

30584/07



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

R56
623.8257
Sea
0-1
2007

TUGAS AKHIR - LL1327

**OPTIMASI BERAT MINIMUM PRESSURE HULL PADA KAPAL
SELAM TERHADAP BUCKLING AKIBAT TEKANAN
HIDROSTATIK PADA BERBAGAI KEDALAMAN**

I GEDE SUARSANA
NRP. 4303 100 023

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Wisnu Wardhana, MSc, SE
Ir. Handayanu, MSc, Ph.D

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2007

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima:	8-8-2007
Terima Hari:	H
No. Agenda Prp.	229566



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - LL1327

**MINIMUM WEIGHT OPTIMIZATION OF SUBMARINE'S
PRESSURE HULL DUE TO BUCKLING CAUSED BY THE
HYDROSTATIC PRESSURE UNDER VARIOUS DEPTHS**

I GEDE SUARSANA
NRP. 4303 100 023

Supervisors

Dr. Ir. Wisnu Wardhana, MSc, SE

Ir. Handayanu, MSc, Ph.D

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Institute Technology of Sepuluh Nopember
Surabaya 2007

**OPTIMASI BERAT MINIMUM PRESSURE HULL PADA KAPAL
SELAM TERHADAP BUCKLING AKIBAT TEKANAN
HIDROSTATIK PADA BERBAGAI KEDALAMAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

I GEDE SUARSANA

NRP. 4303 100 023

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Wisnu Wardhana, MSc, SE(Pembimbing I)

2. Ir. Handayanu, MSc, Ph.D.....(Pembimbing II)



SURABAYA, AGUSTUS 2007

OPTIMASI BERAT MINIMUM PRESSURE HULL PADA KAPAL SELAM TERHADAP BUCKLING AKIBAT TEKANAN HIDROSTATIK PADA BERBAGAI KEDALAMAN

Nama : I GEDE SUARSANA
NRP : 4303 100 023
Jurusan : Teknik Kelautan FTK - ITS
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Wisnu Wardhana, MSc, SE
2. Ir. Handayanu, MSc, Ph.D

Abstrak

Tugas akhir ini membahas bagaimana cara meminimumkan coefficient buoyancy pada pressure hull yang mampu menahan beban buckling akibat tekanan hidrostatis pada berbagai kedalaman. Beban buckling meliputi local buckling, interframe buckling, frame yeiding dan over all collapse. Pressure hull pada kapal selam dijadikan objek penelitian. Struktur pressure hull terdiri dari silinder dengan ring stiffener yang ditutup dome di kanan dan kiri. Variasi kedalaman 100 meter, 200 meter, dan 300 meter dan di desain dengan material HY80 dan material HY100 High Tension Steel. Standard desain untuk pressure hull menggunakan ABS "Rules for Buildind and Classing" Underwater Vehicles, System and Hiperbaric Facilities 2002. Pressure hull mempunyai panjang silinder $25m \leq L_b \leq 30m$ dan rasio L_b/D konstan dengan nilai $5 \leq L_b/D \leq 12$. Optimasi menggunakan software matlab dengan metode Genetic Algoritma digunakan untuk prosedur optimasi. Tahapan metode genetik algoritma meliputi pembangkitan kromosom secara random dengan jumlah populasi 100 dalam 100 generasi, perhitungan fungsi fitness (coefficient buoyancy), seleksi untuk mencari coefficient buoyancy yang paling minimum dan proses mutasi atau pertukaran gen pada kromosom. Penggunaan metode genetik algoritma pada umumnya mempunyai kelebihan yaitu nilai yang didapatkan memiliki tingkat keakuratan yang tinggi dan mampu mengatasi masalah-masalah yang memiliki tingkat kompleksitas tinggi. Hasil analisa coefficient buoyancy pada material HY80 sebesar 0.2432, 0.336, dan 0.4198 untuk masing-masing kedalaman. Pada material HY100 didapatkan coefficient buoyancy sebesar 0.223, 0.2990, dan 0.3830 dengan struktur pressure hull dinyatakan aman dari beban buckling.

Kata-kata kunci: *Pressure Hull, Beban Buckling, Tekanan Hidrostatik, Optimasi, Genetik Algoritma.*

MINIMUM WEIGHT OPTIMIZATION OF SUBMARINE'S PRESSURE HULL DUE TO BUCKLING CAUSED BY THE HYDROSTATIC PRESSURE UNDER VARIOUS DEPTHS

Name : I GEDE SUARSANA
Register Number : 4303 100 023
Depatment : Ocean Engineering FTK - ITS
Supervisor : 1. Dr. Ir. Wisnu Wardhana, MSc, SE
2. Ir. Handayanu, MSc, Ph.D

Abstract

This final project report investigate the way how to minimize the coefficient buoyancy (weigh / displacement) of pressure hull capable to withstand buckling load caused by hydrostatic pressure under various depths. Buckling loads considered are local buckling, interframe buckling, frame yielding and overall collapse. The submarine's pressure hull is the object of the research. This structure consists of cylinder with ring stiffened and closed by domes at the end. Depths are varied from 100 meter, 200 meter and 300 meter and designed using HY80 and HY100 high tension steel material. The standard used is the ABS " Rules For Building and Classing" Underwater Vehicles, System And Hyperbaric Facilities 2002. The range of pressure hull's length is $25m \leq L_b \leq 30m$ with ratio L_b/D constant with the value $5 \leq L_b/D \leq 12$. Matlab optimization software software with Genetic Algorithm Method is use for the trade-off optimization prosedure. Step of Genetic Algorithm Method consist of the chromosome evocation by random with 100 population on 100 generation, calculation of fitness function (coefficient buoyancy), selection to find minimum buoyancy coefficient and mutation process or gene transfer at chromosome. Using Genetic Algorithm Method generally is more advantages such that we can get have high accuracy and able to overcome the problem having high complexity. The analysis results in coefficient buoyancy using material of HY80 equal to 0.2432, 0.336, and 0.4198 for each depth. Using material of HY100, the coefficient buoyancy is equal to 0.223, 0.2990 and 0.3830 which ensure that the structure will save from buckling load.

Key Word: Pressure Hull, Buckling Load, Hydrostatic Pressure, Optimization, Genetic Algorithm

KATA PENGANTAR

Om Swastiastu.

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Ida Sang Hyang Widhi Wasa, karena berkat asung kertha wara nugraha-Nya, serta kepada seluruh pihak yang telah membantu sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik. Tugas Akhir ini berjudul **“OPTIMASI BERAT MINIMUM PRESSURE HULL PADA KAPAL SELAM TERHADAP BUCKLING AKIBAT TEKANAN HIDROSTATIK PADA BERBAGAI KEDALAMAN”**.

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tugas Akhir ini membahas bagaimana cara meminimumkan *coefficient buoyancy* pressure hull pada kapal selam terhadap beban *buckling* akibat tekanan hidrostatik pada berbagai kedalaman.

Saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya penyusunan Tugas Akhir ini antara lain:

1. Kedua orang tua, bapak dan ibu yang telah memberikan dukungan dan doa selama penulis menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Kelautan FTK – ITS.
2. Bapak Ir. Imam Rochani, M.Sc, selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan, FTK-ITS.
3. Bapak Dr. Ir. Wisnu Wardhana, MSc, SE selaku dosen pembimbing I atas kesabaran, waktu dan ilmunya dalam membimbing dan mengarahkan selama menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Bapak Ir. Handayanu, M.Sc, Ph.D, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kelautan dan dosen pembimbing II, FTK-ITS.
5. Bapak Ir. Murjito. Msc, Eng terima kasih atas ilmu serta masukan-masukan yang diberikan selama ini.
6. Bapak Ir. Jusuf Sutomo, Msc terima kasih selama menjadi dosen wali .
7. Semua bapak dan ibu dosen Jurusan Teknik Kelautan atas semua ilmunya.

8. Ari Novarini, terima kasih atas dukungan dan perhatian serta kasih sayang yang telah diberikan selama mengerjakan tugas akhir ini. *Your are the best girl. I love you.*
9. Semua saudaraku, mbok yayah, mbok yayu, bli kadek, mbok komang, mbok widhi dan adik Made terima kasih atas doa dan dukungannya selama penulis menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Kelautan, FTK – ITS.
10. Seluruh angkatan 2003 "PCI" (Rendro, David, Agus, AC, Pras, Denny Contong, Fak-Fak, Kukuh, Kates) terima kasih atas dukungannya.
11. All Girl angkatan 2003 (Yulie, Agustin, Siska, Nanik, Z-qi) terima kasih atas dukungannya.
12. Teman-teman Lab Distruk Crew, terima kasih atas kerja samanya.
13. Penghuni kontrakan wisma permai leper, Anton, Adi, gung langang, dan bonek.
14. Karyawan Jurusan Teknik Kelautan : Pak Teguh, Pak Tomo, Pak Man, Bu Lismi atas bantuan dan restu yang telah diberikan.
15. Teman-teman TPKH, terima kasih.
16. Semua pihak yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tak langsung yang belum saya sebutkan, terima kasih banyak.

Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan dan penulisan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna menambah kelengkapan dan kesempurnaan untuk masa yang akan datang. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca, khususnya mahasiswa Teknik Kelautan FTK-ITS.

Om santhi santhi santhi

Surabaya, Agustus 2007

(Penulis)

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR NOTASI	xiv
DAFTAR PUSTAKA	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.6 Sistematika Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tinjauan Pustaka.....	6
2.2 Dasar Teori.....	
2.2.1 Hidrostatika Kapal Selam.....	9
2.2.1.1 Displacement.....	10
2.2.1.2 Kapal Selam mengapung dengan trim selam.....	10
2.2.1.3 Kapal Menyelam.....	10
2.2.1.4 Kapal Mengapung.....	11
2.2.2 Tekanan Hidrostatik.....	11
2.2.3 Analisa teggangan pada silinder akibat tekanan external.....	12
2.2.3.1 Syarat Bata untuk Flexible Ring Stiffener.....	12

2.2.4. <i>Buckling</i> pada lingkaran sempurna.....	12
2.2.4.1 <i>Elastic Buckling</i> pada silinder unstiffened akibat beban axial merata.....	12
2.2.4.2 <i>Elastic Buckling</i> pada silinder <i>unstiffened</i> akibat beban <i>radia</i> merata.....	14
2.2.4.3 <i>Elastic Buckling</i> pada silinder <i>unstiffened</i> akibat kombinasi beban merata <i>axial</i> dan radial.....	15
2.2.4.4 Ketidakstabilan <i>elastic</i> melintang pada bagian melintang <i>silinder stiffened</i> akibat kombinasi beban merata antara <i>axial</i> dan <i>radial</i>	17
2.2.5 Prosedur Desain.....	17
2.2.5.1 Menentukan desain pressure.....	17
2.2.5.2 Menentukan dan merancang dimensi awal untuk pressure hull.....	18
2.2.5.3 Estimasi desain ooc (Co).....	18
2.2.5.4 Hitung <i>Interframe Collapse Pressure</i> (Pci).....	19
2.2.5.5 Hitung <i>Overall Collapse</i>	21
2.2.5.6 Hitung stabilitas frame.....	22
2.3.6 Jenis-jenis Gaya an Tekanan pada Shell.....	22
2.3.6.1 Gaya Melingkar pada shell.....	24
2.3.6.2 Gaya Meridional pada Shell.....	24
2.3.6.3 Tekanan Maksimum pada Shell.....	26
2.2.7 Prinsip Dasar Teori Optimasi.....	26
2.2.7.1 Optimasi Permasalahan <i>Non Linier</i>	27
2.2.8 Genetik Algoritma.....	28
2.2.8.1 Umum.....	28
2.2.8.2 Struktur umum genetik algoritma.....	29
2.2.8.3 Komponen-komponen Algoritma Genetik.....	29
2.2.8.4 Algoritma Genetika Sederhana.....	32

BAB III METODOLOGI

3.1 Proses pengerjaan secara umum.....	33
3.1.1 Studi literatur.....	33

3.1.2 Pengumpulan data-data awal.....	33
3.1.3 Perhitungan tekanan hidrostatis.....	33
3.1.4 Pemodelan struktur secara manual.....	34
3.1.4.1 Pemodelan silinder dan frame.....	34
3.1.4.2 Pemodelan dome.....	34
3.1.6 Optimasi dengan Matlab.....	35
3.1.7 <i>Coeffisient Buoyancy</i>	36
3.1.8 Variasi parameter.....	36
3.1.9 Presentasi Hasil.....	37
3.2 Proses Optimasi.....	37
3.2.1 Masukan Input.....	37
3.2.2 Pembangkitan <i>Kromosom</i>	37
3.2.3 Perhitungan fungsi <i>fitness</i>	39
3.2.4 Perhitungan Pembebanan.....	40
3.2.5 Seleksi Roda <i>Roulette</i>	40
3.2.6 Proses Mutasi.....	40
3.2.7 Loop Generasi.....	41
3.2.8 Tampilan Hasil.....	42
3.3 Diagram Alir.....	43

BAB IV ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Data.....	47
4.1.1 Umum.....	47
4.1.2 Perhitungan Manual.....	47
4.1.2.1 Perhitungan pada silinder.....	47
4.1.2.2 Perhitungan pada dome.....	56
4.2. Pembahasan.....	60
4.2.1 Optimasi dengan Genetik Algoritma.....	60
4.2.1.1 Material HY80.....	60
4.2.1.2 Material HY100.....	66

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan.....	75
5.2. Saran.....	76

DAFTAR PUSTAKA..... xvi

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perubahan volume gas akibat perubahan kedalaman	11
Table 3.1 Data material	33
Tabel 4.1 <i>Pressure</i> yang menyebabkan <i>yield</i> pada <i>interframe</i>	52
Tabel 4.2 <i>Overall elastic collapse</i> untuk $n = 2$ sampai 6	54
Tabel 4.3 Perbandingan Tekanan Operasi dan Ijin pada silinder	55
Tabel 4.4 Tegangan <i>Von Mises</i>	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Shell instability</i> pada silinder	6
Gambar 2.2 <i>General instability</i> pada silinder	6
Gambar 2.3 Bentuk <i>pressure hull</i> pada kapal selam	7
Gambar 2.4 Potongan Melintang Bejana Tekan Berbentuk Bola	9
Gambar 2.5 Tegangan Tarik σ di Dinding Bejana Tekan Berbentuk Bola	9
Gambar 2.6 Menyelam pada <i>buoyancy</i> netral	10
Gambar 2.7 Bentuk silinder dan frame	12
Gambar 2.8 Silinder dengan beban merata <i>radial compressive</i>	14
Gambar 2.9 Arah deformasi pada permukaan silinder	16
Gambar 2.10 <i>Interframe buckling</i> pada silinder	16
Gambar 2.11 <i>Overall buckling</i> pada silinder	17
Gambar 2.12 Tegangan pada frame	18
Gambar 2.13. <i>Buckling</i> pada frame	19
Gambar 2.14 Gaya-gaya pada <i>Shell Sphere</i>	23
Gambar 2.15 Gaya Melingkar dan Meridional pada <i>Shell Sphere</i>	23
Gambar 3.1 Bentuk silinder dan frame dengan material HY100 dan HY80	34
Gambar 3.2 Proses operasi dengan <i>software matlab</i>	35
Gambar 3.3 Tampilan layar <i>editor</i> untuk <i>m-file</i>	36
Gambar 3.4 Bentuk silinder dan frame dengan variasi ukuran	36
Gambar 3.5 Struktur <i>pressure hull</i>	37
Gambar 3.6 Individu dalam generasi	38
Gambar 3.7 Proses Mutasi Individu	41
Gambar 3.8 Diagram Alir Metodologi	44
Gambar 3.9 Diagram Alir Proses Optimasi	45
Gambar 3.10 Diagram Alir Pembangkitan Kromosom	46
Gambar 4.1 Desain silinder awal untuk <i>pressure hull</i>	48
Gambar 4.2 Desain frame awal untuk <i>pressure hull</i>	48
Gambar 4.3 Ukuran frame untuk perhitungan moment inersia	49

Gambar 4.4 Ukuran silinder untuk perhitungan moment inersia	50
Gambar 4.5 Perbandingan Tekanan pada pada silinder	56
Gambar 4.6 Tegangan pada <i>Dome</i>	59
Gambar 4.7 <i>M-file</i> untuk material HY80	61
Gambar 4.8 Proses <i>running output</i> material HY80	61
Gambar 4.9 Dimensi Pressure Hull pada Kedalaman 100 m	62
Gambar 4.10 Dimensi Pressure Hull pada Kedalaman 200 m	63
Gambar 4.11 Dimensi Pressure Hull pada Kedalaman 300 m	64
Gambar 4.12 <i>Coeffisient Buoyancy</i> tiap generasi pada kedalaman 100 m	65
Gambar 4.13 <i>Coeffisient Buoyancy</i> tiap generasi pada kedalaman 200 m	65
Gambar 4.14 <i>Coeffisient Buoyancy</i> tiap generasi pada kedalaman 300 m	66
Gambar 4.15 Dimensi Pressure Hull pada Kedalaman 100 m	67
Gambar 4.16 Dimensi Pressure Hull pada Kedalaman 200 m	68
Gambar 4.17 Dimensi Pressure Hull pada Kedalaman 300 m	69
Gambar 4.18 <i>Coeffisient Buoyancy</i> tiap generasi pada kedalaman 100 m	70
Gambar 4.19 <i>Coeffisient Buoyancy</i> tiap generasi pada kedalaman 200 m	70
Gambar 4.20 <i>Coeffisient Buoyancy</i> tiap generasi pada kedalaman 300 m	71
Gambar 4.21 Perbandingan <i>Coeffisient Buoyancy</i>	71
Gambar 4.22 Grafik Regresi <i>Coeffisient Buoyancy</i>	72



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A Output Optimasi Material HY80 pada Kedalaman 100 m
- Lampiran B Output Optimasi Material HY80 pada Kedalaman 200 m
- Lampiran C Output Optimasi Material HY80 pada Kedalaman 300 m
- Lampiran D Output Optimasi Material HY100 pada Kedalaman 100 m
- Lampiran E Output Optimasi Material HY100 pada Kedalaman 200 m
- Lampiran F Output Optimasi Material HY100 pada Kedalaman 300 m

DAFTAR NOTASI

P	Tekanan Hidrostatik
Pd	Desain Pressure
Pm	Tekanan Von Mises untuk Silinder <i>buckling</i>
Pci	<i>Interframe Collapse Pressure</i>
Pc ₅	Batas <i>Pressure</i> pada lapisan pelat
Pn	<i>Elastic Buckling Pressure</i>
Pcr	Tekanan kritis
P _a	Tekanan Maksimum pada dome
E	Modulus Elastisitas
v	Poison Ratio
σ_y	<i>Yield Stress</i>
$\sigma_{\bar{\alpha}}$	Total stress
$\sigma_{\bar{\alpha}d}$	Stress pada <i>standing flange</i>
$\sigma_{\bar{\alpha}s}$	<i>bending stress</i>
σ_5, σ_3 dan σ_7	<i>yield</i> pada <i>interframe</i>
σ_v	<i>Von Mises Stress</i>
Co	Deformasi maksimum
$\alpha, \beta, \gamma, A, H, G, R, N$	Shell Parameter
N _{θ}	Gaya Melingkar
N _{ϕ}	Gaya Meridional
σ_{θ}	Tegangan Melingkar
σ_{ϕ}	Tegangan Meridional
n	Jumlah lengkungan <i>buckling</i>
a	Jarak dari tengah-tengah Pelat ke pusat Silinder
a _g	Jarak dari pusat Frame ke pusat Silinder
a _s	Jarak dari dasar Frame ke pusat Silinder
As	Luas area Frame

d	Titik pusat Frame
Lb	Panjang Silinder
L	Panjang pelat yang tidak ditumpu Frame
Lf	Jarak antar Frame
D	Diameter Silinder
r	Jari-jari Silinder
t	Tebal pelat
ζ	Tebal Frame vertikal
S1	Panjang Frame vertikal
$t_{i(1)}$	Tebal Frame horizontal
S2	Panjang Frame horizontal
I_f	Moment Inersia Frame
I	Moment Inersia Pelat Silinder
Ic	Moment Inersia kombinasi Frame dengan pelat yang tidak ditumpu Frame

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan negara yang memiliki daerah perairan yang luas. Untuk itu dibutuhkan sarana yang efektif untuk menjaganya mengingat armada kapal perang RI kurang memadai jika dibandingkan dengan area yang harus dijaga. Solusinya adalah kapal selam karena memiliki kelebihan-kelebihan khusus bila dibandingkan dengan kapal lainnya, yaitu daerah operasinya yang berada di bawah air sehingga sulit untuk dideteksi keberadaannya. Karena mempunyai kelebihan maka dibutuhkan suatu keadaan stabil pada saat beroperasi di bawah air. Selain dalam keadaan stabil kapal selam juga harus dapat memenuhi persyaratan kesetimbangan (*buoyancy = gravity*). Persyaratan kesetimbangan ini bertujuan agar kapal selam tetap dalam keadaan aman saat beroperasi di bawah air dan mampu mempertahankan kedalaman dan arah yang dikehendaki. Untuk itu dibutuhkan peralatan tertentu yang ditata oleh suatu sistem yang dapat menjamin kapal selam dapat beroperasi.

Pada umumnya struktur kapal selam dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu struktur luar (*envelope*) dan struktur dalam. Struktur luar mempunyai bentuk yang *streamline* sehingga mudah untuk bergerak di dalam air. Sedangkan untuk struktur dalam yang disebut dengan *pressure hull*. Fungsi dari *pressure hull* disini adalah untuk menahan beban *buckling* akibat dari tekanan hidrostatis pada berbagai kedalaman terhadap kapal selam. *Buckling* sangat berpengaruh karena dapat mengakibatkan kerusakan pada struktur kapal selam. Selain untuk menahan beban *buckling*, *pressure hull* juga harus dapat menahan *local buckling*, *interframe buckling*, *frame yielding*, dan *over all collapse*.

Karena kapal selam dapat beroperasi di bawah air pada berbagai kedalaman, maka diperlukan suatu perancangan dan penentuan berat minimum pada *pressure hull* yang baik karena tekanan hidrostatis mempunyai pengaruh yang sangat signifikan terhadap stabilitas dari kapal selam itu sendiri. Untuk itu pada *pressure hull* diberikan semacam

frame dengan jarak tertentu dengan tujuan untuk memperkuat struktur dan dapat menahan beban *buckling* akibat tekanan hidrostatis. Pemilihan material pada silinder dan frame akan menentukan tingkat kekuatan dan berat dari struktur pressure hull. Sehingga dengan didapatkannya berat minimum dari struktur pressure hull maka biaya dalam pembuatan kapal selam dapat diminimalkan.

Optimasi adalah suatu proses yang dilakukan untuk mendapatkan hasil yang terbaik dan yang diinginkan dimana diberikan nilai maksimum dan minimum dari suatu fungsi tertentu. Penggunaan metode genetik algoritma pada umumnya akan didapatkan nilai yang terbaik dari suatu *objective function*. Dimana *objective function* disini adalah bagaimana cara mendapatkan nilai *coeffisient buoyancy* yang paling minimum. Perancangan yang baik pada pressure hull yang mempunyai bagian silinder dengan *ring stiffener* yang ditutup dengan dome dikanan kiri akan berpengaruh pada kekuatan kapal selam. Sebagai salah satu sistem yang sangat penting, optimasi berat minimum pada pressure hull kapal selam harus mampu bekerja sesuai dengan konsep yang telah direncanakan. Perancangan pressure hull pada kapal selam sangat penting karena pada kapal selam ruangan sangat terbatas dan harus dikaji secara detail. Maka dari itu diperlukan nilai *coeffisient buoyancy* (w/v) yang minimum sehingga diperoleh struktur yang ringan yang dapat bertahan pada berbagai kedalaman dan dengan struktur yang ringan pula dimana volume yang tetap sama akan didapatkan ruangan untuk akomodasi pada kapal selam yang lebih besar sehingga dapat digunakan untuk keperluan yang lain.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan diselesaikan dalam optimasi berat minimum pressure hull kali ini adalah :

1. Bagaimana menentukan berat minimum pressure hull?
2. Bagaimana meminimumkan *buoyancy coeffisient* (w/v) pada kapal selam yang mampu menahan *buckling* akibat tekanan hidrostatis?
3. Bagaimana memperoleh hubungan antara *buoyancy coeffisient* dengan ukuran utama pressure hull dengan struktur yang mampu menahan beban *buckling* akibat tekanan hidrostatis pada berbagai kedalaman?

