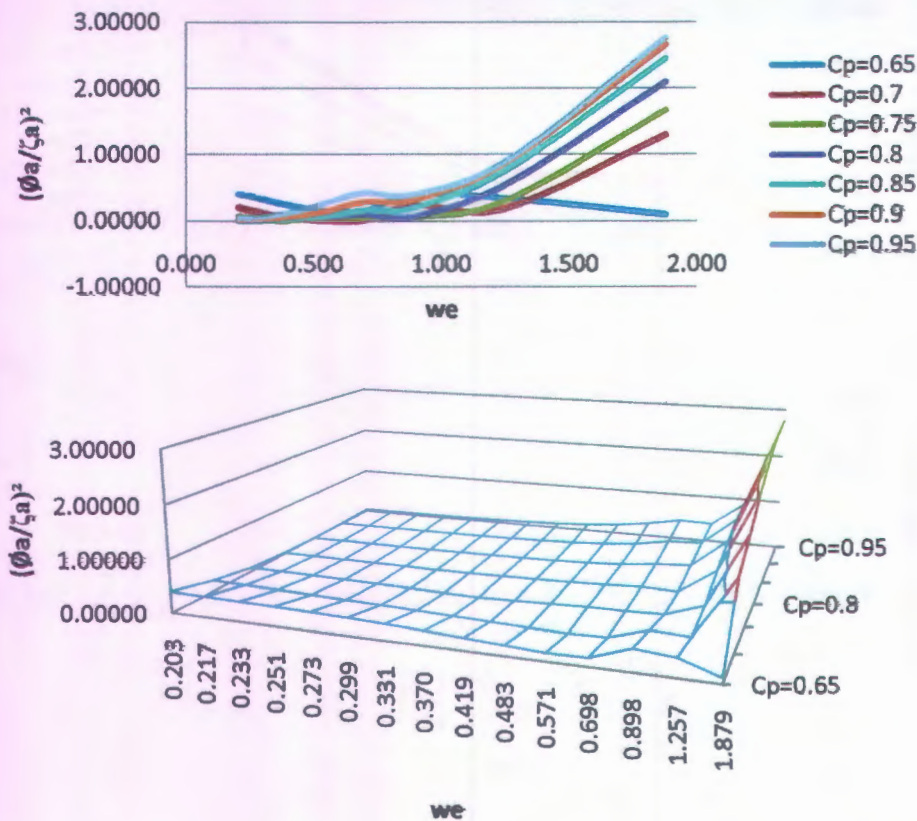


Gambar 4.55. Pemvariasian C_b Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak rolling

❖ Parameter C_p

Sama dengan C_b , C_p adalah merupakan parameter bentuk kapal yang mendefinisikan *fullness* dari bentuk kapal. C_p sendiri merupakan salah satu koefisien bentuk badan kapal yang memperlihatkan besar dan kecilnya suatu bentuk badan kapal, kecilnya nilai C_p akan memperlihatkan kurusnya bentuk kapal, begitu pula sebaliknya tingginya nilai C_p memperlihatkan gemuknya badan kapal

Dengan memvariasikan parameter C_p dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.56. pada gambar tersebut terlihat bahwa hubungan parameter C_p terhadap respon amplitude gerak rolling mempunyai pengaruh positif. dimana semakin besar nilai C_p akan meningkatkan besarnya respon amplitude gerak *rolling supply vessel*, dengan bentuk badan kapal yang gemuk (C_p besar) akan meningkatkan nilai *respon amplitude* gerak rolling yang terjadi.

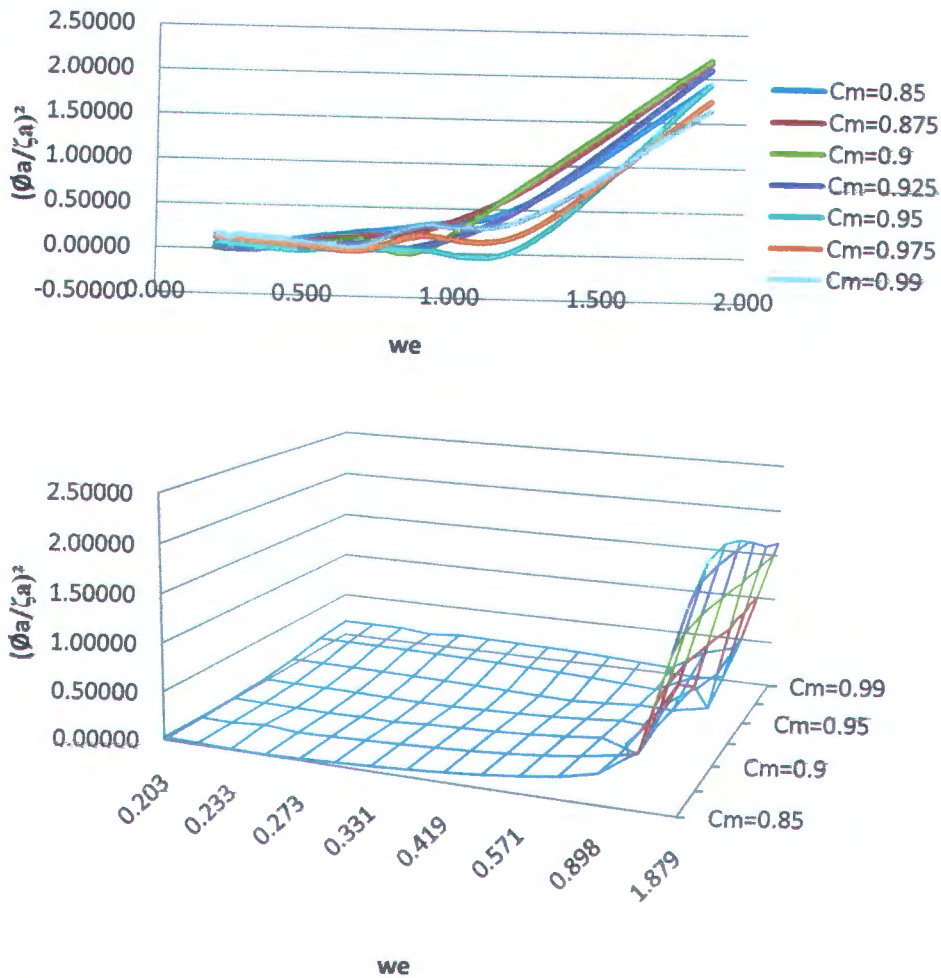


Gambar 4.56. Pemvariasian C_p Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak rolling

❖ Parameter C_m

C_m (Coefisien Midship) adalah koefisien bentuk kapal yang memperlihatkan bentuk potongan melintang bagian tengah kapal. besarnya nilai C_m akan memperlihatkan besarnya potongan melintang bagian tengah kapal.

Dengan memvariasikan parameter C_m dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.57. pada gambar tersebut terlihat bahwa hubungan parameter bentuk potongan melintang tengah kapal (C_m) terhadap respon amplitude gerak rolling mempunyai pengaruh negatif, dimana semakin besar potongan melintang tengah kapal (C_m) akan mengurangi besarnya respon amplitude gerak rolling supply vessel, atau dengan semakin luas potongan melintang kapal pada lebar dan sarat yang tetap maka respon amplitude gerak rolling yang dihasilkan oleh badan kapal akan mengecil.

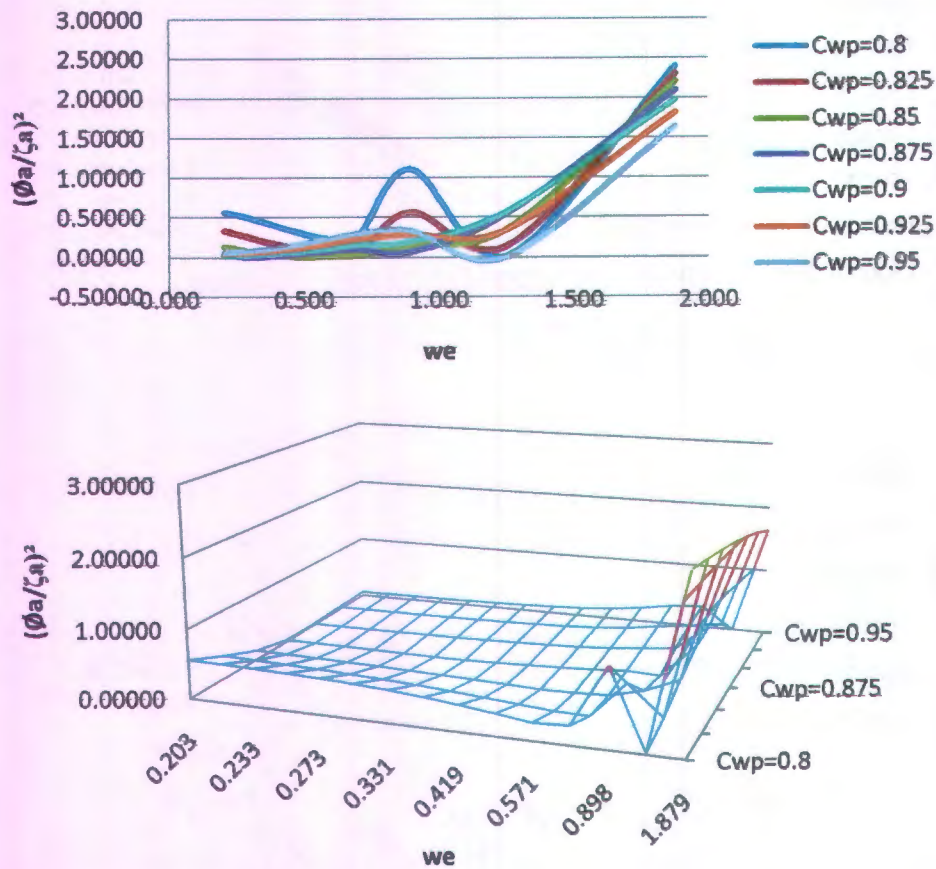


Gambar 4.57, Pemvariasian C_m Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak rolling

❖ Parameter C_{wp}

C_{wp} adalah koefisien bentuk kapal yang memperlihatkan bentuk potongan memanjang bagian garis air kapal (sarat kapal). besarnya nilai C_{wp} akan memperlihatkan besarnya potongan bagian garis air kapal (sarat kapal).

Dengan memvariasikan parameter C_{wp} dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.58. pada gambar tersebut terlihat bahwa pengaruh parameter bentuk badan kapal C_{wp} mempunyai pengaruh negatif. dimana semakin besar nilai C_{wp} akan mengurangi besarnya respon amplitude gerak rolling supply vessel, dengan semakin luas potongan garis air pada panjang dan lebar kapal tetap maka respon amplitude gerak rolling yang dihasilkan akan mengecil.

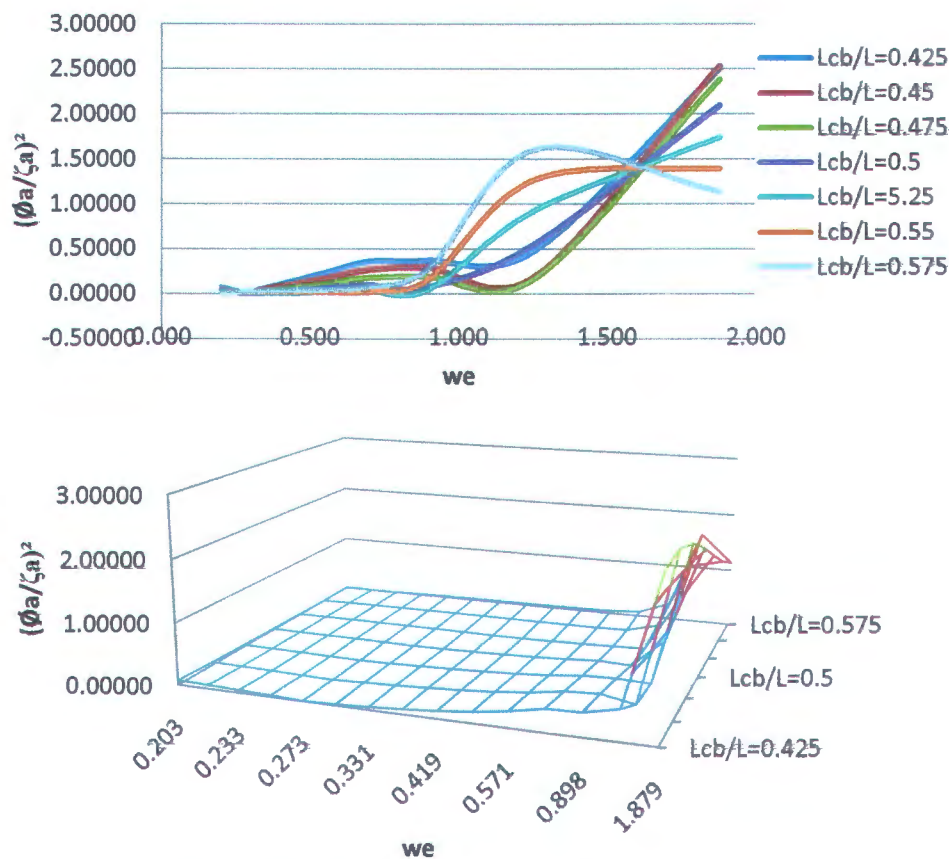


Gambar 4.58, Pemvariasian C_{wp} Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak rolling

❖ Parameter L_{cb}/L

Parameter L_{cb}/L merupakan parameter yang memperlihatkan letak titik pusat apung kapal terhadap panjang kapal. Terhadap bentuk kapal, titik pusat apung tersebut mempengaruhi bentuk depan dan belakang kapal. Apabila letak titik pusat apung di depan *midship* ($L_{cb}/L > 0,5$) maka bentuk bagian depan kapal lebih besar dari bagian belakang kapal. Sebaliknya jika $L_{cb}/L < 0,5$ maka bentuk belakang akan lebih besar dari bentuk bagian depan.

Dengan memvariasikan parameter L_{cb}/L dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.59. pada gambar tersebut terlihat parameter L_{cb}/L mempunyai pengaruh positif, dimana semakin besar nilai C_{wp} akan meningkatkan besarnya respon amplitude gerak *rolling supply vessel*

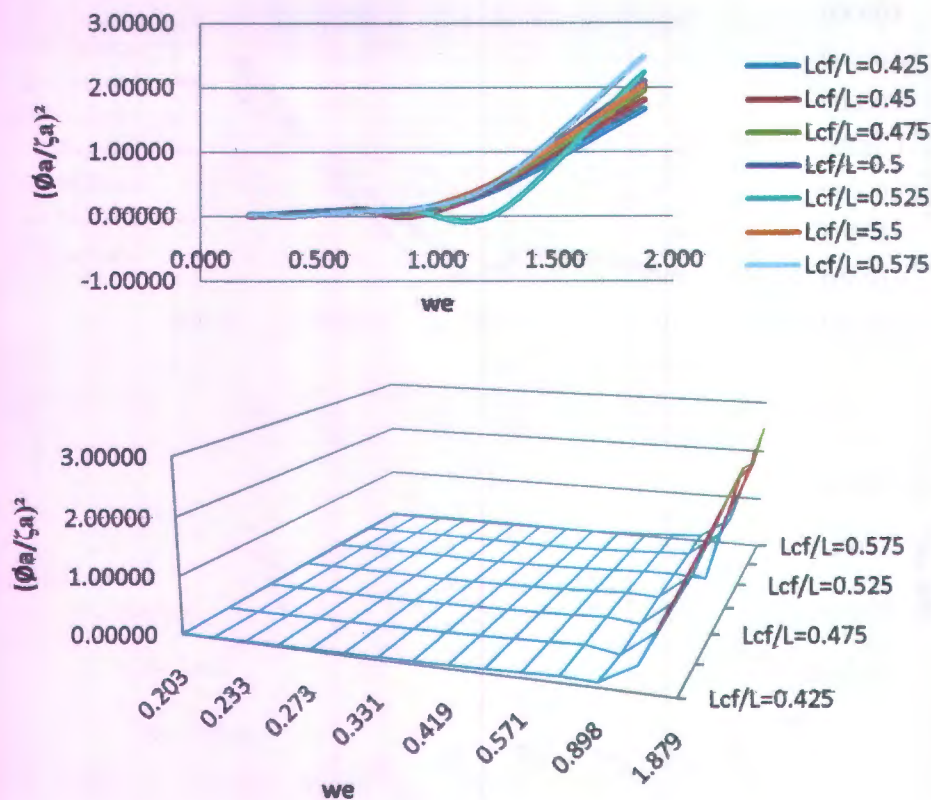


Gambar 4.59. Pemvariasian L_{cb}/L Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak rolling

❖ Parameter L_{cf}/L

Parameter L_{cf}/L merupakan parameter yang memperlihatkan letak titik pusat garis air terhadap panjang kapal. Terhadap bentuk kapal, titik pusat garis air tersebut mempengaruhi bentuk garis air bagian depan dan belakang kapal. Apabila letak titik pusat apung di depan *midship* ($L_{cb}/L > 0,5$) maka bentuk bagian depan kapal lebih besar dari bagian belakang kapal. Sebaliknya jika $L_{cb}/L < 0,5$ maka bentuk belakang akan lebih besar dari bentuk bagian depan.

Dengan memvariasikan parameter L_{cf}/L dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , dan L_{cb}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.60. pada gambar tersebut terlihat bahwa parameter L_{cf}/L mempunyai pengaruh positif. dimana semakin besar nilai L_{cf}/L akan mengurangi besarnya respon amplitude gerak *rolling supply vessel*



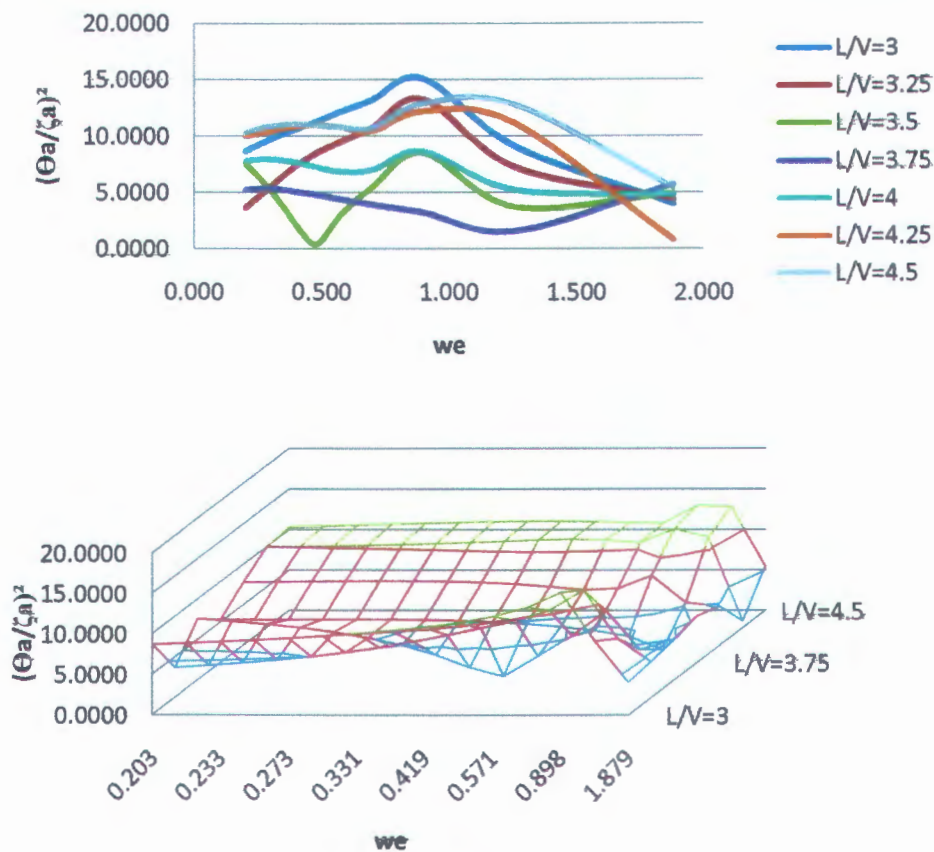
Gambar 4.60, Pemvariasian L_{cf}/L Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap gerak rolling

4.4.5 Gerak Pitching

❖ Parameter $L/\nabla^{1/3}$

Parameter $L/\nabla^{1/3}$ adalah parameter bentuk badan kapal yang mendefinisikan kelangsingan bentuk badan kapal. secara umum dapat diartikan bahwa semakin kecil rasio kelangsingan ($L/\nabla^{1/3}$) maka bentuk badan kapal kelihatan gemuk/besar, dan sebaliknya semakin besar rasio kelangsinga ($L/\nabla^{1/3}$) maka bentuk badan kapal akan kelihatan langsing/kurus.

Dengan memvariasikan parameter $L/\nabla^{1/3}$ dan mengkonstantakan parameter L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , pada gambar 4.61. pengaruh $L/\nabla^{1/3}$ terhadap respon amplitudo gerak surging negatif. Dengan kondisi tersebut gerak rotasi kearah sumbu y (*pitching*) akan semakin mengecil jika rasio kelangsingan kapal $L/\nabla^{1/3}$ besar, ini berarti dengan panjang yang konstan dan semakin besar volume displasemen kapal maka respon amplitudo gerak *pitching* semakin besar.

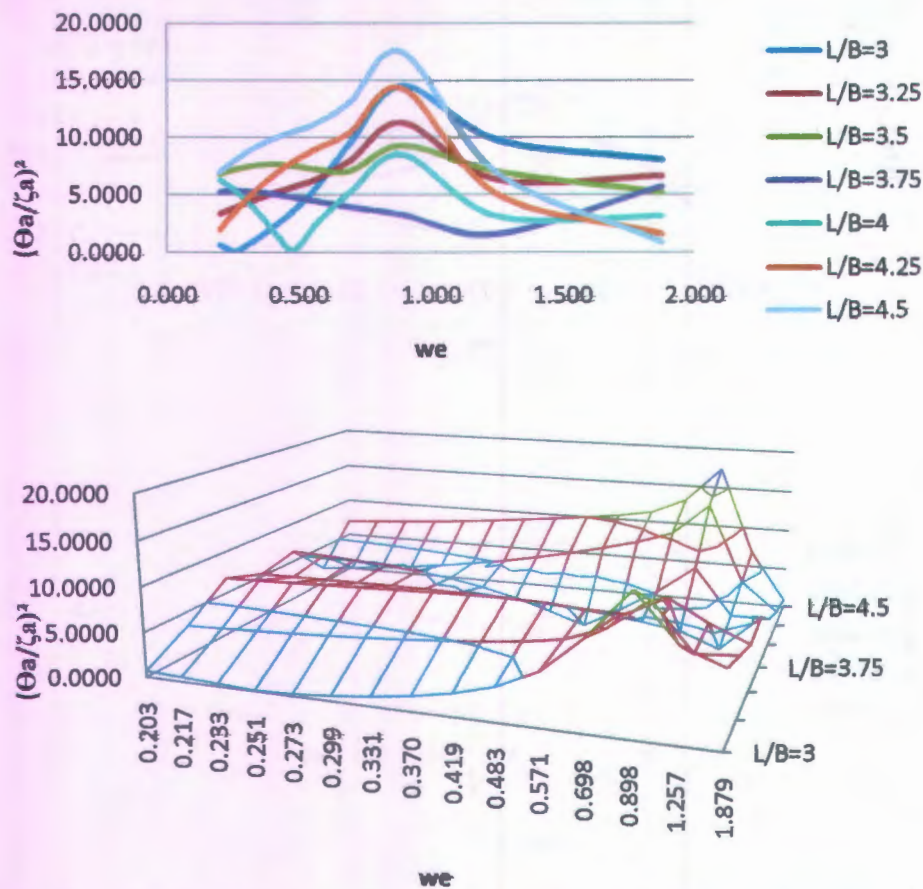


Gambar 4.61, Pemvariasian $L/V^{1/3}$ *Supply Vessel* dengan $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak *Pitching*

❖ Parameter L/B

L/B adalah parameter bentuk badan kapal yang memperlihatkan perbandingan antara panjang kapal dan lebar kapal. Untuk lebar yang tetap dengan meningkatkan panjang kapal, maka bentuk badan kapal bagian ujung-ujung kapal akan meruncing.

Dengan memvariasikan parameter L/B dan mengkonstantakan parameter $L/V^{1/3}$, B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan seperti pada gambar 4.62. dari gambar terlihat hubungan parameter L/B terhadap respon amplitude gerak *pitching* memberi pengaruh negatif pada $L/B < 3,75$ dan positif pada $L/B > 3,75$. Dengan kondisi tersebut maka gerak rotasi kearah sumbu x (*pitching*) akan semakin kecil jika rasio L/B semakin besar pada $L/B < 3,75$, dan pada $L/B > 3,75$ akan besar gerak translasi kearah sumbu y jika rasio L/B semakin besar.

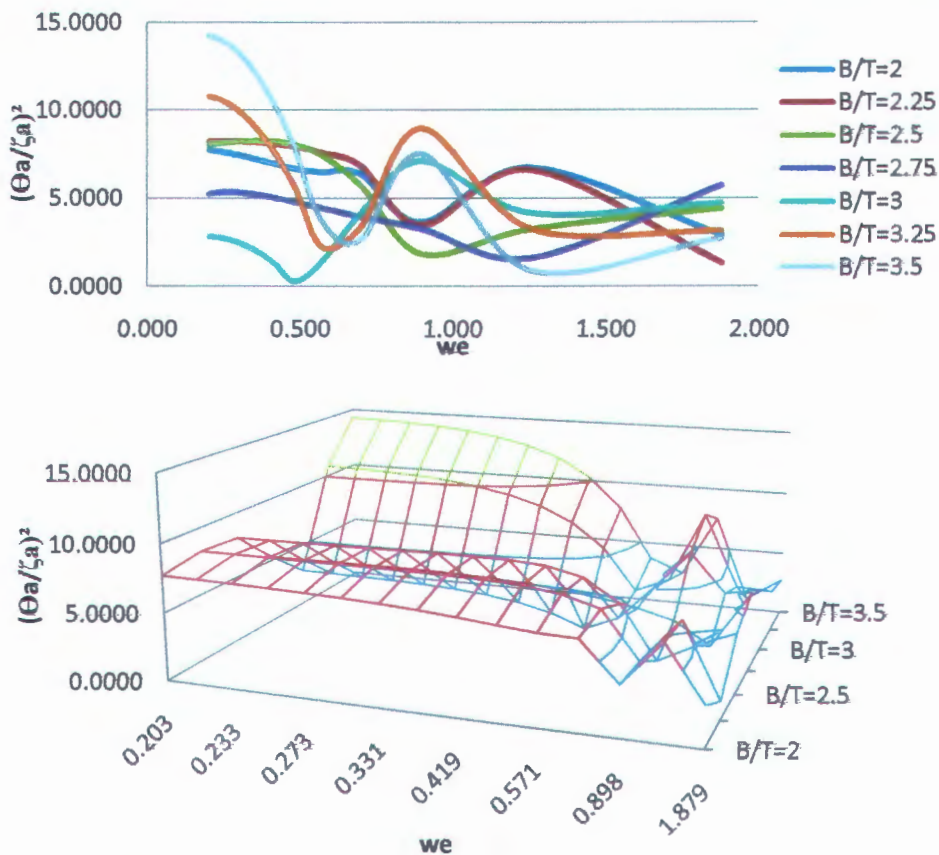


Gambar 4.62, Pemvariasian L/B Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3} = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m = 0,925$; $C_{wp} = 0,875$; $L_{cb}/L = 0,5$ dan $L_{cf}/L = 0,5$ terhadap Gerak *pitching*

❖ Parameter B/T

B/T adalah parameter bentuk badan kapal yang memperlihatkan perbandingan antara lebar kapal dengan tinggi sarat kapal. Untuk lebar kapal yang tetap dengan meningkatnya tinggi sarat kapal maka rasio B/T akan mengecil.

Dengan memvariasikan parameter B/T dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.63. Pada gambar tersebut terlihat bahwa hubungan parameter bentuk kapal B/T terhadap respon amplitudo gerak *pitching* mempunyai pengaruh positif pada $B/T < 2,75$ dan pengaruh negatif pada $B/T > 2,75$, dengan semakin lebar kapal pada sarat kapal yang tetap maka *respon amplitudo* gerak *pitching* yang dihasilkan oleh bentuk tersebut akan mengecil pada parameter $B/T < 2,75$ sedangkan *respon amplitudo* gerak *pitching* akan membesar pada parameter $B/T > 2,75$.

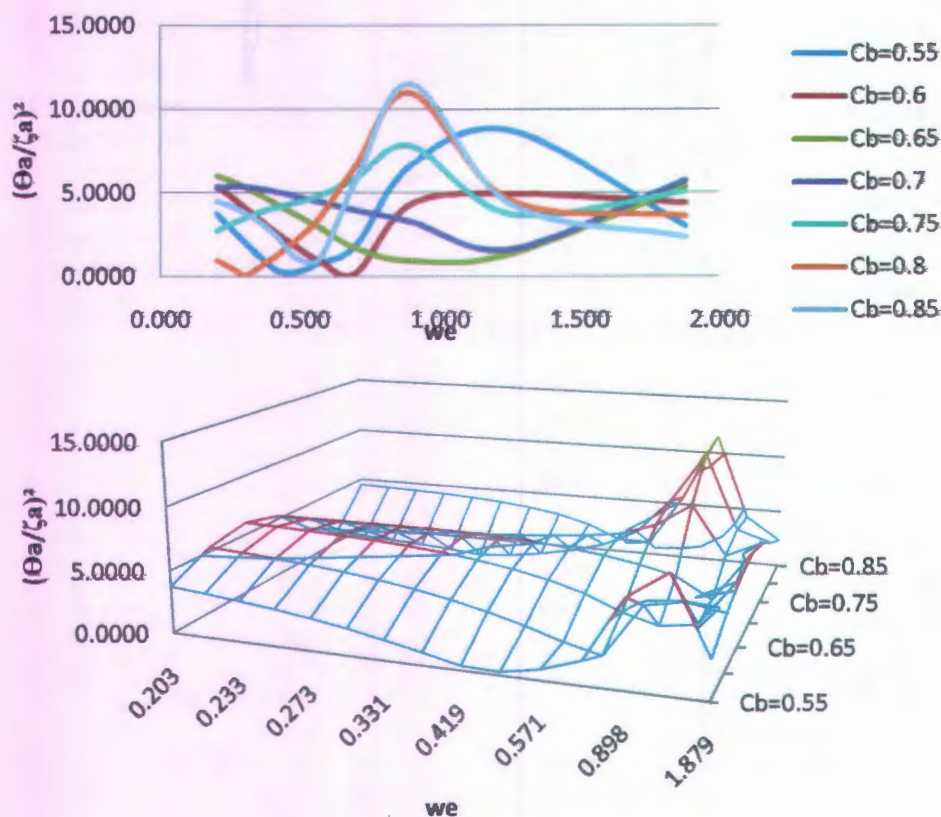


Gambar 4.63, Pemvariasian B/T *Supply Vessel* dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak *pitching*

❖ Parameter C_b

C_b adalah merupakan parameter bentuk kapal yang mendefinisikan *fullness* dari bentuk kapal. C_b sendiri merupakan salah satu koefisien bentuk badan kapal yang memperlihatkan besar dan kecilnya suatu bentuk badan kapal, kecilnya nilai C_b akan memperlihatkan kurusnya bentuk kapal, begitu pula sebaliknya tingginya nilai C_b memperlihatkan gemuknya badan kapal.

Dengan memvariasikan parameter C_b dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.64. pada gambar tersebut terlihat bahwa hubungsn parameter C_b terhadap respon amplitude gerak *pitching* mempunyai pengaruh positif. dimana semakin besar nilai C_b akan meningkatkan besarnya *respon amplitude* gerak *pitching supply vessel*. Dengan semakin besar bentuk badan kapal (C_b besar) maka *respon amplitude* gerak *pitching* yang dihasilkan akan membesar.

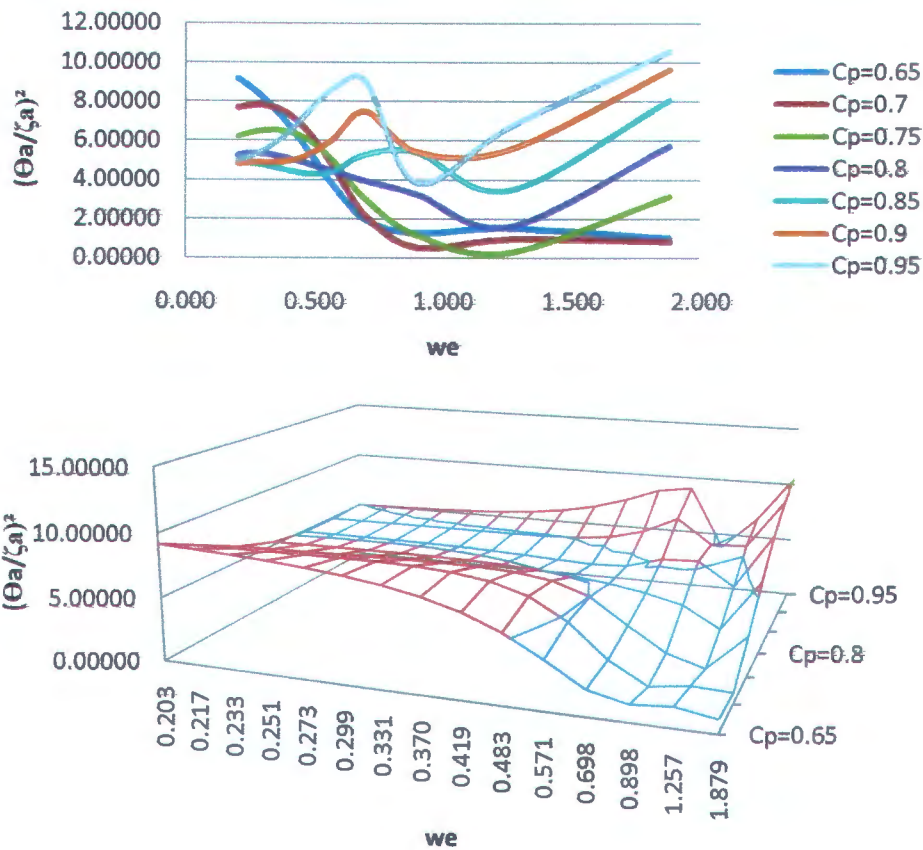


Gambar 4.64, Pemvariasian C_b *Supply Vessel* dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak *pitching*

❖ Parameter C_p

Sama dengan C_b , C_p adalah merupakan parameter bentuk kapal yang mendefinisikan *fullness* dari bentuk kapal. C_p sendiri merupakan salah satu koefisien bentuk badan kapal yang memperlihatkan besar dan kecilnya suatu bentuk badan kapal, kecilnya nilai C_p akan memperlihatkan kurusnya bentuk kapal, begitu pula sebaliknya tingginya nilai C_p memperlihatkan gemuknya badan kapal

Dengan memvariasikan parameter C_p dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.65. pada gambar tersebut terlihat bahwa hubungan parameter bentuk kapal C_p terhadap respon amplitude gerak *pitching* mempunyai pengaruh positif. dimana semakin besar nilai C_p akan meningkatkan besarnya respon amplitude gerak *pitching supply vessel*, dengan besarnya bentuk badan kapal (C_p besar) maka respon amplitude gerak *pitching* yang dihasilkan akan membesar.

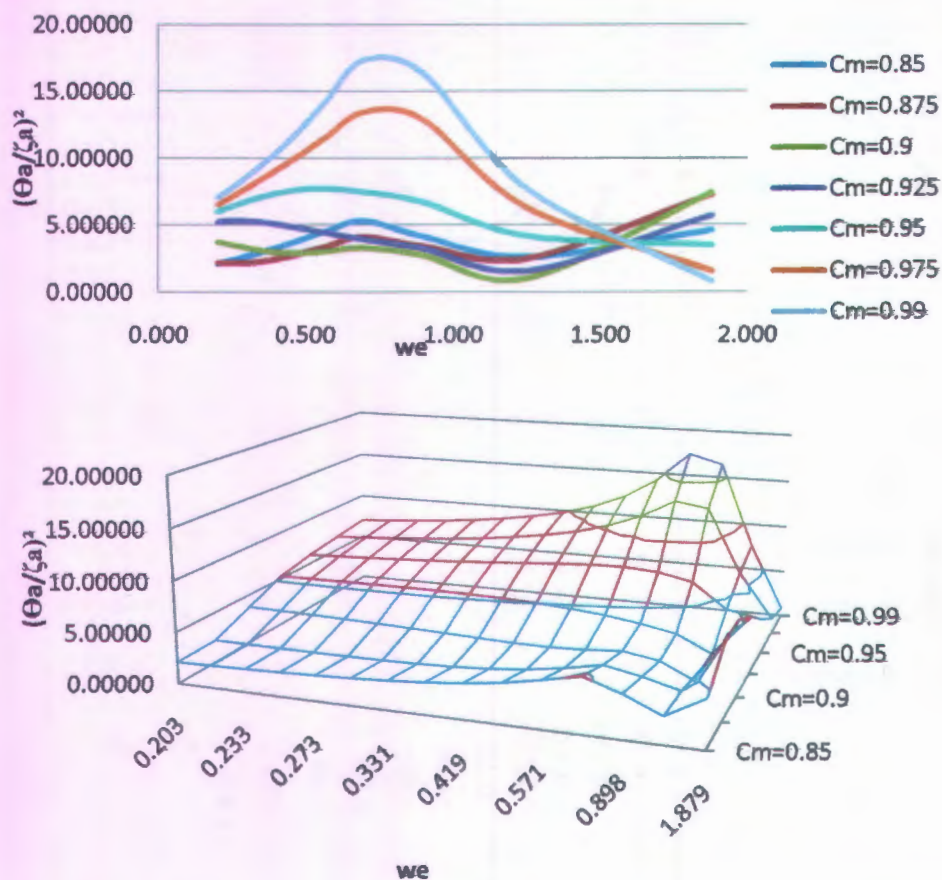


Gambar 4.65, Pemvariasian C_p Supply Vessel dengan $L/V^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak *pitching*

❖ Parameter C_m

C_m (*Coefisien Midship*) adalah koefisien bentuk kapal yang memperlihatkan bentuk potongan melintang bagian tengah kapal. besarnya nilai C_m akan memperlihatkan besarnya potongan melintang bagian tengah kapal.

Dengan memvariasikan parameter C_m dan mengkonstantakan parameter $L/V^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.66. pada gambar tersebut terlihat bahwa hubungan parameter bentuk C_m terhadap respon amplitude gerak *pitching* mempunyai pengaruh positif, dimana semakin besar nilai parameter C_m akan mengurangi besarnya respon amplitude gerak *pitching supply vessel*, dengan semakin luas bidang tengah kapal (luas potongan melintang kapal) pada lebar dan sarat yang tetap maka respon amplitude gerak *pitching* yang ditimbulkan oleh bentuk badan kapal akan semakin besar.

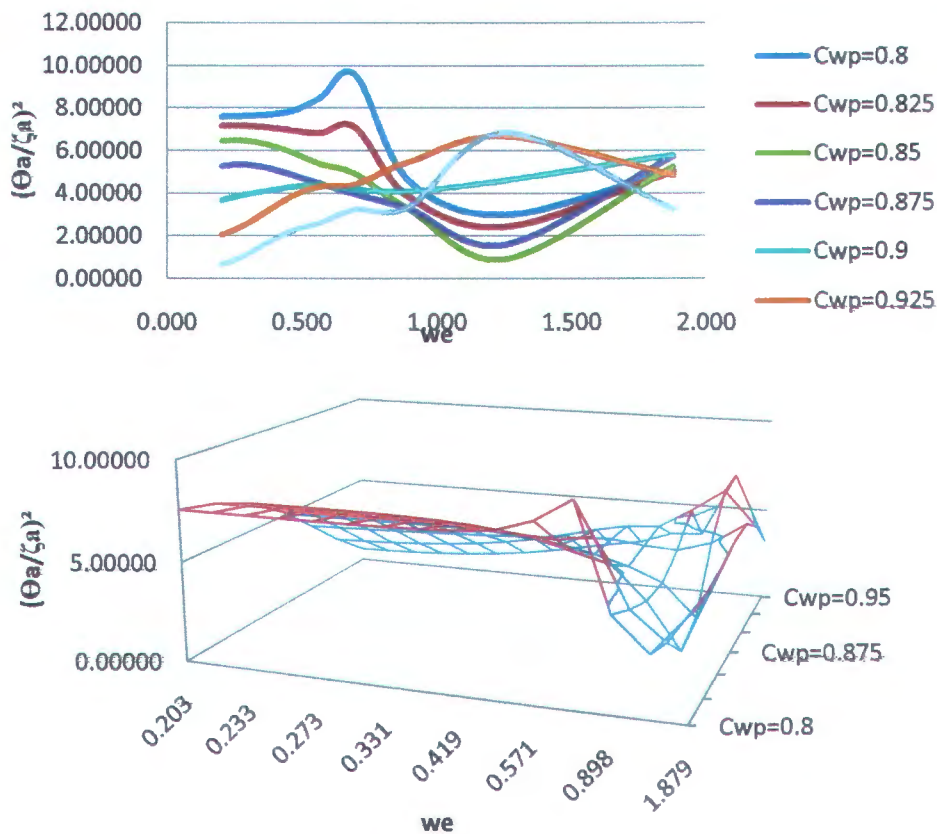


Gambar 4.66, Pemvariasian C_m Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak pitching

❖ Parameter C_{wp}

C_{wp} adalah koefisien bentuk kapal yang memperlihatkan bentuk potongan memanjang bagian garis air kapal (sarat kapal). besarnya nilai C_{wp} akan memperlihatkan besarnya potongan bagian garis air kapal (sarat kapal).

Dengan memvariasikan parameter C_{wp} dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.67. pada gambar tersebut terlihat bahwa hubungan parameter bentuk kapal C_{wp} terhadap respon amplitude gerak pitching mempunyai pengaruh negatif. dimana semakin besar nilai parameter bentuk C_{wp} akan mengurangi besarnya respon amplitude gerak pitching supply vessel, dengan semakin luas bidang garis air bentuk badan kapal pada panjang dan lebar kapal tetap, maka respon amplitude gerak pitching yang ditimbulkan akan semakin mengecil.

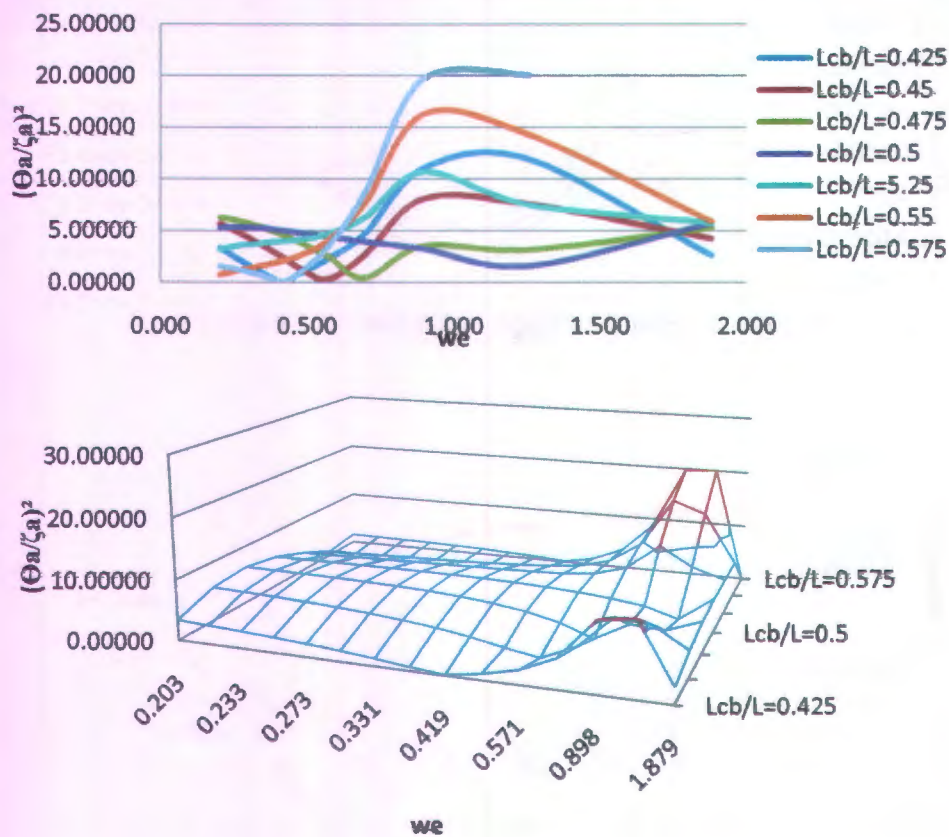


Gambar 4.67, Pemvariasian C_{wp} Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak rolling

❖ Parameter L_{cb}/L

Parameter L_{cb}/L merupakan parameter yang memperlihatkan letak titik pusat apung kapal terhadap panjang kapal. Terhadap bentuk kapal, titik pusat apung tersebut mempengaruhi bentuk depan dan belakang kapal. Apabila letak titik pusat apung di depan *midship* ($L_{cb}/L > 0,5$) maka bentuk bagian depan kapal lebih besar dari bagian belakang kapal. Sebaliknya jika $L_{cb}/L < 0,5$ maka bentuk belakang akan lebih besar dari bentuk bagian depan.

Dengan memvariasikan parameter L_{cb}/L dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.68. pada gambar tersebut terlihat hubungan parameter bentuk kapal L_{cb}/L terhadap respon amplitud gerak pitching mempunyai pengaruh positif. dimana semakin besar nilai parameter bentuk kapal L_{cb}/L akan meningkatkan besarnya respon amplitud gerak *pitching supply vessel*

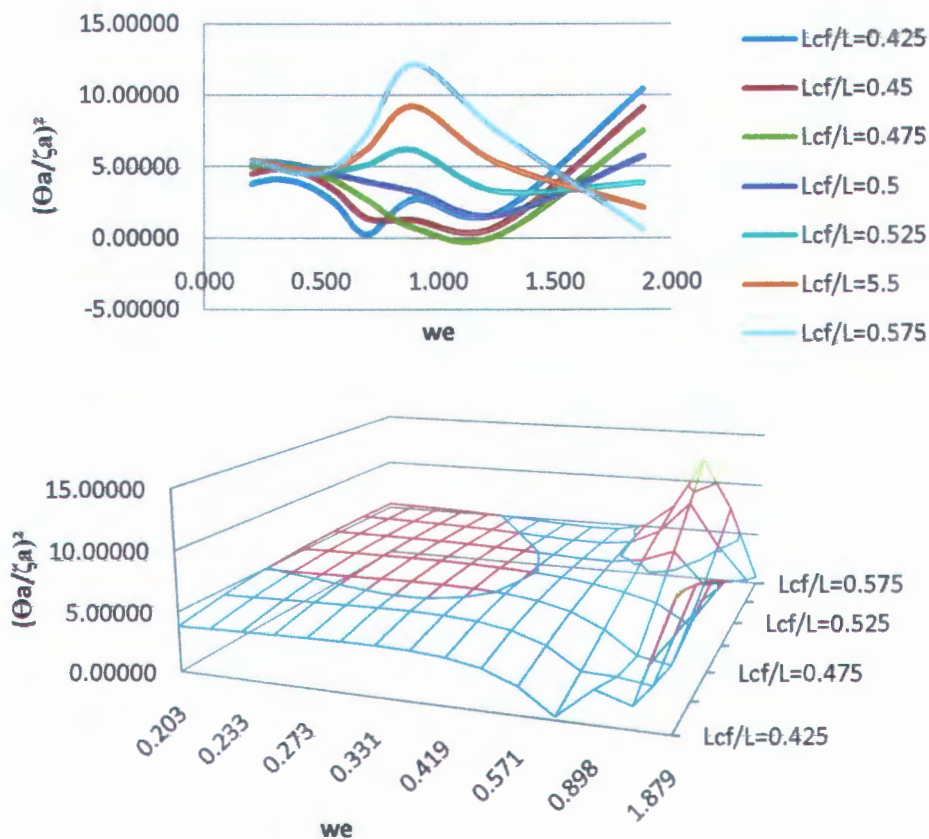


Gambar 4.68, Pemvariasian L_{cb}/L Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak pitching

❖ Parameter L_{cf}/L

Parameter L_{cf}/L merupakan parameter yang memperlihatkan letak titik pusat garis air terhadap panjang kapal. Terhadap bentuk kapal, titik pusat garis air tersebut mempengaruhi bentuk garis air bagian depan dan belakang kapal. Apabila letak titik pusat apung di depan *midship* ($L_{cb}/L > 0,5$) maka bentuk bagian depan kapal lebih besar dari bagian belakang kapal. Sebaliknya jika $L_{cb}/L < 0,5$ maka bentuk belakang akan lebih besar dari bentuk bagian depan.