1.3 Tujuan Penelitian

Sebagaimana dengan permasalahan yang akan dibahas maka tujuan tugas akhir ini antara lain :

1. Dapat menentukan berat minimum pressure hull.
2. Dapat meminimumkan *buoyancy coefficient* (tw/v) pada kapal selam yang mampu menahan *buckling* akibat tekanan hidrostatik.
3. Dapat memperoleh hubungan antara *buoyancy coefficient* dengan ukuran utama pressure hull dengan struktur yang mampu menahan beban *buckling* akibat tekanan hidrostatik pada berbagai kedalaman.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu :

1. Diperoleh informasi tentang bagaimana cara meminimumkan berat pressure hull yang mampu menahan beban *buckling* akibat tekanan hidrostatik.
2. Didapatkan struktur kapal selam yang lebih lebih ringan dan efisien dengan volume yang sama namun tetap kuat sehingga diperoleh ruangan akomodasi yang lebih besar.
3. Didapatkan hubungan antara *buoyancy coefficient* dengan ukuran utama pressure hull dengan struktur yang mampu menahan beban *buckling* akibat tekanan hidrostatik pada berbagai kedalaman.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Untuk memfokuskan ruang lingkup dari permasalahan, maka permasalahan akan dibatasi pada hal – hal berikut :

1. Penentuan berat minimum pada struktur bagian dalam dari kapal selam yaitu pressure hull.
2. Variasi kedalaman antara 100 meter sampai 300 meter.
3. Panjang silinder memiliki kisaran harga antara $25m \leq L_b \leq 30m$.
4. Rasio L_b/D adalah konstan dengan nilai $5 \leq L_b/D \leq 12$.
5. Penentuan berat minimum pressure hull berdasarkan pengaruh tekanan hidrostatik.
6. Pressure hull berbentuk silinder dengan *ring stiffener* yang ditutup dome di kanan dan kiri.

7. Prosedur desain menggunakan ABS "Rules for Building and Classing" Underwater Vehicles, System and Hyperbaric Facilities 2002.
8. Penentuan berat minimum pressure hull dilakukan dengan material HY100 dan HY80.
9. Perhitungan dan penentuan berat minimum pada pressure hull harus dapat mengatasi *local buckling, interframe buckling, frame yeiding* dan *over all collapse*.
10. Desain pada dome berdasarkan tekanan melingkar dan tekanan meridonal.
11. Perhitungan menggunakan bantuan *software* Matlab dengan metode genetik algoritma.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

Bab I Pendahuluan

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang penulisan, permasalahan yang dibahas dalam penulisan, tujuan yang ingin dicapai, manfaat, serta batasan masalah yang digunakan dalam Tugas Akhir ini.

Bab II Tinjauan Pustaka dan Landasan Teori

Dalam penyelesaian laporan Tugas Akhir ini penulis melakukan tinjauan pustaka pada beberapa penelitian yang berkaitan dengan pengaruh tekanan hidrostatik, beban *buckling* terhadap pressure hull dan metode optimasi untuk *coefisien buoyancy* dengan genetik algoritma.

Bab III Metodologi Penelitian

Pada bab ini menerangkan langkah-langkah pengerjaan secara umum yang dilakukan, diawali dari studi literatur, pengumpulan data berupa data material, dan perhitungan manual pada silinder dan dome serta pemodelan optimasi dengan metode genetik algoritma.

Bab IV Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini akan menampilkan hasil yang telah didapat dari perhitungan manual dan hasil yang didapatkan pada proses optimasi berat minimum pressure hull yaitu *coeffsien buoyancy* dengan motode genetik algoritma.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan yang dapat ditarik dari keseluruhan hasil analisa dan pembahasan. Pada bab ini juga berisikan saran sebagai tindak lanjut penelitian untuk permasalahan terkait.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dinding tipis pada *circular* silinder sering digunakan untuk konstruksi *pressure hull* pada kapal selam karena *Circular* silinder sebagian berhasil digunakan pada *pressure vessel*. Tetapi dalam mendesain suatu struktur silinder perlu diperhatikan kendala-kendala yang menyebabkan struktur gagal seperti *shell instability* dan *general instability* akibat adanya tekanan external. Desain yang tidak cukup kuat dapat mengakibatkan kegagalan pada struktur silinder. Akan tetapi jika ring stiffeners cukup kuat untuk didesain maka kombinasi *buckling* dapat dihindari (Carl T. F. Ross, 2005).



Gambar 2.1 *Shell instability* pada silinder.

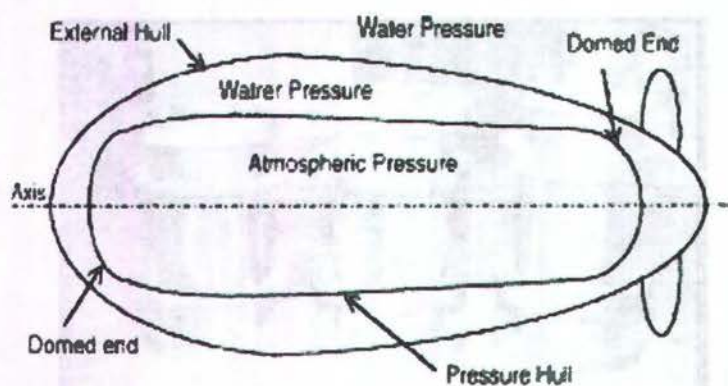
(Sumber : *International Journal of Struktural Stability and Dynamic*, Carl T. F. Ross)



Gambar 2.2 *General instability* pada silinder.

(Sumber : *International Journal of Struktural Stability and Dynamic*, Carl T. F. Ross)

Bentuk umum dari pressure hull pada kapal selam adalah *circular* silinder dengan ring-stiffener. Adapun keuntungan dan kerugian digunakan *circular* silinder dalam desain pressure hull. Keuntungannya adalah *circular* silinder dengan ring-stiffener sangat bagus untuk menanggulangi efek dari *external pressure*, dengan *volume* yang sama *circular* silinder lebih bagus untuk hidrodinamik dibandingkan dengan bentuk *spherical* dan dengan *volume* yang sama *circular* silinder lebih mudah dimasukkan ke dok dibandingkan dengan bentuk *spherical*. Sedangkan kerugiannya adalah stabilitas hidrodinamis dan hidrostatis merupakan masalah penting dari pressure hull yang berbentuk *circular* silinder dan kapal selam konvensional sulit dipindahkan dalam tiga dimensi (Carl T. F. Ross, 2006).



Gambar 2.3 Bentuk pressure hull pada kapal selam.

(Sumber : A conceptual design of an underwater vehicle, Carl T. F. Ross)

Shell adalah bentuk struktural berdimensi tiga yang kaku dan tipis serta mempunyai permukaan lengkung. Permukaan *shell* mempunyai bentuk sembarang. Bentuk umum adalah permukaan yang berasal dari kurva yang diputar terhadap suatu sumbu (misalnya, permukaan bola, elips, kerucut, dan parabola). Permukaan translasional yang dibentuk dengan menggeser kurva bidang di atas kurva bidang lainnya (misalnya, permukaan parabolaeiptik dan silindris). Bentuk *shell* tidak harus selalu memenuhi persamaan matematis sederhana. Segala bentuk *shell* mungkin saja digunakan untuk suatu struktur. Tinjauan konstruksional mungkin akan membatasi hal ini (Schodek, 1999).

Beban-beban yang bekerja pada permukaan *shell* diteruskan ketumpuan dengan menimbulkan tegangan geser, tarik dan tekan pada arah dalam bidang (*in plane*) permukaan tersebut. Tipisnya permukaan *shell* menyebabkan tidak adanya tahanan momen yang berarti dan tegangan geser dapat diabaikan dalam perhitungan. Struktur *shell* tipis khususnya cocok digunakan untuk memikul beban terbagi merata pada seluruh permukaan. Struktur ini tidak cocok untuk memikul beban terpusat. Struktur *shell* selalu memerlukan penggunaan cincin tarik pada tumpuannya. Sebagai akibat cara elemen struktur ini memikul beban dalam bidang (terutama dengan cara tarik dan tekanan), struktur cangkang dapat sangat tipis dan memiliki bentang yang relatif besar.

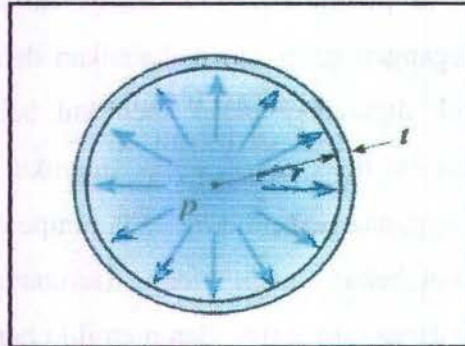
Bejana tekan adalah struktur yang tertutup yang mengalami tekanan oleh cairan atau gas. Apabila bejana tekan mempunyai dinding yang tipis dibandingkan dengan jari-jari dan panjangnya, struktur ini disebut struktur *shell* (cangkang). Contoh-contoh struktur *shell* adalah atap kubah, ketel, sayap pesawat, dinding kapal selam. Bejana bertekanan dipandang berdinding tipis apabila rasio jari-jari r terhadap tebal dindingnya t lebih besar dari 10 (Timoshenko, 1984).

Untuk bejana tipis tekan berdinding tipis berbentuk bola (gambar 2.4). Bola merupakan bentuk yang secara teoritis ideal untuk suatu bejana yang menahan tekanan internal maupun eksternal. Untuk menentukan tegangan di bejana bola, dibuat potongan melalui bola pada bidang diametral vertikal (gambar 2.5) dan isolasikan setengah dari cangkang dan isi fluida di dalamnya sebagai suatu benda bebas (gambar 2.5). Tegangan tarik σ di dinding bejana tekan dan tekanan fluida p bekerja pada benda bebas ini. Tekanan bekerja secara horizontal terhadap bidang lingkaran dari fluida yang tersisa di dalam setengah bola. Karena tekanan ini seragam, gaya tekanan resultan adalah : $\Sigma P = P (\pi r^2)$ dimana :

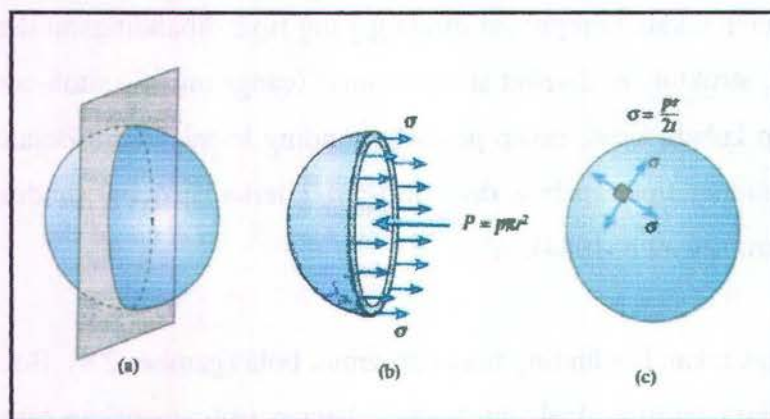
- r = Jari-jari dalam dari bola
- P = Tekanan (*pressure*)

Perlu diingat bahwa tekanan P bukan tekanan absolut melainkan tekanan internal *netto* atau tekanan terukur. Tekanan terukur adalah tekanan internal di atas tekanan yang bekerja di luar. Jika tekanan internal dan eksternal sama, tidak ada tegangan yang

timbul di dinding bejana hanya kelebihan tekanan internal terhadap tekanan eksternal (atau sebaliknya) yang mempunyai efek terhadap tegangan. (Timoshenko, 1984)



Gambar 2.4 Potongan Melintang Bejana Tekan Berbentuk Bola (Timoshenko, 1999)



Gambar 2.5 Tegangan Tarik σ di Dinding Bejana Tekan Berbentuk Bola (Timoshenko, 1999)

Karena bejana dan pembebanannya simetris (gambar 2.5) maka tegangan tarik σ akan seragam di sekelilingnya. Selain itu, karena dindingnya tipis, dapat diasumsikan dengan ketelitian cukup baik bahwa tegangan terdistribusi rata di seluruh tebal t , ketelitian dari pendekatan ini bertambah apabila *shell* menjadi lebih tipis, dan ketelitian dari pendekatan ini berkurang bila *shell* bertambah tebal.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Hidrostatika Kapal Selam

Dalam hidrostatika kapal selam akan dipelajari beberapa hal, antara lain : berat dan buoyancy, serta faktor-faktor yang mempengaruhi statika kapal selam secara praktis

yaitu berat dan *buoyancy*. Dalam rangka memperluas studi tentang hukum dasar pengapungan atau benda-benda yang mengapung termasuk kapal selam, perlu dikaji kembali beberapa hal sebagai berikut :

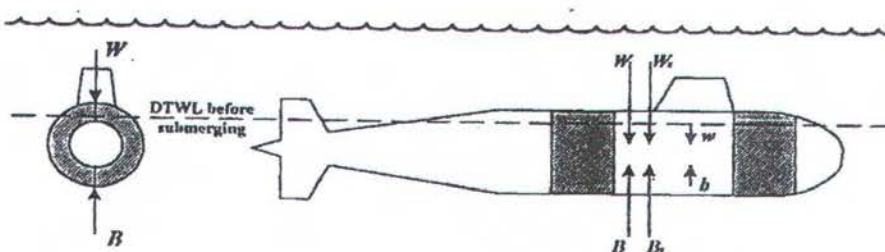
2.2.1.1 Displacement

Displacement adalah berat sejumlah air yang dipindahkan oleh sebuah badan yang tercelup seluruhnya (menyelam) atau hanya tercelup sebagian di air. Gaya apung bekerja secara normal pada permukaan air dan besarnya selalu sama dengan *displacement* tersebut. Berat ini sama dengan berat aktual dari badan. Perlu diperhatikan bahwa jika suatu badan mengapung secara bebas, berat dan *displacement* atau *buoyancy* selalu dalam jumlah yang sama. Pada kondisi menyelam, berat dan *displacement* atau *buoyancy* adalah sama juga. *Displaced volume* adalah sama dengan volume dari air yang dipindahkan oleh sebagian air yang tercelup dari suatu badan. Pada sebuah kapal selam yang menyelam penuh, *displaced volume* dapat diubah hanya dengan cara mengganti atau mengubah bentuk dari kapal selam itu sendiri.

2.2.1.2 Kapal selam mengapung dengan trim selam (*diving trim*)

Kapal selam berada di permukaan air sama seperti kapal-kapal (*surface*) lainnya. Berat total, W , sama dengan gaya apung / *buoyancy* total, B dan keduanya bekerja pada garis vertikal yang sama. Pusat gravitasi diasumsikan di atas pusat *buoyancy*.

2.2.1.3 Kapal menyelam



Gambar 2.6 Menyelam pada *buoyancy* netral

(Sumber : Modern Ship Design Gillmer, Thomas C.)

Berdasarkan gambar diatas, vektor W dan B mewakili garis aksi asal dari berat dan gaya *buoyancy*. Berat tambahan, w , bekerja pada tangki bercampur dengan titik pusat

volume. Untuk mengkompensasi berat tambahan tersebut, kapal selam menyelam sampai gaya apung cadangan tambahan, b , yang berasal dari gaya apung cadangan sama dengan w .

2.2.1.4 Kapal mengapung

Pengoperasian ini, hanya dilakukan dengan mendorong air keluar dari tangki-tangki, untuk mengurangi w , oleh karena dapat menyebabkan kapal selam akan memperoleh *buoyancy* positif, yaitu B_s , lebih besar dari pada W_s . Ketidak seimbangan antara berat dan gaya apung menyebabkan kapal naik / muncul ke permukaan dan mengapung sebagaimana sebelum kapal menyelam, dimana B dan W adalah sama besarnya.

2.2.2 Tekanan Hidrostatik

Boyle merumuskan tekanan hidrostatik pada berbagai kedalaman tertentu berbanding lurus dengan kedalaman dan dirumuskan sebagai berikut :

$$P_{hdy} = \left(1 + \frac{d}{10}\right) \dots \dots \dots (2.1)$$

- Dimana P_{hdy} = Tekanan hidrostatik (bar)
- d = kedalaman benda (meter)

Sedangkan pada tahun 1990, Allwood menuliskan hubungan antara kedalaman, tekanan dan volume gas dalam sebuah tabel, yaitu:

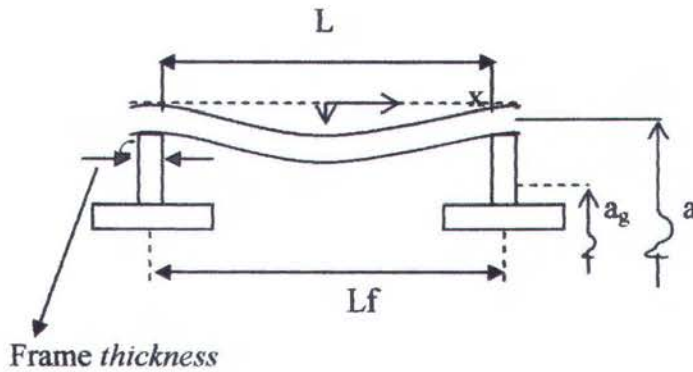
Tabel 2.1 Perubahan volume gas akibat perubahan kedalaman (Allwood, 1990)

Kedalaman (meter)	Tekanan (bar)	Volume (L)
Permukaan	1	1.0
10	2	0.5
20	3	0.33
30	4	0.25
40	5	0.2
50	6	0.16

2.2.3 Analisa tegangan pada silinder akibat tekanan external

2.2.3.1 Syarat Batas untuk *Flexible Ring Stiffener*

Sejauh ini persamaan *differensial* pada titik kesetimbangan terbagi untuk beberapa element. Untuk mengatasi atau memecahkan persamaan, diperlukan syarat batas untuk pembebanan yang sesuai.



Gambar 2.7 Bentuk silinder dan frame

Dimana a adalah jarak ke tengah-tengah tebal plat, A_f adalah luas dari frame dan a_2 adalah jarak ke titik pusat dari frame.

Dengan syarat batas

- w (displacement) adalah simetris dengan x sama dengan 0 (kanan kiri sama).
- $\frac{\delta w}{\delta x} = 0$ pada $x = \frac{L}{2}$ yaitu pada frame dengan acuan 0 pada pusat plat.
- Adanya gaya keseimbangan pada frame.

2.2.4 *Buckling* pada lingkaran sempurna

2.2.4.1 *Elastic Buckling* pada silinder *unstiffened* akibat beban *axial* merata.

Ketika *buckling* terjadi, penambahan energi dilibatkan pada tegangan yang terjadi di tengah-tengah permukaan kulit pada sudut *circumferential* dan bending pada permukaan pada sudut *axial*. Angka dari beban *axial compressive* yang disebabkan oleh *buckling* dapat ditemukan dengan persamaan strain energi pada kerja yang dilakukan oleh beban *compressive* pada pemendekan suatu silinder.

Jika *buckling*, radial displacement dapat dituliskan sebagai berikut :

$$w = A \sin \frac{m\pi x}{\ell} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana

A = konstan

ℓ = panjang silinder

m = jumlah halfwaves yang terjadi dalam silinder buckles

jadi tekanan *axial* kritis dapat ditulis sebagai berikut :

$$\sigma_{CR} = D \left[\frac{m^2 \pi^2}{l^2 t} + \frac{El^2}{a^2 D m^2 \pi^2} \right] \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana

a = jari-jari silinder dari setengah ketebalan

t = tebal dari silinder

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)} \dots\dots\dots(2.4)$$

Tekanan kritis σ_{CR} harus diminimalkan dengan mempertimbangkan jenis dari *buckling* untuk menemukan nilai dari tekanan *compressive* yang mana dapat menyebabkan kegagalan akibat *buckling*.

$$\frac{\partial \sigma_{CR}}{\partial m} = D \left[\frac{2m\pi^2}{l^2 t} - \frac{2El^2}{a^2 D m^3 \pi^2} \right] = 0$$

Dimana nilai dari m adalah

$$m = \sqrt[4]{\frac{l^4}{\pi^4} \frac{12(1-\nu^2)}{t^2 a^2}} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$m = 0.5786 \frac{l}{\sqrt{at}} \text{ ketika } \nu = 0.282$$

Dimana ν adalah poisson ratio

Dari persamaan (2.3) dan (2.4) didapatkan

$$\sigma_{CR} = \frac{Et}{a\sqrt{3(1-\nu^2)}} \dots\dots\dots(2.6)$$

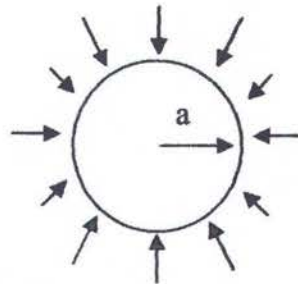
Persamaan (2.5) hanya valid jika panjang dari silinder ℓ cukup besar untuk membenarkan persamaan (2.4) yaitu m harus lebih besar (atau sama dengan) dari

kesatuan. Jika hal ini tidak sama, maka m harus diambil dari kesatuan dan tekanan axial kritisnya menjadi :

$$\sigma_{CR} = \frac{\pi^2 t^2 E}{12(1-\nu^2)l^2} + \frac{EI^2}{a^2 \pi^2} \dots\dots\dots(2.7)$$

2.2.4.2 Elastic Buckling pada silinder unstiffened akibat beban radia merata.

Pembelajaran yang cepat yang dimuat pada deformasi silinder akibat adanya pengaruh dari beban *axial compressive* dikatakan bahwa perilaku dari silinder pengaruhnya tidak terlalu besar dengan kondisi support pada ujung permukaan silinder. Permasalahan ketidakstabilan yang mengacu pada beban *radial* dapat dikerjakan dengan uji perilaku pada sebuah elemen berbentuk gelang (anular) antara bagian dari tengah silinder dengan permukaan.



Gambar 2.8 Silinder dengan beban merata *radial compressive*

Nilai dari tekanan kritis akibat *external uniform pressure* yang ditunjukkan pada gambar di atas adalah

$$P_{CR} = \frac{3D}{a^3} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana D = diameter dari silinder
 a = jari-jari silinder

persamaan yang lebih umum untuk *collapse* pada jenis n^{th} adalah

$$P_{CR} = \frac{(n^2 - 1)D}{a^3} \dots\dots\dots(2.9)$$

Metode *collapse* yang lebih tinggi hanya mungkin terjadi ketika diberlakukan penambahan batasan dan untuk itu tidak bisa diaplikasikan di tengah-tengah silinder

panjang dimana pengaruh pada ujung dapat diabaikan. Sekarang perhatikan bentuk dari *pressure hull* yang sudah diuji *buckling* akibat dari beban *axial* pada gambar berikutnya. Persamaan yang valid untuk silinder yang cukup panjang jika $n = 2$ adalah

$$P_{CR} = \frac{Et^3}{4(1-\nu^2)a^3} \dots\dots\dots(2.10)$$

Disini jelas dibutuhkan kekuatan dari *pressure hull* yang dapat melawan *buckling* yang mengacu pada beban *radial*. Suatu pendekatan yang jelas akan mencegah terjadinya deformasi potongan garis melintang pada *pressure hull* dengan *transverse stiffeners* yang sesuai. Dari persamaan (2.8) dan (2.9) akan ditunjukkan bahwa *transverse frames* yang sesuai tidak mempunyai efek pada nilai kritis dari *external pressure*. Secara tekanan kritis akibat dari beban *radial* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_{CR} = \frac{Et}{a(1-\nu^2)} \left[\frac{1-\nu^2}{(n^2-1)(1+\frac{n^2l^2}{\pi^2a^2})^2} + \frac{t^2}{12a^2} (n^2-1 + \frac{2n^2-1-\nu}{1+\frac{n^2l^2}{\pi^2a^2}}) \right] \dots\dots\dots(2.11)$$

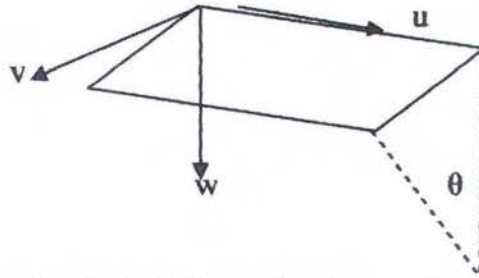
$$P_{CR} = \frac{Et}{a(1-\nu^2)} f\left(\frac{l}{2}, \frac{t}{2}, n\right) \dots\dots\dots(2.12)$$

2.2.4.3 Elastic Buckling pada silinder unstiffened akibat kombinasi beban merata axial dan radial.

Persamaan Von Mises (2.11) diperluas meliputi pengaruh yang ditimbulkan dari beban *axial compression* dari *external pressure* yang sama yang disebabkan oleh beban *radial* dan diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$P_{CR} = \frac{Et}{a} \frac{1}{[n^2-1+0.5(\frac{\pi a}{l})^2]} \left(\frac{1}{[n^2(\frac{l}{\pi a})^2+1]} + \frac{t^2}{12a^2(1-\nu^2)} [n^2-1+(\frac{\pi a}{l})^2] \right) \dots\dots\dots(2.13)$$

Buckling pada element silinder yang pendek antara frame yang bersebelahan adalah masalah utama yang sangat penting di dalam mendisain struktur *pressure hull* yang umumnya ditunjukkan pada *interframe buckling*. Jenis *buckling* diasumsikan dalam bentuk displacement yaitu u, v dan w . Hasil yang diperoleh dari *buckling* deformasi adalah



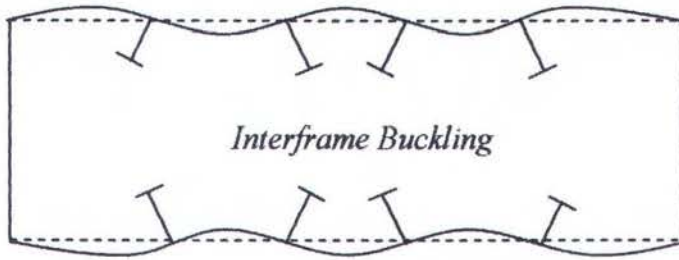
Gambar 2.9 Arah deformasi pada permukaan silinder

$$u = A \cos n\theta \cos \frac{m\pi x}{L}, \quad v = B \sin n\theta \sin \frac{m\pi x}{L} \quad \text{dan} \quad w = C \cos n\theta \sin \frac{m\pi x}{L}$$

Dimana L = panjang silinder diantara frame (*unsupported*)

n = jumlah tekukan *buckling* pada silinder.