Dengan memvariasikan parameter L_{cf}/L dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , dan L_{cb}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.69. pada gambar tersebut terlihat bahwa hubungan parameter bentuk L_{cf}/L terhadap respon amplitude gerak pitching mempunyai pengaruh positif. dimana semakin besar nilai L_{cf}/L akan meningkatkan besarnya respon amplitude gerak pitching supply vessel



Gambar 4.69, Pemvariasian L_{cf}/L Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap gerak pitching

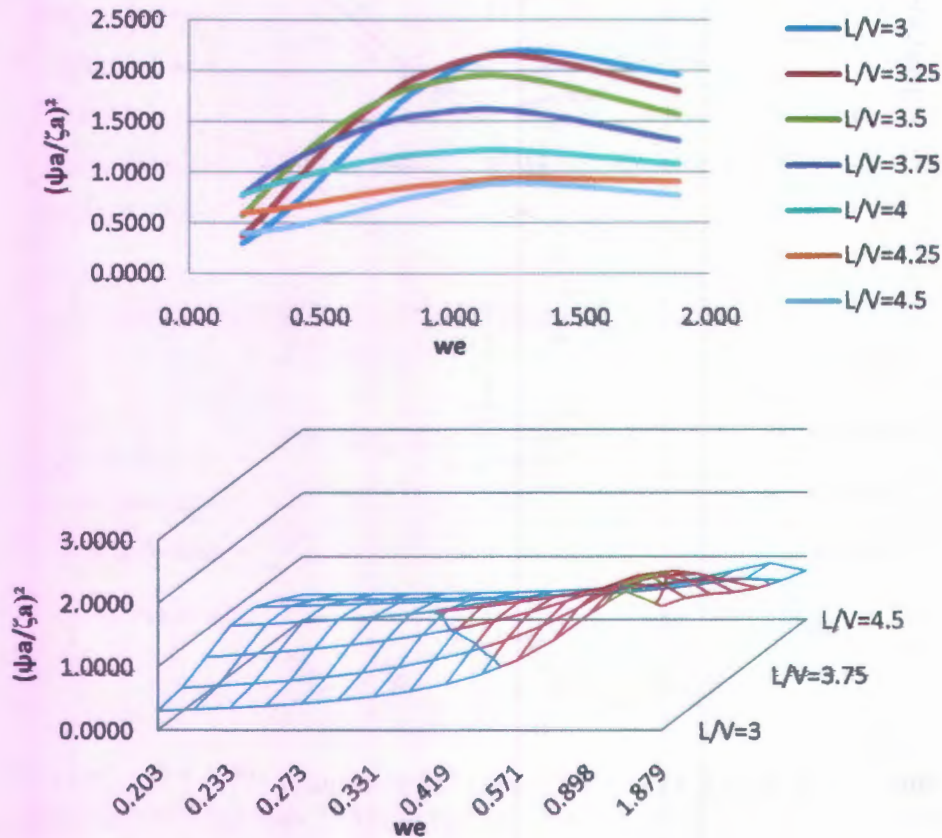
4.4.6 Gerak Yawing

❖ Parameter $L/\nabla^{1/3}$

Parameter $L/\nabla^{1/3}$ adalah parameter bentuk badan kapal yang mendefinisikan kelangsingan bentuk badan kapal. secara umum dapat diartikan bahwa semakin kecil rasio kelangsingan ($L/\nabla^{1/3}$) maka bentuk badan kapal kelihatan gemuk/besar, dan sebaliknya semakin besar rasio kelangsinga ($L/\nabla^{1/3}$) maka bentuk badan kapal akan kelihatan langsing/kurus.

Dengan memvariasikan parameter $L/\nabla^{1/3}$ dan mengkonstantakan parameter L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , pada gambar 4.70, pengaruh $L/\nabla^{1/3}$ terhadap respon amplitude gerak surging negatif. Dengan kondisi tersebut gerak rotasi kearah sumbu z (yawing) akan semakin mengecil jika rasio kelangsingan

kapal $L/\nabla^{1/3}$ besar, ini berarti dengan panjang yang konstan dan semakin besar volume displasemen kapal maka respon amplitudo gerak *yawing* semakin besar.



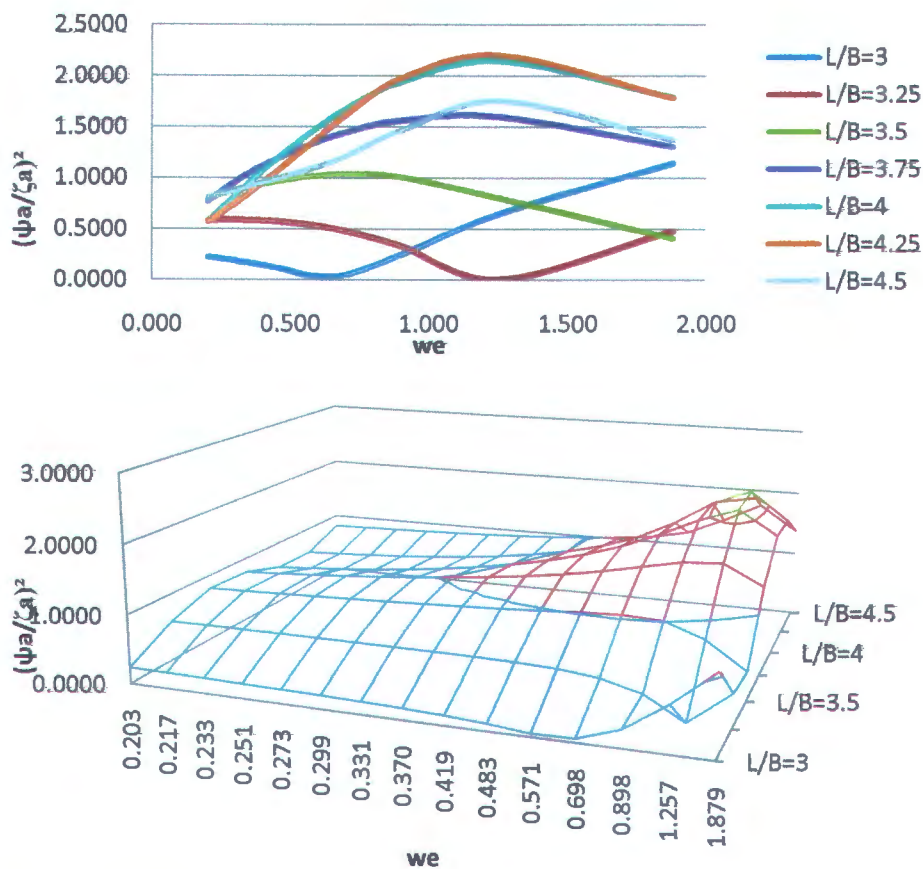
Gambar 4.70, Pemvariasian $L/\nabla^{1/3}$ *Supply Vessel* dengan $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak *Yawing*

❖ Parameter L/B

L/B adalah parameter bentuk badan kapal yang memperlihatkan perbandingan antara panjang kapal dan lebar kapal. Untuk lebar yang tetap dengan meningkatkan panjang kapal, maka bentuk badan kapal bagian ujung-ujung kapal akan meruncing.

Dengan memvariasikan parameter L/B dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan seperti pada gambar 4.71. Dari gambar terlihat hubungan parameter L/B terhadap *respon amplitude* gerak *yawing* memberi pengaruh negatif pada $L/B < 3,75$ dan positif pada $L/B > 3,75$. Dengan kondisi tersebut maka gerak rotasi ke arah sumbu z (*yawing*) akan semakin kecil jika rasio L/B semakin besar pada $L/B < 3,75$, dan pada

$L/B > 3,75$ akan besar gerak translasi kearah sumbu y jika rasio L/B semakin besar.

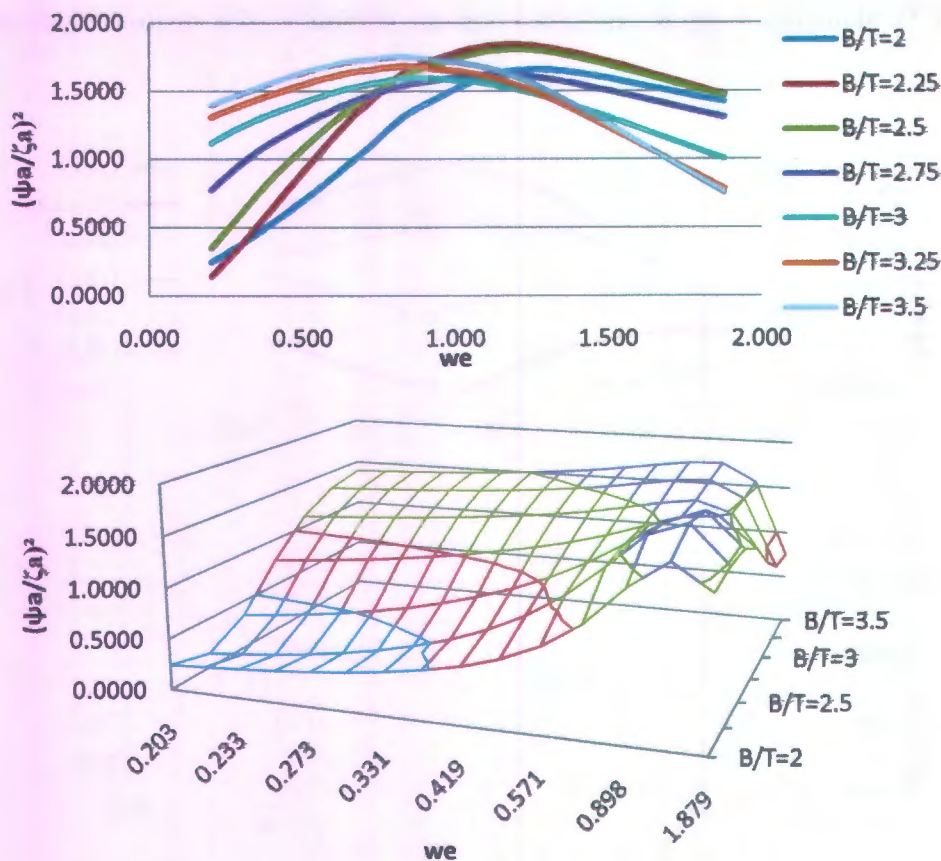


Gambar 4.71, Pemvariasian L/B Supply Vessel dengan $L/\sqrt{V^3} = 3,75$; $B/T = 2,75$; $C_b = 0,7$; $C_p = 0,8$; $C_m = 0,925$; $C_{wp} = 0,875$; $L_{cb}/L = 0,5$ dan $L_{cf}/L = 0,5$ terhadap Gerak yawing

❖ Parameter B/T

B/T adalah parameter bentuk badan kapal yang memperlihatkan perbandingan antara lebar kapal dengan tinggi sarat kapal. untuk lebar kapal yang tetap dengan meningkatnya tinggi sarat kapal maka rasio B/T akan mengecil.

Dengan memvariasikan parameter B/T dan mengkonstantakan parameter $L/\sqrt{V^3}$, L/B , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.72. pada gambar tersebut terlihat bahwa hubungan parameter B/T terhadap respon amplitudo gerak yawing mempunyai pengaruh negatif. Dengan kondisi tersebut maka gerak rotasi kearah sumbu z (yawing) akan semakin besar jika rasio B/T tinggi, ini berarti dengan lebar yang konstan dan semakin besar sarat kapal maka respon amplitudo gerak yawing semakin besar

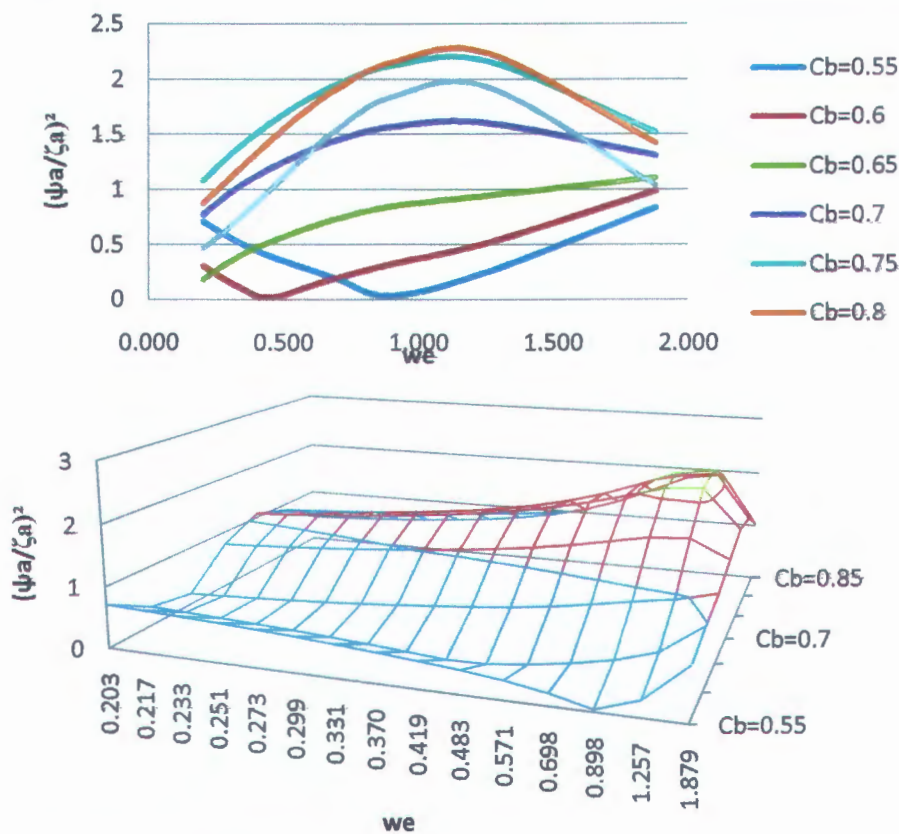


Gambar 4.72. Pemvariasian B/T Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak pitching

❖ Parameter C_b

C_b adalah merupakan parameter bentuk kapal yang mendefinisikan *fullness* dari bentuk kapal. C_b sendiri merupakan salah satu koefisien bentuk badan kapal yang memperlihatkan besar dan kecilnya suatu bentuk badan kapal, kecilnya nilai C_b akan memperlihatkan kurusnya bentuk kapal, begitu pula sebaliknya tingginya nilai C_b memperlihatkan gemuknya badan kapal.

Dengan memvariasikan parameter C_b dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_m , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.73. pada gambar tersebut terlihat bahwa hubungan parameter bentuk C_b terhadap respon amplitude gerak yawing mempunyai pengaruh positif. dimana semakin besar nilai C_b akan meningkatkan besarnya respon amplitude gerak yawing supply vessel, dengan semakin besar bentuk badan kapal/gemuk (C_b besar) maka respon amplitude gerak yawing yang dihasilkan akan besar.

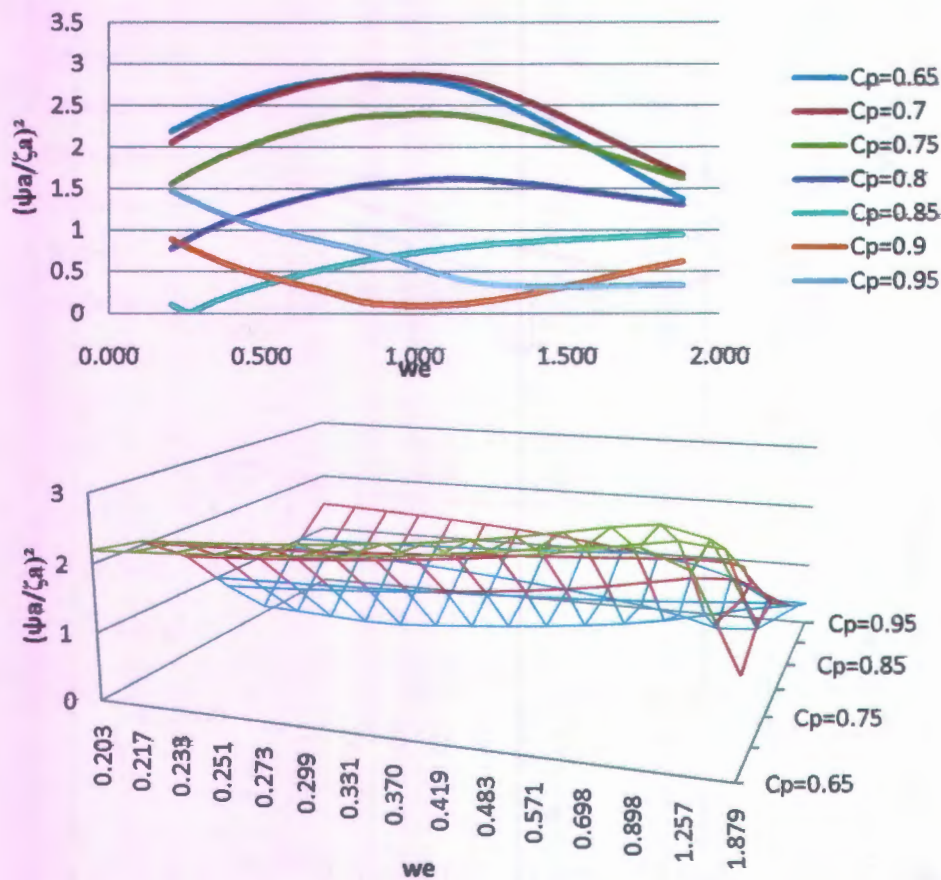


Gambar 4.73, Pemvariasian C_b Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak *pitching*

❖ Parameter C_p

Sama dengan C_b , C_p adalah merupakan parameter bentuk kapal yang mendefinisikan *fullness* dari bentuk kapal. C_p sendiri merupakan salah satu koefisien bentuk badan kapal yang memperlihatkan besar dan kecilnya suatu bentuk badan kapal, kecilnya nilai C_p akan memperlihatkan kurusnya bentuk kapal, begitu pula sebaliknya tingginya nilai C_p memperlihatkan gemuknya badan kapal

Dengan memvariasikan parameter C_p dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.74. pada gambar tersebut terlihat bahwa hubungan parameter bentuk C_p terhadap respon amplitude gerak yawing mempunyai pengaruh positif. dimana semakin besar nilai C_p akan meningkatkan besarnya respon amplitude gerak *yawing supply vessel*, dengan semakin besar bentuk badan kapal maka respon amplitude yang dihasilkan oleh bentuk badan kapal akan besar.

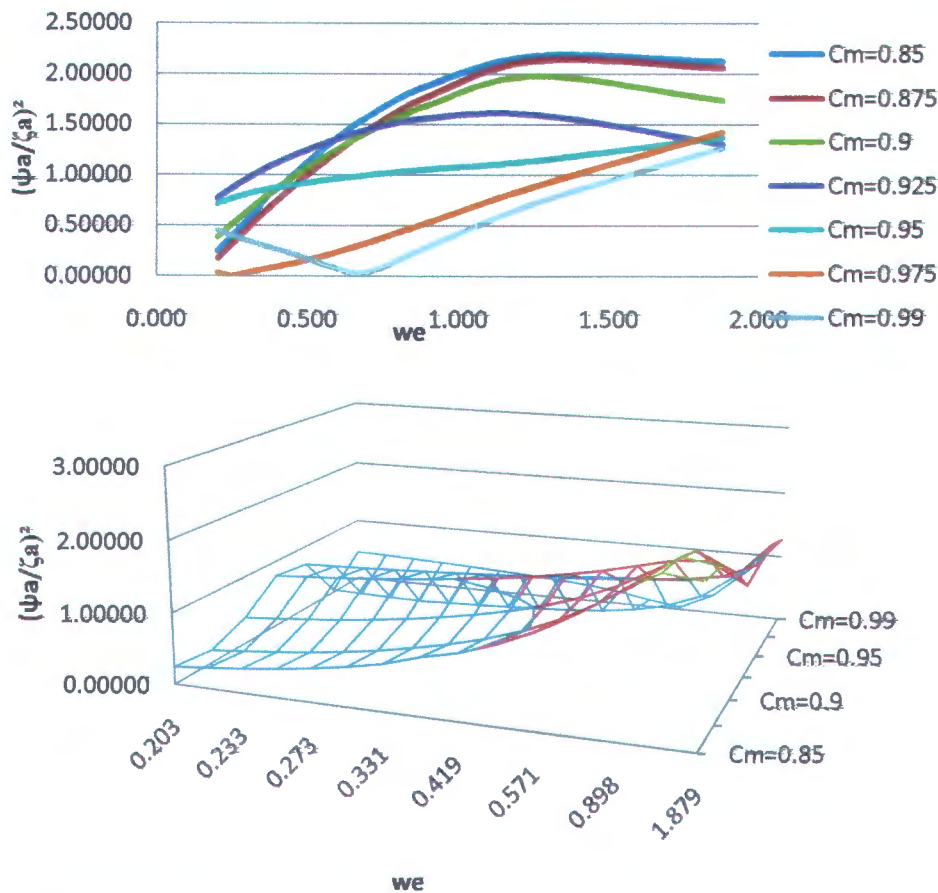


Gambar 4.74, Pemvariasian C_p Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak yawing

❖ Parameter C_m

C_m adalah koefisien bentuk kapal yang memperlihatkan bentuk potongan melintang bagian tengah kapal. besarnya nilai C_m akan memperlihatkan besarnya potongan bagian tengah kapal.

Dengan memvariasikan parameter C_m dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_{wp} , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.75. pada gambar tersebut terlihat bahwa hubungan parameter bentuk C_m terhadap respon amplitude gerak yawing mempunyai pengaruh negatif, dimana semakin besar nilai C_m akan mengurangi besarnya respon amplitude gerak yawing supply vessel, dengan semakin luas bidang tengah kapal pada lebar dan sarat yang tetap maka respon amplitude gerak yawing yang dihasil akan semakin mengecil.

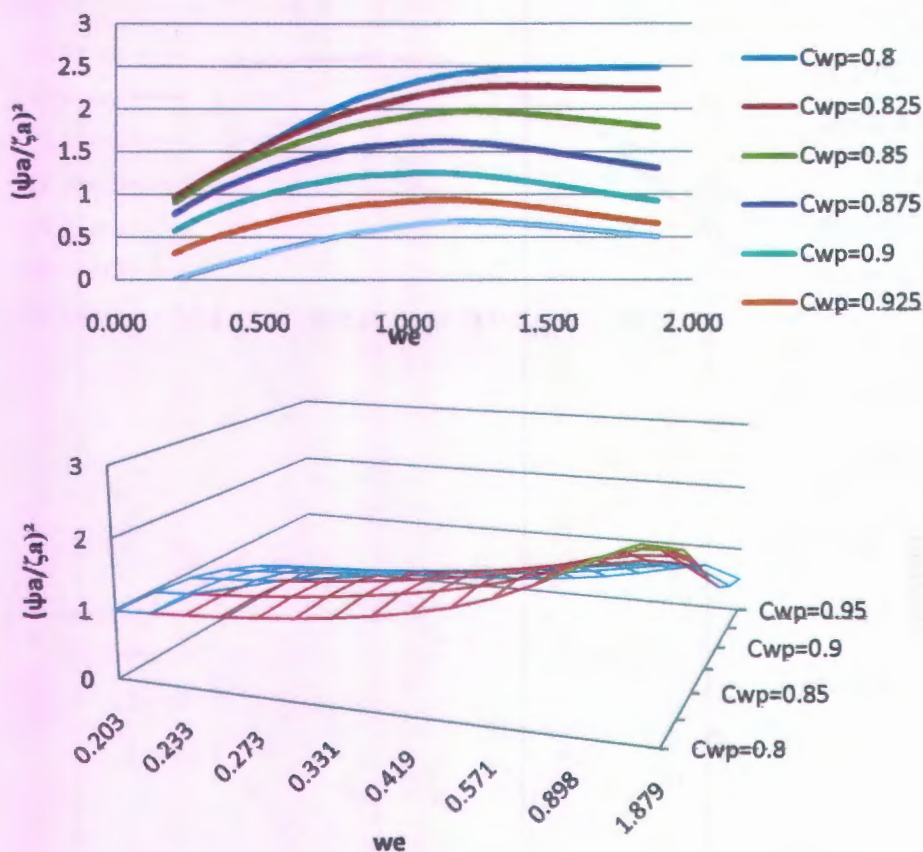


Gambar 4.75, Pemvariasian C_m Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_{wp}=0,875$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak yawing

❖ Parameter C_{wp}

C_{wp} adalah koefisien bentuk kapal yang memperlihatkan bentuk potongan memanjang bagian garis air kapal (sarat kapal). besarnya nilai C_{wp} akan memperlihatkan besarnya potongan bagian garis air kapal (sarat kapal).

Dengan memvariasikan parameter C_{wp} dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_p , L_{cb}/L dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.76. pada gambar tersebut terlihat bahwa hubungan parameter bentuk C_{wp} terhadap respon amplitude gerak yawing mempunyai pengaruh positif. dimana semakin besar nilai C_{wp} akan meningkatkan besarnya respon amplitude gerak yawing supply vessel, dengan semakin besar luas bidang garis air pada panjang dan lebar kapal tetap maka respon amplitude gerak yawing yang dihasilkan akan membesar.

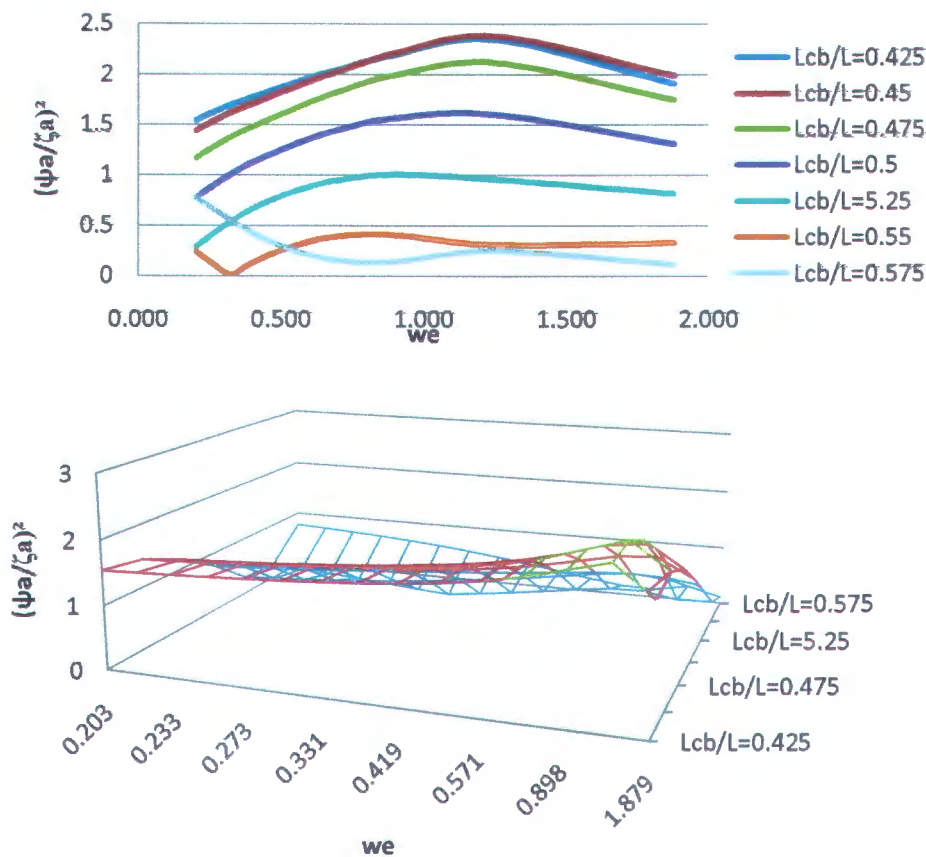


Gambar 4.76 Pemvariasian C_{wp} *Supply Vessel* dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $L_{cb}/L=0,5$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak yawing

❖ Parameter L_{cb}/L

Parameter L_{cb}/L merupakan parameter yang memperlihatkan letak titik pusat apung kapal terhadap panjang kapal. Terhadap bentuk kapal, titik pusat apung tersebut mempengaruhi bentuk depan dan belakang kapal. Apabila letak titik pusat apung di depan *midship* ($L_{cb}/L > 0,5$) maka bentuk bagian depan kapal lebih besar dari bagian belakang kapal. Sebaliknya jika $L_{cb}/L < 0,5$ maka bentuk belakang akan lebih besar dari bentuk bagian depan.