Displacement u, v dan w diasumsikan kecil untuk *elastic buckling*



Gambar 2.10 *Interframe buckling* pada silinder

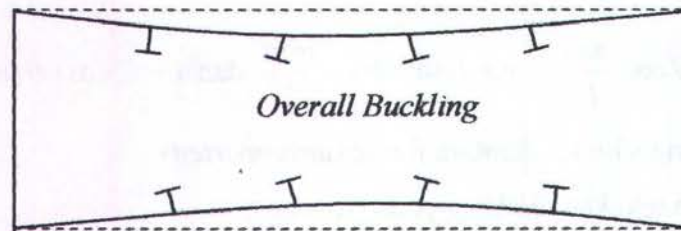
Masing-masing *interframe* pada silinder diasumsikan sebagai *simply supported* pada ujung dan reaksi putaran dapat diabaikan. Rumus pendekatan untuk *interframe buckling* yang independent dikembangkan dari persamaan (2.13) oleh Windenburg dan Trilling.

$$P_{CR} = \frac{2.6 \left(\frac{t}{2a} \right)^{\frac{5}{2}} E}{\left[\frac{\ell}{2a} - 0.45 \frac{t}{2a} \right]^{\frac{1}{2}}} \dots \dots \dots (2.14)$$

Rumus yang didapatkan dari persamaan (2.13) dan (2.14) berisikan pendekatan dan asumsi yaitu mengabaikan kekuatan dari putaran pada frame dan pemilihan perubahan bentuk dari *buckling*.

2.2.4.4 Ketidakstabilan *elastic* melintang pada bagian melintang silinder *stiffened* akibat kombinasi beban merata antara *axial* dan *radial*

Pada asumsi pembahasan sebelumnya dikatakan bahwa kekakuan melintang cukup kuat untuk mempertahankan bentuk tapi bagaimanapun frame tidaklah cukup untuk kuat untuk menahan *overall buckling* yang terjadi pada silinder. Bentuk karakteristik dari *overall buckling* akan ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.11 *Overall buckling* pada silinder

Overall Buckling mengacu pada:

- *Local Instability pada Frame* : jika pada ring frame melengkung di tempat akibat beban *transmitted* dari plat.
- *General Instability* : kombinasi kekakuan dan kekuatan dari plat melengkung semua sebelum *frame buckle locally*.

2.2.5 Prosedur Desain

Setelah diketahui teori-teori mengenai beban *buckling* akibat tekanan *external*. Dalam menentukan berat minimum dari pressure hull perlu diketahui mengenai langkah-langkah prosedur desain. Setelah didapatkan desain pressure hull maka akan dilakukan perhitungan mengenai *coefficient buoyancy*. Berikut ini adalah langkah-langkah prosedur desain untuk silinder dimana prosedur desain diambil dari ABS "Rules for Building and Classing" Underwater Vehicles, System and Hiperbaric Facilities 2002.

2.2.5.1 Menentukan desain pressure.

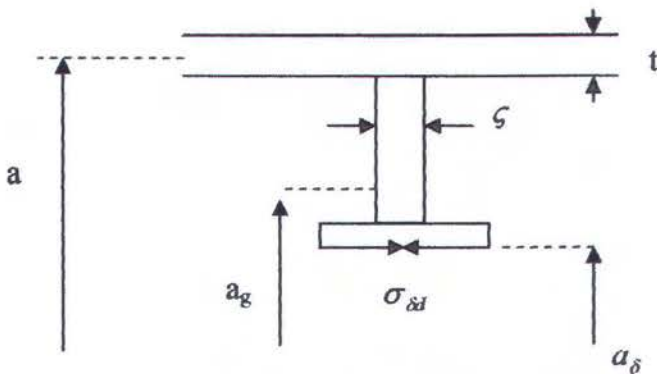
Dalam menentukan besarnya tekanan hidrostatik maka dilakukan perhitungan dengan menggunakan teori *boyle* pada rumus (2.1) dan didapatkan hasil besarnya tekanan hidrostatik yang ditunjukkan pada tabel 2.1.

2.2.5.2 Menentukan dan merancang dimensi awal untuk pressure hull.

Langkah ini hanya sebagai input awal dalam mendisain sebelum dilakukan perhitungan apakah struktur tersebut aman terhadap beban *buckling*. Langkah ini hanya dilakukan untuk perhitungan manual saja. Untuk pemodelan optimasi input yang dimasukan bervariasi.

2.2.5.3 Estimasi desain ooc (Co).

Menurut ABS "Rules for Building and Classing" Underwater Vehicles, System and Hiperbaric Facilities 2002, bulletin on stability design of cylindrical shells (API bulletin, 2000) dan DNV-RP-C202 "Buckling Strength of Shell" october 2002 dikatakan bahwa simpangan atau deformasi maksimum yang terjadi yaitu 0.005a, dimana a adalah jarak dari tengah plat sampai kepusat silinder. Setelah itu dilakukan perhitungan direct stress pada standing flange yang dirumuskan sebagai berikut $\sigma_{\delta} = \sigma_{\delta d} + \sigma_{\delta \zeta} \leq \sigma_y$.



Gambar 2.12 Tegangan pada frame

$$\sigma_{\delta \zeta} = \left[\frac{Ed}{a^2} \right] \left[n^2 - 1 \right] \left[\frac{P}{P_{CR(n)} - P} \right] Co.Cosn\theta \dots\dots\dots(2.15)$$

Dianggap mempunyai nilai maksimum sehingga $Co = 1$

$$P_{CR} = \frac{(n^2 - 1)EI}{a^3 L_f} \dots\dots\dots(2.16)$$

$$\sigma_{sd} = \frac{pa^2 \left(1 - \frac{\nu}{2}\right)}{ta_s \left[1 + \frac{A}{\varrho + \frac{2Nt}{\alpha}}\right]} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana variabel-variabel rumus diatas dapat dirumuskan lebih detail sebagai berikut:

$$P = \gamma_0 \cdot Pd \dots\dots\dots (2.18)$$

$$\gamma = \frac{A \left(1 - \frac{\nu}{2}\right)}{(A + \varrho)(1 + \beta)} \text{ dan } N = \frac{\cosh \alpha L - \cos \alpha L}{\sinh \alpha L + \sin \alpha L} \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana L adalah panjang dai plat yang tidak disupport oleh frame yang nilainya sebesar (L - ζ)

$$\beta = \frac{2tN}{\alpha(A + \varrho)} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$P_{CR} = \frac{(n^2 - 1)EI}{a^3 L_f} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$\alpha^4 = \frac{3(1 - \nu^3)}{a^2 t^2} \text{ dan } A = A_s \left[\frac{a^2}{a_s^2} \right] \dots\dots\dots (2.22)$$

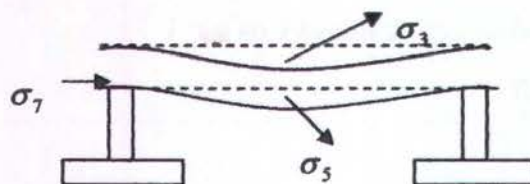
Dimana a = radius dari tengah-tengah plat ke pusat silinder (m).

a_g = radius untuk pusat frame ke pusat silinder (m)

a_s = radius dari dasar frame ke pusat silinder (m).

A_s = luas dari frame A_s (m²).

2.2.5.4 Hitung Interframe Collapse Pressure (Pci).



Gambar 2.13. Buckling pada frame

Dimana $\sigma_3 = \frac{pa}{t}(1 + \gamma H)$ untuk maksimum *compressive circumferential*

$\sigma_5 = \frac{pa}{t}(1 + \gamma G)$ untuk *mean circumferential*

$\sigma_7 = \frac{pa}{2t} \left(1 + \left(\frac{12}{1-\nu^2} \right)^{0.5} \gamma R \right)$ maksimum *compressive longitudinal*.

Pressure yang menyebabkan σ_3 , σ_5 dan $\sigma_7 = \sigma_y$ adalah P_{c3} , P_{c5} , dan P_{c7}

$$P_{c5} = \frac{\sigma_y t}{a} / (1 + \gamma G) \dots \dots \dots (2.23)$$

$$H = \frac{-2 \left[\left(1 + \sqrt{\frac{3\nu^2}{1-\nu^2}} \right) \sinh \frac{\alpha L}{2} \cos \frac{\alpha L}{2} + \left(1 - \sqrt{\frac{3\nu^2}{1-\nu^2}} \right) \cosh \frac{\alpha L}{2} \sin \frac{\alpha L}{2} \right]}{\sinh \alpha L + \sin \alpha L} \dots \dots \dots (2.24)$$

$$G = \frac{-2 \left[\sinh \frac{\alpha L}{2} \cos \frac{\alpha L}{2} + \cosh \frac{\alpha L}{2} \sin \frac{\alpha L}{2} \right]}{\sinh \alpha L + \sin \alpha L} \dots \dots \dots (2.25)$$

$$R = \frac{\sinh \alpha L - \sin \alpha L}{\sinh \alpha L + \sin \alpha L} \dots \dots \dots (2.26)$$

Setelah didapatkan hasil-hasil dari rumus diatas maka dilakukan perhitungan pressure yang menyebabkan *elastic buckling*.

Rumus Von Mises

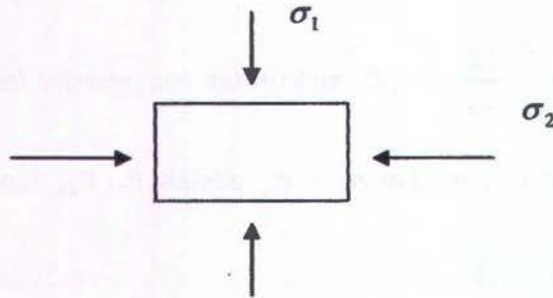
$$P_{CR} = \frac{Et}{a} \frac{1}{[n^2 - 1 + 0.5(\frac{\pi a}{l})^2]} \left(\frac{1}{[n^2(\frac{l}{\pi a})^2 + 1]} + \frac{t^2}{12a^2(1-\nu^2)} [n^2 - 1 + (\frac{\pi a}{l})^2] \right) \dots \dots \dots (2.27)$$

Pendekatan untuk Wildenburg & Trilling

$$P_m = \frac{2.42 \left(\frac{t}{2a} \right)^{\frac{5}{2}} E}{(1-\nu^2)^{\frac{3}{4}} \left[\frac{L}{2a} - 0.45 \left(\frac{t}{2a} \right)^{0.5} \right]} \dots \dots \dots (2.28)$$

Interframe collapse merupakan kombinasi dari *yield* dan *buckling* dan menentukan bentuk yang sesuai dari bentuk non-dimensional plat.

Untuk kriteria Hencky-Von Mises Yield



Untuk aksial stress, yield terjadi ketika

$$2\sigma_y^2 = [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + \sigma_2^2 + \sigma_1^2]$$

$$\sigma_H = 2\sigma_x$$

Maka
$$\sigma_H = \frac{2}{\sqrt{3}}\sigma_y = 1.15\sigma_y$$

$$P_c \rightarrow 1.15P_{HY}$$

2.2.5.5 Hitung Overall Collapse

Overall collapse pressure (P_{co}) sulit untuk ditentukan teorinya. Umumnya *overall collapse* terdiri dari dua kondisi yaitu *elastic buckling pressure* dan *pressure* yang menyebabkan terjadinya *total stress*.

- **Elastic Buckling Pressure (P_n)**

$$P_n \geq 1.8Pd$$

Dimana pendekatan rumus seperti Bryant dan biasanya cukup.

$$P_n = \frac{\frac{Et \left(\frac{\pi a}{Lb}\right)^4}{a \left(\frac{\pi a}{Lb}\right)^2 - 1} + \frac{(n^2 - 1)EIc}{a^3 Lf}}{\left[n^2 + 0.5 \left(\frac{\pi a}{Lb}\right)^2 - 1 \right] \left[n^2 + \left(\frac{\pi a}{Lb}\right)^2 \right]^2} \dots \dots \dots (2.29)$$

- **Pressure yang menyebabkan Total stress pada Standing Flange**

$$P_{co} > P_{\delta y} \quad \text{dimana} \quad P_{\delta y} \geq 1.8Pd$$

$$\sigma_{\delta} = \sigma_{\delta t} + \left[\frac{E(d)}{a^3} \right] (n^2 - 1) \left[\frac{P}{P_n(n) - P} \right] C_o \leq \sigma_y \dots \dots \dots (2.30)$$

Dimana *load factor*

P_{ci} untuk *interframe collapse* $\gamma_i = 1.5$

P_{co} untuk *overall collapse* $\gamma_o = 1.8$

Manufacture ooc untuk *disain ooc* $\gamma = 2.0$

P_{c7} untuk *local yielding over frame* $\gamma = 1.2$



2.2.5.6 Hitung stabilitas frame

Untuk memastikan apakah stabilitas frame tetap dalam keadaan aman, maka dilakukan pengecekan dengan syarat sebagai berikut:

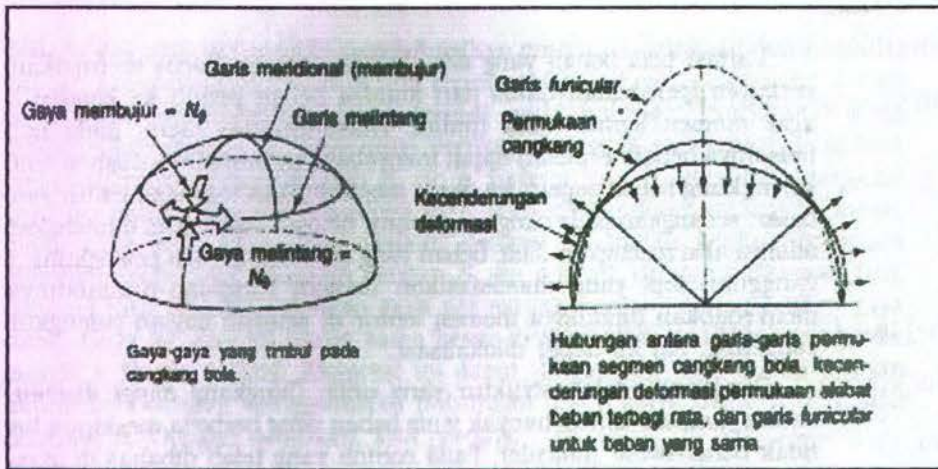
$$\sigma_{\gamma} \leq \frac{\sigma_y}{\gamma_{\gamma}} \dots\dots\dots(2.31)$$

2.2.6 Jenis-jenis Gaya dan Tekanan pada Shell

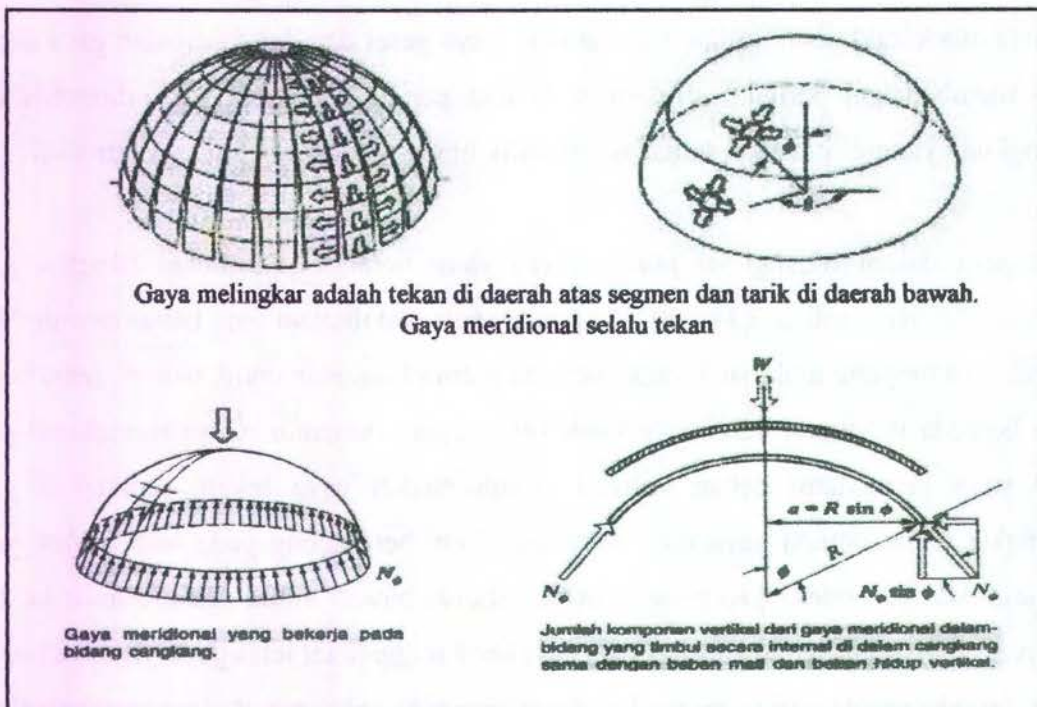
Adanya dua kumpulan gaya pada arah yang saling tegak lurus di dalam permukaan *shell* menjadikan *shell* berperilaku seperti plat dua arah. Gaya geser yang bekerja di antara jalur-jalur plat yang bersebelahan pada struktur plat planar mempunyai kontribusi dalam memberikan kapasitas pikul beban plat. Hal yang sama terjadi pada struktur *shell*. Adanya dua karakteristik inilah, yaitu adanya gaya geser dan dua kumpulan gaya aksial, yang membedakan perilaku struktur *shell* dan perilaku struktur yang dibentuk dari pelengkung yang dirotasikan terhadap satu titik hingga didapat bentuk seperti *shell*.

Gaya-gaya dalam bidang (*in plane force*) yang berarah meridional (disebut gaya meridional (lihat gambar 2.14 dan 2.15) pada *shell* diakibatkan oleh beban penuh. *Shell* adalah struktur yang unik, *shell* dapat bekerja secara *funicular* untuk banyak jenis beban yang berbeda meskipun bentuknya tidak benar-benar *funicular*. Gaya meridional pada *shell* yang mengalami beban vertikal penuh adalah gaya tekan, sedangkan gaya melingkar dapat berupa gaya tarik maupun tekan, bergantung pada lokasi *shell* yang ditinjau. Ada kecenderungan pada jalur meridional bawah untuk berdeformasi ke arah luar pada *shell* yang setengah lingkaran atau *shell* tinggi. Jadi jelas gaya-gaya melingkar yang terjadi adalah gaya tarik. Di dekat puncak *shell* tersebut, jalur meridional cenderung berdeformasi ke dalam, yang berarti gaya melingkarnya adalah tekan.

Tegangan yang diasosiasikan dengan gaya melingkar dan meridional umumnya kecil untuk kondisi beban terbagi merata, beban terpusat pada umumnya menyebabkan terjadinya tegangan yang sangat besar, karena itu sebaiknya dihindari pada permukaan *shell*. Lubang pada permukaan *shell* mungkin ada, tetapi sebaiknya dihindari karena mengganggu kontinuitas dan mengurangi efisiensi permukaan *shell*. Apabila memang harus ada lubang, *shell* harus secara khusus diperkuat di tepi lubang tersebut.



Gambar 2.14 Gaya-gaya pada *Shell Sphere* (Schodek, 1999)



Gambar 2.15 Gaya Melingkar dan Meridional pada *Shell Sphere* (Schodek, 1999)

2.2.6.1 Gaya Melingkar pada Shell

Gaya melingkar (*hoop force*) yang biasanya disebut N_θ dan dinyatakan sebagai gaya persatuan panjang dapat diperoleh dengan meninjau keseimbangan dalam arah transversal. Karena beban yang ditinjau berarah ke dalam, bukan radial ke luar, maka gaya eksternal perlu disesuaikan. Komponen radial dari beban ke bawah dapat ditulis

$$P_r = P \cos \phi \dots\dots\dots(2.32)$$

Jadi ekspresi yang menghubungkan gaya melingkar dan meridional adalah :

$$P \cos \phi = \frac{N_\phi}{r_1} + \frac{N_\theta}{r_2} \dots\dots\dots(2.33)$$

Atau

$$N_\theta = r_2(P \cos \phi) - \left(\frac{r_2}{r_1}\right)N_\phi \dots\dots\dots(2.34)$$

Untuk bola $r_1 = r_2 = R$, dan mensubstitusikan ekspresi N_ϕ , di peroleh :

$$N_\theta = -RP \left(\cos \phi - \frac{1}{1 + \cos \phi} \right) \dots\dots\dots(2.35)$$

Ini adalah ekspresi sederhana untuk gaya melingkar yang dinyatakan dalam jari-jari bola (R) dan beban ke bawah (P).

Apabila beban total yang bekerja ke bawah (P) ditentukan, gaya pada *shell* dapat diperoleh secara langsung karena gaya-gaya ini dinyatakan dalam gaya persatuan panjang. Maka tegangan yang dinyatakan dalam gaya per satuan luas dapat diperoleh dengan membagi dengan tebal *shell*. Jadi,

$$\sigma_\theta = \frac{N_\theta}{t} \dots\dots\dots(2.36)$$

2.2.6.2 Gaya Meridional pada Shell

Tegangan dan gaya pada *shell* aksisimetris yang dibebani terbagi rata dapat diperoleh secara mudah dengan menggunakan persamaan keseimbangan dasar. Perhatikan segmen kubah (seperti yang terlihat pada gambar 2.14 dan 2.15). Anggap bahwa struktur ini menerima beban mati yang berasal dari berat sendiri *shell* dan lapisan penutupnya. Apabila beban mati total tersebut dianggap P dan gaya dalam bidang persatuan panjang

yang ada pada permukaan *shell* adalah N_ϕ , tinjauan keseimbangan akan menghasilkan ekspresi sebagai berikut :

$$\Sigma F_y = 0$$

$$P = -(N_\phi \sin \phi)(2\pi a) \dots \dots \dots (2.37)$$

dimana :

- ϕ = sudut yang mendefinisikan potongan cangkang
 - a = jari-jari kelengkungan sesaat di titik tersebut
 - N_ϕ = gaya dalam-bidang yang terjadi pada potongan horizontal yang didefinisikan dengan ϕ .
- $$a = R \sin \phi \dots \dots \dots (2.38)$$

Maka,

$$N_\phi = -\frac{P}{2\pi R \sin^2 \phi} \dots \dots \dots (2.39)$$

Apabila beban total yang bekerja ke bawah (P) ditentukan, gaya pada *shell* dapat diperoleh secara langsung karena gaya-gaya ini dinyatakan dalam gaya persatuan panjang. Tegangan yang dinyatakan dalam gaya per satuan luas dapat diperoleh dengan membagi dengan tebal *shell*. Jadi,

$$\sigma_\phi = \frac{N_\phi}{t} \dots \dots \dots (2.40)$$

Apabila beban per satuan luas yang bekerja ke bawah pada cangkang disebut w , keseimbangan dalam arah vertikal akan menghasilkan :

$$-\int_{\phi_1}^{\phi_2} P(2\pi R \sin \phi)R.d\phi + N_\phi \sin \phi(2\pi R \sin \phi) = 0 \dots \dots \dots (2.41)$$

Dengan ϕ_1 dan ϕ_2 mendefinisikan segmen *shell* yang ditinjau. Suku sebelah kiri adalah W untuk $\phi_1 = 0$, maka :

$$N_\phi = -\frac{RP}{1 + \cos \phi} \dots \dots \dots (2.42)$$

Ekspresi ini kenyataannya identik dengan

$$N_{\phi} = -\frac{P}{2\pi R \sin^2 \phi} \dots\dots\dots(2.43)$$

Kedua ekspresi tersebut menunjukkan gaya meridional yang ada pada potongan horizontal. Teori Distorsi Energi / Teori *Von Mises*

$$SF = \frac{\sigma_y}{\sigma_v} \dots\dots\dots(2.44)$$

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2)}{2}} \dots\dots\dots(2.45)$$

dimana :

- σ_y = Yield Stress of Material
- σ_v = Von Mises Stress
- $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ = Tegangan Utama (*Principle Stress*)

2.2.6.3 Tekanan Maksimum pada Shell

Formulasi untuk menghitung tekanan maksimum yang diijinkan pada dome (*Maximum allowable working pressure*) adalah :

$$P_a = \frac{0.0625E}{(R/t)^2} \dots\dots\dots(2.46)$$

Dimana

P_a = Tekanan maksimum pada dome.

Syarat agar struktur dinyatakan aman apabila P_a/P lebih besar dari pada 1 dimana P adalah tekanan hidrostatik.

2.2.7 Prinsip Dasar Teori Optimasi

Optimasi adalah suatu proses yang dilakukan untuk mendapatkan hasil yang terbaik dan yang diinginkan dimana diberikan nilai maksimum dan minimum dari suatu fungsi tertentu. Sangat penting sekali untuk memahami optimasi itu dilaksanakan di dalam membatasi dari suatu konsep. Dalam beberapa kasus, bahkan sasaran sederhana memerlukan analisa yang rumit. Dalam hal ini kita akan memusatkan pada beberapa

metode sederhana dimana dapat diaplikasikan untuk problem-problem teknik dengan keterbatasan alat matematis seperti perangkat lunak (*software*) yang ada.

Dalam pernyataan matematika tentang optimasi, digambarkan fungsi tunggal :

$$y = f(x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n) \rightarrow (\text{min/maks}) \dots \dots \dots (2.47)$$

dimana y sebagai fungsi tujuan dan x_i adalah sebagai fungsi independen. Fungsi tujuan dapat juga menjadi subjek dari kendala-kendala dari sebuah pernyataan :

$$g_i(x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n) = 0 \quad i = 1 \dots n \dots \dots \dots (2.48)$$

$$h_j(x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n) = 0 \quad j = 1 \dots m \dots \dots \dots (2.49)$$

dimana g_i merupakan kendala persamaan dan h_j merupakan kendala ketidaksamaan. Sebuah masalah yang diberikan mungkin tidak berkendala atau berkendala. Jika masalah yang diberikan hanya berisi persamaan linier maka hal itu sering disebut *linear programming problem (LP)*, sedangkan jika satu atau lebih persamaan dalam pernyataan tersebut tidak linier, maka hal itu dikenal sebagai *non-linear programming problem (NLP)*. Bidang cakupan optimasi sangatlah luas. Kita akan menguji dengan memilih metode yang menggunakan metode kalkulus dengan analisa, pendekatan analisa, dan metode numeris.

2.2.7.1 Optimasi Permasalahan Non Linier

Persoalan nyata sehari-hari yang praktis pada umumnya adalah persoalan non linier dengan dimensi n (jumlah variabel keputusannya adalah n , yaitu $x_1, x_2 \dots x_n$). Permasalahan seperti ini dapat diselesaikan dengan 2 skenario penyelesaian yaitu skenario penyelesaian langsung dan tidak langsung. Dalam penyelesaian langsung, pada awal proses optimasi pengambil keputusan perlu menentukan variabel keputusan x sembarang untuk kemudian x secara bertahap dengan iterasi diubah hingga mendekati x optimum, yaitu pada saat kriteria konvergen tercapai. Perubahan variabel keputusan secara bertahap ini dilakukan melalui persamaan rekurens (*driving function*) berikut ini :

$$x_{i+1} = x_i + \alpha = D_i \dots \dots \dots (2.50)$$

Dimana i adalah iterasi ke- i , sedangkan α adalah sebuah skalar yang merupakan panjang langkah, dan D adalah vektor arah perubahan. Dalam skenario ini, permasalahan optimasinya dapat dibagi menjadi 2, yaitu :

1. menentukan arah perubahan variabel keputusan x
2. menentukan panjang langkah x

dalam skenario seperti ini, setelah nilai D dapat dihitung, persoalan optimasi berdimensi n diubah menjadi persoalan optimasi berdimensi tunggal. Penentuan nilai D ini akan ditentukan oleh ada tidaknya kendala yang harus dipenuhi.

2.2.8 Genetik Algoritma

2.2.8.1 Umum

Evolusi algoritma merupakan terminology umum yang menjadi payung bagi empat istilah: genetik algoritma, genetik *programming*, strategi *evolusi* dan evolusi *programming*. Akan tetapi jenis algoritma yang sering dipakai adalah genetik algoritma. Kemunculan AG diinspirasi dari teori-teori dalam ilmu biologi, sehingga banyak istilah-istilah dari konsep biologi yang digunakan dalam AG. Sesuai dengan namanya, proses-proses yang terjadi dalam AG sama dengan apa yang terjadi pada evolusi biologi. Dalam ilmu biologi, sekumpulan individu yang sama disebut dengan *spesies*, hidup, bereproduksi, dan mati dalam suatu area yang disebut dengan populasi.

Konsep yang penting di sini adalah hereditas, yaitu sebuah ide yang menyatakan bahwa sifat-sifat individu dapat dikodekan dengan cara tertentu sehingga sifat-sifat tersebut dapat diturunkan kepada generasi berikutnya. Setiap individu dari suatu *spesies* membawa sebuah *genome* yang berisi beberapa kromosom dalam bentuk molekul-molekul DNA. Masing-masing gen bisa mewakili beberapa *setting*. Konsep dari teori evolusi adalah *fitness* dan *selection* untuk proses reproduksi. Pada proses evolusi di dunia nyata, erdapat dua cara reproduksi yaitu *sexual reproduction* dan *asexual reproduction*.

Genetika algoritma adalah algoritma pencarian heuristik yang didasarkan atas mekanisme evolusi. Keberagaman pada evolusi biologis adalah variasi dari kromosom antar individu organisme. Variasi kromosom ini akan mempengaruhi laju produksi dan

tingkat kemampuan organisme untuk tetap hidup. Pada dasarnya ada 4 kondisi yang sangat mempengaruhi proses evolusi.

1. Kemampuan populasi untuk melakukan reproduksi.
2. Keberadaan populasi organisme yang bisa melakukan reproduksi.
3. Keberadaan organisme dalam suatu populasi.
4. Perbedaan kemampuan untuk bertahan.

Individu yang lebih kuat akan memiliki tingkat reproduksi yang lebih tinggi dibandingkan dengan individu yang kurang fit. Pada kurun waktu tertentu (generasi), populasi secara keseluruhan akan lebih banyak memuat individu yang lebih fit.

Algoritma genetika pertama kali dikembangkan oleh John Holland dari Universitas Michigan (1975). John Holland mengatakan bahwa setiap masalah yang berbentuk adaptasi (alami/buatan) dapat diformulasikan dengan terminologi genetika. Algoritma genetika adalah simulasi dari evolusi Darwin dan operasi genetika atas *kromosom*.

2.2.8.2 Struktur umum genetika algoritma

Pada algoritma ini teknik pencarian dilakukan sekaligus atas sejumlah solusi yang mungkin dikenal dengan istilah populasi. Individu yang terdapat pada satu populasi disebut kromosom. Kromosom ini merupakan suatu solusi dibangun secara acak, sedangkan populasi merupakan hasil evolusi kromosom xx melalui iterasi adalah generasi. Pada setiap generasi kromosom akan melalui proses evolusi dengan menggunakan alat ukur yang disebut dengan *fitness*. Nilai *fitness* dari suatu kromosom akan menunjukkan kualitas dari kromosom dalam populasi tersebut. Generasi berikutnya dikenal dengan anak (*offspring*) yang terbentuk dari gabungan 2 kromosom generasi sekarang yang bertindak sebagai induk (*parent*) dengan menggunakan operator penyilangan. Selain itu suatu kromosom dapat dimodifikasi dengan operator mutasi.

2.8.2.3 Komponen-komponen Algoritma Genetik

Ada 6 komponen utama dalam genetika algoritma yaitu :

1. Teknik Penyandian

Disini meliputi penyandian gen dari kromosom. Gen merupakan bagian dari kromosom. 1 gen biasanya mewakili 1 variabel. Den dapat dipresentasikan dalam

bentuk : string bit, pohon, array, bilangan real dan lain-lain yang dapat diimplementasikan untuk genetika algoritma.

2. Prosedur Inisialisasi.

Ukuran populasi tergantung pada masalah yang akan dipecahkan dan jenis operator genetika yang akan diimplementasikan. Setelah ukuran populasi dilakukan, kemudian harus dilakukan inisialisasi terhadap kromosom yang terdapat pada populasi tersebut. Inisialisasi pada kromosom dilakukan secara acak, namun harus tetap memperhatikan domain solusi dan kendala yang ada.

3. Fungsi Evaluasi

Ada 2 hal yang harus dilakukan dalam melakukan evaluasi kromosom yaitu evaluasi fungsi objektif dan konversi fungsi objektif ke dalam fungsi fitness.

4. Seleksi

Seleksi ini bertujuan untuk memberikan kesempatan reproduksi yang lebih besar bagi populasi yang paling fit. Ada beberapa metode seleksi dari induk yaitu :

- **Rank-Based Fitness Assignment**

Pada seleksi ini, populasi diurutkan menurut nilai objektifnya. Nilai fitness dari tiap-tiap individu harus tergantung pada posisi individu tersebut dalam urutan, dan tidak dipengaruhi oleh nilai objektifnya.

- **Roulette Wheel Selection**

Metode ini adalah yang paling sederhana dan sering dikenal dengan *stochastic sampling with replacement*. Pada metode ini, individu-individu dipetakan dalam suatu segmen garis secara berurutan sedemikian hingga tiap segmen. Individu memiliki ukuran yang sama dengan nilai fitnessnya. Sebuah bilangan random dibangkitkan dan individu yang memiliki segmen dalam kawasan bilangan random tersebut akan terseleksi. Proses ini diulang hingga diperoleh sejumlah individu yang diharapkan.

- **Stochastic Universal Sampling.**

Memiliki nilai basis nol dan penyebaran yang minimum pada metode ini. Individu-individu dipetakan dalam suatu segmen garis secara berurutan sedemikian hingga sampai tiap-tiap individu memiliki urutan yang sama dengan ukuran fitnessnya.

- **Local Selection**

Setiap individu yang berada pada konstan tertentu disebut dengan nama lingkungan lokal. Interaksi antar individu hanya dilakukan didalam wilayah tersebut ditetapkan sebagai struktur dimana populasi tersebut terdistribusi.

- **Trunctin Selection**

Pada metode seleksi yang telah dijelaskan terahulu, seleksi ini dilakukan secara alami. Pada seleksi dengan pematongan ini, lebih berkesan sebagai seleksi buatan. Seleksi ini biasanya digunakan oleh populasi yang jumlahnya sangat besar. Pada metode ini individu-individu diurutkan berdasarkan fitnessnya. Hanya individu-individu terbaik yang diseleksi sebagai induk.

- **Tournament Selection**

Pada metode ini seleksi dengan turnamen ini, akan ditetapkan suatu nilai tour untuk individu-individu yang dipilih secara random dari suatu populasi. Individu-individu kelompok ini akan diseleksi sebagai induk.

5. Operator Genetika

Operator genetika meliputi operator untuk melakukan rekombinasi dan mutasi.

6. Penentuan Parameter

Yang disebut dengan parameter disini adalah parameter ukuran populasi (Popsiz), peluang seleksi (P_c), peluang mutasi (P_m). Hal ini ditentukan juga berdasarkan perumusan yang akan dipecahkan.

7. Mutasi

Setelah mengalami proses rekombinasi, pada *offspring* dapat dilakukan mutasi. Variabel *offspring* dimutasi dengan menambahkan nilai random yang sangat kecil (ukuran langkah mutasi) dengan *probabilitas* yang rendah. P_m didenifisikan sebagai presentasi dari jumlah total gen dalam populasi yang mengalami mutasi. Peluang mutasi mengendalikan banyaknya gen baru yang akan dimunculkan untuk dievaluasi lebih lanjut. Tetapi apabila peluang terjadinya mutasi terlalu kecil banyak gen yang mungkin berguna tidak pernah dievaluasi. Tetapi bila peluang mutasi terlalu besar, maka akan terlalu banyak gangguan acak sehingga anak akan kehilangan kemiripan dari induknya dan juga algoritma akan kehilangan kemampuan untuk belajar dari histori pencarian. Mutasi ini berperan untuk menggantikan gen yang hilang dari populasi akibat proses

seleksi yang memungkinkan munculnya kembali gen yang tidak muncul pada proses inialisasi awal.

2.2.8.4 Algoritma Genetika Sederhana.

Misalkan $P(\text{generasi})$ adalah populasi dari seluruh generasi, maka secara sederhana algoritma genetika terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut :

1. Generasi = 0 (generasi awal).
2. Inialisasi populasi awal, $P(\text{gen})$, secara acak.
3. Evolusi nilai fitness pada setiap individu dalam $P(\text{gen})$.
4. Langkah-langkah hingga gen mencapai gen maksimum.
 - Generasi = generasi + 1 (tambah generasi).
 - Seleksi populasi tersebut untuk mendapatkan kandidat induk, $P'(\text{gen})$.
 - Lakukan *crossover* pada $P'(\text{gen})$.
 - Lakukan mutasi pada $P'(\text{gen})$.
 - Lakukan evaluasi fitness setiap individu pada, $P'(\text{gen})$.
 - Bentuk populasi baru, $P(\text{gen}) = \{ P(\text{gen} - 1) \}$ yang *survive*.

BAB III METODOLOGI

3.1 Proses pengerjaan secara umum

Metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini ada beberapa tahapan, dimana tahapan-tahapan merupakan langkah yang digunakan dalam proses perhitungan. Berikut ini adalah langkah-langkah dalam mendesain struktur pressure hull secara umum.

3.1.1 Studi literatur

Melakukan studi literatur awal yang dapat dipakai acuan sebelum mengerjakan tugas akhir dimana dapat dipahami tentang pengertian pressure hull dan kegunaannya, tekanan hidrostatis, *buckling* dan semua yang berkaitan dengan struktur dari kapal selam. Studi literatur didapatkan dari jurnal, referensi, makalah dan buku-buku sejauh mungkin yang relevan untuk mendapatkan gambaran dan pemahaman terhadap materi.

3.1.2 Pengumpulan data-data awal

Data-data yang diperlukan sebelum melakukan pemodelan pressure hull yaitu jenis material, bentuk dari silinder, dome dan frame serta kedalaman air untuk perhitungan tekanan hidrostatis. Berikut ini adalah data material yang akan digunakan dalam proses optimasi.

Table 3.1 Data material

	HY 80	HY 100
<i>Mass Density, ρ</i>	0.283 Psi	0.283 Psi
<i>Young's Modulus, E</i>	3×10^7 Psi	3×10^7 Psi
<i>Poisson's Ratio, ν</i>	0,282	0,282
<i>Yield Stress, σ_y</i>	80000 Psi	100000 Psi

3.1.3 Perhitungan tekanan hidrostatis

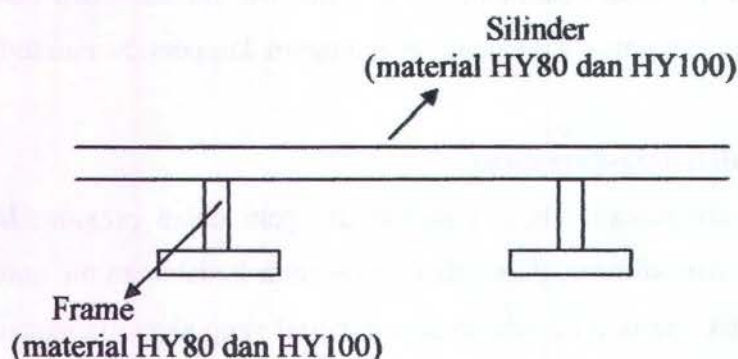
Dilakukan perhitungan terhadap tekanan hidrostatis pada berbagai kedalaman yaitu 100m, 200m dan 300m. Perhitungan kedalaman yang berbeda akan menyebabkan tingkat beban *buckling* yang berbeda pula, sehingga berpengaruh pada pemodelan

pressure hull. Besarnya tekanan hidrostatis pada berbagai kedalaman dapat dihitung dengan menggunakan rumus *boyle* pada bab II dan tabel 2.1 Perubahan volume gas akibat perubahan kedalaman (Allwood, 1990).

3.1.4 Pemodelan struktur secara manual

3.1.4.1 Pemodelan silinder dan frame

Dilakukan pemodelan bentuk dari pressure hull dengan material HY100 dan HY80. Struktur dinyatakan aman pada kedalaman tertentu apabila memenuhi semua kriteria yaitu terhindar dari semua beban *buckling* yaitu *local buckling*, *interframe buckling*, *frame yeiding* dan *over all collapse* akibat dari tekanan hidrostatis. Untuk prosedur desain sudah dijelaskan pada bab II dan untuk proses pengerjaan manual akan dibahas pada bab III.



Gambar 3.1 Bentuk silinder dan frame dengan material HY100 dan HY80.

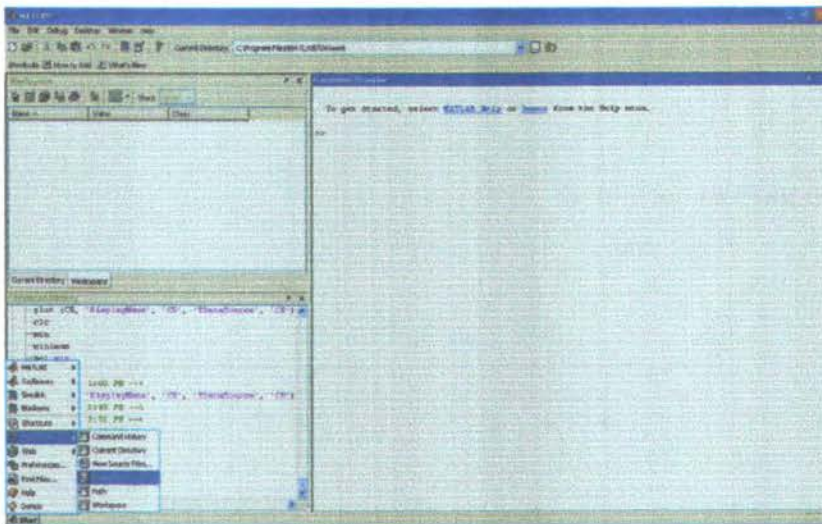
3.1.4.1 Pemodelan dome

Pemodelan pada dome dilakukan setelah pemodelan pada silinder selesai. Perhitungan untuk kulit dome mengacu pada kulit pada silinder. Pada dome analisa yang dilakukan adalah analisa tekanan melingkar dan meridional pada kulit dome dan tekanan maksimum yang diijinkan Dimana tegangan gabungan dan tekanan maksimum yang terjadi tidak boleh melebihi tegangan *yield* dari material dan tekanan yang terjadi harus lebih besar dari tekanan hidrostatis dimana pressure hull tersebut beroperasi. Secara detail mengenai arah tegangan yang terjadi pada dome sudah dijelaskan pada bab II.

3.1.5 Optimasi dengan Matlab

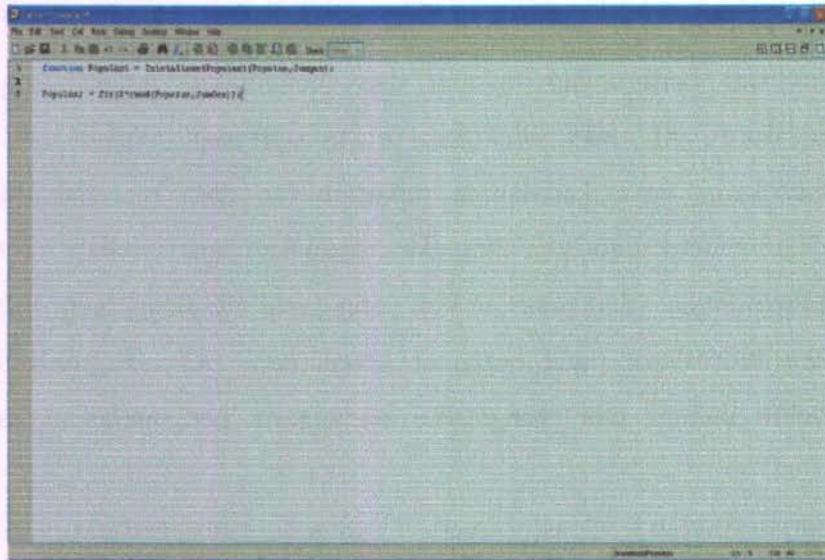
Setelah melakukan perhitungan manual dan mengetahui langkah-langkah dalam mendesain pressure hull maka dilakukan proses optimasi dengan *software matlab* dengan memasukkan *input* kedalaman perairan dan data material. Metode yang digunakan adalah genetika algoritma yang akan dijelaskan pada sub bab 3.2. *Output* yang dihasilkan berupa dimensi dari pressure hull yang dapat menanggulangi beban *buckling* akibat tekanan hidrostatis pada berbagai kedalaman. Sebelum melakukan proses optimasi terlebih dahulu kita mengetahui bagaimana pengoperasian dari *software matlab*.

- a. Instal program Matlab 7 release 14 versi 7.0 atau dengan spesifikasi versi di atasnya. Penggunaan spesifikasi yang lebih rendah akan memungkinkan proses running tidak akan berjalan karena beberapa tools mungkin belum tersedia.
- b. Klik short cut Matlab 7 yang ditampilkan pada dekstop untuk masuk ke menu utama.
- c. Klik start pada menu matlab dan masuk ke dekstop tool untuk membuka editor yang nantinya digunakan untuk penulisan perintah optimasi.



Gambar 3.2 Proses operasi dengan *software matlab*

- d. Setelah menu editor ditampilkan langkah selanjutnya adalah penulisan M-file perintah optimasi. Setelah penulisan selesai maka klik debug pada menu yang tersedia dan jalankan perintah run untuk mengetahui output pengerjaan. Model optimasi terdiri dari 6 model dengan kedalaman dan material yang berbeda.

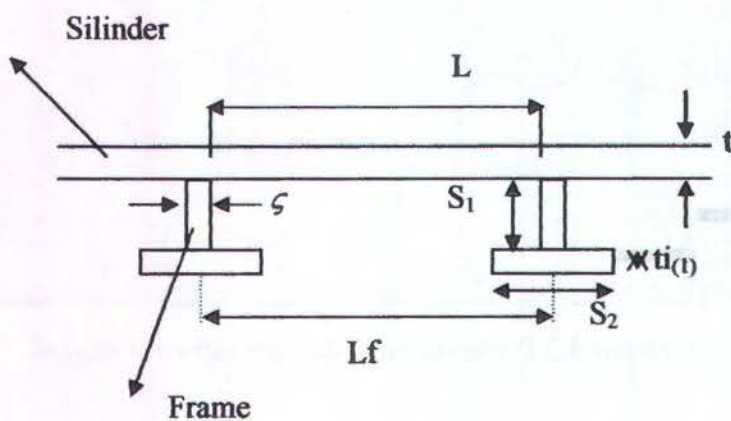


Gambar 3.3 Tampilan layar editor untuk *m-file*

3.1.6 Coefficient Buoyancy

Setelah model atau desain dari pressure hull selesai dilakukan maka akan didapatkan *coefficient buoyancy* dari perhitungan berat struktur dibagi *volume displacement*. *Coefficient Buoyancy* harus diminimalkan mengingat ukuran pressure hull sangat bervariasi.

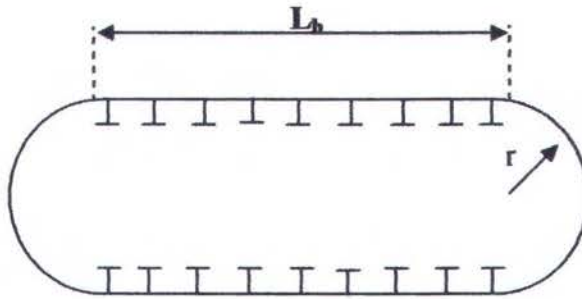
3.1.7 Variasi parameter



Gambar 3.4 Bentuk silinder dan frame dengan variasi ukuran

Dilakukan variasi parameter untuk mendapatkan hasil yang terbaik yang meliputi kedalaman air, *frame spacing*, *properties frame*, L/D , material, ketebalan. Variasi

parameter pada pressure hull merupakan variabel yang membentuk nilai *coefficient buoyancy* yang berbeda-beda tergantung dari dimensi tersebut. Akan tetapi nilai *coefficient buoyancy* yang dicari adalah nilai *coefficient buoyancy* yang paling minimum.



Gambar 3.5 Struktur pressure hull

Untuk panjang silinder memiliki kisaran harga antara $25\text{m} \leq L_b \leq 30\text{m}$ dan rasio L_b/D adalah konstan dengan nilai $5 \leq L_b/D \leq 12$. Karena optimasi dilakukan dengan *random* maka hasil yang didapatkan berbeda-beda asalkan memiliki *coefficient buoyancy* yang paling minimum. *Coeffisient buoyancy* paling minimum tidak harus memiliki tebal yang tipis atau sebaliknya. Bisa jadi pressure hull memiliki tebal yang besar dan jarak antar frame yang panjang atau sebaliknya. Variasi desain variabel dijadikan input untuk mendapatkan nilai *Coeffisient buoyancy* paling minimum pada tiap kedalaman dan pada material HY80 dan HY100.

3.1.8 Presentasi Hasil

Setelah didapatkan suatu dimensi dan bentuk dari pressure hull yang mempunyai berat struktur minimum namun tetap dapat menahan beban *buckling* maka langkah terakhir adalah presentasi hasil dalam bentuk hasil output program optimasi dan grafik mengetahui hubungan antara satu dengan yang lain akibat perubahan parameter kedalaman dan jenis material.

3.2 Proses Optimasi

Fungsi pengerjaan manual adalah untuk mengetahui langkah-langkah desain secara benar. Berikut ini adalah proses pengerjaan optimasi dengan *software matlab* dimana

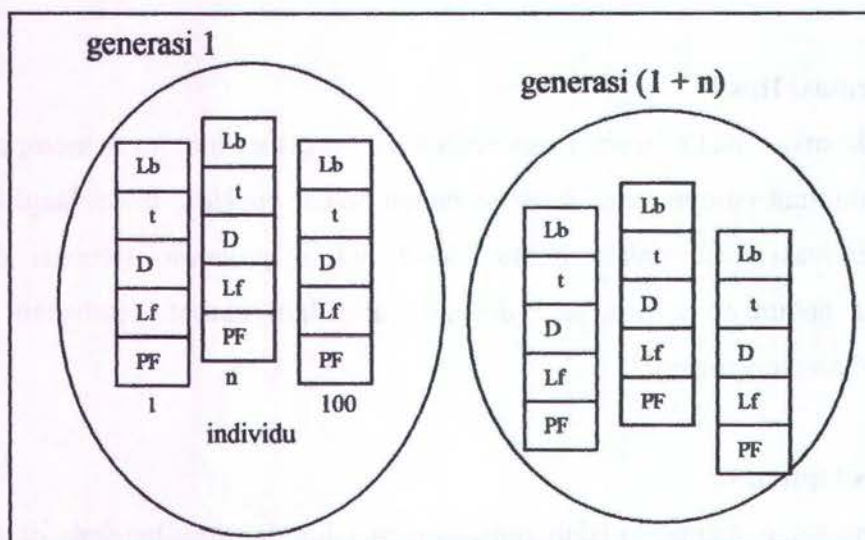
metode yang digunakan adalah metode genetik algoritma. Keuntungan dari metode ini adalah penggunaan genetik algoritma sangat jelas terlihat dari kemudahan implementasi dan kemampuan untuk menemukan solusi yang ‘bagus’ (bisa diterima) secara tepat untuk masalah-masalah berdimensi tinggi. Berikut ini adalah urutan proses pengerjaan optimasi dengan metode genetik algoritma.