Dengan memvariasikan parameter L_{cb}/L dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , dan L_{cf}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.77. pada gambar tersebut terlihat hubungan parameter L_{cb}/L terhadap respon amplitude gerak yawing mempunyai pengaruh positif. dimana semakin besar nilai L_{cb}/L akan meningkatkan besarnya respon amplitude gerak yawing *supply vessel*

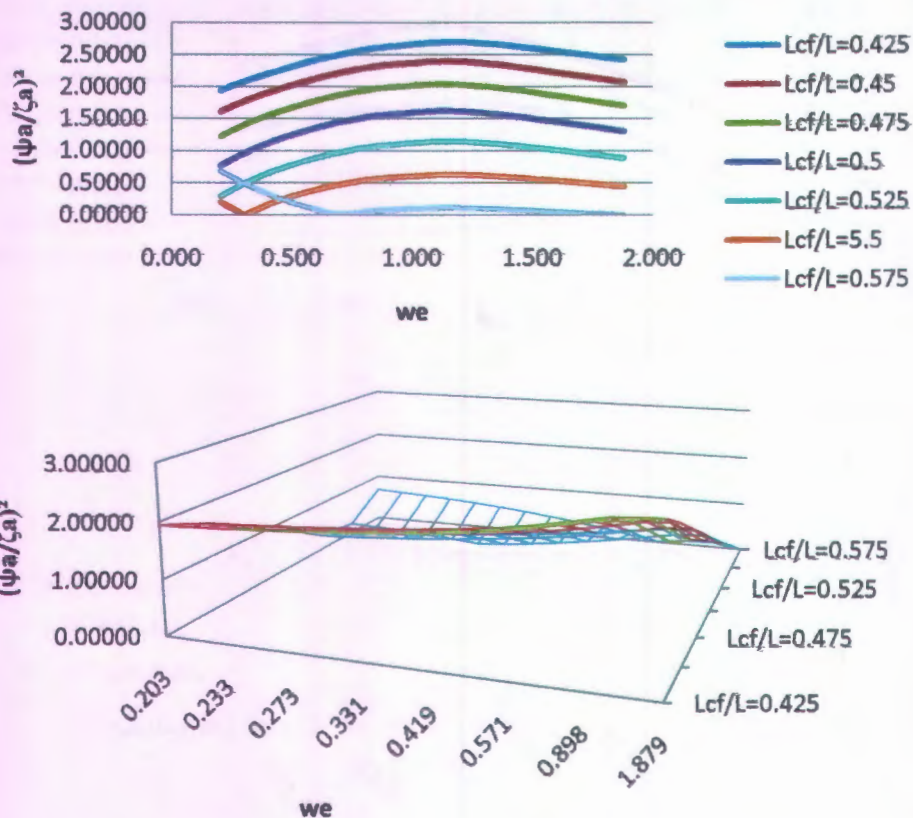


Gambar 4.77, Pemvariasian L_{cb}/L Supply Vessel dengan $L/\nabla^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap Gerak yawing

❖ Parameter L_{cf}/L

Parameter L_{cf}/L merupakan parameter yang memperlihatkan letak titik pusat garis air terhadap panjang kapal. Terhadap bentuk kapal, titik pusat garis air tersebut mempengaruhi bentuk garis air bagian depan dan belakang kapal. Apabila letak titik pusat apung di depan *midship* ($L_{cb}/L > 0,5$) maka bentuk bagian depan kapal lebih besar dari bagian belakang kapal. Sebaliknya jika $L_{cb}/L < 0,5$ maka bentuk belakang akan lebih besar dari bentuk bagian depan.

Dengan memvariasikan parameter L_{cf}/L dan mengkonstantakan parameter $L/\nabla^{1/3}$, L/B , B/T , C_b , C_m , C_{wp} , C_p , dan L_{cb}/L , didapatkan hasil seperti pada gambar 4.78. pada gambar tersebut terlihat bahwa hubungan parameter L_{cf}/L terhadap respon amplitude gerak yawing mempunyai pengaruh negatif. dimana semakin besar nilai L_{cf}/L akan mengurangi besarnya respon amplitude gerak yawing supply vessel



Gambar 4.78, Pemvariasian L_{cf}/L Supply Vessel dengan $L/V^{1/3}=3,75$; $L/B=3,75$; $B/T=2,75$; $C_b=0,7$; $C_p=0,8$; $C_m=0,925$; $C_{wp}=0,875$ dan $L_{cf}/L=0,5$ terhadap gerak yawing

4.5 Model Regresi

Metode *Multiple regression analysis*. *Multiple regression analysis* adalah metode pengembangan dari metode regresi dua variabel. Persamaan metode tersebut sebagai berikut :

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n, \dots \quad (4.1)$$

Dimana :

Y = *Estimated dependent variable*

X = *Independent variable* yang digunakan untuk mengestimasi *dependent variable*

β = *Coefficient* yang berpengaruh terhadap *dependent variable*

dengan persamaan (4.1) dikembangkan dan menjadi persamaan berikut:

$$f(x) = a \times X^b \times X^c \times \dots \times X^n, \dots \quad (4.2)$$

Dimana :

$f(x)$ = Estimated dependent variable

X = Independent variable yang digunakan untuk mengestimasi dependent variable

a, b, \dots, n = Coefficient yang berpengaruh terhadap dependent variable

4.5.1 Model Regresi Tahanan

Pengaruh setiap parameter bentuk kapal terhadap koefisien tahanan kapal. Hubungan tiap parameter bentuk kapal terhadap koefisien tahanan kapal sangat tidak linier, dimana pada saat tertentu mengalami penurunan koefisien tahanan dan pada saat yang lain mengalami kenaikan, hal ini terlihat ada beberapa parameter pada $Fn \leq 0,475$ mengalami penurunan koefisien tahanan sedangkan $Fn > 0,475$ mengalami kenaikan koefisien tahanan.

Dengan metode *statistic multiregressi* didapatkan hubungan parameter bentuk kapal (model pendekatan) sebagai berikut :

Model Pendekatan-I (untuk $Fn \leq 0,475$)

$$Ct = 0,00163 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-6,351} \left[\frac{L}{B} \right]^{5,1165} \left[\frac{B}{T} \right]^{0,828} [Cb]^{1,1475} [Cm]^{-7,622} [Cwp]^{-3,2184} [Cp]^{0,1456} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{9,216} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-8,18} [Fn]^{0,113379}, \dots \quad (4.3)$$

Model Pendekatan-II (untuk $Fn > 0,475$)

$$Ct = 2,559 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-4,737} \left[\frac{L}{B} \right]^{2,929} \left[\frac{B}{T} \right]^{-1,282} [Cb]^{2,7432} [Cm]^{-9,635} [Cwp]^{-3,121} [Cp]^{-0,239} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{18,41} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-13,796} [Fn]^{2,19137}, \dots \quad (4.4)$$

Dimana:

$L/V^{1/3}$ = Rasio kelangsingan badan kapal (*slimness*). (3,311 - 4,398)

L/B = Rasio panjang kapal terhadap lebar kapal. (3,369 - 4,475)

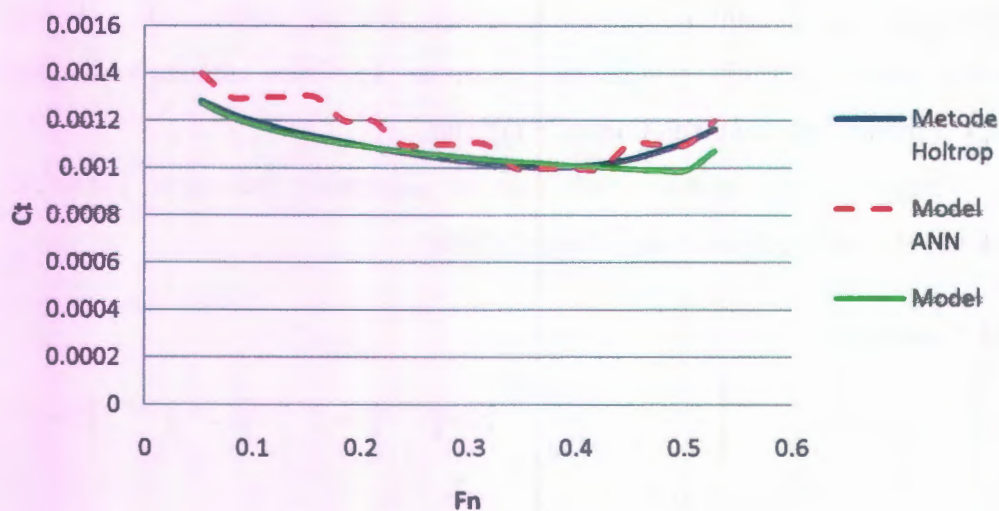
B/T = Rasio lebar kapal terhadap tinggi sarat kapal. (2,000 - 3,800)

Cb = Koefisien balok (*block coefficient*). (0,610 s/d 0,800)

Cm = Koefisien penampang tengah (*midship coefficient*). (0,91 - 0,99)

- C_{wp} = Koefisien garis air (*water line coefficient*). (0,810 - 0,930)
 C_p = Koefisien prismatic (*prismatic coefficient*). (0,660 - 0,950)
 L_{cb}/L = Letak titik pusat gaya apung terhadap panjang kapal. (0,44 - 0,56)
 L_{cf}/L = Letak titik pusat garis air terhadap panjang kapal. (0,40 - 0,48)

Dengan model tahanan diatas, metode holtrop dan model *artificial neural network* diestimasi koefisien tahanan total *supply vessel* dengan $L/\sqrt{V}^3=4,160$; $L/B=4,281$; $B/T=2,800$; $C_b=0,630$; $C_p=0,64$; $C_m=0,990$; $C_{wp}=0,840$; $L_{cb}/L=0,450$ dan $L_{cf}/L=0,400$. Hasil estimasi masing-masing model seperti pada Gambar 4.79.



Gambar 4.79, Estimasi koefisien tahanan total *Supply Vessel* dengan Metode Holtrop; Model ANN dan Model tahanan.

Dari hasil estimasi yang dilakukan oleh masing-masing model, jika hasil estimasi dari metode holtrop dipakai sebagai acuan (metode utama), model tahanan lebih baik dari pada model ANN (*artificial neural network*). Hal ini dapat dilihat dari *mean square error* (MSE) masing-masing model terhadap model utama, MSE model ANN = $6,324E-9$ sedangkan untuk MSE Model regresi tahanan kapal = $1,735E-9$.

4.5.2 Model Regresi Gerak Surging

Dengan metode *statistic multiregressi* didapatkan hubungan parameter bentuk kapal (model pendekatan) sebagai berikut :

Model Pendekatan-I (untuk Heading 0^0 dan 180^0)

$$\left[\frac{xa}{\zeta a} \right]^2 = 2,138 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-1,851} \left[\frac{L}{B} \right]^{0,701} \left[\frac{B}{T} \right]^{0,35} [Cb]^{7,18} [Cm]^{-20,39} [Cwp]^{0,622} [Cp]^{17,88} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{6,05} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-3,47} [we]^{1,50972}, \dots \quad (4.5)$$

Model Pendekatan-II (untuk Heading 45^0 dan 135^0)

$$\left[\frac{xa}{\zeta a} \right]^2 = 1,418 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-1,851} \left[\frac{L}{B} \right]^{0,701} \left[\frac{B}{T} \right]^{0,35} [Cb]^{7,18} [Cm]^{-20,39} [Cwp]^{0,622} [Cp]^{17,88} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{6,05} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-3,47} [we]^{1,50972}, \dots \quad (4.6)$$

Model Pendekatan-III (untuk Heading 90^0)

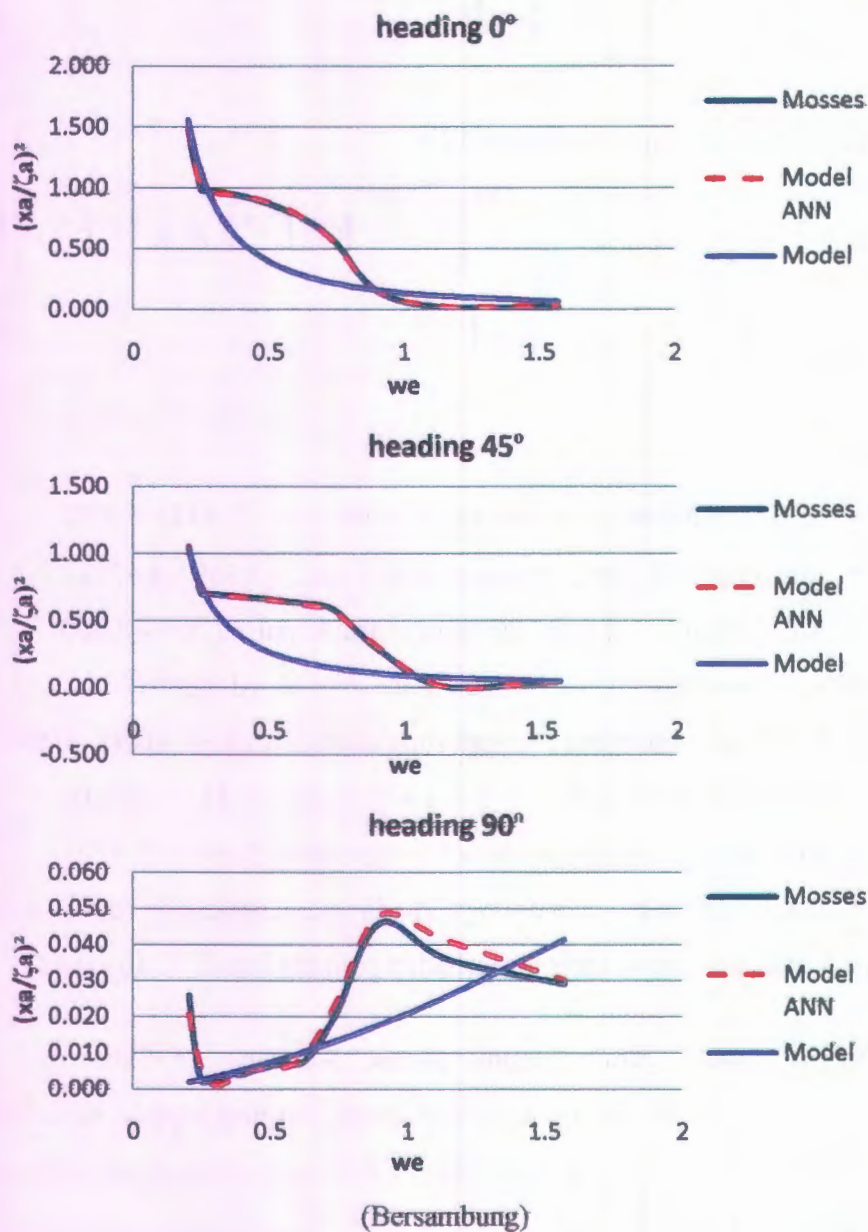
$$\left[\frac{xa}{\zeta a} \right]^2 = 0,318 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-1,851} \left[\frac{L}{B} \right]^{0,701} \left[\frac{B}{T} \right]^{0,35} [Cb]^{7,18} [Cm]^{-20,39} [Cwp]^{0,622} [Cp]^{17,88} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{6,05} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-3,47} [we]^{1,50972}, \dots \quad (4.7)$$

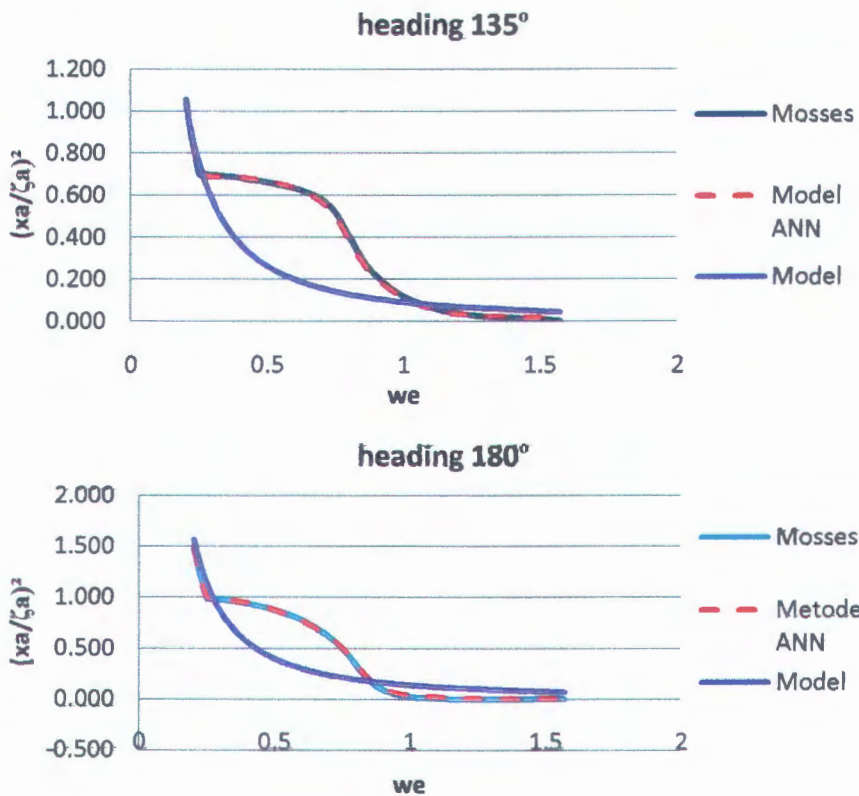
Dimana:

- $L/V^{1/3}$ = Rasio kelangsingan badan kapal (*slimness*). (3,311 - 4,398)
- L/B = Rasio panjang kapal terhadap lebar kapal. (3,369 - 4,475)
- B/T = Rasio lebar kapal terhadap tinggi sarat kapal. (2,000 - 3,800)
- Cb = Koefisien balok (*block coefficient*). (0,610 s/d 0,800)
- Cm = Koefisien penampang tengah (*midship coefficient*). (0,91 - 0,99)
- Cwp = Koefisien garis air (*water line coefficient*). (0,810 - 0,930)
- Cp = Koefisien prismatic (*prismatic coefficient*). (0,660 - 0,950)
- Lcb/L = Letak titik pusat gaya apung terhadap panjang kapal. (0,44 - 0,56)
- Lcf/L = Letak titik pusat garis air terhadap panjang kapal. (0,40 - 0,48)

Dengan model gerak surging diatas, *Software MOSES* dan model *artificial neural network* diestimasi RAO gerak surging *supply vessel* dengan $L/V^{1/3}=4,160$; $L/B=4,281$; $B/T=2,800$; $Cb=0,630$; $Cp=0,64$; $Cm=0,990$; $Cwp=0,840$; $Lcb/L=0,450$ dan $Lcf/L=0,400$. hasil estimasi masing-masing

model seperti pada Gambar 4.80. Dari hasil estimasi model ANN lebih baik dari pada model gerak heaving, Hal ini dapat dilihat dari *mean square error* (MSE) tiap gerakan sebagai berikut: pada sudut heading 0° MSE model ANN=0,0022 , MSE model regresi surging=0,0714; Pada sudut heading 45° MSE Model ANN=0,00011, MSE model regresi surging=0,05733; Pada sudut heading 90° MSE Model ANN=5,68E-6 MSE model regresi surging= 0,000108; Pada sudut heading 135° MSE Model ANN=8,99E-5, MSE model regresi surging = 0,053811; Pada sudut heading 180° MSE Model ANN=9,41E-5, MSE model regresi surging= 0,069709.





Gambar 4.80, Estimasi RAO Gerak *Surging Supply Vessel* dengan MOSES; Model ANN dan Model gerak surging.

4.5.3 Model Regresi Gerak Swaying

Dengan metode *statistic multiregressi* didapatkan hubungan parameter bentuk kapal (model pendekatan) sebagai berikut :

Model Pendekatan-I (untuk Heading 0° dan 180°)

$$\left[\frac{y_a}{\zeta a} \right]^2 = 0.000691 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{0.0134} \left[\frac{L}{B} \right]^{-0.0084} \left[\frac{B}{T} \right]^{-0.0014} [C_b]^{0.1411} [C_m]^{-0.631} [C_{wp}]^{0.0023} [C_p]^{-0.129} \left[\frac{L_{cb}}{L} \right]^{-0.219} \left[\frac{L_{cf}}{L} \right]^{0.166} [we]^{0.00036}, \dots \quad (4.8)$$

Model Pendekatan-II (untuk Heading 45° dan 135°)

$$\left[\frac{y_a}{\zeta a} \right]^2 = 0.197 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{3.05} \left[\frac{L}{B} \right]^{-3.26} \left[\frac{B}{T} \right]^{-0.42} [C_b]^{25.1} [C_m]^{23.3} [C_{wp}]^{1.09} [C_p]^{-25.6} \left[\frac{L_{cb}}{L} \right]^{-10} \left[\frac{L_{cf}}{L} \right]^{7.9} [we]^{-1.08}, \dots \quad (4.9)$$

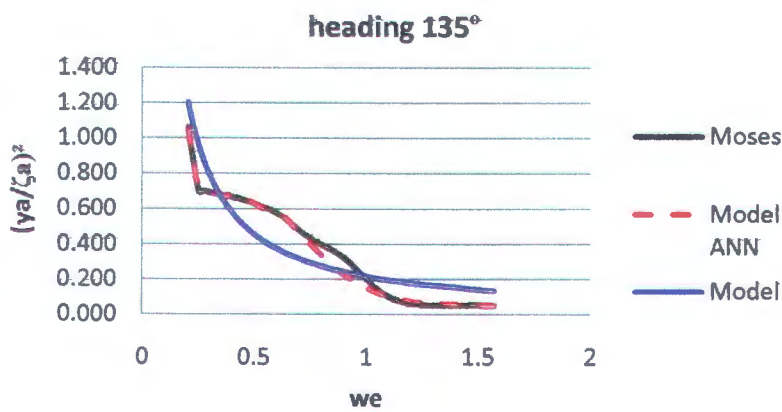
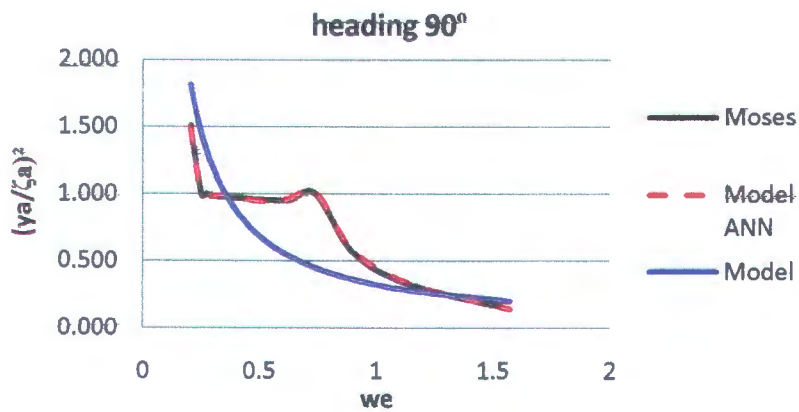
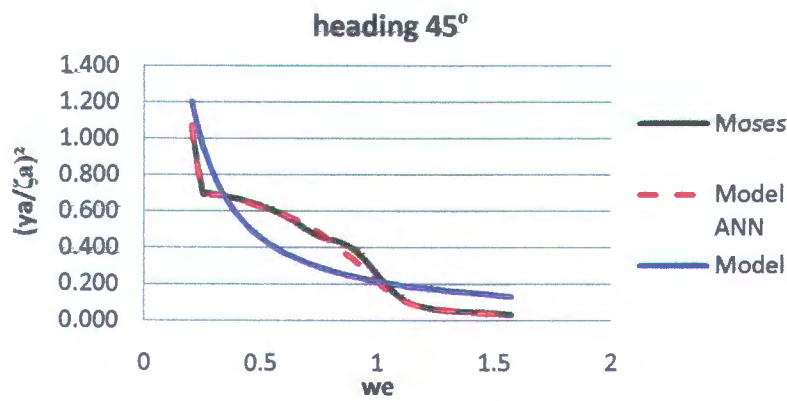
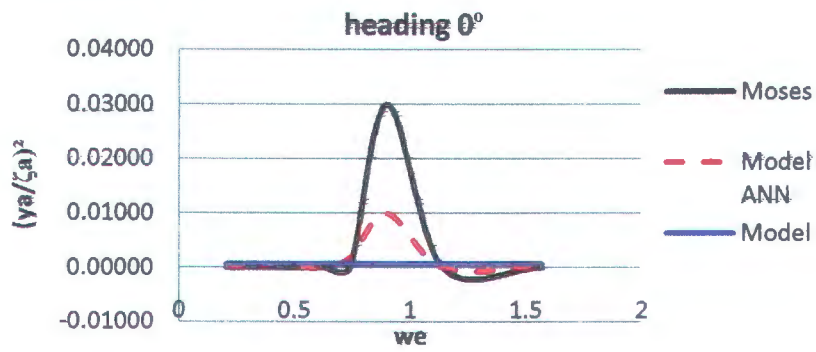
Model Pendekatan-III (untuk Heading 90⁰)

$$\left[\frac{ya}{\zeta a} \right]^2 = 0.000691 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{0.0134} \left[\frac{L}{B} \right]^{-0.0084} \left[\frac{B}{T} \right]^{-0.0014} [Cb]^{0.1411} [Cm]^{-0.631} [Cwp]^{0.0023} [Cp]^{0.129} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{-0.219} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{0.166} [we]^{0.00036}, \dots \dots \dots (4.10)$$