3.2.1 Masukan Input

Dalam proses pengerjaan awal untuk optimasi langkah pertama yang dilakukan adalah memasukkan input data. Input yang digunakan adalah data material, kedalaman perairan dan variasi dimensi pressure hull dimana variasi ini meliputi *properties* frame, *frame spacing*, ketebalan plat, panjang dan diameter silinder.

3.2.2 Pembangkitan Kromosom

Kromosom diibaratkan sebagai individu, dimana individu adalah pressure hull yang terdiri dari beberapa gen. Setiap individu memiliki sifat yang berbeda akibat variasi dimensi pressure hull. Gen disini merupakan variasi dari ukuran pressure hull. Dalam 1 generasi terdiri dari beberapa individu. Dalam dalam kasus ini banyaknya generasi dan individu ditentukan sebagai syarat dalam perhitungan sehingga didapatkan individu yang memiliki *coeffisient buoyancy* yang paling minimum. Untuk pembangkitan *kromosom* jumlah individu pada tiap generasi ditentukan sebanyak 100 dan banyaknya generasi maksimum adalah 100.



Gambar 3.6 Individu dalam generasi

Pembangkitan *kromosom* dilakukan secara *random* untuk tiap-tiap generasi. Setiap *kromosom* terdiri dari 8 gen yang terdiri dari variasi dimensi pressure hull. Berikut ini adalah proses pembangkitan *kromosom* pada proses optimasi dengan genetika algoritma.

```

Data material dan kedalaman
Status : proses inisialisasi
    pKrom = 8; [D Lb Lf t s1 t1 s2 t1 ]
    Popsiz = 100;
Create nol Kromosom
clear Krom;
Krom(Popsiz,pKrom) = 0;
Krom(:, :)= 0;
for generasi = 1 : MaksimumGenerasi
indeks0 = 1;
while indeks0 <= Popsiz
    while (load faktor pembebanan)
        random (variasi dimensi pressure hull);
        perhitungan fungsi fitness;
        pembebanan terhadap buckling;
    end
    Simpan Coeffisien Buoyancy
    Krom(indeks0,1)= D;
    Krom(indeks0,2)= Lb;
    Krom(indeks0,3)= Lf;
    Krom(indeks0,4)= t;
    Krom(indeks0,5)= s1;
    Krom(indeks0,6)= t1;
    Krom(indeks0,7)= s2;
    Krom(indeks0,8)= t1;
end
end

```

3.2.3 Perhitungan fungsi *fitness*

Suatu individu dievaluasi berdasarkan suatu fungsi tertentu sebagai ukuran performansinya. Dalam evolusi alam, individu yang bernilai *fitness* tinggi akan tetap hidup dan yang bernilai rendah akan mati. Masalah optimasi disini yang ingin dicari adalah meminimumkan *coefficient buoyancy*. Hal ini berarti hubungan antara fungsi *fitness* dengan *coefficient buoyancy* berbanding terbalik, maka rumus untuk fungsi *fitness* adalah $f = 1/ CB$. Hanya individu yang bernilai yang kecil yang akan dipertahankan. Perhitungan fungsi *fitness* termasuk dalam perintah pembangkitan *kromosom*.

3.2.4 Perhitungan Pembebanan

Setelah perhitungan fungsi fitness untuk mendapatkan *coeffisient buoyancy* yang minimum maka individu tersebut akan digunakan untuk perhitungan pembebanan sebagai syarat struktur pressure hull aman terhadap beban *buckling* akibat tekanan hidrostatik. Pembebanan ini terdiri dari :

- *Total Stress in Standing Flange*
- *Interframe Collapse Pressure*
- *Overall Elastic Buckling*
- Perhitungan Stabilitas Frame.
- Perhitungan pada Dome.

Semua perhitungan pembebanan tersebut harus disesuaikan dengan *load* faktor yang ditentukan. Semua syarat perhitungan sudah dijelaskan pada bab II.

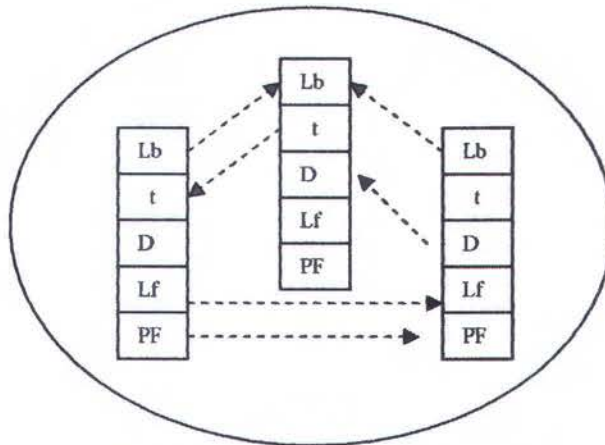
3.2.5 Seleksi Roda *Roulette*

Tujuan dari seleksi ini adalah memilih dari populasi individu yang terbaik dari 100 populai pada generasi pertama. Individu yang terbaik adalah individu yang memiliki nilai *coeffisient buoyancy* yang paling minimum. Individu yang kurang baik akan dilakukan pertukaran gen secara *random* antar individu dalam proses mutasi. Berikut ini adalah proses seleksi *roda roulette* pada perintah *matlab*.

```
fitness_kumulatif(indeks0) = fitness_kumulatif(indeks0-1) +  
    fitness_relatif(indeks0);  
for indeks0 = 2 : Popsize  
    seleksi_roulette = rand;  
    indeks1 = 1;  
    while seleksi_roulette > fitness_kumulatif  
        indeks1 = indeks1 + 1;  
    end  
end
```

3.2.6 Proses Mutasi

Mutasi merupakan proses pertukaran gen antara individu-individu dalam suatu populasi. Tujuannya adalah membentuk individu baru yang lebih baik dari sebelumnya sehingga memiliki nilai *fitness* yang terbaik. Peluang terjadinya mutasi dibuat kecil agar individu baru masih memiliki sifat induknya.



Gambar 3.7 Proses Mutasi Individu

```
function MutasiKromosom = Mutasi(Krom, Popsiz, Pm)
    for indeks0 = 2 : Popsiz
        Proses_Mutation = rand;
        if Proses_Mutation < Pm
            pertukaran gen pada kromosom
            update fungsi fitness dan pembebanan
            Krom semua ok (simpan)
        end
    end
end
```

3.2.7 Loop Generasi

Langkah selanjutnya adalah pemilihan individu terbaik dalam hal ini *coefficient buoyancy* minimum untuk generasi pertama. Setelah didapatkan individu terbaik maka langkah selanjutnya adalah kembali ke proses awal yaitu pembangkitan *kromosom* untuk mencari individu terbaik pada generasi selanjutnya. Setiap generasi akan memiliki individu-individu yang berbeda. Akan tetapi individu terbaik dari masing-masing generasi akan dipilih untuk mendapatkan hasil yang paling terbaik yaitu *coefficient buoyancy* yang paling minimum. Perintah untuk pencarian *kromosom* terbaik pada genetika algoritma adalah sebagai berikut:

```
KromosomTerbaikTiapGenerasi(generasi,:) = Krom(1,:);
% Solusi
if generasi == MaksimumGenerasi
    Best_Krom(1,:) = Krom(1,:);
end
% Akhir Generasi
fprintf('The Last Generation = "%d"\n End\n', generasi)
if generasi == MaksimumGenerasi
    fprintf('Number of Generation is "%d"\n', generasi);
end
```

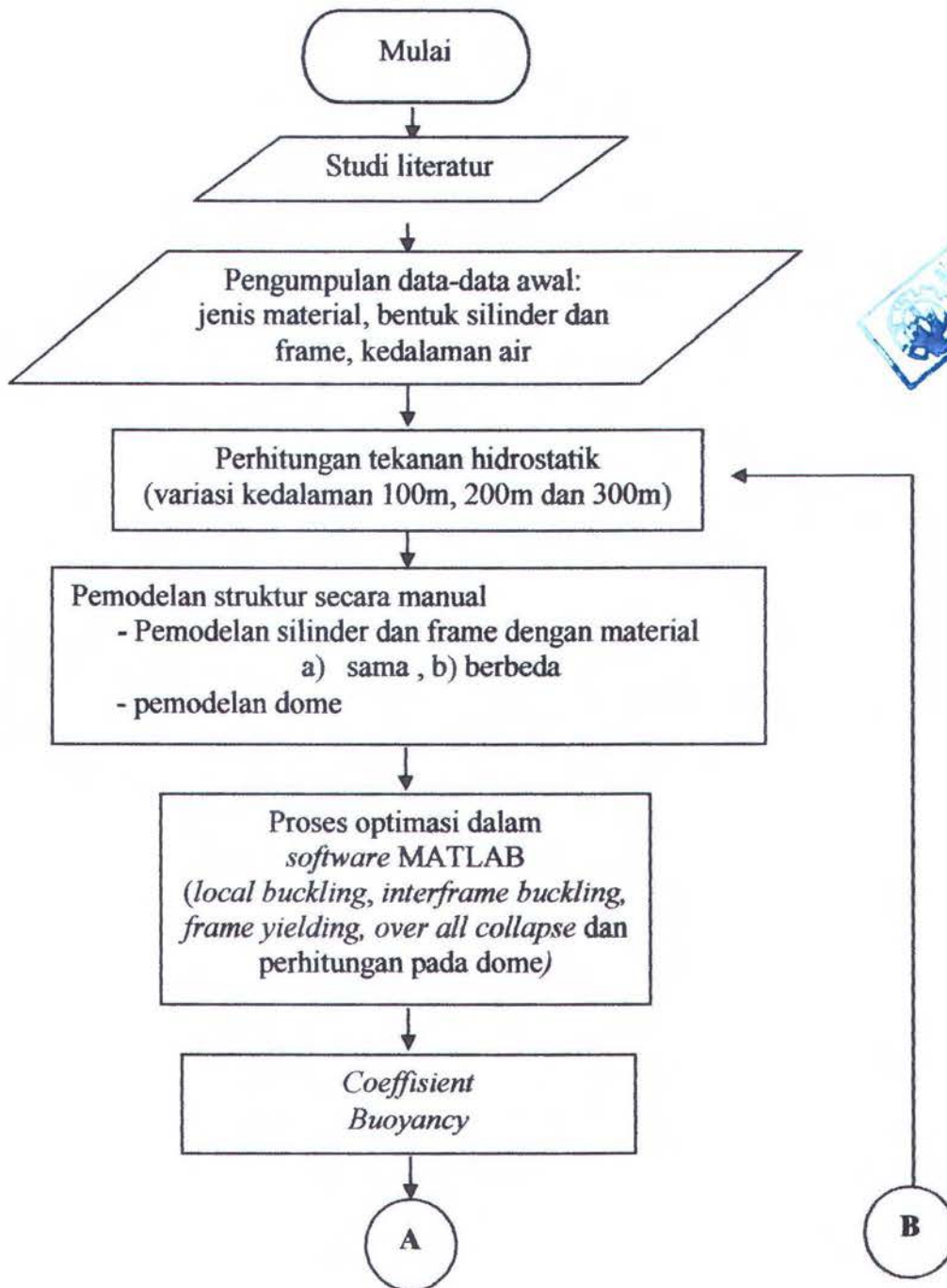
Proses dan perintah optimasi yang dijelaskan di atas adalah ringkasan dari penulisan sebenarnya. Untuk keterangan mengenai penulisan *m-file* proses optimasi dengan metode genetik algoritma dapat dilihat pada lampiran belakang.

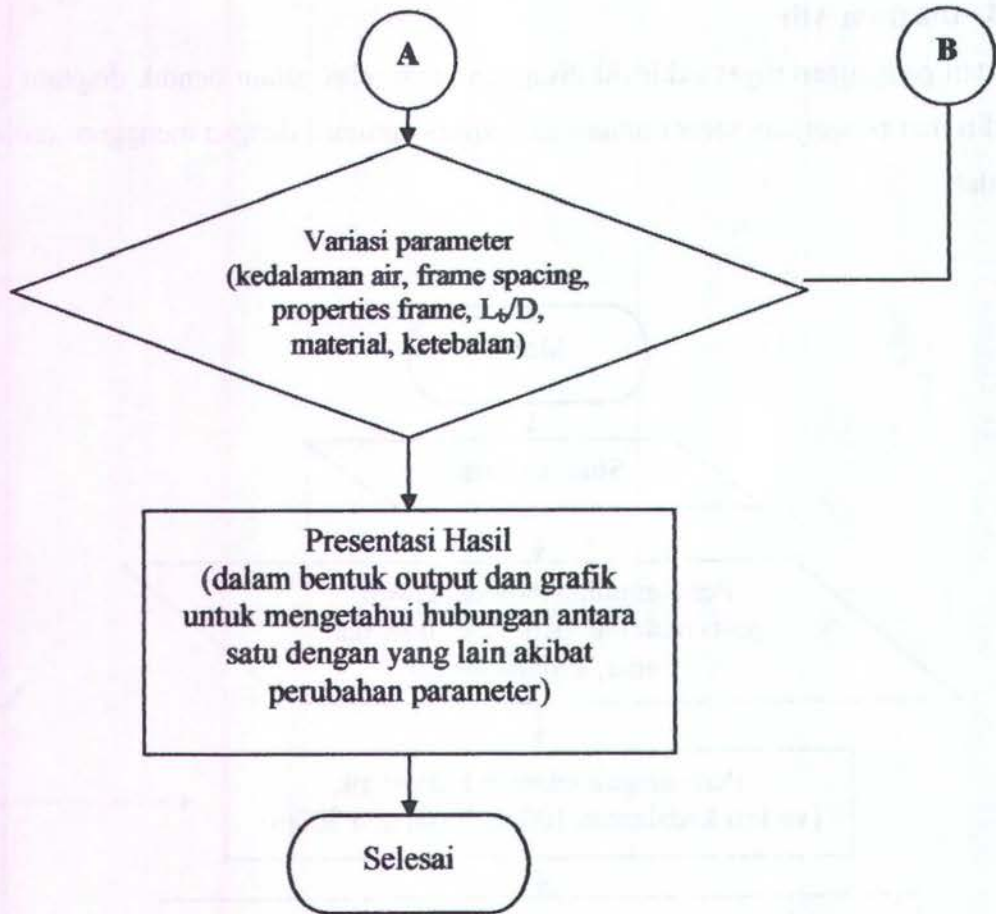
3.2.8 Tampilan Hasil

Individu terbaik akan ditampilkan pada akhir proses optimasi berupa *coefficient buoyancy* minimum dan dimensi dari pressure hull. Tampilan hasil akan dijelaskan pada bab IV yang terdiri dari 6 model pada 2 meterial yang berbeda dan pada masing-masing kedalaman 100 m, 200 m dan 300 m.

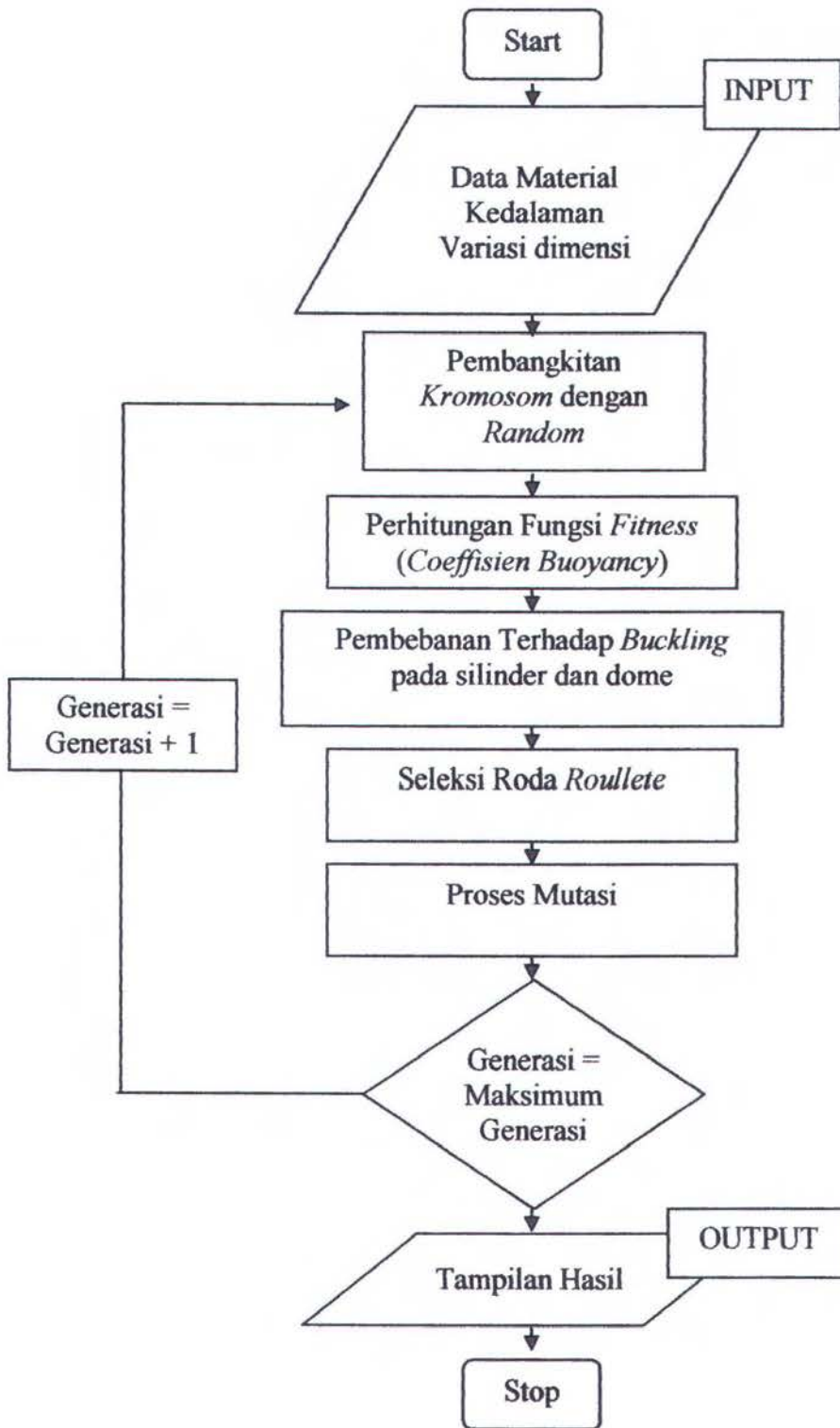
3.3 Diagram Alir

Urutan pengerjaan tugas akhir ini disajikan lebih jelas dalam bentuk diagram alir yang terdiri dari pengerjaan secara umum dan proses optimasi dengan menggunakan *software* matlab.

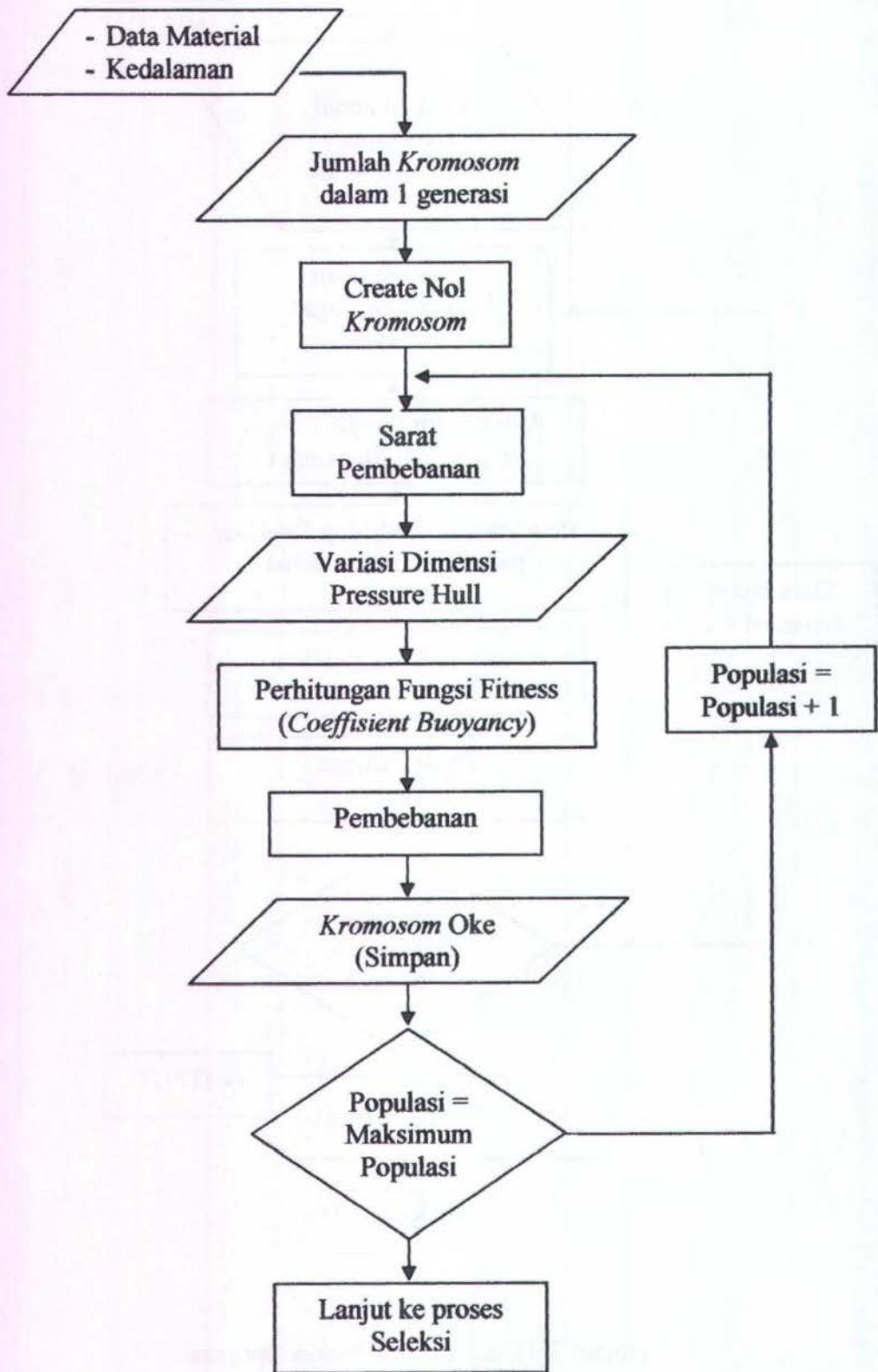




Gambar 3.8 Diagram Alir Metodologi



Gambar 3.9 Diagram Alir Proses Optimasi



Gambar 3.10 Diagram Alir Proses Pembangkitan *Kromosom*

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Umum

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan berat minimum pressure hull yang mampu menahan beban *buckling* akibat tekanan hidrostatik pada berbagai kedalaman. Perhitungan dilakukan secara manual untuk mempermudah dalam mendisain pressure hull dan dengan bantuan *software* matlab untuk proses optimasi dengan metode genetik algoritma. Matlab 7 release 14 versi 7.0 adalah *software* pemodelan optimasi memungkinkan analisa *engineering* dilakukan dengan cepat dan akurat. Berbagai fasilitas disediakan oleh Matlab 7 release 14 versi 7.0 sehingga kemampuannya dapat dikembangkan, misalnya kumputasi, *visualisasi* dan untuk bahasa pemrograman.

4.1.2 Perhitungan Manual

Seperti yang sudah dijelaskan pada bab II adapun langkah-langkah dalam mendapatkan optimasi berat pressure hull. Sebelum disimulasikan dalam *software* Matlab, maka dilakukan suatu contoh perhitungan manual. Untuk pemodelan awal digunakan material jenis HY80 dengan *properties* sebagai berikut :

$$\text{Mass Density, } \rho = 0.283 \text{ Psi}$$

$$\text{Young's Modulus, } E = 3 \times 10^7 \text{ Psi}$$

$$\text{Poisson's Ratio, } \nu = 0,282$$

$$\text{Yield Stress, } \sigma_y = 80000 \text{ Psi}$$

Untuk mempermudah perhitungan semua satuan dari data material *diconvert* dalam bentuk kg/m^2 dan setelah didapatkan hasil akhir satuan dikembalikan lagi seperti semula yaitu dalam bentuk Psi.

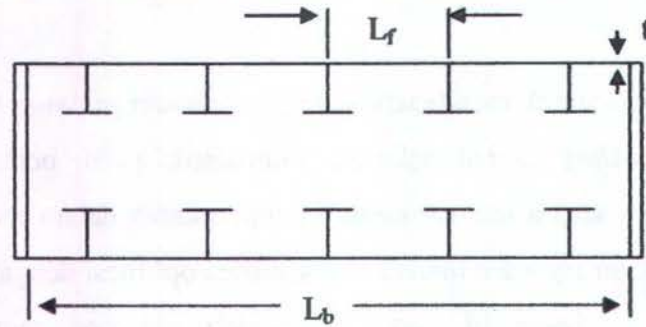
4.1.2.1 Perhitungan pada silinder

1. Menentukan desain pressure.

Desain Pressure hull disini menggunakan kedalaman 100 meter, sehingga dengan menggunakan persamaan Boyle seperti yang sudah dijelaskan di bab II pada (2.1) dan

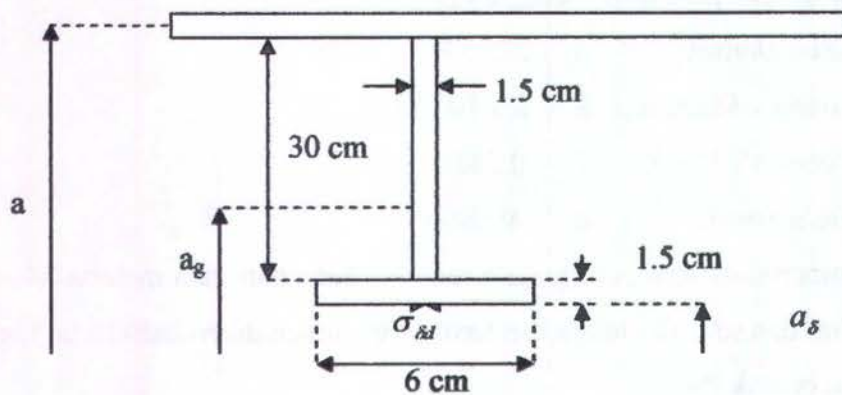
pada tabel 2.1 yaitu perubahan volume gas akibat perubahan kedalaman persamaan (Allwood, 1990) akan diperoleh tekanan operasi sebesar 11 bar.

2. Menentukan dan merancang dimensi awal untuk pressure hull.



Gambar 4.1 Desain silinder awal untuk pressure hull

Dimana L_f adalah *frame spacing*, t adalah tebal dari silinder dan L_b adalah panjang dari silinder. Sesuai yang terdapat pada batasan masalah, disebutkan bahwa panjang untuk silinder adalah $25m \leq L_b \leq 30m$ dan untuk $5 \leq L_b/D \leq 12$. Maka panjang asumsi awal yang dipakai adalah 26 meter. Untuk D dipakai 4 meter. sedangkan jarak antar framanya adalah 0.5 meter dan untuk ketebalan (t) dari silinder adalah 2.5 cm atau 0.025 meter.



Gambar 4.2 Desain frame awal untuk pressure hull

Gambar 4.2 adalah dimensi dari frame yang didisain untuk pressure hull. Dimana a adalah radius dari tengah-tengah plat ke pusat silinder, a_g adalah radius untuk pusat

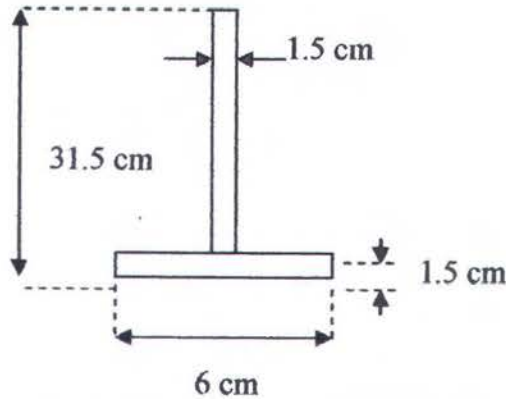
frame ke pusat silinder, dan a_s adalah radius dari dasar frame ke pusat silinder. Dari perhitungan didapatkan hasil sebagai berikut :

$$A_s = 0.0054 \text{ m}^2.$$

$$a = 1.99 \text{ m.}$$

$$a_g = 1.6986 \text{ m.}$$

$$a_s = 1.665 \text{ m.}$$



Gambar 4.3 Ukuran frame untuk perhitungan moment inersia

$$d = \frac{(1.5 \times 30 \times 3) + (6 \times 1.5 \times 0.75)}{(1.5 \times 30) + (6 \times 0.75)} = 2.86 \text{ cm (dari bawah).}$$

$$I_f = \frac{1.5 \times (30)^3}{12} + (1.5)(30)(2.11)^2 + \frac{6 \times (1.5)^3}{12} + (6)(1.5)(2.11)^2 = 3.617 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

3. Estimasi desain ooc (Co).

Asumsi awal ooc yang dipakai adalah 0.005 a dimana deformasi yang terjadi sangat kecil yang besarnya 0.00995 meter. Sedangkan langkah kedua adalah menghitung besarnya nilai dari *direct stress* pada *standing flange* yang dirumuskan sebagai berikut

$$\sigma_{\≤} = \sigma_{\𢙍} + \sigma_{\≤s} \leq \sigma_y.$$

$$\sigma_{\𢙍} = \frac{pa^2 \left(1 - \frac{\nu}{2}\right)}{ta_s \left[1 + \frac{A}{\sigma + \frac{2Nt}{\alpha}}\right]} \quad \text{dan} \quad \sigma_{\≤s} = \left[\frac{Ed}{a^2}\right] \left[n^2 - 1\right] \left[\frac{P}{Pcr_{(n)}} - P\right] Co.Cosn\theta$$

Dari prosedur desain yang dijelaskan di bab II pada persamaan (2.19), (2.20) dan (2.22) didapatkan hasil sebagai berikut :

$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{3(1-0.282)^3}{1.99^2 \times 0.015^2}} = 6.4616/\text{m}$$

$$A = 0.0054 \left[\frac{1.99^2}{1.6986^2} \right] = 0.00741 \text{ m}^2$$

$$N = \frac{\cosh(3.133) - \cos(3.133)}{\sinh(3.133) + \sin(3.133)} = 1.0903$$

$$\beta = \frac{2 \times 0.015 \times 1.0903}{6.4616(0.00741 + 0.015 \times 0.025)} = 0.875$$

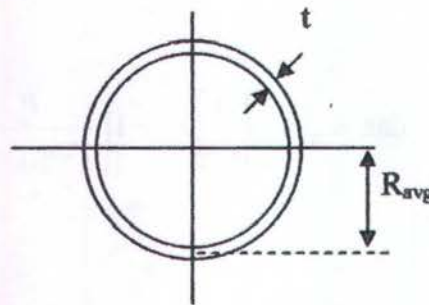
Besar tekanan hidrostatis yang direncanakan adalah pada kedalaman 100 meter yang besarnya 1.1 Mpa atau 112168.8 kg/m². Dari persamaan (2.18) didapatkan

$$P = 1.8 \times 112168.8 \\ = 201903.84 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_{sd} = \frac{201903.84 \times 1.99^2 \left(1 - \frac{0.282}{2} \right)}{0.025 \times 1.665 \left[1 + \frac{0.00741}{0.015 \times 0.025 + \frac{2 \times 1.0903 \times 0.025}{6.4616}} \right]} = 10,0545 \times 10^6 \text{ kg/m}^2$$

σ_{sd} adalah stress pada *standing flange* yang mengacu pada beban *axisymmetric pressure* yang besarnya 45,2 x 10⁶ kg/m² atau 14300.99 Psi.

I adalah moment inersia plat silinder yang dapat dirumuskan $I = \pi R_{avg}^3 t$



Gambar 4.4 Ukuran silinder untuk perhitungan moment inersia

$$I = 3.14 \times (1.9875)^3 \times 0.025 = I = 0.4949 \text{ m}^4$$

$$n = 2 \text{ dan } d = 0.028$$

L_f adalah jarak antar frame (m) dan dengan persamaan (2.21) didapatkan

$$P_{CR} = \frac{(2^2 - 1)2.1 \times 10^{10} \cdot 0.4949}{1.99^3 \times 0.5} = 79.128 \times 10^8 \text{ kg/m}^2$$

Dianggap mempunyai nilai maksimum sehingga $\text{Cos } \theta = 1$

$$\begin{aligned} \sigma_{\delta} &= \left[\frac{2.1 \times 10^{10} \cdot 0.0286}{1.99^2} \right] \left[2^2 - 1 \right] \left[\frac{201903.84}{79.128 \times 10^8 - 201903.84} \right] 0.00995 \\ &= 0.0001156 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

σ_{δ} adalah *bending stress* yang disebabkan adanya *additional deflection* yang mempunyai $0.0001156 \times 10^6 \text{ kg/m}^2$ atau 0.1645 Psi. Jadi $\sigma_{\delta} = \sigma_{\delta t} + \sigma_{\delta c} \leq \sigma_y$

$$14300.99 \text{ Psi} + 0.1645 \text{ Psi} \leq 80000 \text{ Psi}$$

$$14301.16 \text{ Psi} \leq 80000 \text{ Psi}$$

Dari hasil di atas dimana *total stress* pada *flange* mempunyai nilai lebih kecil dari tegangan *yield material*, maka struktur dinyatakan aman.

4. Hitung *Interframe Collapse Pressure (Pci)*.

Interframe collapse pressure terjadi akibat kombinasi dari *yield* dan *elastic buckling*.

Yield dan *elastic buckling* terjadi pada *interframe* yang disebabkan oleh *pressur*.

$$P_{cs} = \frac{\sigma_y t}{a} (1 + \gamma G) \text{ untuk material HY80}$$

Dimana
$$\sigma_5 = \frac{pa}{t} (1 + \gamma G)$$

$$\sigma_3 = \frac{pa}{t} (1 + \gamma H)$$

$$\sigma_7 = \frac{pa}{2t} \left(1 + \left(\frac{12}{1 - \nu^2} \right)^{0.5} \gamma R \right)$$

Dari persamaan (2.24), (2.25) dan (2.26) nilai dari H, G dan R didapatkan sebagai berikut sebagai berikut:

$$H = -0.2164$$

$$G = -0.4376$$

$$R = 0.9987$$

Kemudian dicari nilai dari σ_5 , σ_3 dan σ_7 yang besarnya sama dengan σ_y dengan persamaan yang terdapat pada bab II halaman 16. σ_5 , σ_3 dan σ_7 adalah *yield* yang terjadi pada *interframe*. Setelah itu dapat ditentukan *pressure* yang menyebabkan terjadinya σ_5 , σ_3 dan σ_7 yang terdiri dari P_{e5} , P_{e3} dan P_{e7} . Maka didapatkan hasil sebagai berikut

$$\gamma = \frac{0.00741 \left(1 - \frac{0.282}{2}\right)}{(0.00741 + 0.015 \times 0.025)(1 + 0.875)} = 0.00338$$

Tabel 4.1 *Pressure yang menyebabkan yield pada interframe*

<i>Yield yang terjadi pada interframe</i> (Psi)		<i>Pressure yang menyebabkan yield</i> (Psi)	
σ_3	15862.76	P_{e3}	159.4166
σ_5	15850.89	P_{e5}	159.2973
σ_7	8033.952	P_{e7}	80.739

Setelah itu dicari berapa besarnya *pressure* yang menyebabkan terjadinya *elastic buckling* dengan menggunakan Von Mises Formula.

▪ *Von Mises Formula*

$$P_m = \frac{2.42 \left(\frac{t}{2a}\right)^{\frac{5}{2}} E}{(1 - \nu^2)^{\frac{3}{4}} \left[\frac{L}{2a} - 0.45 \left(\frac{t}{2a}\right)^{0.5} \right]}$$

$$P_m = \frac{2.42 \left(\frac{0.025}{2 \times 1.99} \right)^{\frac{5}{2}} 2.1 \times 10^{10}}{\left(1 - 0.282^2 \right)^{\frac{3}{4}} \left[\frac{0.485}{2 \times 1.99} - 0.45 \left(\frac{0.025}{2 \times 1.99} \right)^{0.5} \right]} = 1.076 \times 10^6 \text{ kg/m}^2$$

Dari perhitungan didapatkan pressure sebesar $7.45 \times 10^6 \text{ kg/m}^2$ atau 1530.546 Psi. Untuk mengetahui bahwa pressure hull tersebut aman dari pangaruh *interframe collapse pressure* maka nilai dari $\gamma_o \geq 1.5$.

$$\frac{P_m}{P_{cs}} = \frac{1530.546}{159.297} = 9.6$$

Dimana P_m adalah *elastic buckling pressure* yang dihitung dengan menggunakan *von mises formula* dibagi dengan P_{cs} harus mempunyai nilai lebih besar sama dengan 1.5. Sehingga dapat disimpulkan bahwa silinder tersebut aman terhadap *interframe collapse pressure*.

5. Hitung Overall Elastic Collapse.

Untuk *overall collapse* dihitung berdasarkan 2 kondisi yaitu *elastic buckling pressure* dimana rumus pendekatan yang digunakan adalah *Bryant* dengan syarat $P_n \geq 1.8Pd$. Sedangkan untuk kondisi kedua adalah *total stress* pada *standing flange* dengan nilai n yang digunakan berkisar dari 2 sampai 6.

▪ Elastic Buckling Pressure

Rumus pendekatan dengan menggunakan formula Bryant.

$$P_n = \frac{\frac{Et \left(\frac{\pi a}{Lb} \right)^4}{a \left(\frac{\pi a}{Lb} \right)}}{\left[n^2 + 0.5 \left(\frac{\pi a}{Lb} \right)^2 - 1 \right] \left[n^2 + \left(\frac{\pi a}{Lb} \right)^2 \right]^2} + \frac{(n^2 - 1)Elc}{a^3 Lf}$$

Dimana I_c = kombinasi moment inersia frame dengan plat yang tidak disupport oleh frame (m^4).

$$I_c = 3.65 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

Untuk $n=2$

$$P_n = \frac{\frac{2.1 \times 10^{10} (0.025)}{1.99} \times \left(\frac{3.14 \times 1.99}{26} \right)^4}{\left[2^2 + 0.5 \left(\frac{3.14 \times 1.99}{26} \right)^2 - 1 \right] \left[2^2 + \left(\frac{3.14 \times 1.99}{26} \right)^2 \right]^2} + \frac{(2^2 - 1) 2.1 \times 10^{10} (3.65 \times 10^{-5})}{1.99^3 \times 0.5}$$

$$P_n = 4.9387 \times 10^6 \text{ kg/m}^2 \text{ atau } 7024.464 \text{ Psi}$$

▪ **Total Stress**

$$\sigma_a = \sigma_{sd} + \left[\frac{Ed}{a^2} \right] (n^2 - 1) \left[\frac{P}{P_n(n) - P} \right] C_o \leq \sigma_y$$

Hasil dari *elastic buckling pressure* dan *total stress* pada *standing flange* untuk $n = 2$ sampai dengan 6 ditampilkan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 4.2 *Overall elastic collapse* untuk $n = 2$ sampai 6

n	Elastic Buckling Pressure (Pn) (Psi)	Total Stress in Standing Flange (σ_a) (Psi)
2	7024.464	14301.16
3	2675.226	14301.16
4	4228.589	14301.16
5	6660.891	14301.16
6	9691.262	14301.16

Untuk *elastic buckling pressure* nilai P_n yang terkecil adalah untuk $n = 3$ dan besarnya 2675.226 Psi. Syarat agar struktur pressure hull aman terhadap *elastic buckling pressure* adalah $P_n \geq 1.8P_d$.

$$\frac{P_n}{P_d} \geq 1.8 = \frac{2675.226}{159.5415} \geq 1.8 = 16.768 \geq 1.8$$

Sedangkan untuk total stress untuk $n = 2$ sampai dengan $n = 6$ tidak terjadi perubahan yang signifikan.

$$14301.16 \text{ Psi} \leq 80000 \text{ Psi}$$

Melihat dari hasil di atas yaitu kombinasi antara *elastic buckling pressure* dengan *total stress* pada *standing flange* dengan syarat untuk keduanya terpenuhi, maka

dapat disimpulkan struktur silinder tersebut aman terhadap beban *overall elastic collapse*. Langkah terakhir untuk menyatakan desain silinder aman adalah melakukan perhitungan terhadap stabilitas dari frame.

6. Hitung stabilitas frame

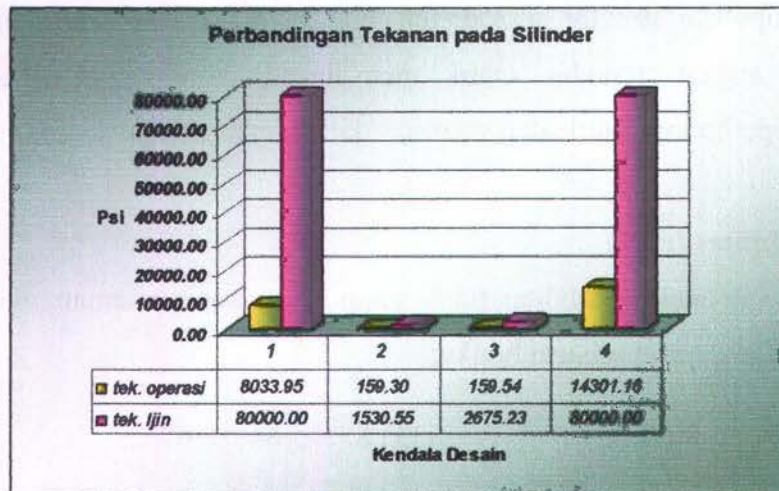
Untuk memastikan apakah stabilitas frame tetap dalam keadaan aman, maka dilakukan pengecekan dengan syarat sebagai berikut:

$$\sigma_7 \leq \frac{\sigma_y}{\gamma_7}, \quad 8033.951 \leq \frac{80000}{1.2}, \quad 8033.851 \leq 66666.67$$

Dimana σ_7 adalah yield yang terjadi antara plat silinder yang ditumpu oleh frame yang nilainya harus sama dengan lebih kecil dari hasil bagi antara yield stress material dengan *load* faktor. Dari hasil yang didapatkan dengan *load* faktor yang sudah ditentukan maka struktur frame cukup kuat untuk menompang silinder dengan tingkat stabilitas yang sangat kuat sehingga tidak terjadi *local yielding over frame*. Dari langkah-langkah desain yang sudah dijelaskan di atas dengan semua kendala desain sudah terpenuhi dengan *load* faktor yang sudah ditentukan maka dapat diambil kesimpulan bahwa pada kedalaman 100 m untuk desain silinder dinyatakan aman terhadap beban *buckling* akibat dari tekanan hidrostatik. Ringkasan proses di atas disajikan pada tabel 4.3 dan gambar 4.5.

Tabel 4.3 Perbandingan Tekanan Operasi dan Ijin pada silinder

No	Kendala Disain	Tekanan (Psi)		T. Ijin	Load Factor
		Operasi	Ijin	T. Opr	
1	Frame Stability	8033.95	80000.00	9.96	1.2
2	Interframe collapse Pressure	159.30	1530.55	9.61	1.5
3	Elastic Buckling	159.54	2675.23	16.77	1.8
4	Total Flange Stress	14301.16	80000.00	5.59	1



Gambar 4.5 Perbandingan Tekanan pada silinder

Dari tabel dan gambar di atas diambil suatu kesimpulan yaitu bahwa desain untuk struktur di atas dinyatakan aman dari semua beban *buckling*. Akan tetapi belum diketahui apakah struktur tersebut memiliki *coefficient buoyancy* yang minimum. Sesuai dengan tujuan utama dari penelitian ini yaitu bagaimana menentukan *coefficient buoyancy* tetapi struktur tetap kuat, maka dilakukan suatu proses optimasi dengan menggunakan *software* matlab dengan metode genetik algoritma. Desain variabel yang digunakan akan menghasilkan nilai *coefficient buoyancy* yang berbeda-beda. Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan pada dome. Pembebanan pada dome terdiri dari gaya dan tegangan melingkar, meridonal dan tekanan maksimum yang terjadi pada shell.

4.1.2.2 Perhitungan pada dome

Sebelum melakukan perhitungan tegangan pada *dome*, terlebih dahulu dilakukan perhitungan dua buah gaya yang bekerja pada semua *dome* yaitu gaya melingkar dan gaya meridonal. Perhitungan pada dome tebal pelat atau kulit mengacu pada kulit disain silinder.

a. Gaya dan tegangan melingkar pada dome

Perhitungan gaya melingkar N_θ menggunakan persamaan (2.35)

$$N_\theta = -RP \left(\cos \phi - \frac{1}{1 + \cos \phi} \right)$$

Untuk menghasilkan gaya melingkar maksimum, maka ϕ diambil dengan nilai 90° , dimana ω merupakan beban pada permukaan dome berupa tekanan eksternal (112168.8 kg/m^2).

$$N_\theta = -2 \times 112168.8 \left(\cos 90^\circ - \frac{1}{1 + \cos 90^\circ} \right)$$

$$N_\theta = 224337.6 \text{ kg/m}$$

Perhitungan tegangan melingkar σ_θ menggunakan persamaan (2.36)

$$\sigma_\theta = \frac{224337.6}{0.025} = 8973504 \text{ kg/m}^2 \text{ atau } 12763.32 \text{ Psi}$$

b. Gaya dan tegangan meridional pada dome

Perhitungan gaya meridional N_ϕ menggunakan persamaan (2.42)

$$N_\phi = -\frac{RP}{1 + \cos \phi}$$

Untuk menghasilkan gaya meridional maksimum, maka ϕ diambil dengan nilai 90° , dimana P merupakan beban pada permukaan dome berupa tekanan eksternal (112168.8 kg/m^2).

$$N_\phi = -\frac{2 \times 112168.8}{1 + \cos 90^\circ} = -224337.6 \text{ kg/m}$$

Perhitungan tegangan meridional σ_ϕ menggunakan persamaan (2.40)

$$\sigma_\phi = \frac{-224337.6}{0.025} = -8973504 \text{ kg/m}^2 \text{ atau } -12763.32 \text{ Psi}$$

c. Perhitungan Von Mises Stress σ_v

Untuk bentuk dome, maka tegangan utamanya (*principle stress*) adalah tegangan meridional σ_ϕ sebagai σ_1 dan tegangan melingkar σ_θ sebagai σ_2 , sedangkan $\sigma_3 = 0$.

Maka perhitungan tegangan von mises adalah sebagai berikut :

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

$$\sigma_v = 22106.70 \text{ Psi}$$

▪ **Safety Factor (SF) untuk Tegangan pada Dome**

Persamaan (2.44) menyatakan bahwa kegagalan statis terjadi bila SF sama, lebih kecil atau sama dengan satu maka struktur dinyatakan gagal (*failure*).

$$\begin{aligned} SF &= \frac{\sigma_y}{\sigma_v} \\ &= \frac{80000}{22106.7} = 3.6 \end{aligned}$$

d. Perhitungan Tekanan Maksimum pada dome

Dari persamaan (2.46) didapatkan tekanan maksimum yang terjadi pada dome yaitu sebesar

$$P_a = \frac{0.0625E}{(R/t)^2}$$

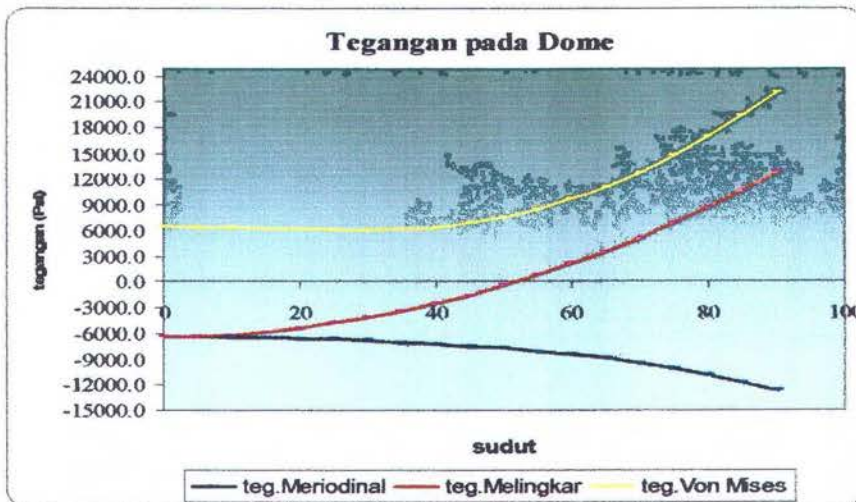
$$P_a = \frac{0.0625 \times 2.1 \cdot 10^{10}}{(2/0.025)^2} = 205078.125 \text{ kg/m}^2 \text{ atau } 291.69 \text{ Psi}$$

Diketahui bahwa besarnya tekanan hidrostatis pada kedalaman 100 meter adalah 112168.8 maka $SF = 1.8$ sehingga ketebalan tersebut dapat dioperasikan pada kedalaman 100 meter. Akan tetapi belum diketahui apakah struktur tersebut memiliki nilai *coefficient buoyancy* yang minimum. Maka dari itu perlu dilakukan suatu proses optimasi. Untuk mengetahui distribusi tekanan melingkar, meridional dan von mises maka grafik berikut menunjukkan distribusi tekanan pada bagian *dome* pada berbagai sudut dimana tegangan terbesar terjadi pada sudut 90° , yang dijadikan acuan pada perhitungan di atas.