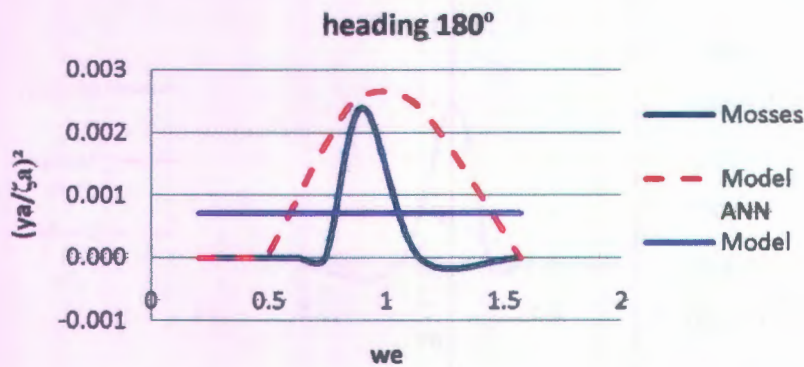
Dimana:

- $L/V^{1/3}$ = Rasio kelangsingan badan kapal (*slimness*). (3,311 - 4,398)
- L/B = Rasio panjang kapal terhadap lebar kapal. (3,369 - 4,475)
- B/T = Rasio lebar kapal terhadap tinggi sarat kapal. (2,000 - 3,800)
- Cb = Koefisien balok (*block coefficient*). (0,610 s/d 0,800)
- Cm = Koefisien penampang tengah (*midship coefficient*). (0,91 - 0,99)
- Cwp = Koefisien garis air (*water line coefficient*). (0,810 - 0,930)
- Cp = Koefisien prismatic (*prismatic coefficient*). (0,660 - 0,950)
- Lcb/L = Letak titik pusat gaya apung terhadap panjang kapal. (0,44 - 0,56)
- Lcf/L = Letak titik pusat garis air terhadap panjang kapal. (0,40 - 0,48)

Dengan model gerak swaying diatas, *Software MOSES* dan model ANN (*artificial neural network*) diestimasi RAO gerak swaying *supply vessel* dengan $L/V^{1/3}=4,160$; $L/B=4,281$; $B/T=2,800$; $Cb=0,630$; $Cp=0,64$; $Cm=0,990$; $Cwp=0,840$; $Lcb/L=0,450$ dan $Lcf/L=0,400$. hasil estimasi masing-masing model seperti pada Gambar 4.81 Dari hasil estimasi model ANN lebih baik dari pada model gerak swaying, Hal ini dapat dilihat dari *mean square error* (MSE) tiap gerakan sebagai berikut: pada sudut heading 0⁰ MSE model ANN=2,14E-5 MSE model regresi swaying=4,56E-5; Pada sudut heading 45⁰ MSE Model ANN=0,00027 MSE model regresi surging=0,0252; Pada sudut heading 90⁰ MSE Model ANN=0,000131 MSE model regresi surging= 0,0903; Pada sudut heading 135⁰ MSE Model ANN=5,54E-4 MSE model regresi surging = 0,0239; Pada sudut heading 180⁰ MSE Model ANN = 5,37E-7 MSE model regresi surging = 6,3E-7.



(Bersambung)



Gambar 4.81, Estimasi RAO Gerak *Swaying Supply Vessel* dengan MOSES; Model ANN dan Model gerak swaying.

4.5.3 Model Regresi Gerak Heaving

Dengan metode *statistic multiregressi* didapatkan hubungan parameter bentuk kapal (model pendekatan) sebagai berikut :

Model Pendekatan-I (untuk Heading 0°, 45°, 135° dan 180°)

$$\left[\frac{za}{\zeta a} \right]^2 = 1,052 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{3,127} \left[\frac{L}{B} \right]^{-2,751} \left[\frac{B}{T} \right]^{-1,491} [Cb]^{4,92} [Cm]^{4,78} [Cwp]^{2,147} [Cp]^{-3,84} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{-2,19} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{1,67} [we]^{0,8052}, \dots \quad (4.11)$$

Model Pendekatan-II (untuk Heading 90°)

$$\left[\frac{za}{\zeta a} \right]^2 = 0,36 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{1,39} \left[\frac{L}{B} \right]^{-1,1} \left[\frac{B}{T} \right]^{-0,49} [Cb]^{4,7} [Cm]^{4,7} [Cwp]^{0,78} [Cp]^{4,7} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{0,01} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{0,05} [we]^{0,699}, \dots \quad (4.12)$$

Dimana:

$L/V^{1/3}$ = Rasio kelangsingan badan kapal (*slimness*). (3,311 - 4,398)

L/B = Rasio panjang kapal terhadap lebar kapal. (3,369 - 4,475)

B/T = Rasio lebar kapal terhadap tinggi sarat kapal. (2,000 - 3,800)

Cb = Koefisien balok (*block coefficient*). (0,610 s/d 0,800)

Cm = Koefisien penampang tengah (*midship coefficient*). (0,91 - 0,99)

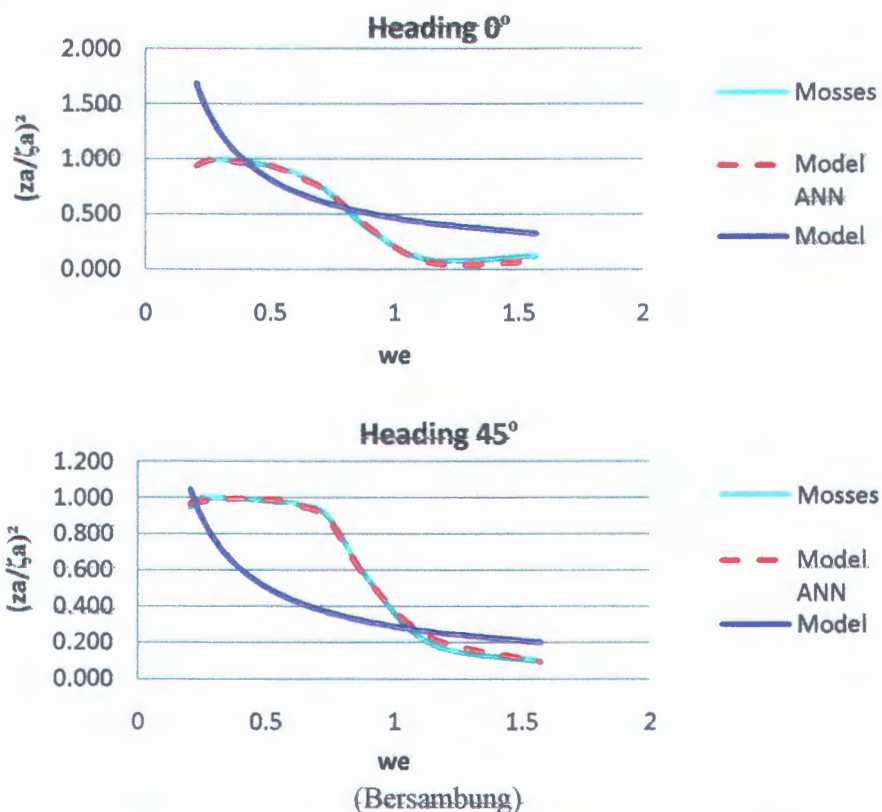
Cwp = Koefisien garis air (*water line coefficient*). (0,810 - 0,930)

C_p = Koefisien prismatic (*prismatic coefficient*). (0,660 - 0,950)

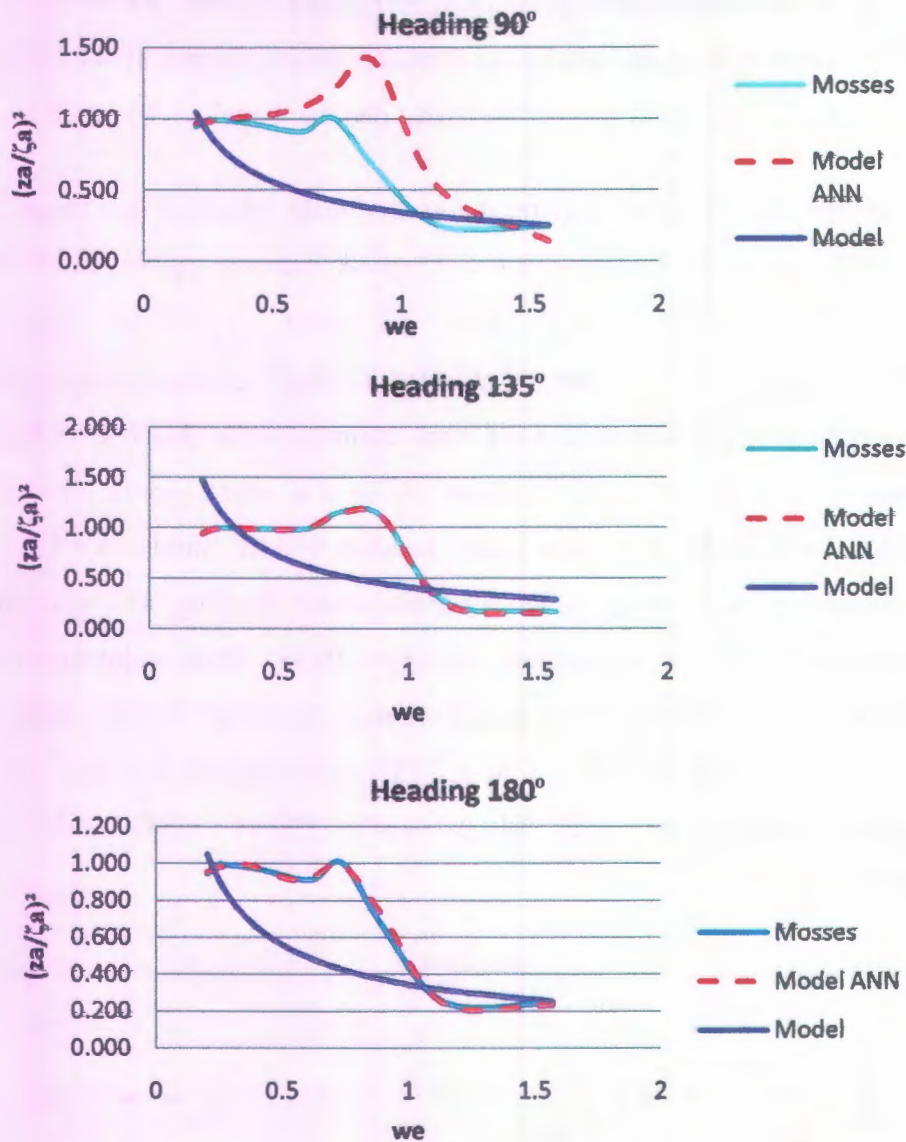
L_{cb}/L = Letak titik pusat gaya apung terhadap panjang kapal. (0,44 - 0,56)

L_{cf}/L = Letak titik pusat garis air terhadap panjang kapal. (0,40 - 0,48)

Dengan model gerak heaving diatas, *Software MOSSES* dan model ANN (*artificial neural network*) diestimasi RAO gerak heaving *supply vessel* dengan $L/\nabla^{1/3}=4,160$; $L/B=4,281$; $B/T=2,800$; $C_b=0,630$; $C_p=0,64$; $C_m=0,990$; $C_{wp}=0,840$; $L_{cb}/L=0,450$ dan $L_{cf}/L=0,400$. hasil estimasi masing-masing model seperti pada Gambar 4.82. Dari hasil estimasi model ANN lebih baik dari pada model gerak heaving, Hal ini dapat dilihat dari *mean square error* (MSE) tiap gerakan sebagai berikut: Pada sudut heading 0° MSE model ANN=2,18E-4 MSE model regresi *heaving* = 0,122; Pada sudut heading 45° MSE Model ANN=0,000166, MSE model regresi *heaving*=0,0933; Pada sudut heading 90° MSE Model ANN=0,039, MSE model regresi *heaving*= 0,072; Pada sudut heading 135° MSE Model ANN=5,3E-5, MSE model regresi *heaving* = 0,1134; Pada sudut heading 180° MSE Model ANN=2,55E-4, MSE model regresi *heaving*=0,126



(Bersambung)



Gambar 4.82, Estimasi RAO Gerak *Heaving Supply Vessel* dengan MOSES; Model ANN dan Model gerak heaving.

4.5.4 Model Regresi Gerak Rolling

Dengan metode *statistic multiregressi* didapatkan hubungan parameter bentuk kapal (Model pendekatan) sebagai berikut :

Model Pendekatan-1 (untuk Heading 0^0 dan 180^0)

$$\left[\frac{\phi_a}{\zeta_a} \right]^2 = 0,00006 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-11,42} \left[\frac{L}{B} \right]^{10,1} \left[\frac{B}{T} \right]^{4,758} [Cb]^{41,2} [Cm]^{-132,3} [Cwp]^{34,67} [Cp]^{-157,5} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{16,82} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-13,36} [we]^{2,6569}, \dots \dots \dots (4.13)$$

Model Pendekatan-II (untuk Heading 45^o dan 135^o)
We < 0,75

$$\left[\frac{\phi\alpha}{\zeta a} \right]^2 = 0,15 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-11,42} \left[\frac{L}{B} \right]^{10,1} \left[\frac{B}{T} \right]^{4,758} [Cb]^{41,2} [Cm]^{-132,3} [Cwp]^{34,67}$$

$$[Cp]^{-157,5} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{16,82} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-13,36} [we]^{2,6569}, \dots \quad (4.14)$$

We > 0,75

$$\left[\frac{\phi\alpha}{\zeta a} \right]^2 = 0,15 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-11,42} \left[\frac{L}{B} \right]^{10,1} \left[\frac{B}{T} \right]^{4,758} [Cb]^{41,2} [Cm]^{-132,3} [Cwp]^{34,67}$$

$$[Cp]^{-157,5} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{16,82} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-13,36} [we]^{-2,6569}, \dots \quad (4.15)$$

Model Pendekatan-III (untuk Heading 90^o)
We < 0,75

$$\left[\frac{\phi\alpha}{\zeta a} \right]^2 = 0,3 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-11,42} \left[\frac{L}{B} \right]^{10,1} \left[\frac{B}{T} \right]^{4,758} [Cb]^{41,2} [Cm]^{-132,3} [Cwp]^{34,67}$$

$$[Cp]^{-157,5} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{16,82} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-13,36} [we]^{2,6569}, \dots \quad (4.16)$$

We > 0,75

$$\left[\frac{\phi\alpha}{\zeta a} \right]^2 = 0,3 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-11,42} \left[\frac{L}{B} \right]^{10,1} \left[\frac{B}{T} \right]^{4,758} [Cb]^{41,2} [Cm]^{-132,3} [Cwp]^{34,67}$$

$$[Cp]^{-157,5} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{16,82} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-13,36} [we]^{-2,6569}, \dots \quad (4.17)$$

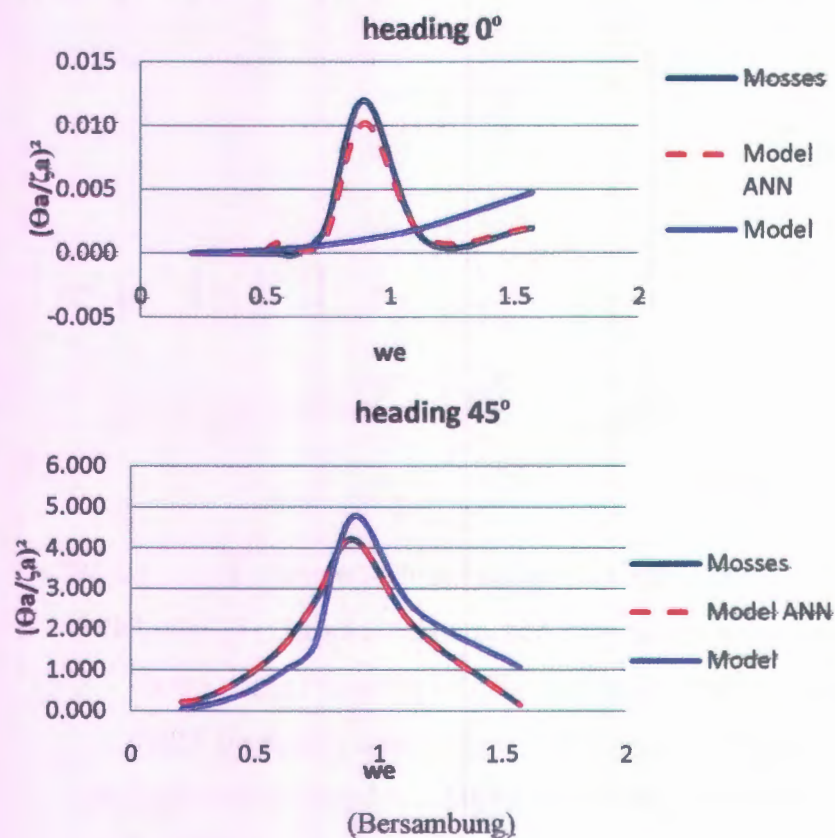
Dimana:

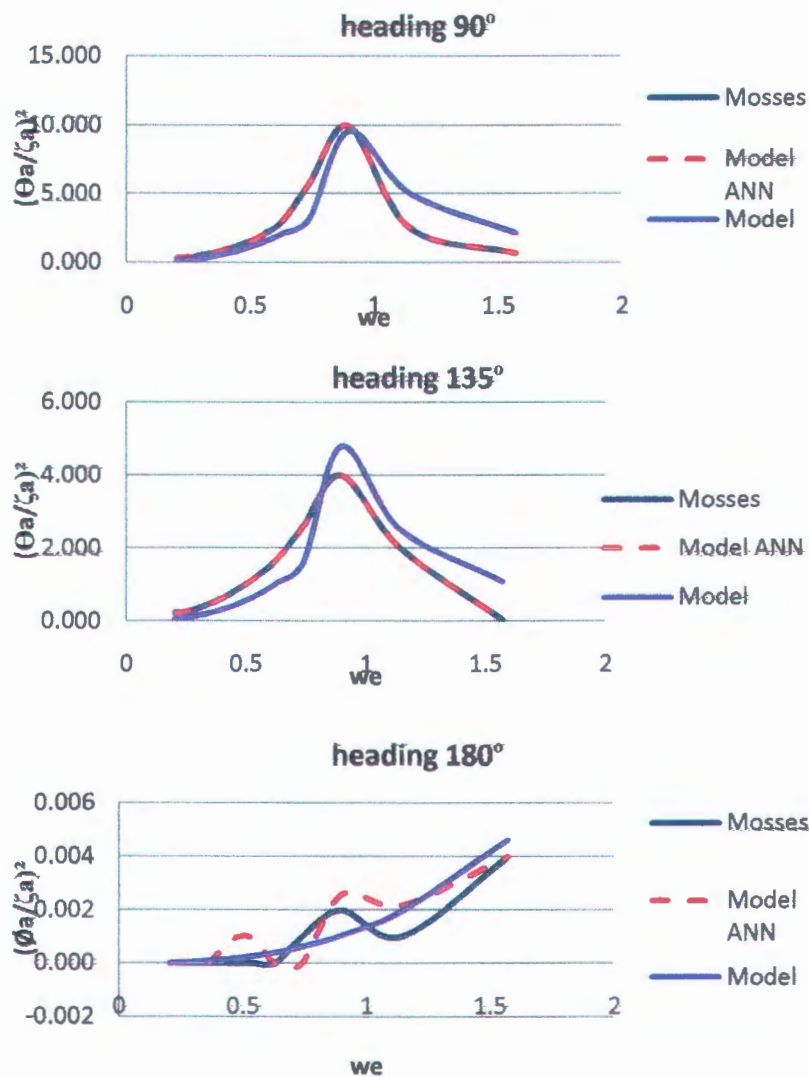
- $L/V^{1/3}$ = Rasio kelangsingan badan kapal (*slimness*). (3,311 - 4,398)
- L/B = Rasio panjang kapal terhadap lebar kapal. (3,369 - 4,475)
- B/T = Rasio lebar kapal terhadap tinggi sarat kapal. (2,000 - 3,800)
- Cb = Koefisien balok (*block coefficient*). (0,610 s/d 0,800)
- Cm = Koefisien penampang tengah (*midship coefficient*). (0,91 - 0,99)
- Cwp = Koefisien garis air (*water line coefficient*). (0,810 - 0,930)
- Cp = Koefisien prismatic (*prismatic coefficient*). (0,660 - 0,950)

L_{cb}/L = Letak titik pusat gaya apung terhadap panjang kapal. (0,44 - 0,56)

L_{cf}/L = Letak titik pusat garis air terhadap panjang kapal. (0,40 - 0,48)

Dengan model gerak rolling diatas, *Software MOSSES* dan model ANN (*artificial neural network*) diestimasi RAO gerak rolling *supply vessel* dengan $L/\nabla^{1/3}=4,160$; $L/B=4,281$; $B/T=2,800$; $C_b=0,630$; $C_p=0,64$; $C_m=0,990$; $C_{wp}=0,840$; $L_{cb}/L=0,450$ dan $L_{cf}/L=0,400$. hasil estimasi masing-masing model seperti pada Gambar 4.83 Dari hasil estimasi model ANN lebih baik dari pada model gerak rolling, Hal ini dapat dilihat dari *mean square error* (MSE) tiap gerakan sebagai berikut: Pada sudut heading 0° MSE model ANN= $2,536E-7$, MSE model regresi rolling= $6,86E-6$; Pada sudut heading 45° MSE Model ANN= $1,08E-4$, MSE model regresi rolling= 0.209 ; Pada sudut heading 90° MSE Model ANN= $1.37E-4$, MSE model regresi rolling = $0,897$; Pada sudut heading 135° MSE Model ANN= $1,08E-4$, MSE model regresi rolling = $0,235$; Pada sudut heading 180° MSE Model ANN= $2,53E-7$ MSE model regresi rolling= $6,86E-6$.





Gambar 4.83, Estimasi RAO Gerak *Rolling Supply Vessel* dengan MOSES; Model ANN dan Model gerak rolling.