Tabel 4.4 Tegangan *Von Mises*

No.	Sudut	Tegangan (Psi)		Tegangan Von Mises (Psi)
		Meridional	Melingkar	
1	0	-6381.66	-6381.66	6381.66
2	5	-6393.82	-6320.92	6357.69
3	10	-6430.50	-6138.91	6289.78
4	15	-6492.27	-5836.15	6190.34
5	20	-6580.07	-5413.52	6081.30
6	25	-6695.30	-4872.18	5995.38
7	30	-6839.84	-4213.51	5976.40
8	35	-7016.08	-3439.02	6076.49
9	40	-7227.06	-2550.20	6348.50
10	45	-7476.58	-1548.45	6835.19
11	50	-7769.30	-434.80	7561.28
12	55	-8111.02	790.29	8533.65
13	60	-8508.87	2127.22	9748.14
14	65	-8971.71	3577.70	11197.74
15	70	-9510.52	5145.21	12878.54
16	75	-10139.12	6835.73	14793.14
17	80	-10874.90	8658.58	16952.75
18	85	-11740.10	10627.70	19379.06
19	90	-12763.31	12763.31	22106.70

Dan secara grafik disajikan dengan gambar 4.6



Gambar 4.6 Tegangan pada *Dome*

4.2 Pembahasan

Pada sub-bab ini akan dilakukan proses optimasi dengan *software matlab* menggunakan metode genetik algoritma untuk mendapatkan nilai *coeffisient buoyancy* paling minimum. Sesuai dengan batasan masalah yang telah disebutkan bahwa ada variasi dari variabel desain yang membentuk nilai-nilai *coeffisient buoyancy* yang berbeda-beda, tetapi tujuan dari tugas akhir ini adalah bagaimana memperoleh *coeffisient buoyancy* (berat struktur / *displacement*) paling minimum pada masing-masing kedalaman dengan menggunakan material HY80 dan HY100. Batas panjang silinder yang digunakan adalah $25\text{m} \leq L_b \leq 30\text{m}$ dan untuk rasio L_b/D adalah konstan dengan nilai $5 \leq L_b/D \leq 12$. Gambaran struktur variasi parameter dapat dilihat pada bab III gambar 3.4 dan gambar 3.5 dimana variasi parameter meliputi struktur pressure hull itu sendiri. Mungkin saja pressure hull memiliki tebal yang besar dan jarak antar frame yang panjang ataupun sebaliknya asalkan tujuan dari tugas akhir ini tercapai yaitu struktur yaitu memiliki *coeffisient buoyancy* nilai paling minimum

4.2.1 Optimasi dengan Genetik Algoritma

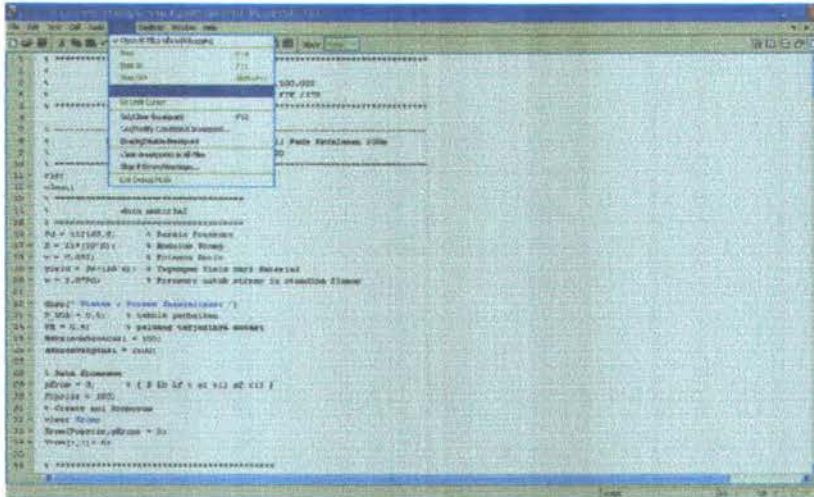
Sesuai dengan kesimpulan di atas yaitu pada desain struktur silinder dan desain pada dome dinyatakan aman akan tetapi belum diketahui apakah struktur tersebut optimal. Untuk itu dilakukan proses optimisasi dalam mendesain struktur pressure. Proses optimisasi disini menggunakan bantuan *software matlab* dengan metode genetik algoritma. *Kromosom* dibangkitkan sebanyak 100 populasi secara *random* pada maksimum generasi yaitu 100 generasi. Keunggulan dari metode ini adalah hasil yang didapatkan sangat bagus untuk masalah-masalah berdimensi tinggi. Variasi data yang digunakan sudah dijelaskan pada batasan masalah pada bab I.

4.2.1.1 Material HY80

Proses optimasi disini menggunakan material HY80 pada kedalaman 100 m, 200 m, dan 300 m. Berikut ini adalah pengoperasian program optimasi dengan genetik algoritma yang sudah mengacu pada bab III.

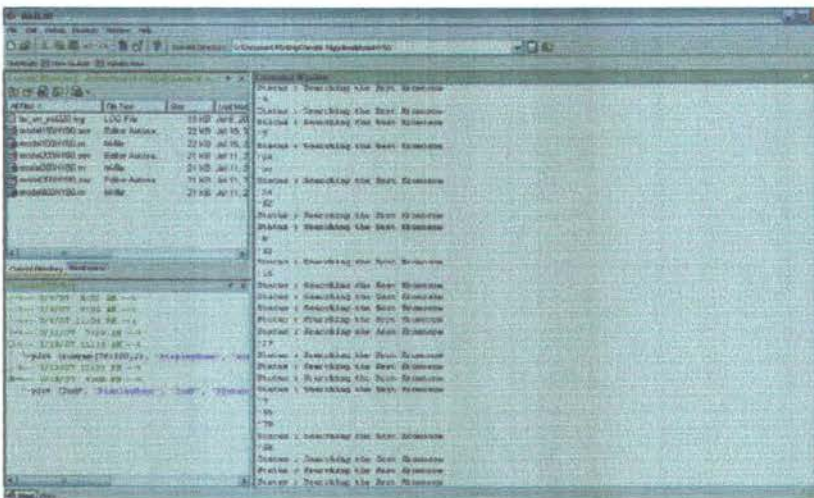
1. Buka model *m-file* untuk material HY80 pada kedalaman 100 m, kemudian klik *debug* untuk mencari perintah *run* agar diperoleh hasil *output* berupa *coeffisient*

buoyancy dan dimensi pressure hull. Untuk kedalaman 200 m dan 300 m dilakukan dengan cara yang sama.



Gambar 4.7 M-file untuk material HY80

- Setelah dilakukan langkah 1 maka akan didapatkan hasil *output* untuk material HY80 sebagai berikut :



Gambar 4.8 Proses *running output* material HY80

Setelah dilakukan langkah 1 maka didapatkan hasil *output* pada kedalaman 100 m, 200 m dan 300 m. Dimana *output* yang didapatkan adalah berupa *coeffisient buoyancy* paling minimum dan *best kromosom* yang merupakan dimensi dari pressure hull yaitu panjang silinder, diameter silinder, tebal pelat, jarak antar frame dan *properties* dari frame itu sendiri.

- Kedalaman 100 m

Number of Generation is "100"

Data Record....

The Result of GA Computation.....

Coeffiesien Buoyancy -> 0.2432

Nilai Diameter silinder = 4.6696

Nilai Panjang silinder = 25.4255

Nilai Jarak antar Frame = 1.6150

Nilai Tebal Plat = 0.0229

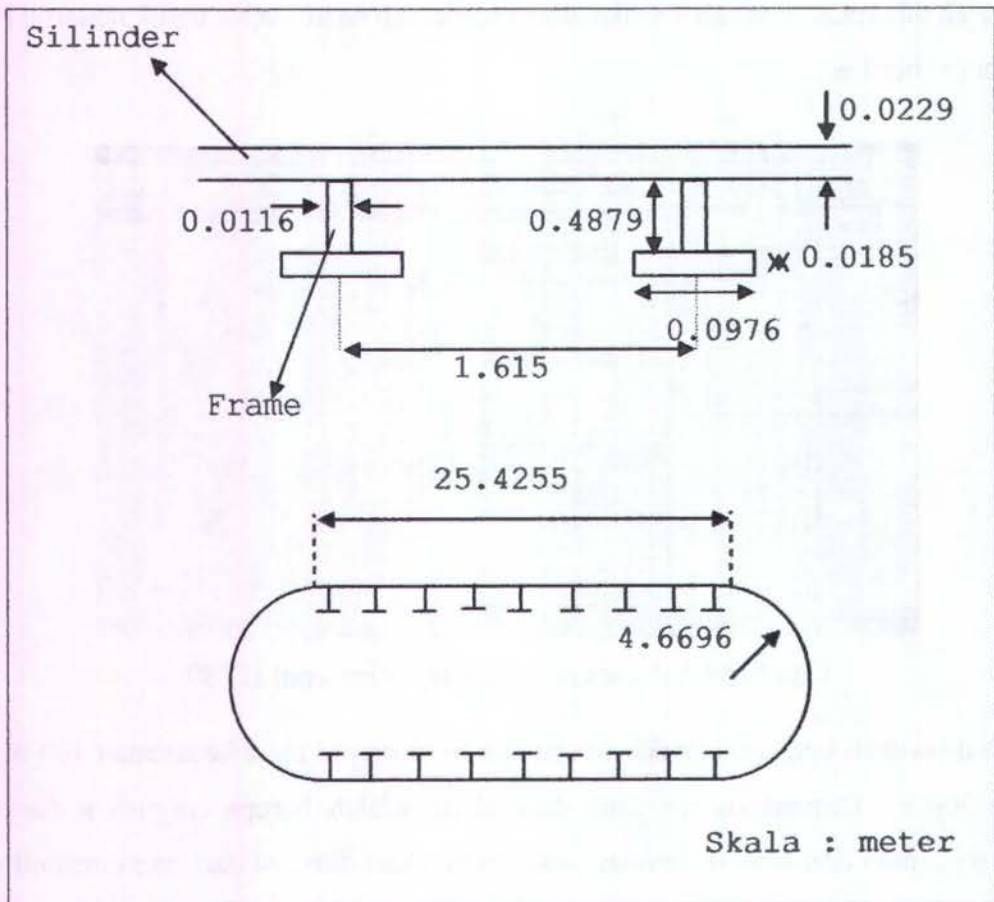
Nilai Panjang Frame Vertikal = 0.4879

Nilai Tebal Frame Vertikal = 0.0116

Nilai Panjang Frame Horizontal = 0.0976

Nilai Tebal Frame Horizontal = 0.0185

Hasil di atas adalah dimensi pressure hull dengan menggunakan material HY80 pada kedalaman 100 meter. Pada pressure hull terdapat 15 frame. Secara detail dapat digambarkan sebagai berikut.

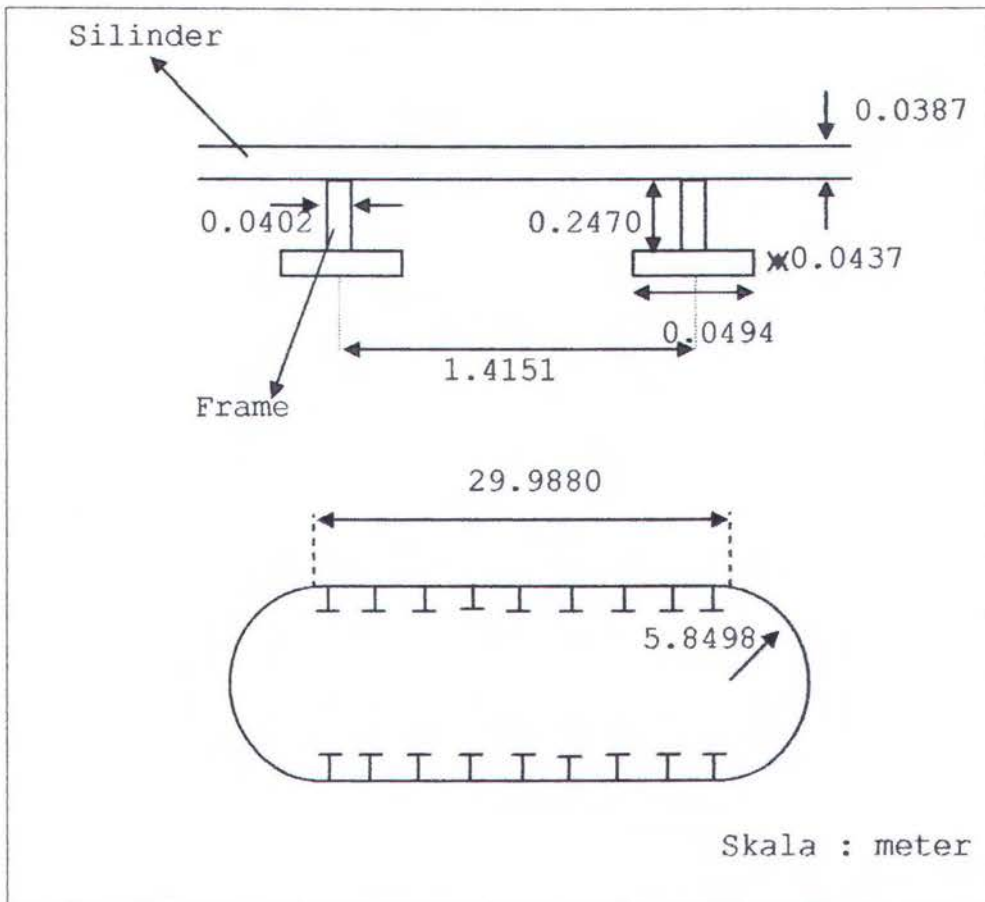


Gambar 4.9 Dimensi Pressure Hull pada kedalaman 100 m

- Kedalaman 200 m

Number of Generation is "100"
 Data Record....
 The Result of GA Computation.....
 Coeffiesien Buoyancy -> 0.336
 Nilai Diameter silinder = 5.8498
 Nilai Panjang silinder = 29.9880
 Nilai Jarak antar Frame = 1.4151
 Nilai Tebal Plat = 0.0387
 Nilai Panjang Frame Vertikal = 0.2470
 Nilai Tebal Frame Vertikal = 0.0402
 Nilai Panjang Frame Horizontal = 0.0494
 Nilai Tebal Frame Horizontal = 0.0437

Hasil di atas adalah dimensi pressure hull dengan menggunakan material HY80 pada kedalaman 200 meter. Pada pressure hull terdapat 21 frame. Secara detail dapat digambarkan sebagai berikut.



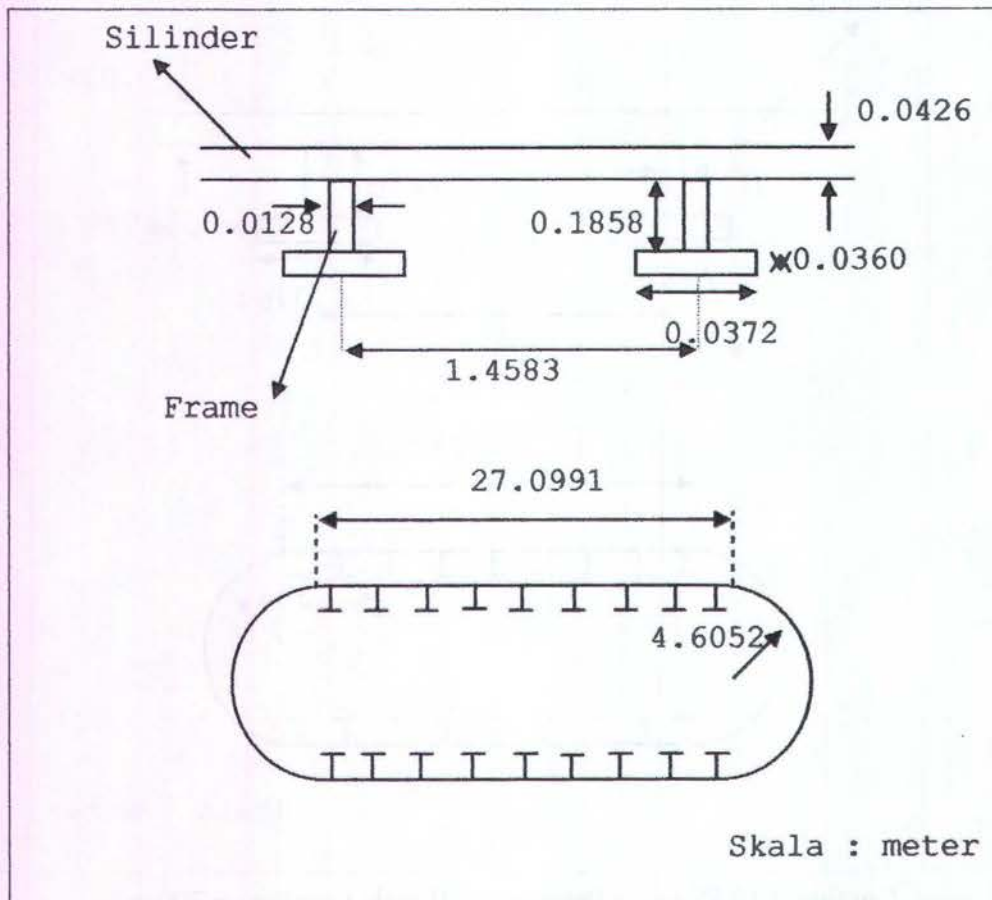
Gambar 4.10 Dimensi Pressure Hull pada kedalaman 200 m

- Kedalaman 300 m

Number of Generation is "100"
 Data Record....
 The Result of GA Computation.....
 The Result of GA Computation.....
 Coeffiesien Buoyancy -> 0.4198
 Nilai Diameter silinder = 4.6052
 Nilai Panjang silinder = 27.0991
 Nilai Jarak antar Frame = 1.4583
 Nilai Tebal Plat = 0.0426
 Nilai Panjang Frame Vertikal = 0.1858
 Nilai Tebal Frame Vertikal = 0.0128
 Nilai Panjang Frame Horizontal = 0.0372
 Nilai Tebal Frame Horizontal = 0.0360

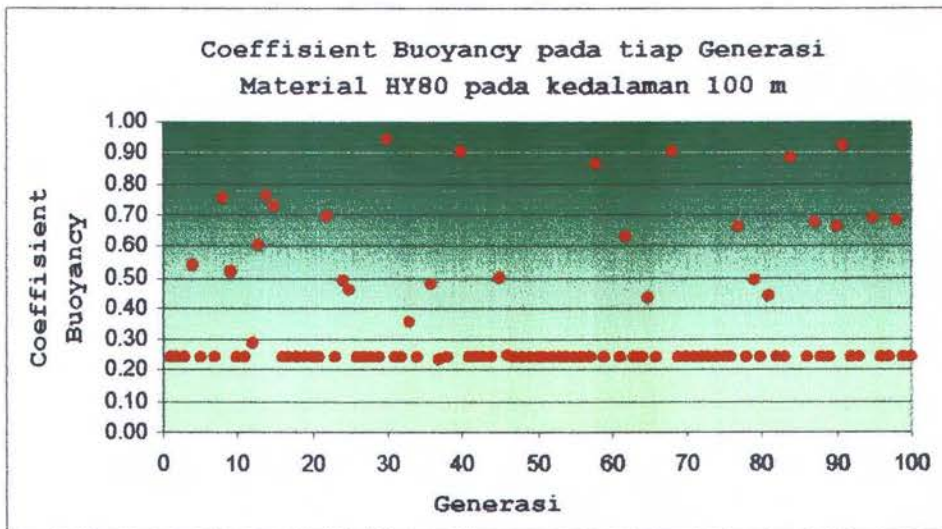
* semua nilai *output* dalam satuan meter

Hasil di atas adalah dimensi pressure hull dengan menggunakan material HY80 pada kedalaman 300 meter. Pada pressure hull terdapat 18 frame. Secara detail dapat digambarkan sebagai berikut.

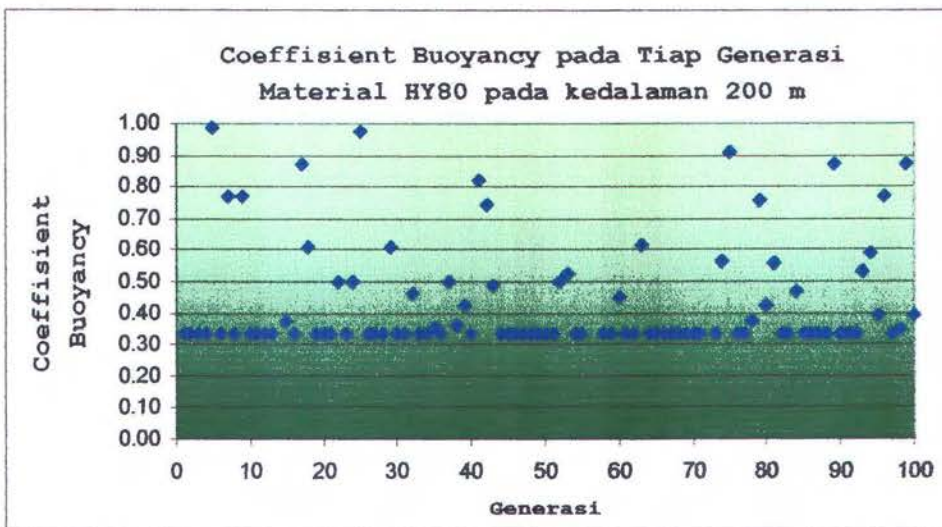


Gambar 4.11 Dimensi Pressure Hull pada kedalaman 300 m

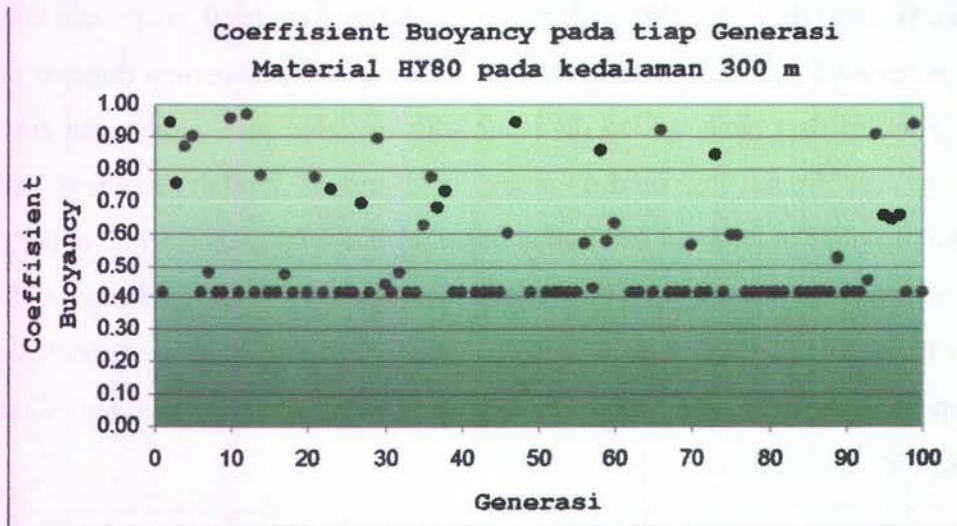
Untuk kedalaman 100 m, 200 m dan 300 m didapatkan hasil *coefficient buoyancy* terkecil sebesar 0.2432, 0.336, dan 0.4198 dan *best kromosom* berupa dimensi pressure hull yang terdiri dari panjang dan diameter silinder, tebal plat, jarak antar frame dan *properties* dari frame itu sendiri untuk keseluruhan jumlah generasi. Semakin bertambah kedalaman perairan maka nilai dari *coefficient buoyancy* semakin bertambah. Hal ini disebabkan karena semakin dalam suatu perairan maka tekanan hidrostatik semakin besar sehingga dibutuhkan struktur yang semakin kuat. *Coeffisient buoyancy* pada tiap-tiap generasi pada kedalaman 100 m, 200 m, dan 300 m ditampilkan pada grafik berikut ini.



Gambar 4.12 *Coeffisient Buoyancy* tiap generasi pada kedalaman 100 m.



Gambar 4.13 *Coeffisient Buoyancy* tiap generasi pada kedalaman 200 m.



Gambar 4.14 *Coeffisient Buoyancy* tiap generasi pada kedalaman 300 m.

Coeffisient buoyancy pada tiap generasi untuk kedalaman 100 m, 200 m, dan 300 m terdapat distribusi nilai *coeffisient buoyancy* yang berbeda-beda pada tiap-tiap generasi. Tiap generasi menampilkan hasil yang berbeda dikarenakan pada proses optimasi *kromosom* dibangkitkan secara *random*. Tetapi sampai dengan maksimum generasi yaitu 100 generasi diambil nilai *coeffisient buoyancy* paling minimum yang memiliki distribusi hampir metara yaitu 0.2432, 0.336, dan 0.4198 untuk masing-masing kedalaman.