4.5.3 Model Gerak Pitching

Dengan metode *statistic multiregressi* didapatkan hubungan parameter bentuk kapal (model pendekatan) sebagai berikut :

Model Pendekatan-1 (untuk Heading $0^0, 45^0, 135^0$ dan 180^0)

$We < 0,75$

$$\left[\frac{\theta a}{\zeta a} \right]^2 = 0,1012 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-11,42} \left[\frac{L}{B} \right]^{10,1} \left[\frac{B}{T} \right]^{4,758} [Cb]^{41,2} [Cm]^{-132,3} [Cwp]^{34,67} [Cp]^{157,5} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{16,82} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-13,36} [we]^{6,569} \dots \dots \dots (4.18)$$

$We > 0,75$

$$\left[\frac{\theta\alpha}{\zeta a} \right]^2 = 0,1012 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-11,42} \left[\frac{L}{B} \right]^{10,1} \left[\frac{B}{T} \right]^{4,758} [Cb]^{41,2} [Cm]^{-132,3} [Cwp]^{34,67} [Cp]^{-157,5} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{16,82} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-13,36} [we]^{1,6569}, \dots \quad (4.19)$$

Model Pendekatan-II (untuk Heading 90°)

$We < 0,75$

$$\left[\frac{\theta\alpha}{\zeta a} \right]^2 = 0,008 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-11,42} \left[\frac{L}{B} \right]^{10,1} \left[\frac{B}{T} \right]^{4,758} [Cb]^{41,2} [Cm]^{132,3} [Cwp]^{34,67} [Cp]^{-157,5} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{16,82} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-13,36} [we]^{1,6569}, \dots \quad (4.20)$$

$We > 0,75$

$$\left[\frac{\theta\alpha}{\zeta a} \right]^2 = 0,008 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-11,42} \left[\frac{L}{B} \right]^{10,1} \left[\frac{B}{T} \right]^{4,758} [Cb]^{41,2} [Cm]^{132,3} [Cwp]^{34,67} [Cp]^{-157,5} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{16,82} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-13,36} [we]^{1,6569}, \dots \quad (4.21)$$

Dimana:

$L/V^{1/3}$ = Rasio kelangsingan badan kapal (*slimness*). (3,311 - 4,398)

L/B = Rasio panjang kapal terhadap lebar kapal. (3,369 - 4,475)

B/T = Rasio lebar kapal terhadap tinggi sarat kapal. (2,000 - 3,800)

Cb = Koefisien balok (*block coefficient*). (0,610 s/d 0,800)

Cm = Koefisien penampang tengah (*midship coefficient*). (0,91 - 0,99)

Cwp = Koefisien garis air (*water line coefficient*). (0,810 - 0,930)

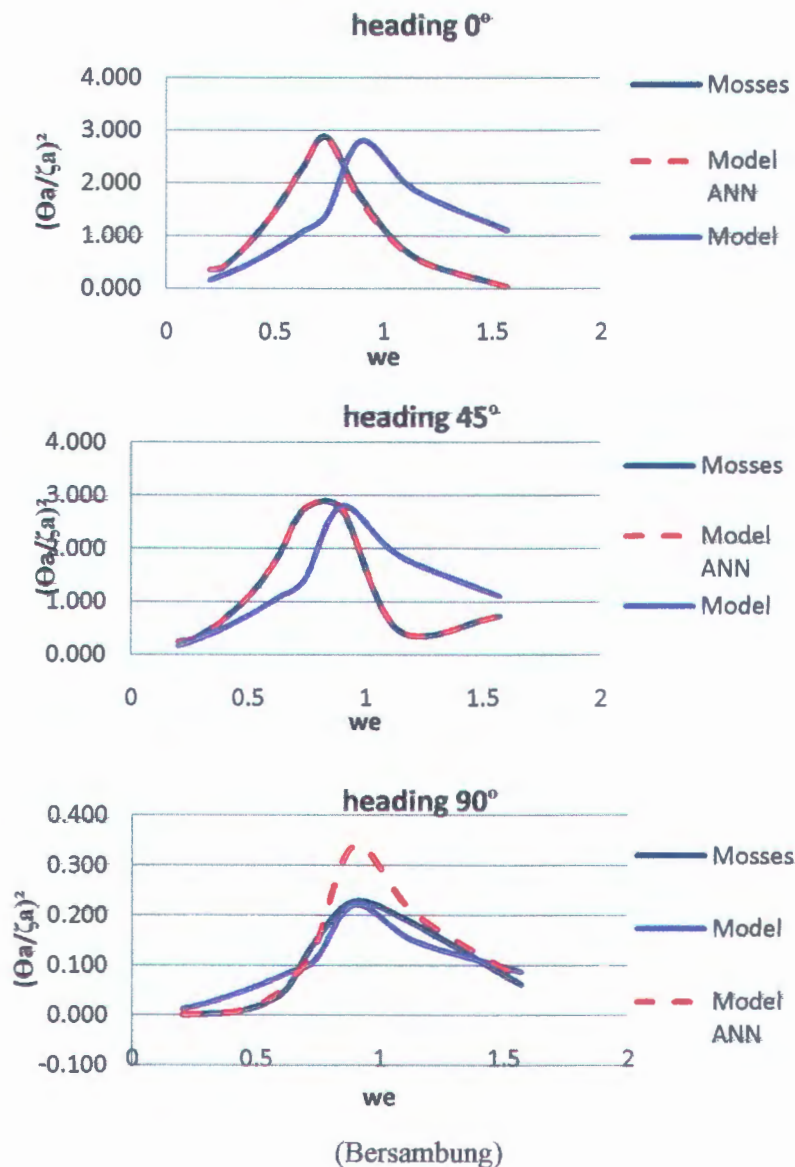
Cp = Koefisien prismatic (*prismatic coefficient*). (0,660 - 0,950)

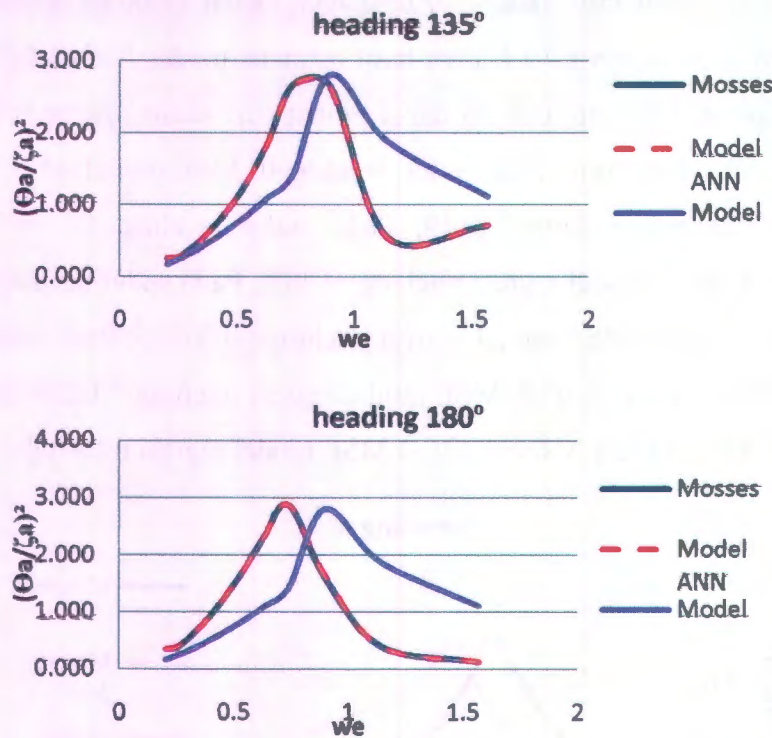
Lcb/L = Letak titik pusat gaya apung terhadap panjang kapal. (0,44 - 0,56)

Lcf/L = Letak titik pusat garis air terhadap panjang kapal. (0,40 - 0,48)

Dengan model gerak pitching diatas, *Software MOSSES* dan model ANN (*artificial neural network*) diestimasi RAO gerak pitching *supply vessel* dengan $L/V^{1/3}=4,160$; $L/B=4,281$; $B/T=2,800$; $Cb=0,630$; $Cp=0,64$; $Cm=0,990$;

$C_{wp}=0,840$; $L_{cb}/L=0,450$ dan $L_{cf}/L=0,400$. hasil estimasi masing-masing model seperti pada Gambar 4.84. Dari hasil estimasi model ANN lebih baik dari pada model gerak *Pitching*, Hal ini dapat dilihat dari *mean square error* (MSE) tiap gerakan sebagai berikut: Pada sudut heading 0° MSE model ANN= $3,52E-4$, MSE model regresi pitching= $0,5119$; Pada sudut heading 45° MSE Model ANN= $6,83E-5$, MSE model regresi pitching= $0,263$; Pada sudut heading 90° MSE Model ANN= $7,00E-4$, MSE model regresi pitching= $0,00135$; Pada sudut heading 135° MSE Model ANN= $7,5E-5$, MSE model regresi pitching = $0,239$; Pada sudut heading 180° MSE Model ANN= $1,12E-4$ MSE model regresi pitching= $0,5427$.





Gambar 4.84, Estimasi RAO Gerak *Pitching Supply Vessel* dengan MOSES; Model ANN dan Model gerak pitching.

4.5.3 Model Gerak Yawing

Dengan metode *statistic multiregressi* didapatkan hubungan parameter bentuk kapal (model pendekatan) sebagai berikut :

Model Pendekatan-I (untuk Heading 0° dan 180°)

$We < 0,75$

$$\left[\frac{\psi a}{\zeta a} \right]^2 = 0,00015 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-0,554} \left[\frac{L}{B} \right]^{0,158} \left[\frac{B}{T} \right]^{0,2012} [Cb]^{-1,2} [Cm]^{0,07} [Cwp]^{0,382} [Cp]^{0,76} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{1,552} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-0,715} [we]^{7,73649}, \dots \quad (4.22)$$

$We > 0,75$

$$\left[\frac{\psi a}{\zeta a} \right]^2 = 0,00015 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-0,554} \left[\frac{L}{B} \right]^{0,158} \left[\frac{B}{T} \right]^{0,2012} [Cb]^{-1,2} [Cm]^{0,07} [Cwp]^{0,382} [Cp]^{0,76} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{1,552} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-0,715} [we]^{7,73649}, \dots \quad (4.23)$$

Model Pendekatan-II (untuk Heading 45^o dan 135^o)

$We < 0,75$

$$\left[\frac{\psi a}{\zeta a} \right]^2 = 0,1012 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-11.42} \left[\frac{L}{B} \right]^{10.1} \left[\frac{B}{T} \right]^{4.758} [Cb]^{41.2} [Cm]^{-132.3} [Cwp]^{34.67} [Cp]^{-157.5} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{16.82} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-13.36} [we]^{1.6569}, \dots \quad (4.24)$$

$We > 0,75$

$$\left[\frac{\psi a}{\zeta a} \right]^2 = 0,1012 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-11.42} \left[\frac{L}{B} \right]^{10.1} \left[\frac{B}{T} \right]^{4.758} [Cb]^{41.2} [Cm]^{-132.3} [Cwp]^{34.67} [Cp]^{-157.5} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{16.82} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-13.36} [we]^{1.6569}, \dots \quad (4.25)$$

Model Pendekatan-III (untuk Heading 90^o)

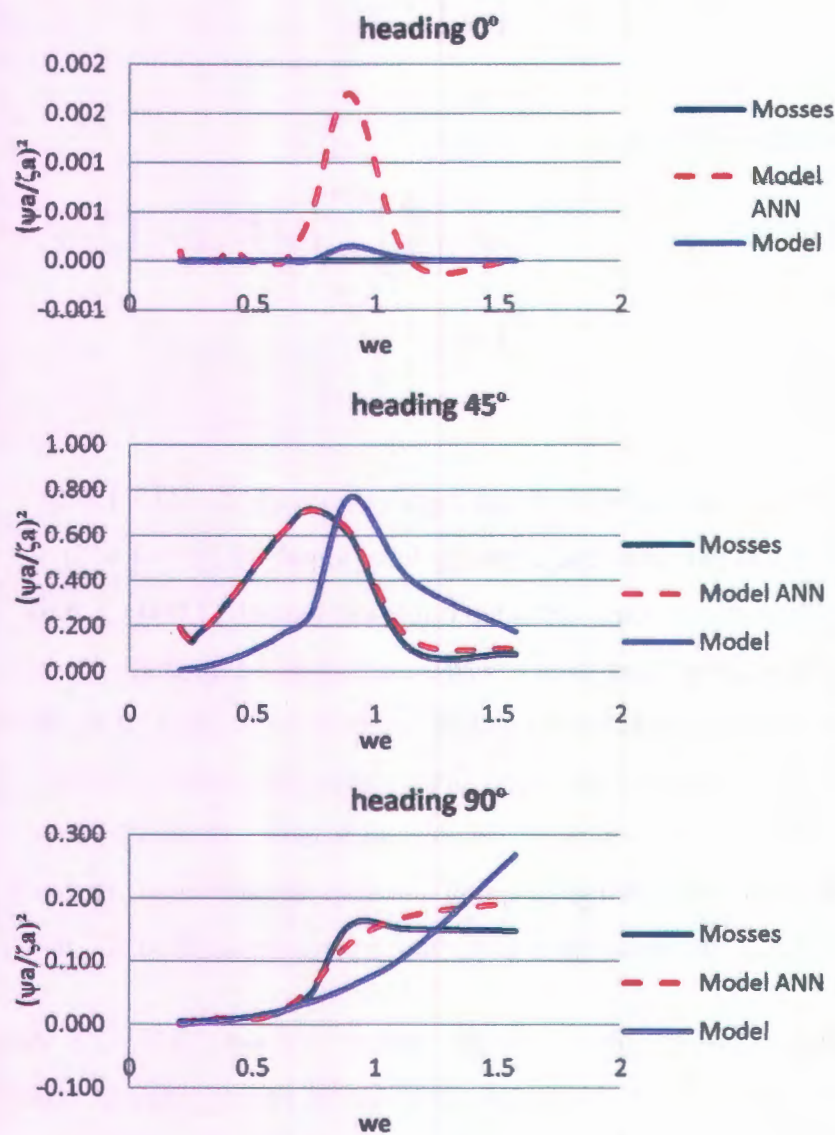
$$\left[\frac{\psi a}{\zeta a} \right]^2 = 0,0035 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-11.42} \left[\frac{L}{B} \right]^{10.1} \left[\frac{B}{T} \right]^{4.758} [Cb]^{41.2} [Cm]^{-132.3} [Cwp]^{34.67} [Cp]^{-157.5} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{16.82} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-13.36} [we]^{2.6569}, \dots \quad (4.26)$$

Dimana:

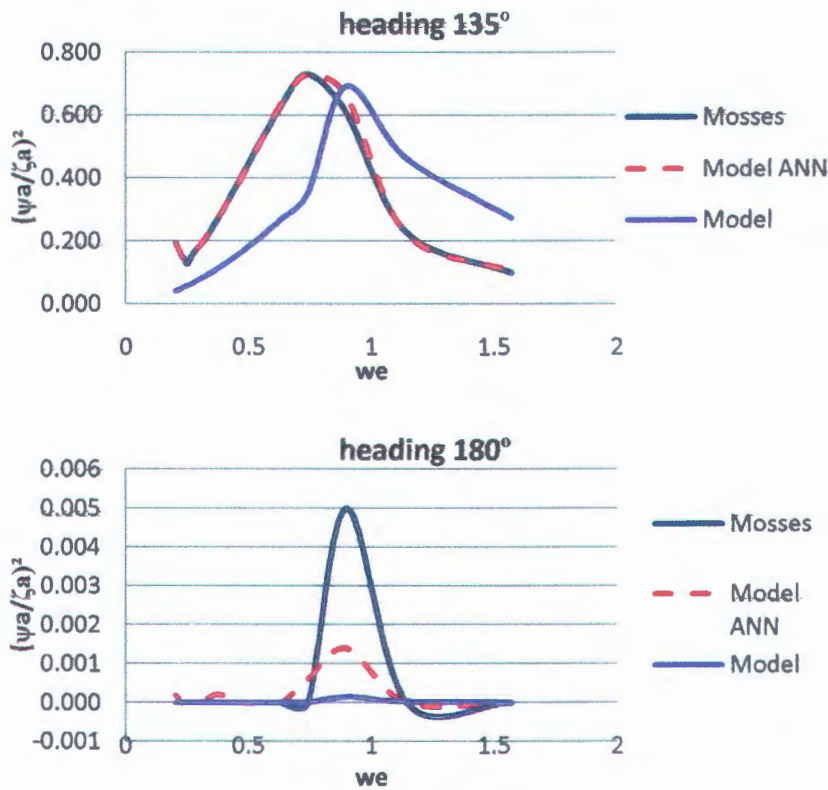
- $L/V^{1/3}$ = Rasio kelangsingan badan kapal (*slimness*). (3,311 - 4,398)
- L/B = Rasio panjang kapal terhadap lebar kapal. (3,369 - 4,475)
- B/T = Rasio lebar kapal terhadap tinggi sarat kapal. (2,000 - 3,800)
- Cb = Koefisien balok (*block coefficient*). (0,610 s/d 0,800)
- Cm = Koefisien penampang tengah (*midship coefficient*). (0,91 - 0,99)
- Cwp = Koefisien garis air (*water line coefficient*). (0,810 - 0,930)
- Cp = Koefisien prismatic (*prismatic coefficient*). (0,660 - 0,950)
- Lcb/L = Letak titik pusat gaya apung terhadap panjang kapal. (0,44 - 0,56)
- Lcf/L = Letak titik pusat garis air terhadap panjang kapal. (0,40 - 0,48)

Dengan model gerak yawing diatas, *Software MOSES* dan model *artificial neural network* diestimasi RAO gerak yawing *supply vessel* dengan $L/V^{1/3}=4,160$; $L/B=4,281$; $B/T=2,800$; $Cb=0,630$; $Cp=0,64$; $Cm=0,990$;

$C_{wp}=0,840$; $L_{cb}/L=0,450$ dan $L_{cf}/L=0,400$. hasil estimasi masing-masing model seperti pada Gambar 4.85. Dari hasil estimasi model ANN lebih baik dari pada model gerak yawing, Hal ini dapat dilihat dari *mean square error* (MSE) tiap gerakan sebagai berikut: Pada sudut heading 0° MSE model ANN= $9,86E-6$, MSE model regresi yawing= $1,26E-9$; Pada sudut heading 45° MSE Model ANN= $6.83E-5$, MSE model regresi yawing= 0.263 ; Pada sudut heading 90° MSE Model ANN = $9.86E-6$, MSE model regresi yawing= $0,00135$; Pada sudut heading 135° MSE Model ANN= $9,86E-6$, MSE model regresi yawing = $0,038$; Pada sudut heading 180° MSE Model ANN= $9,86E-6$, MSE model regresi yawing= $1,2E-6$.



(Bersambung)



Gambar 4.85, Estimasi RAO Gerak *Yawing Supply Vessel* dengan MOSES; Model ANN dan Model gerak yawing.

4.6 Model Spline

Menurut Lee (2002) untuk tujuan estimasi $f(x)$ yang diasumsikan *smooth*, maka secara spesifik $f(x)$ dapat didekati menggunakan regresi spline berderajat q dengan m knot yang disajikan berikut:

$$f(x) = \beta_0 + \beta_1 x + \dots + \beta_1 x^q + \sum_{k=1}^m \partial k(x - K_k)^q, \dots \quad (4.27)$$

Interprestasi model dilakukan dengan memperhatikan tiga criteria, yaitu: orde atau derajat polynomial, jumlah knot dan lokasi penempatan knot. Orde polynomial ditentukan berdasarkan pada pola umu yang terjadi pada data. Sedangkan jumlah knot dan lokasi knot ditentukan berdasarkan perubahan pola di daerah tertentu pada kurva (Anderson, 2005). Ada dua strategi menyelesaikan masalah ini. Strategi-1 menggunakan knot yang relative sedikit untuk kesederhanaan model. Sedangkan Strategi-2 menggunakan knot yang relative banyak untuk memperhatikan model matematis yang ada pada model (Wan, 2000)

4.6.1 Model Spline Tahanan

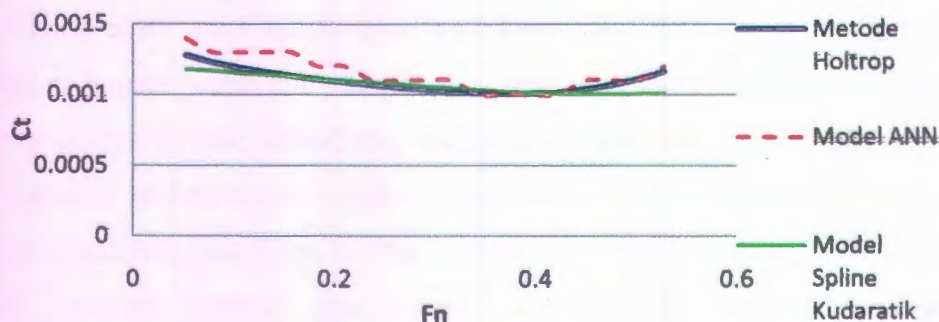
Dengan metode spline kuadratik didapatkan hubungan parameter bentuk kapal (model pendekatan) sebagai berikut :

$$C_t = 0,004 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-6,351} \left[\frac{L}{B} \right]^{5,1165} \left[\frac{B}{T} \right]^{0,828} [C_b]^{1,1475} [C_m]^{-7,622} [C_{wp}]^{-3,2184} [C_p]^{0,1456} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{9,216} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-8,18} [0,00131 + 0,000198 F_n - 0,00294 F_n^2 + 0,018 (F_n - 0,4)^2]^{0,1133}, \dots (4.28)$$

Dimana:

- $L/V^{1/3}$ = Rasio kelangsingan badan kapal (*slimness*). (3,311 - 4,398)
- L/B = Rasio panjang kapal terhadap lebar kapal. (3,369 - 4,475)
- B/T = Rasio lebar kapal terhadap tinggi sarat kapal. (2,000 - 3,800)
- C_b = Koefisien balok (*block coefficient*). (0,610 s/d 0,800)
- C_m = Koefisien penampang tengah (*midship coefficient*). (0,91 - 0,99)
- C_{wp} = Koefisien garis air (*water line coefficient*). (0,810 - 0,930)
- C_p = Koefisien prismatic (*prismatic coefficient*). (0,660 - 0,950)
- Lcb/L = Letak titik pusat gaya apung terhadap panjang kapal. (0,44 - 0,56)
- Lcf/L = Letak titik pusat garis air terhadap panjang kapal. (0,40 - 0,48)

Dengan model regresi spline kuadratik, *Software MOSSES* dan model *artificial neural network* diestimasi koefisien tahanan *supply vessel* dengan $L/V^{1/3}=4,160$; $L/B=4,281$; $B/T=2,800$; $C_b=0,630$; $C_p=0,64$; $C_m=0,990$; $C_{wp}=0,840$; $Lcb/L=0,450$ dan $Lcf/L=0,400$. hasil estimasi seperti pada Gambar 4.86. *Mean square error* (MSE) adalah ANN=6.32e-9 Model spline kuadratik = 3.216e-9



Gambar 4.86, Estimasi Koefisien Tahanan *Supply Vessel* dengan Metode Holtrop; Model ANN dan Model Spline Kuadratik.

4.6.1 Model Spline Gerak Surging

Dengan metode *cubic spline* didapatkan hubungan parameter bentuk kapal (model pendekatan) sebagai berikut :

Model Pendekatan-I (untuk Heading 0° dan 180°)

$$\left[\frac{xa}{\zeta a} \right]^2 = 2,138 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-1,851} \left[\frac{L}{B} \right]^{0,701} \left[\frac{B}{T} \right]^{0,35} [Cb]^{17,18} [Cm]^{-20,39} [Cwp]^{0,622} [Cp]^{-17,88}$$

$$\left[\frac{Lcb}{L} \right]^{6,05} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-3,47} \left[\begin{array}{l} 16,7765 - 158,4179 we + 529,0664 we^2 \\ - 589,2285 we^3 + 588,4282 (we - 0,3)^3 \\ + 9,223 (we - 0,75)^3 - 12,4116 (we - 1)^3 \end{array} \right]^{1,50972} \dots (4.29)$$

Model Pendekatan-II (untuk Heading 45° dan 135°)

$$\left[\frac{xa}{\zeta a} \right]^2 = 5,138 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-1,851} \left[\frac{L}{B} \right]^{0,701} \left[\frac{B}{T} \right]^{0,35} [Cb]^{17,18} [Cm]^{-20,39} [Cwp]^{0,622} [Cp]^{-17,88}$$

$$\left[\frac{Lcb}{L} \right]^{6,05} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-3,47} \left[\begin{array}{l} 11,2421 - 105,1698 we + 349,5355 we^2 \\ - 387,7866 we^3 + 385,9662 (we - 0,3)^3 \\ + 7,8391 (we - 0,8)^3 - 6,2562 (we - 1)^3 \end{array} \right]^{1,50972} \dots (4.30)$$

Model Pendekatan-III (untuk Heading 90°)

$$\left[\frac{xa}{\zeta a} \right]^2 = 41,38 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-1,851} \left[\frac{L}{B} \right]^{0,701} \left[\frac{B}{T} \right]^{0,35} [Cb]^{17,18} [Cm]^{-20,39} [Cwp]^{0,622} [Cp]^{-17,88}$$

$$\left[\frac{Lcb}{L} \right]^{6,05} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-3,47} \left[\begin{array}{l} 0,9321 - 9,4673 we + 31,9736 we^2 \\ - 35,8382 we^3 + 36,3993 (we - 0,3)^3 \\ - 2,9119 (we - 0,8)^3 + 3,2734 (we - 1)^3 \end{array} \right]^{1,50972} \dots (4.31)$$

Dimana:

$L/V^{1/3}$ = Rasio kelangsingan badan kapal (*slimness*). (3,311 - 4,398)

L/B = Rasio panjang kapal terhadap lebar kapal. (3,369 - 4,475)

B/T = Rasio lebar kapal terhadap tinggi sarat kapal. (2,000 - 3,800)

Cb = Koefisien balok (*block coefficient*). (0,610 s/d 0,800)

Cm = Koefisien penampang tengah (*midship coefficient*). (0,91 - 0,99)

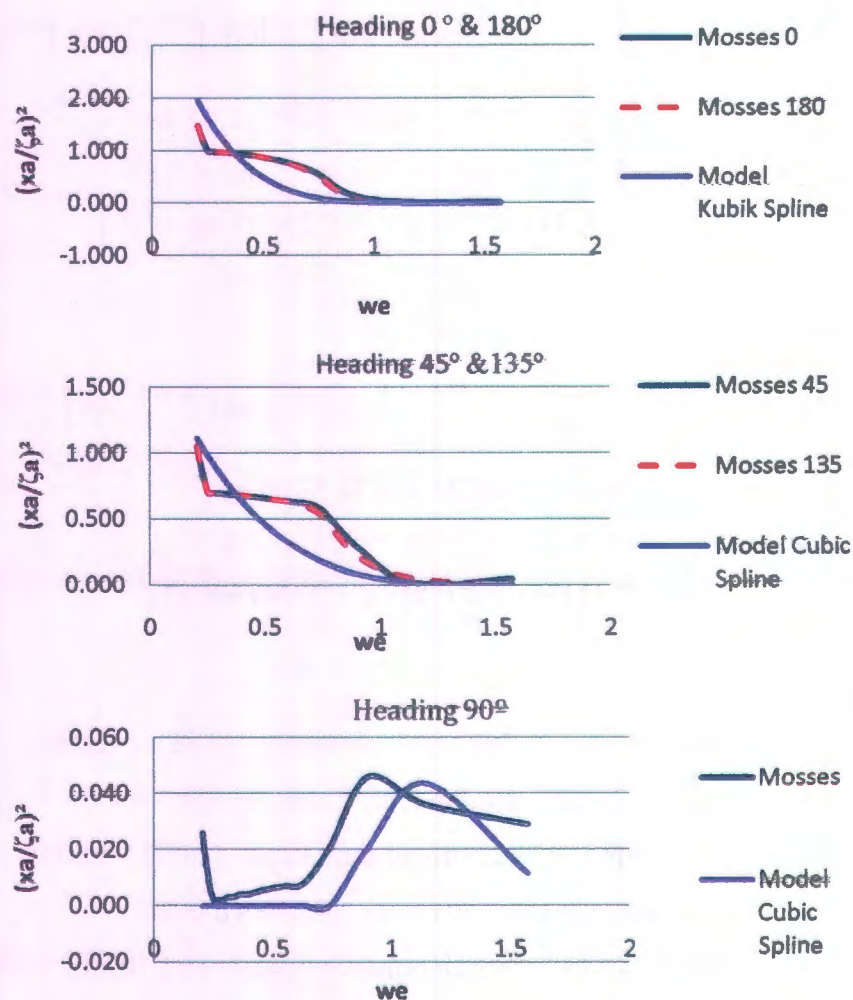
Cwp = Koefisien garis air (*water line coefficient*). (0,810 - 0,930)

Cp = Koefisien prismatic (*prismatic coefficient*). (0,660 - 0,950)

L_{cb}/L = Letak titik pusat gaya apung terhadap panjang kapal. (0,44 - 0,56)

L_{cf}/L = Letak titik pusat garis air terhadap panjang kapal. (0,40 - 0,48)

Dengan model *Cubic Spline* dan *Software MOSSES* diestimasi Respon amplitude gerak surging *supply vessel* dengan $L/\sqrt{V}^{1/3}=4,160$; $L/B=4,281$; $B/T=2,800$; $C_b=0,630$; $C_p=0,64$; $C_m=0,990$; $C_{wp}=0,840$; $L_{cb}/L=0,450$ dan $L_{cf}/L=0,400$. hasil estimasi masing-masing model seperti pada Gambar 4.87. Dari hasil estimasi model ANN lebih baik dari pada model spline yang dikembangkan, ini dapat dilihat dari MSE (*main square error*) tiap gerakan sebagai berikut: MSE model kubik spline heading 0° dan $180^\circ = 0,067$; MSE model kubik spline heading 45° dan $135^\circ = 0,039$; MSE model kubik spline heading $90^\circ = 0,0000625$



Gambar 4.87, Estimasi RAO gerak surging *Supply Vessel* dengan MOSSES dan Model Cubic Spline.

4.6.2 Model Gerak Swaying

Dengan metode *cubic spline* didapatkan hubungan parameter bentuk kapal (model pendekatan) sebagai berikut :

Model Pendekatan-I (untuk Heading 0° dan 180°)

$$\left[\frac{ya}{\zeta a} \right]^2 = 0.000015 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{3.05} \left[\frac{L}{B} \right]^{-3.26} \left[\frac{B}{T} \right]^{-0.42} [Cb]^{25.1} [Cm]^{-23.3} [Cwp]^{1.09} [Cp]^{-25.6}$$

$$\left[\frac{Lcb}{L} \right]^{-10} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{7.9} \left[\begin{array}{l} -0,00057 + 0,00821 we - 0.02869 we^2 \\ + 0,02862 we^3 - 0,0547 (we - 0,5)^3 \\ + 0,0591 (we - 0,9)^3 - 0,06117 (we - 1,2)^3 \end{array} \right]^{-1.08} \dots (4.32)$$

Model Pendekatan-II (untuk Heading 45° dan 135°)

$$\left[\frac{ya}{\zeta a} \right]^2 = 0.00197 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{3.05} \left[\frac{L}{B} \right]^{-3.26} \left[\frac{B}{T} \right]^{-0.42} [Cb]^{25.1} [Cm]^{-23.3} [Cwp]^{1.09} [Cp]^{-25.6}$$

$$\left[\frac{Lcb}{L} \right]^{-10} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{7.9} \left[\begin{array}{l} 11,7698 - 111,3009 we + 372,2458 we^2 \\ - 414,9852 we^3 + 415,5026 (we - 0,3)^3 \\ + 0,6607 (we - 0,8)^3 + 13,8999 (we - 1,25)^3 \end{array} \right]^{1.08} \dots (4.33)$$

Model Pendekatan-III (untuk Heading 90°)

$$\left[\frac{ya}{\zeta a} \right]^2 = 0.691 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{3.05} \left[\frac{L}{B} \right]^{-3.26} \left[\frac{B}{T} \right]^{-0.42} [Cb]^{25.1} [Cm]^{-23.3} [Cwp]^{1.09} [Cp]^{-25.6}$$

$$\left[\frac{Lcb}{L} \right]^{-10} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{7.9} \left[\begin{array}{l} 16,7625 - 157,8587 we + 526,0164 we^2 \\ - 584,5594 we^3 + 583,5545 (we - 0,3)^3 \\ + 6,2121 (we - 0,8)^3 - 6,8351 (we - 1)^3 \end{array} \right]^{1.08} \dots (4.34)$$

Dimana:

$L/V^{1/3}$ = Rasio kelangsingan badan kapal (*slimness*). (3,311 - 4,398)

L/B = Rasio panjang kapal terhadap lebar kapal. (3,369 - 4,475)

B/T = Rasio lebar kapal terhadap tinggi sarat kapal. (2,000 - 3,800)

Cb = Koefisien balok (*block coefficient*). (0,610 s/d 0,800)

Cm = Koefisien penampang tengah (*midship coefficient*). (0,91 - 0,99)

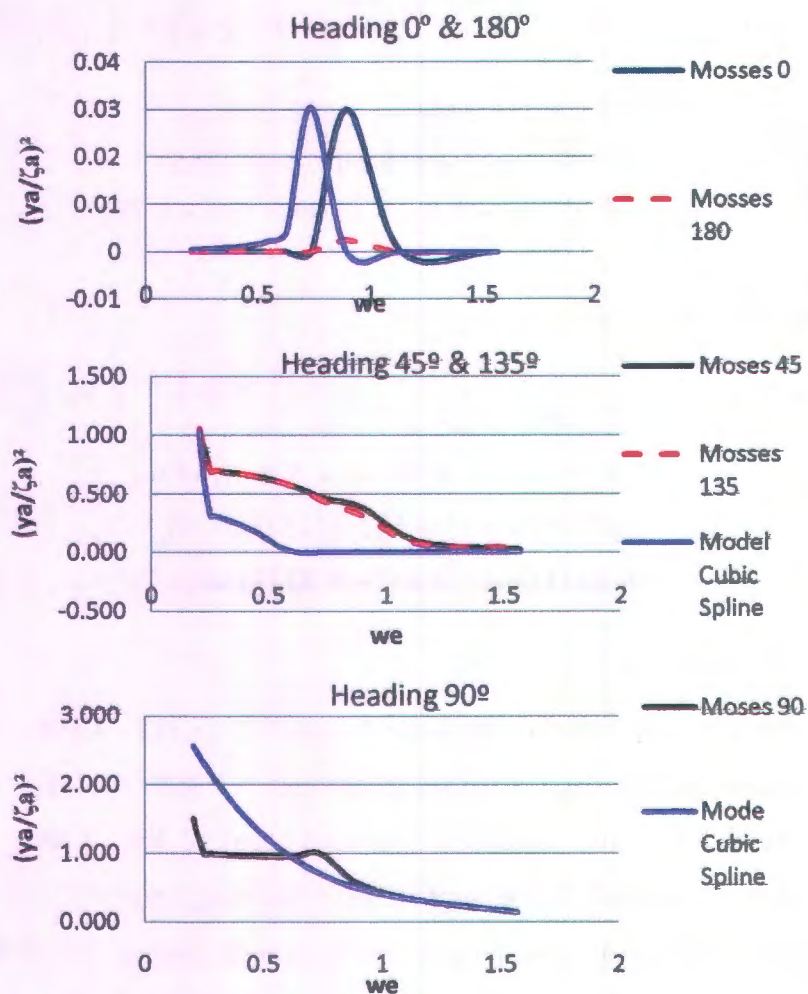
Cwp = Koefisien garis air (*water line coefficient*). (0,810 - 0,930)

Cp = Koefisien prismatic (*prismatic coefficient*). (0,660 - 0,950)

L_{cb}/L = Letak titik pusat gaya apung terhadap panjang kapal. (0,44 - 0,56)

L_{cf}/L = Letak titik pusat garis air terhadap panjang kapal. (0,40 - 0,48)

Dengan model *Cubic Spline* dan *Software MOSSES* diestimasi Respon amplitude gerak *Swaying supply vessel* dengan $L/\sqrt{V}^{1/3}=4,160$; $L/B=4,281$; $B/T=2,800$; $C_b=0,630$; $C_p=0,64$; $C_m=0,990$; $C_{wp}=0,840$; $L_{cb}/L=0,450$ dan $L_{cf}/L=0,400$. hasil estimasi masing-masing model seperti pada Gambar 4.88. Dari hasil estimasi model ANN lebih baik dari pada model spline yang dikembangkan, ini dapat dilihat dari MSE (*main square error*) tiap gerakan sebagai berikut: MSE model kubik spline heading 0° dan $180^\circ = 5,37E-7$; MSE model kubik spline heading 45° dan $135^\circ = 0,0132$; MSE model kubik spline heading $90^\circ = 0,0125$



Gambar 4.88, Estimasi RAO gerak *Swaying Supply Vessel* dengan *MOSSES* dan Model *Cubic Spline*.

4.6.3 Model Gerak Heaving

Dengan metode *cubic spline* didapatkan hubungan parameter bentuk kapal (model pendekatan) sebagai berikut :

Model Pendekatan-I (untuk Heading 0° dan 180°)

$$\left[\frac{za}{\zeta a} \right]^2 = 4,52 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{3,127} \left[\frac{L}{B} \right]^{-2,751} \left[\frac{B}{T} \right]^{-1,491} [Cb]^{4,92} [Cm]^{-4,78} [Cwp]^{-2,147} [Cp]^{-3,84}$$

$$\left[\frac{Lcb}{L} \right]^{-2,19} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{1,67} \left[\begin{array}{l} 0,851 + 0,4399 we + 1,3726 we^2 \\ - 4,2391 we^3 + 5,2285 (we - 0,3)^{03} \\ + 5,9525 (we - 0,8)^3 - 10,1895 (we - 1)^3 \end{array} \right]^{-0,8052} \dots (4.35)$$

Model Pendekatan-II (untuk Heading 45° dan 135°)

$$\left[\frac{za}{\zeta a} \right]^2 = 1,052 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{3,127} \left[\frac{L}{B} \right]^{-2,751} \left[\frac{B}{T} \right]^{-1,491} [Cb]^{4,92} [Cm]^{-4,78} [Cwp]^{-2,147} [Cp]^{-3,84}$$

$$\left[\frac{Lcb}{L} \right]^{-2,19} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{1,67} \left[\begin{array}{l} - 1,104 + 21,8854 we - 75,2564 we^2 \\ + 85,3474 we^3 - 89,3508 (we - 0,3)^{03} \\ + 18,3902 (we - 0,8)^3 - 17,9939 (we - 1)^3 \end{array} \right]^{-0,8052} \dots (4.36)$$

Model Pendekatan-III (untuk Heading 90°)

$$\left[\frac{za}{\zeta a} \right]^2 = 0,36 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{3,127} \left[\frac{L}{B} \right]^{-2,751} \left[\frac{B}{T} \right]^{-1,491} [Cb]^{4,92} [Cm]^{-4,78} [Cwp]^{-2,147} [Cp]^{-3,84}$$

$$\left[\frac{Lcb}{L} \right]^{-2,19} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{1,67} \left[\begin{array}{l} 0,5171 + 3,76734 we - 9,3204 we^2 \\ + 7,4076 we^3 - 17,7374 (we - 0,6)^{03} \\ + 25,7393 (we - 1)^3 - 88,4264 (we - 1,4)^3 \end{array} \right]^{-0,8052} \dots (4.37)$$

Dimana:

$L/V^{1/3}$ = Rasio kelangsingan badan kapal (*slimness*). (3,311 - 4,398)

L/B = Rasio panjang kapal terhadap lebar kapal. (3,369 - 4,475)

B/T = Rasio lebar kapal terhadap tinggi sarat kapal. (2,000 - 3,800)

Cb = Koefisien balok (*block coefficient*). (0,610 s/d 0,800)

Cm = Koefisien penampang tengah (*midship coefficient*). (0,91 - 0,99)

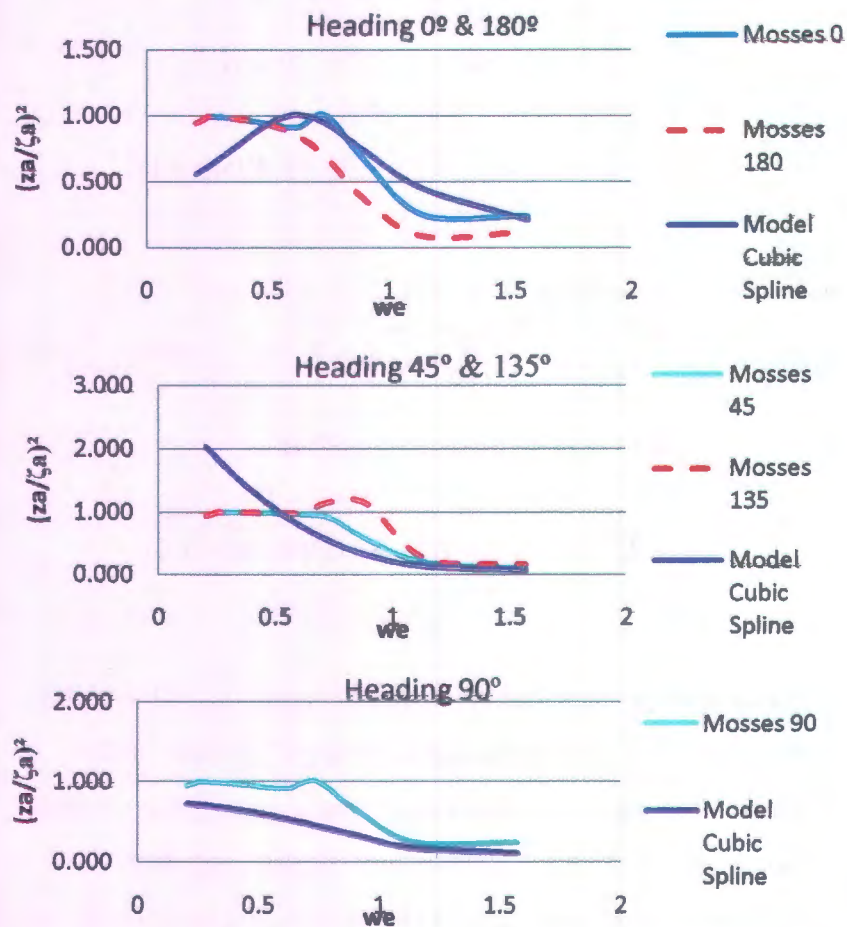
Cwp = Koefisien garis air (*water line coefficient*). (0,810 - 0,930)

C_p = Koefisien prismatic (*prismatic coefficient*). (0,660 - 0,950)

L_{cb}/L = Letak titik pusat gaya apung terhadap panjang kapal. (0,44 - 0,56)

L_{cf}/L = Letak titik pusat garis air terhadap panjang kapal. (0,40 - 0,48)

Dengan model *Cubic Spline* dan *Software MOSES* diestimasi respon amplitude gerak *heaving supply vessel* dengan $L/\nabla^{1/3}=4,160$; $L/B=4,281$; $B/T=2,800$; $C_b=0,630$; $C_p=0,64$; $C_m=0,990$; $C_{wp}=0,840$; $L_{cb}/L=0,450$ dan $L_{cf}/L=0,400$. hasil estimasi masing-masing model seperti pada Gambar 4.89. Dari hasil estimasi model ANN lebih baik dari pada model spline yang dikembangkan, ini dapat dilihat dari MSE (*main square error*) tiap gerakan sebagai berikut: MSE model kubik spline heading 0° dan $180^\circ = 0,067$; MSE model kubik spline heading 45° dan $135^\circ = 0,039$; MSE model kubik spline heading $90^\circ = 0,072$



Gambar 4.89, Estimasi RAO gerak Heaving *Supply Vessel* dengan MOSES dan Model Cubic Spline.

4.6.3 Model Gerak Rolling

Dengan metode *cubic spline* didapatkan hubungan parameter bentuk kapal (model pendekatan) sebagai berikut :

Model Pendekatan-I (untuk Heading 0° dan 180°)

$$\left[\frac{\theta a}{\zeta a} \right]^2 = 25,025 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-11,42} \left[\frac{L}{B} \right]^{10,1} \left[\frac{B}{T} \right]^{4,758} [Cb]^{41,2} [Cm]^{-132,3} [Cwp]^{34,67} [Cp]^{-157,5}$$

$$\left[\frac{Lcb}{L} \right]^{16,82} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-13,36} \left[\begin{array}{l} 0,0205 - 0,2252 we + 0,8091 we^2 \\ - 0,9517 we^3 + 1,0813 (we - 0,3)^{03} \\ - 0,7972 (we - 8)^3 + 0,9551 (we - 1)^3 \end{array} \right]^{-2,6569}, \dots (4.38)$$

Model Pendekatan-II (untuk Heading 45° dan 135°)

$$\left[\frac{\theta a}{\zeta a} \right]^2 = 2,5 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-11,42} \left[\frac{L}{B} \right]^{10,1} \left[\frac{B}{T} \right]^{4,758} [Cb]^{41,2} [Cm]^{-132,3} [Cwp]^{34,67} [Cp]^{-157,5}$$

$$\left[\frac{Lcb}{L} \right]^{16,82} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-13,36} \left[\begin{array}{l} 1,4066 - 10,3199 we + 26,044 we^2 \\ - 13,3829 we^3 + 1,0813 (we - 0,8)^{03} \end{array} \right]^{-2,6569}, \dots (4.39)$$

Model Pendekatan-III (untuk Heading 90°)

$$\left[\frac{\theta a}{\zeta a} \right]^2 = 2,15 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-11,42} \left[\frac{L}{B} \right]^{10,1} \left[\frac{B}{T} \right]^{4,758} [Cb]^{41,2} [Cm]^{-132,3} [Cwp]^{34,67} [Cp]^{-157,5}$$

$$\left[\frac{Lcb}{L} \right]^{16,82} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-13,36} \left[\begin{array}{l} 5,4845 - 38,3114 we + 8,536 we^2 \\ - 40,855 we^3 - 74,4765 (we - 0,675)^{03} \end{array} \right]^{-2,6569}, \dots (4.40)$$

Dimana:

$L/V^{1/3}$ = Rasio kelangsingan badan kapal (*slimness*). (3,311 - 4,398)

L/B = Rasio panjang kapal terhadap lebar kapal. (3,369 - 4,475)

B/T = Rasio lebar kapal terhadap tinggi sarat kapal. (2,000 - 3,800)

Cb = Koefisien balok (*block coefficient*). (0,610 s/d 0,800)

Cm = Koefisien penampang tengah (*midship coefficient*). (0,91 - 0,99)

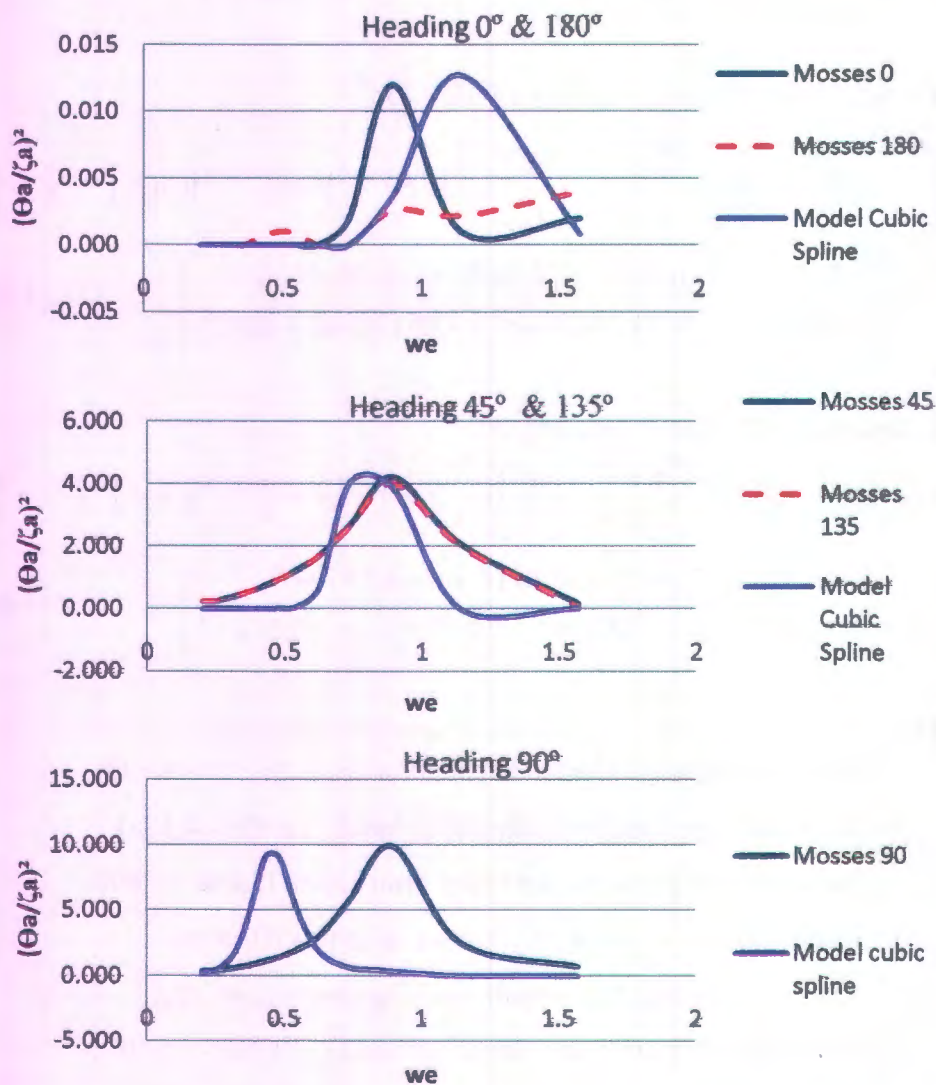
Cwp = Koefisien garis air (*water line coefficient*). (0,810 - 0,930)

Cp = Koefisien prismatic (*prismatic coefficient*). (0,660 - 0,950)

Lcb/L = Letak titik pusat gaya apung terhadap panjang kapal. (0,44 - 0,56)

Lcf/L = Letak titik pusat garis air terhadap panjang kapal. (0,40 - 0,48)

Dengan model *Cubic Spline* dan *Software MOSES* diestimasi respon amplitude gerak rolling *supply vessel* dengan $L/\nabla^{1/3}=4,160$; $L/B=4,281$; $B/T=2,800$; $C_b=0,630$; $C_p=0,64$; $C_m=0,990$; $C_{wp}=0,840$; $L_{cb}/L=0,450$ dan $L_{cf}/L=0,400$. hasil estimasi masing-masing model seperti pada Gambar 4.90. Dari hasil estimasi model ANN lebih baik dari pada model spline yang dikembangkan, ini dapat dilihat dari MSE (*main square error*) tiap gerakan sebagai berikut: MSE model kubik spline heading 0° dan $180^\circ = 6,87E-6$; MSE model kubik spline heading 45° dan $135^\circ = 0,075$; MSE model kubik spline heading $90^\circ = 0,123$



Gambar 4.90, Estimasi RAO gerak Rolling *Supply Vessel* dengan MOSES dan Model Cubic Spline.

4.6.5 Model Gerak Pitching

Dengan metode *cubic spline* didapatkan hubungan parameter bentuk kapal (model pendekatan) sebagai berikut :

Model Pendekatan-I (untuk Heading 0⁰, 45⁰, 135⁰ dan 180⁰)

$$\left[\frac{\phi a}{\zeta a} \right]^2 = 0,75 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-11,42} \left[\frac{L}{B} \right]^{10,1} \left[\frac{B}{T} \right]^{4,758} [Cb]^{41,2} [Cm]^{132,3} [Cwp]^{34,67} [Cp]^{157,5} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{16,82} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-13,36} \left[\begin{array}{l} 2,7024 - 20,575 we + 53,6958 we^2 \\ - 33,9306 we^3 + 52,4822 (we - 1)^{03} \end{array} \right]^{-1,6569} \dots (4.41)$$

Model Pendekatan-II (untuk Heading 90⁰)

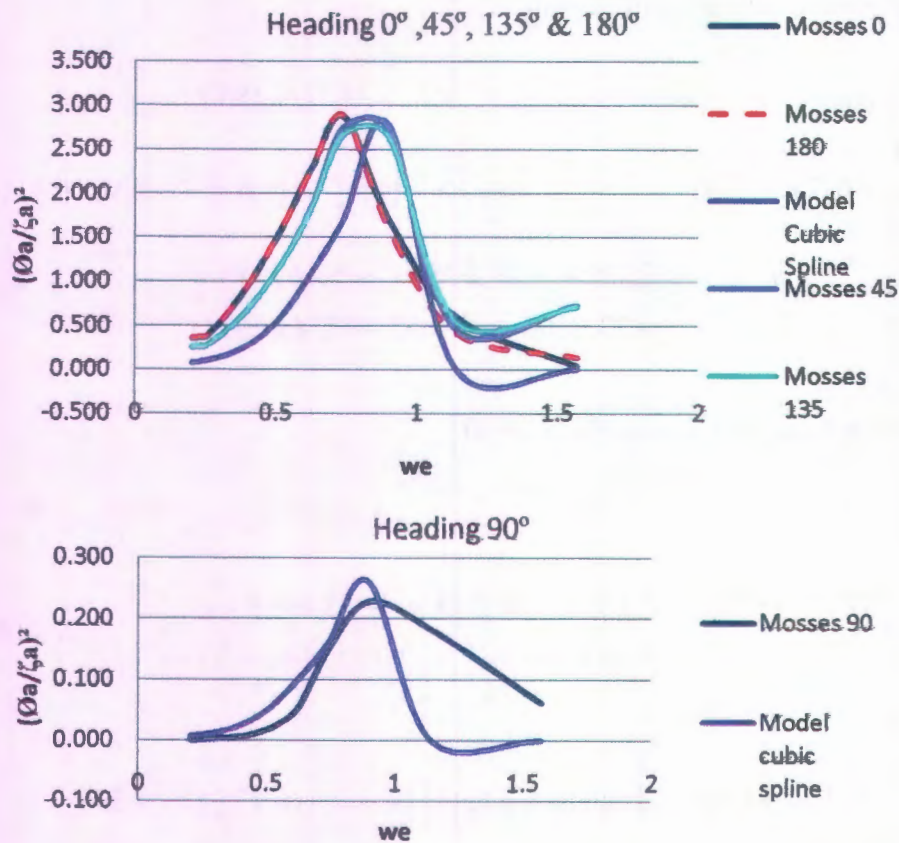
$$\left[\frac{\phi a}{\zeta a} \right]^2 = 0,07 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-11,42} \left[\frac{L}{B} \right]^{10,1} \left[\frac{B}{T} \right]^{4,758} [Cb]^{41,2} [Cm]^{132,3} [Cwp]^{34,67} [Cp]^{157,5} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{16,82} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-13,36} \left[\begin{array}{l} 2,7024 - 20,575 we + 53,6958 we^2 \\ - 33,9306 we^3 - 52,4822 (we - 1)^{03} \end{array} \right]^{-1,6569} \dots (4.42)$$

Dimana:

- $L/V^{1/3}$ = Rasio kelangsingan badan kapal (*slimness*). (3,311 - 4,398)
- L/B = Rasio panjang kapal terhadap lebar kapal. (3,369 - 4,475)
- B/T = Rasio lebar kapal terhadap tinggi sarat kapal. (2,000 - 3,800)
- Cb = Koefisien balok (*block coefficient*). (0,610 s/d 0,800)
- Cm = Koefisien penampang tengah (*midship coefficient*). (0,91 - 0,99)
- Cwp = Koefisien garis air (*water line coefficient*). (0,810 - 0,930)
- Cp = Koefisien prismatic (*prismatic coefficient*). (0,660 - 0,950)
- Lcb/L = Letak titik pusat gaya apung terhadap panjang kapal. (0,44 - 0,56)
- Lcf/L = Letak titik pusat garis air terhadap panjang kapal. (0,40 - 0,48)

Dengan model *Cubic Spline* dan *Software MOSSES* diestimasi respon amplitude gerak pitching *supply vessel* dengan $L/V^{1/3}=4,160$; $L/B=4,281$; $B/T=2,800$; $Cb=0,630$; $Cp=0,64$; $Cm=0,990$; $Cwp=0,840$; $Lcb/L=0,450$ dan $Lcf/L=0,400$. hasil estimasi masing-masing model seperti pada Gambar 4.91. Dari hasil estimasi model ANN lebih baik dari pada model spline yang dikembangkan, ini dapat dilihat dari MSE (*main square error*) tiap gerakan

sebagai berikut: MSE model kubik spline heading 0° , 180° , 45° dan 135° = 0,251; MSE model kubik spline heading 90° = 0,0035



Gambar 4.91, Estimasi RAO gerak Pitching *Supply Vessel* dengan MOSES dan Model Cubic Spline.

4.6.6 Model Gerak Yawing

Dengan metode *cubic spline* didapatkan hubungan parameter bentuk kapal (model pendekatan) sebagai berikut :

Model Pendekatan-I (untuk Heading 0° dan 180°)

$$\left[\frac{\psi_a}{\zeta_a} \right]^2 = 0,158 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-0,554} \left[\frac{L}{B} \right]^{0,158} \left[\frac{B}{T} \right]^{0,2012} [Cb]^{-1,2} [Cm]^{0,07} [Cwp]^{0,382} [Cp]^{0,76} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{1,552} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-0,715} \left[0,0883 - 0,5696 we + 1,0936 we^2 - 0,4919 we^3 + 0,7322 (we - 1)^{0,3} \right]^{7,73649} \dots (4.43)$$

Model Pendekatan-I (untuk Heading 45^0 dan 135^0)

$$\left[\frac{\psi a}{\zeta a} \right]^2 = 0,021 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-11,42} \left[\frac{L}{B} \right]^{10,1} \left[\frac{B}{T} \right]^{4,758} [Cb]^{141,2} [Cm]^{-132,3} [Cwp]^{34,67} [Cp]^{-157,5} \\ \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{16,82} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-13,36} \left[2,7024 - 20,575 we + 53,6958 we^2 \right]^{1,6569} \\ \left[-33,9306 we^3 - 52,4822 (we - 1)^{03} \right] \dots \quad (4.44)$$

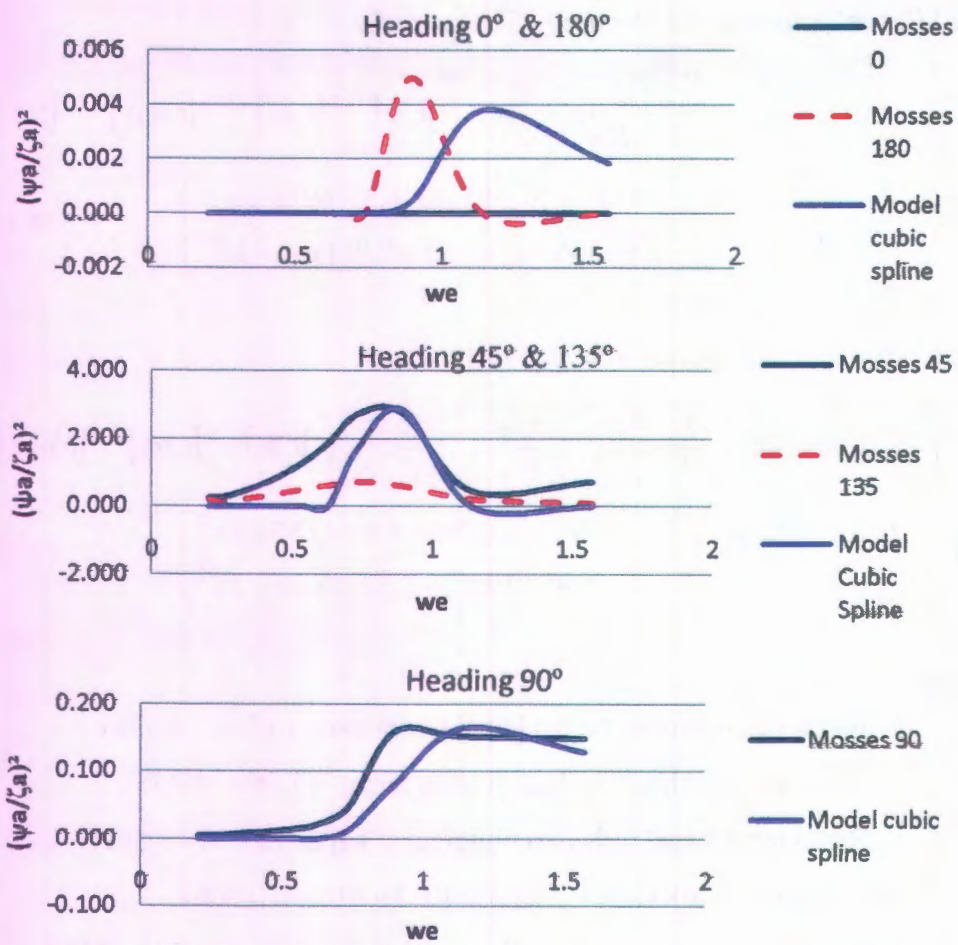
Model Pendekatan-III (untuk Heading 90^0)

$$\left[\frac{\psi a}{\zeta a} \right]^2 = 0,000048 \left[\frac{L}{V^{1/3}} \right]^{-0,554} \left[\frac{L}{B} \right]^{0,158} \left[\frac{B}{T} \right]^{0,2012} [Cb]^{1,2} [Cm]^{1,07} [Cwp]^{0,382} \\ [Cp]^{0,76} \left[\frac{Lcb}{L} \right]^{1,552} \left[\frac{Lcf}{L} \right]^{-0,715} \left[0,0883 - 0,5696 we + 1,0936 we^2 \right]^{7,73649} \\ \left[-0,4919 we^3 + 0,7322 (we - 1)^{03} \right] \dots \quad (4.45)$$

Dimana:

- $L/V^{1/3}$ = Rasio kelangsingan badan kapal (*slimness*). (3,311 - 4,398)
- L/B = Rasio panjang kapal terhadap lebar kapal. (3,369 - 4,475)
- B/T = Rasio lebar kapal terhadap tinggi sarat kapal. (2,000 - 3,800)
- Cb = Koefisien balok (*block coefficient*). (0,610 s/d 0,800)
- Cm = Koefisien penampang tengah (*midship coefficient*). (0,91 - 0,99)
- Cwp = Koefisien garis air (*water line coefficient*). (0,810 - 0,930)
- Cp = Koefisien prismatic (*prismatic coefficient*). (0,660 - 0,950)
- Lcb/L = Letak titik pusat gaya apung terhadap panjang kapal. (0,44 - 0,56)
- Lcf/L = Letak titik pusat garis air terhadap panjang kapal. (0,40 - 0,48)

Dengan model *Cubic Spline* dan *Software MOSSES* diestimasi respon amplitude gerak yawing *supply vessel* dengan $L/V^{1/3}=4,160$; $L/B=4,281$; $B/T=2,800$; $Cb=0,630$; $Cp=0,64$; $Cm=0,990$; $Cwp=0,840$; $Lcb/L=0,450$ dan $Lcf/L=0,400$. hasil estimasi masing-masing model seperti pada Gambar 4.92. Dari hasil estimasi model ANN lebih baik dari pada model spline yang dikembangkan, ini dapat dilihat dari MSE (*main square error*) tiap gerakan sebagai berikut: MSE model kubik spline heading 0^0 dan $180^0 = 1,87E-6$; MSE model kubik spline heading 45^0 dan $135^0 = 0,045$; MSE model kubik spline heading $90^0 = 0,000105$



Gambar 4.92, Estimasi RAO gerak Yawing *Supply Vessel* dengan MOSES dan Model Cubic Spline.

BAB - 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari studi *parametric hullform design* dalam kaitan dengan karakteristik *seakeeping* dan tahanan *supply vessel* dapat disimpulkan berikut:

1. Secara umum model yang bisa mendekati model utama baik Model Holtrop untuk karakteristik tahanan maupun MOSES untuk olah gerak kapal adalah Model ANN (*artificial neural network*).
2. Karena Model ANN hanya terdiri dari matrik bobot dan *topology* maka model ANN tidak bisa mengeluarkan satu bentuk persamaan seperti model pada umumnya. Untuk model tahanan *supply vessel* yang baik dan sederhana adalah model spline kuadratik sedangkan untuk model olah gerak kapal yang baik dan sederhana adalah model spline kubik.

5.2 Saran

Untuk kesempurnaan dan pengembangan penelitian ini, serta sebagai masukan penelitian-penelitian berikutnya diberikan saran berikut :

1. Karena tidak liniernya hubungan antara parameter-parameter bentuk kapal terhadap karakteristik tahanan maupun olah gerak (RAO) *Supply Vessel* serta untuk mendapatkan model yang mendekati model utama (hasil yang tepat). Melihat hasil diatas terutama model RAO olah gerak perlu dilakukan analisa dengan menggunakan metode lain agar didapatkan model yang mendekati model utama.
2. Karena tidak liniernya hubungan antara parameter-parameter bentuk kapal terhadap karakteristik tahanan maupun olah gerak (RAO) *Supply Vessel* serta untuk mendapatkan model yang mendekati model utama (hasil yang tepat). Melihat hasil diatas terutama model RAO olah gerak perlu dilakukan analisa pengaruh tiap-tiap parameter terhadap karakteristiknya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abt, C.; Bade, S.D.; Birk, L.; Harries, S. 2001. "Parametric Hull Form Design – A Step Towards One Week Ship Design", *8th International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures · PRADS 2001*, Shanghai, September 2001
- Adel A. Benawan, Yasser M. Ahmed, "Use of Computational Fluid Dynamics for The Calculation of Ship Resistance, and its Variation with the Ship Hull Form Parameters" *Alexandria Engineering Journal, Vol 45 No. 1, 47-56. 2006.*
- Ayla S.; Ahmat D.A.; Radoslav N.; Ayse O.U. 2006. "Seakeeping Assessment of Fishing Vessels in Conceptual Design Stage". *Ocean Engineering 34 (2007) 724-738.*
- Tupper E.C. 2004. "Introduction to Naval Architecture Forth Edition" Elsevier Butterworth Heineman. 2004.
- Grigoropouloa. G.J.; T.A. Loukakisa; A.N. Perakis. 2000. "Seakeeping standard series for oblique seas (a synopsis)". *Ocean Engineering. 27 111–126. 2000.*
- Fuller A.L. and Aughey, M.E. 1977. "Computer Aided Ship Hull Definition at Naval Ship Engineering Center". *Symposium for Computer Aided Hull Surface Definition. Annapolis. MD. USA.*
- Harries, S. 1998. "Parametric Design dan Hydrodynamic Optimization of Ship Hull Forms". Phd. Thesis Institut For Schiffss and Meerestechnik, Technische Universitat Berlin, Germanu. Published at Mensch and Buch Verlag,. Berlin 1998.
- Harries, S. and Nowacki H. 1999. "Form Parameter Approach to Design of Fair Hull Shapes". *10TH International Conference on Computer Application in Shipbuilding. ICCAS '99. Massachusetts Institut of Technology. 7 – 11 Juni 1999. Cambridge MA USA.*
- Harries, S. and Claust Abt. 1999. "Formal Hydrodynamic Optimization of a Fast Monohull on the Basis of Performace Hull Design" *Fifth International Conference of Fast Sea Transportation-FAST'99. Washington, 31 August – 2 Seeptember 1999.*

- Harvald, S.V., A.A., "*Tahanan dan Propulsi Kapal*", Airlangga University Press, 1999
- Ortigosa I., Lopez R., Garcia J. "Prediction of Total Resistance Coefficients Using Neural Networks" *Journal of Maritime Research*, Vol. VI. No. III, pp 15-26, 2009.
- Munchmeyer, F.C. Schubert, C. and Nowaki, H. 1979. "Interactive Design of Fair Hull Surfaceces Using B-splines". *Computer Applications in the Automation of Shipyard Operation and Ship Design III*. IFIP, North Holland Publishing Company.
- Nowaky, H. Creutz, G. and Munchmeyer, F.C. 1977. "Ship Lines Creation by Computer Objectives, methods and Results". *Symposium on Computer Aided Hull Surface Definitio*. Annapolis MD. USA.
- Patrick C., Amdrew R.S., Garth M., Cameron R.S., Brian R., von Konsky. "Artificial Neural Networks for Hull Resistance Prediction" -----
- Reed, A.M. and Nowaki, H. 1974. "Interactive Creation of Fair Ship Lines". *Journal of Ship Reseach*. Vol. 18. No. 2.
- Sri Kusumadevi. 2004. "*Membangun Jaringan Saraf Tiruan Menggunakan Matlab & Excell Link*", Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Tawekal R.L. ----. "*Dasar Dasar Teknik Perkapalan*" Catatan Kuliah Program Studi Teknik Kelautan Institut teknologi Bandung. Penerbit ITB.
- ZHANG Ping. 2008, "Parametric Approach to Design of Hull-Forms" *Journal of Hydrodynamic*,20(6):804-810. 2008

LAMPIRAN

% Program Simulasi Olah Gerak dan Tahanan %

```
clear all;  
clc;
```

```
%=====  
% Data input dan Target  
%=====
```

```
load offline1.txt;
```

```
P = offline1 (:,1:10);  
T = offline1 (:,11);  
maxd=length(T);  
%=====  
% Data  
%=====
```

```
maxerr=input('Nilai error maximum = ');
```

```
hid =1;  
err=1e2;  
modmse=1e3;  
we=0;wf=0;wg=0;wh=0;wi=0;wj=0;wk=0;
```

```
while err > maxerr
```

```
switch hid
```

```
case 1
```

```
net=newff(minmax(P), [20,1], {'logsig' 'purelin'},'trainlm');
```

```
case 2
```

```
net=newff(minmax(P), [20,20,1], {'logsig' 'tansig' 'purelin'},'trainlm');
```

```
case 3
```

```
net=newff(minmax(P), [20,20,20,1], {'tansig' 'logsig' 'tansig' 'purelin'},'trainlm');
```

```
case 4
```

```
net=newff(minmax(P), [20,20,20,20,1], {'tansig' 'tansig' 'logsig' 'tansig' 'purelin'},'trainlm');
```

```
case 5
```

```
net=newff(minmax(P), [20,20,20,20,20,1], {'logsig' 'tansig' 'tansig' 'logsig' 'tansig'  
'purelin'},'trainlm');
```

```
case 6
```

```
net=newff(minmax(P), [20,20,20,20,20,20,1], {'logsig' 'logsig' 'tansig' 'tansig' 'logsig' 'tansig'  
'purelin'},'trainlm');
```

```
case 7
```

```
net=newff(minmax(P), [20,20,20,20,20,20,20,1], {'tansig' 'logsig' 'logsig' 'tansig' 'tansig'  
'logsig' 'tansig' 'purelin'},'trainlm');
```

```
case 8
```

```
net=newff(minmax(P), [20,20,20,20,20,20,20,20,1], {'tansig' 'tansig' 'logsig' 'logsig' 'tansig'  
'tansig' 'logsig' 'tansig' 'purelin'},'trainlm');
```

```
end
```



```

%=====
% Parameter training
%=====
net.trainParam.show = 500000;
net.trainParam.lr = 0.001;
net.trainParam.epochs = 1000000;
net.trainParam.goal = maxerr;
%=====
%Load saved data
%=====
if hid == 2
    load bobot;
    net.IW{1,1}=wc;
end
if hid == 3
    load bobot;
    net.IW{1,1}=wc;
    net.LW{2,1}=wd;
end
if hid == 4
    load bobot;
    net.IW{1,1}=wc;
    net.LW{2,1}=wd;
    net.LW{3,2}=we;
end
if hid == 5
    load bobot;
    net.IW{1,1}=wc;
    net.LW{2,1}=wd;
    net.LW{3,2}=we;
    net.LW{4,3}=wf;
end
if hid == 6
    load bobot;
    net.IW{1,1}=wc;
    net.LW{2,1}=wd;
    net.LW{3,2}=we;
    net.LW{4,3}=wf;
    net.LW{5,4}=wg;
end
if hid == 7
    load bobot;
    net.IW{1,1}=wc;
    net.LW{2,1}=wd;
    net.LW{3,2}=we;
    net.LW{4,3}=wf;
    net.LW{5,4}=wg;
    net.LW{6,5}=wh;
end

```



```
disp(['MSE = ' num2str(err)]);
```

```
if err < modmse  
    modmse=err;  
    save bobotBbaru.mat net maxd T P y hid modmse err;  
end  
if err > maxerr  
    hid=hid+1;  
end  
if hid > 8  
    break;  
end  
end
```

```
figure(2)  
subplot(2,1,1)  
plot(1:maxd,T,1:maxd,y,1:maxd,T-y);  
title('perbandingan antara target (blue) dan output jaringan (green)');  
xlabel('input');  
ylabel('output');  
grid;
```

```
clear all;  
load bobotBbaru  
load offline2.txt;
```

```
P = offline2(:,1:10);  
T = offline2(:,11);
```

```
Y=sim(net,P);
```

```
subplot(2,1,2)  
plot(1:maxd,T,1:maxd,Y,1:maxd,T-Y);  
title('perbandingan antara target (blue) dan output jaringan (green) terbaik');  
xlabel('input');  
ylabel('output');  
grid;
```

PROGRAM – QUADRATIC SPLINE with 1 knot

```
splinekuadratik<-function(x,y,k1)
{
n<-length(y)
trun<-function(data,knots,power)
{((data-knots)^power)*(data>=knots)}
m<-matrix(0,ncol=4,nrow=n)
m[,1]<-1
m[,2]<-x
m[,3]<-x^2
m[,4]<-trun(x,k1,2)
beta<-solve(t(m)%*%m)%*%t(m)%*%y
flamda<-m%*%beta
alamda<- m%*% solve(t(m)%*%m)%*%t(m)
ia<-diag(n)-alamda
bgcv<-(sum(diag(ia))/n)^2
agcv<-t(ia%*%y)%*%(ia%*%y)/n
gcv<-agcv/bgcv
residual<-y-flamda
ybar<-sum(y)/n
sse<-t(y-flamda)%*%( y-flamda)
syy<- t(y-ybar)%*%( y-ybar)
ssr<- t(flamda-ybar)%*%( flamda-ybar)
koef.determinasi<-ssr/syy
mse<-as.vector(sse)/(n-4)
msr<- as.vector(ssr)/3
fhitung<-msr/mse
covbeta<-solve(t(m) %*%m)*mse
seb1<-sqrt(covbeta[1,1])
seb2<-sqrt(covbeta[2,2])
seb3<-sqrt(covbeta[3,3])
seb4<-sqrt(covbeta[4,4])
tb1<-beta[1]/seb1
tb2<-beta[2]/seb2
tb3<-beta[3]/seb3
tb4<-beta[4]/seb4
i<-seq(min(x),max(x),length=100)
fest<- beta[1]+beta[2]*i+beta[3]*i^2+beta[4]*trun(i,k1,2)
win.graph()
plot(x,y, xlim=c(min(x),max(x)),ylim=c(min(y),max(y)),xlab="Fn",ylab="Ct")
par(new=T)
plot(i,fest,type="l", xlim=c(min(x),max(x)),ylim=c(min(y),max(y)), xlab="Fn",ylab="Ct")
return(mse,gcv,koef.determinasi)
}
```


PROGRAM – CUBIC SPLINE with 3 knots

```
splinekubik3<-function(x,y,k1,k2,k3)
{
n<-length(y)
trun<-function(data,knots,power)
{((data-knots)^power)*(data>=knots)}
m<-matrix(0,ncol=7,nrow=n)
m[,1]<-1
m[,2]<-x
m[,3]<-x^2
m[,4]<-x^3
m[,5]<-trun(x,k1,3)
m[,6]<-trun(x,k2,3)
m[,7]<-trun(x,k3,3)
beta<-solve(t(m)%*%m)%*%t(m)%*%y
flamda<-m%*%beta
alamda<- m%*% solve(t(m)%*%m)%*%t(m)
ia<-diag(n)-alamda
bgcv<-(sum(diag(ia))/n)^2
agcv<-t(ia%*%y)%*%(ia%*%y)/n
gcv<-agcv/bgcv
residual<-y-flamda
ybar<-sum(y)/n
sse<-t(y-flamda)%*%( y-flamda)
syy<- t(y-ybar)%*%( y-ybar)
ssr<- t(flamda-ybar)%*%( flamda-ybar)
koef.determinasi<-ssr/syy
mse<-as.vector(sse)/(n-7)
msr<- as.vector(ssr)/6
fhitung<-msr/mse
covbeta<-solve(t(m) %*%m)*mse
seb1<-sqrt(covbeta[1,1])
seb2<-sqrt(covbeta[2,2])
seb3<-sqrt(covbeta[3,3])
seb4<-sqrt(covbeta[4,4])
tb1<-beta[1]/seb1
tb2<-beta[2]/seb2
tb3<-beta[3]/seb3
tb4<-beta[4]/seb4
i<-seq(min(x),max(x),length=100)
fest<- beta[1]+beta[2]*i+beta[3]*i^2+beta[4]*i^3+beta[5]*trun(i,k1,3)
+beta[6]*trun(i,k2,3) +beta[7]*trun(i,k3,3)
win.graph()
plot(x,y, xlim=c(min(x),max(x)),ylim=c(min(y),max(y)),xlab="X",ylab="Y")
par(new=T)
plot(i,fest,type="l", xlim=c(min(x),max(x)),ylim=c(min(y),max(y)),xlab="X",ylab="Y")
return(beta,mse,gcv,koef.determinasi)
}
```