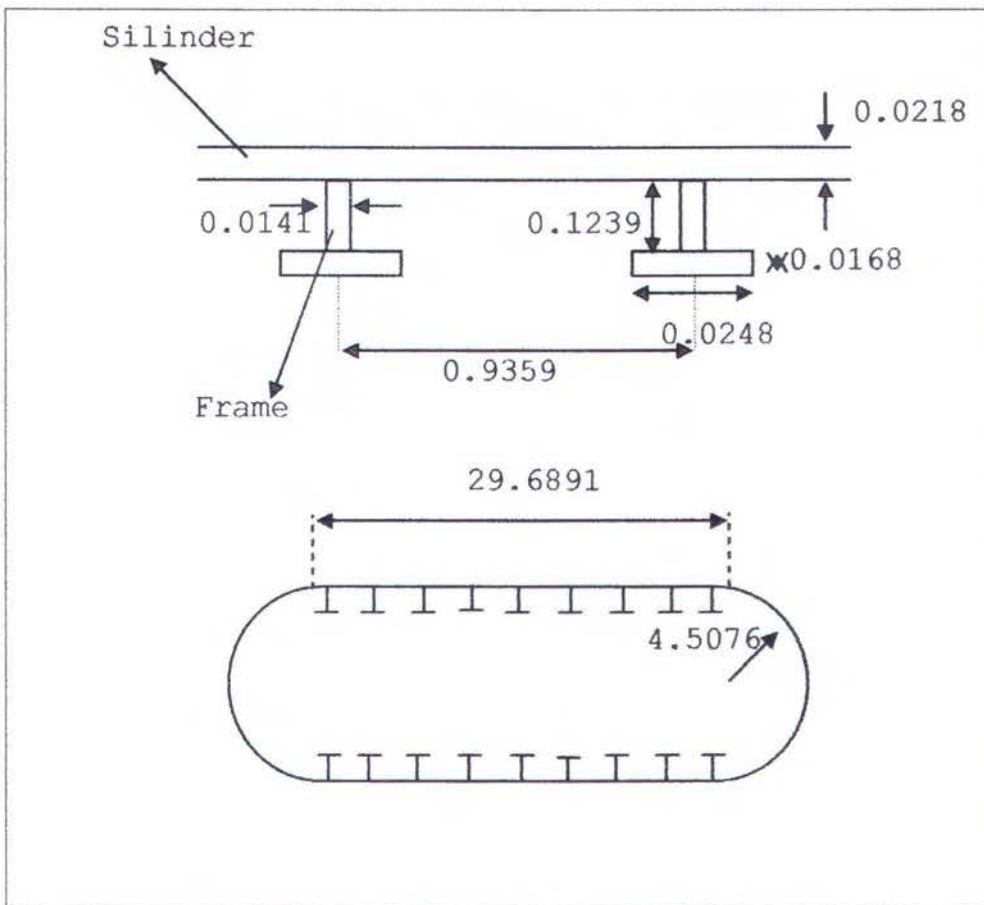
4.2.1.2 Material HY100

Setelah didapatkan hasil *coeffisient buoyancy* pada material HY 80 maka akan dilakukan proses optimasi lebih lanjut dengan material HY100. Metode yang digunakan sama dengan material HY80. Untuk material HY100 didapatkan *output* pada kedalaman 100 m, 200 m, dan 300 m sebagai berikut yang terdiri dari nilai *coeffisient buoyancy* dan dimensi dari pressure hull yaitu panjang silinder, diameter silinder, tebal pelat, jarak antar frame dan *properties* dari frame itu sendiri.

- Kedalaman 100 m

Number of Generation is "100"
 Data Record....
 The Result of GA Computation.....
 Coeffisien Buoyancy -> 0.223
 Nilai Diameter silinder = 4.5076
 Nilai Panjang silinder = 29.6891
 Nilai Jarak antar Frame = 0.9359
 Nilai Tebal Plat = 0.0218
 Nilai Panjang Frame Vertikal = 0.1239
 Nilai Tebal Frame Vertikal = 0.0141
 Nilai Panjang Frame Horizontal = 0.0248
 Nilai Tebal Frame Horizontal = 0.0168

Hasil di atas adalah dimensi pressure hull dengan menggunakan material HY100 pada kedalaman 100 meter. Pada pressure hull terdapat 31 frame. Secara detail dapat digambarkan sebagai berikut.

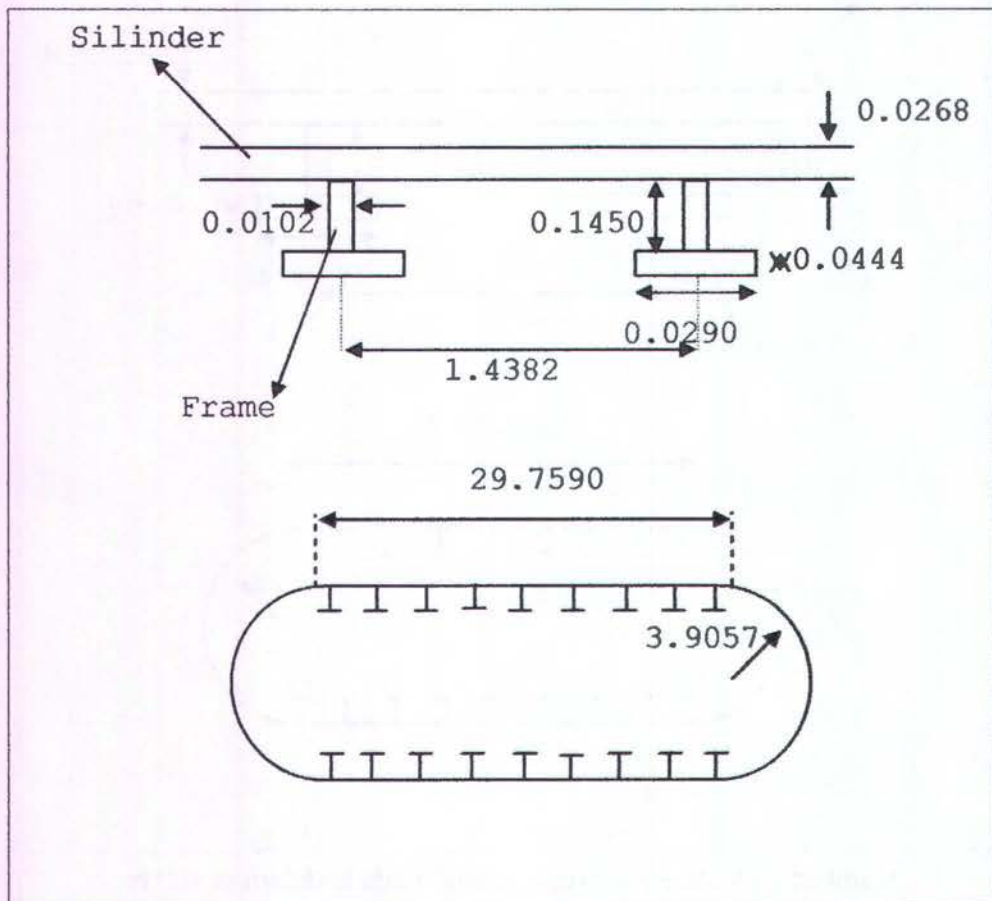


Gambar 4.15 Dimensi Pressure Hull pada kedalaman 100 m

- Kedalaman 200 m

Number of Generation is "100"
 Data Record....
 The Result of GA Computation.....
 Coeffiesien Buoyancy -> 0.2990
 Nilai Diameter silinder = 3.9057
 Nilai Panjang silinder = 29.7590
 Nilai Jarak antar Frame = 1.4382
 Nilai Tebal Plat = 0.0268
 Nilai Panjang Frame Vertikal = 0.1450
 Nilai Tebal Frame Vertikal = 0.0102
 Nilai Panjang Frame Horizontal = 0.0290
 Nilai Tebal Frame Horizontal = 0.0444

Hasil di atas adalah dimensi pressure hull dengan menggunakan material HY100 pada kedalaman 200 meter. Pada pressure hull terdapat 20 frame. Secara detail dapat digambarkan sebagai berikut.



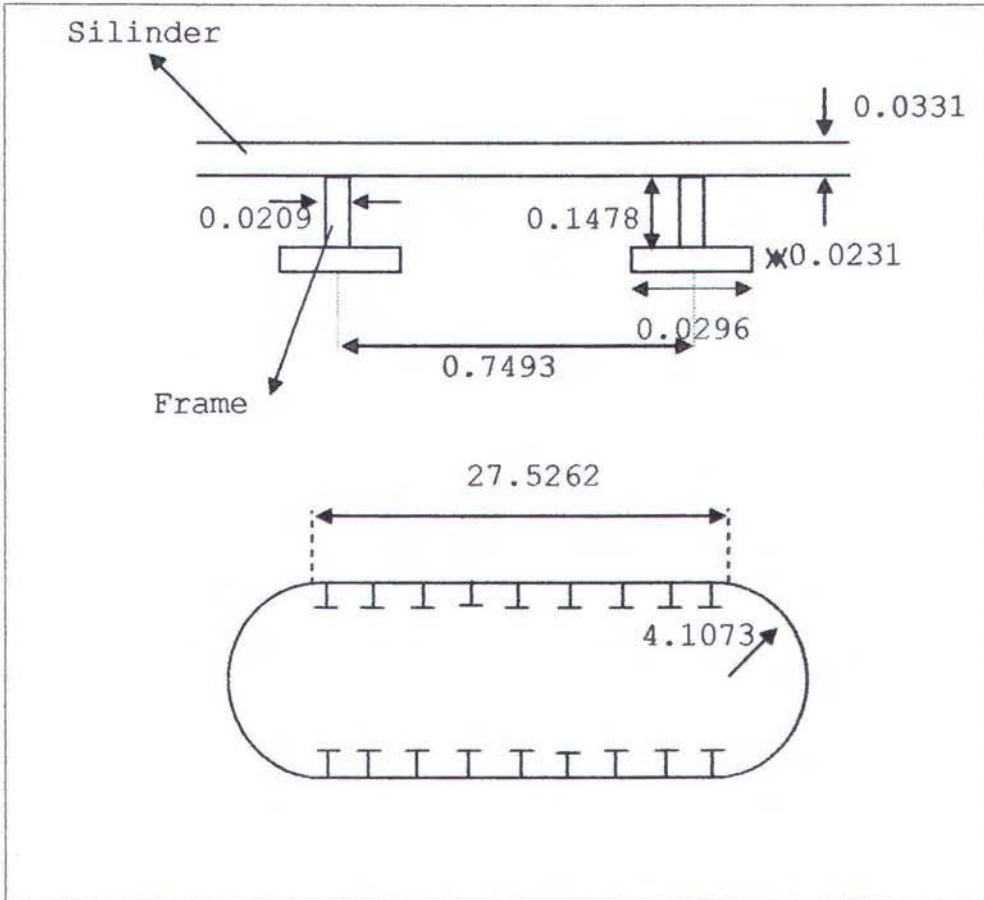
Gambar 4.16 Dimensi Pressure Hull pada kedalaman 200 m

- Kedalaman 300 m

Number of Generation is "100"
Data Record....
The Result of GA Computation.....
Coeffiesien Buoyancy -> 0.3830
Nilai Diameter silinder = 4.1073
Nilai Panjang silinder = 27.5262
Nilai Jarak antar Frame = 0.7493
Nilai Tebal Plat = 0.0331
Nilai Panjang Frame Vertikal = 0.1478
Nilai Tebal Frame Vertikal = 0.0209
Nilai Panjang Frame Horizontal = 0.0296
Nilai Tebal Frame Horizontal = 0.0231

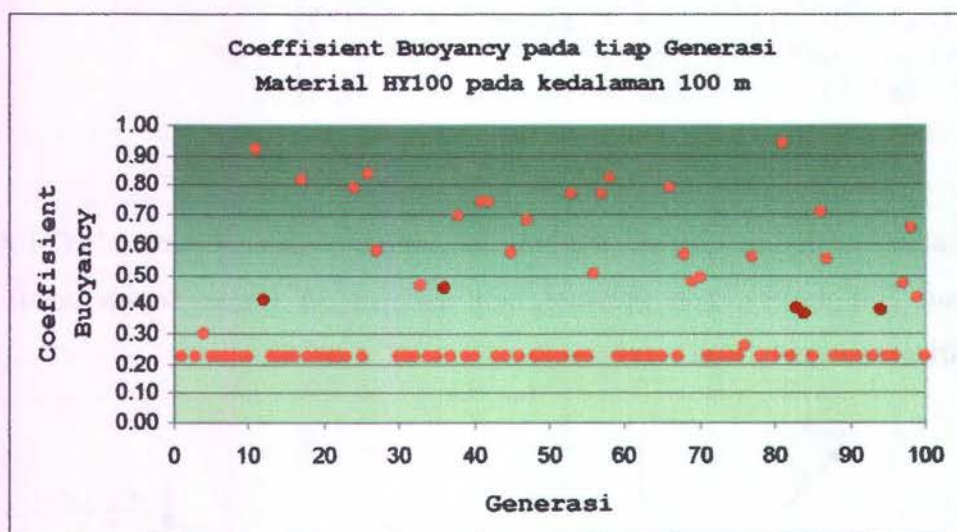
* semua nilai *output* dalam satuan meter

Hasil di atas adalah dimensi pressure hull dengan menggunakan material HY100 pada kedalaman 300 meter. Pada pressure hull terdapat 36 frame Secara detail dapat digambarkan sebagai berikut.

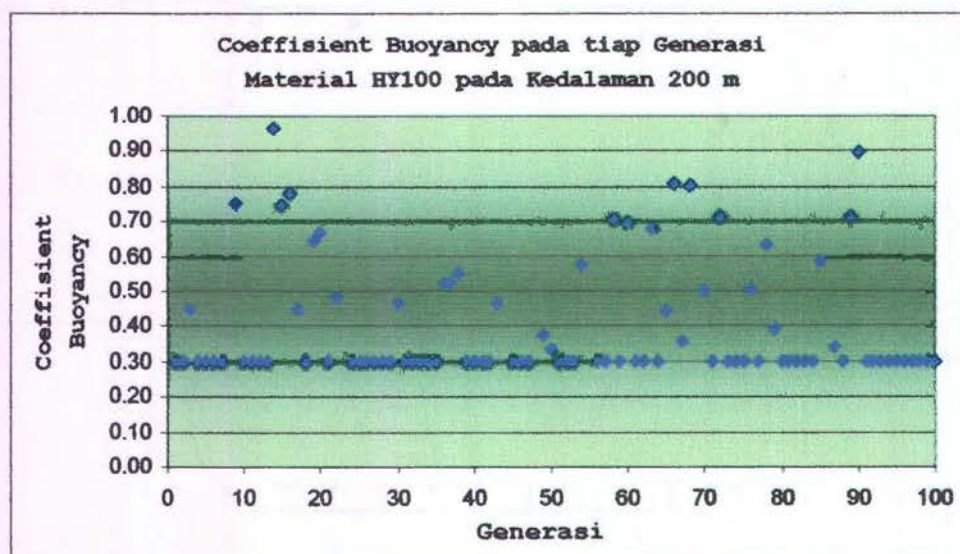


Gambar 4.17 Dimensi Pressure Hull pada kedalaman 300 m

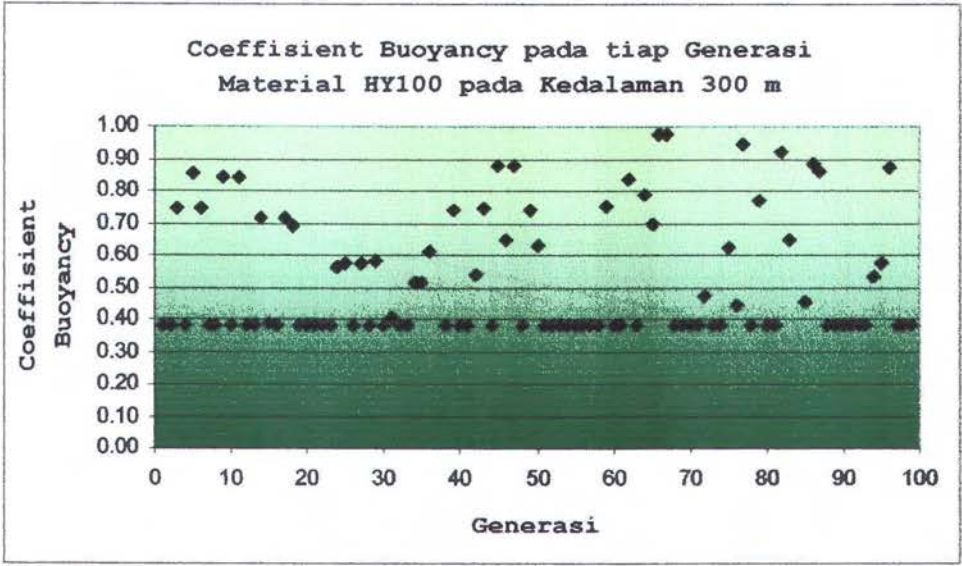
Untuk kedalaman 100 m, 200 m dan 300 m didapatkan hasil *coefficient buoyancy* paling minimum sebesar 0.223, 0.2990, dan 0.3830 dan *best kromosom* berupa dimensi pressure hull yang terdiri dari panjang dan diameter silinder, tebal plat, jarak antar frame dan *properties* dari frame itu sendiri untuk keseluruhan jumlah generasi yaitu 100 generasi. *Coeffisient buoyancy* pada tiap-tiap generasi pada kedalaman 100 m, 200 m, dan 300 m ditampilkan pada grafik berikut ini.



Gambar 4.18 *Coeffisient Buoyancy* tiap generasi pada kedalaman 100 m.

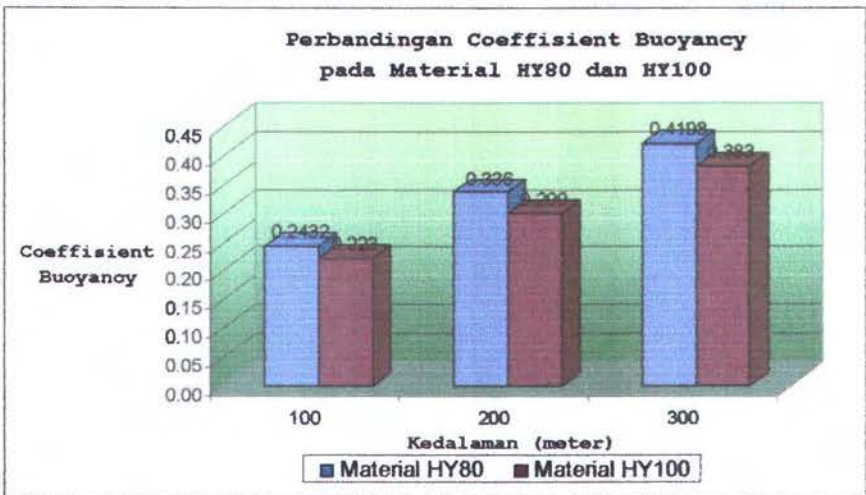


Gambar 4.19 *Coeffisient Buoyancy* tiap generasi pada kedalaman 200 m.

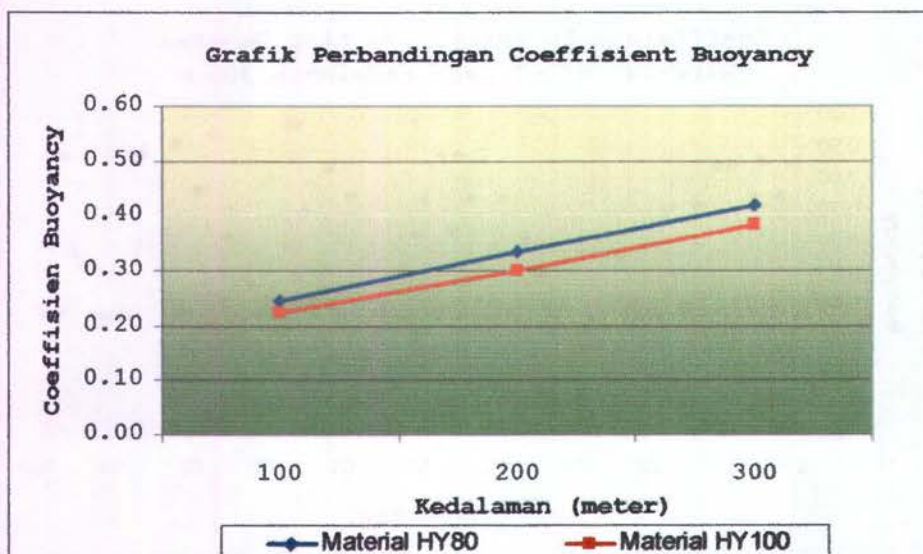


Gambar 4.20 *Coeffisient Buoyancy* tiap generasi pada kedalaman 300 m.

Coeffisient buoyancy pada tiap generasi memiliki distribusi nilai yang berbeda pada tiap-tiap generasi. Tiap generasi menampilkan hasil yang berbeda dikarenakan pada proses optimasi *kromosom* dibangkitkan secara *random*. Akan tetapi sampai dengan maksimum generasi yaitu 100 generasi diambil nilai *coeffisient buoyancy* paling minimum (*objective function*) yang memiliki distribusi hampir merata yaitu 0.223, 0.2990, dan 0.3830 untuk masing-masing kedalaman. Berikut adalah perbandingan *coeffisient buoyancy* pada material HY80 dan HY100 pada berbagai kedalaman yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.21 Perbandingan *Coeffisient Buoyancy*.



Gambar 4.22 Grafik Regresi *Coeffisient Buoyancy*.

Gambar di atas adalah grafik regresi hubungan antara *coeffisient buoyancy* dengan kedalaman. Untuk mengetahui tingkat validitas dari grafik regresi di atas, maka dilakukan analisa regresi dengan bantuan software analisa regresi yaitu dengan minitab. Untuk material HY80 pada berbagai kedalaman didapatkan analisa regresi sebagai berikut :

Regression Analysis: C2 versus C1

The regression equation is
 $C2 = 0.156 + 0.000883 C1$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.156400	0.005612	27.87	0.023
C1	0.00088300	0.00002598	33.99	0.019

S = 0.00367423 R-Sq = 99.9% R-Sq(adj) = 99.8%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0.015594	0.015594	1155.09	0.019
Residual Error	1	0.000013	0.000013		
Total	2	0.015607			

C2 pada hasil analisa regresi di atas adalah *coeffisient buoyancy* pada material HY80 dan C1 pada hasil analisa regresi di atas adalah kedalaman perairan. Pada analisa di

atas akan dicari hubungan antara hubungan coefficient buoyancy dengan kedalaman. Hasil analisa didapatkan persamaan dari hubungan tersebut yaitu $C2 = 0.156 + 0.000883 C1$ atau lebih jelas lagi $Y = 0.156 + 0.000883X$. Tingkat validitas diyatakan dengan R-Sq dengan nilai 99.9 % hampir mendekati 100% dan nilai error 0.019 dimana kurang dari 0.05.

Untuk hubungan antara *coefficient buoyancy* pada material HY100 dengan berbagai kedalaman dilakukan juga analisa regresi untuk mengetahui tingkat validitas dan nilai error dari grafik tersebut. Dari analisa regresi didapatkan hasil sebagai berikut :

Regression Analysis: C3 versus C1

The regression equation is
 $C3 = 0.142 + 0.000800 C1$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.141667	0.004989	28.40	0.022
C1	0.00080000	0.00002309	34.64	0.018

S = 0.00326599 R-Sq = 99.9% R-Sq(adj) = 99.8%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	0.012800	0.012800	1200.00	0.018
Residual Error	1	0.000011	0.000011		
Total	2	0.012811			

C3 pada hasil analisa regresi di atas adalah *coefficient buoyancy* pada material HY100 dan C1 pada hasil analisa regresi di atas adalah kedalaman perairan. Pada analisa di atas akan dicari hubungan antara hubungan coefficient buoyancy dengan kedalaman. Hasil analisa didapatkan persamaan dari hubungan tersebut yaitu $C3 = 0.142 + 0.000800C1$ atau lebih jelas lagi $Y = 0.142 + 0.000800X$. Tingkat validitas diyatakan dengan R-Sq dengan nilai 99.9 % hampir mendekati 100% dan nilai error 0.018 dimana kurang dari 0.05.

Dari gambar 4.21, gambar 4.22 dan analisa regresi hubungan antara *coefficient buoyancy* didapatkan nilai dari *coefficient buoyancy* berbanding lurus dengan

kedalaman. Semakin dalam suatu struktur berada pada suatu perairan maka semakin besar pula nilai dari *coeffisient buoyancy*. Hal ini disebabkan karena semakin bertambah kedalaman maka semakin besar pula tekanan hidrostatis sehingga diperlukan struktur yang semakin kuat agar dapat terhindar dari beban *buckling* yang semakin besar dan kebutuhan material akan semakin bertambah juga.

Nilai *coeffisient buoyancy* pada material HY80 lebih besar dibandingkan dengan material HY100. Pada material HY100 kekuatan material lebih besar sehingga kebutuhan akan material lebih sedikit dibandingkan dengan material HY80 sehingga pada umumnya penggunaan struktur dengan material HY100 akan memiliki berat struktur lebih ringan bila dibandingkan dengan HY80.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dalam laporan tugas akhir ini telah dibahas suatu studi tentang optimasi berat minimum pressure hull pada kapal selam terhadap *buckling* akibat tekanan hidrostatik pada berbagai kedalaman. Optimasi dilakukan dengan *software matlab* dengan metode genetik algoritma. Dari hasil perhitungan optimasi berat minimum pressure hull pada kapal selam dengan ukuran dimensi yang bervariasi, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari perhitungan proses optimasi dengan metode genetik algoritma pada material HY80 didapatkan *coeffisient buoyancy* pada kedalaman 100 m, 200 m, dan 300 m yaitu 0.2432, 0.336, dan 0.4198. Untuk material HY100 didapatkan *coeffisient buoyancy* sebesar 0.223, 0.2990, dan 0.3830 dengan struktur dinyatakan aman dari beban *buckling*.
2. Dari analisa regresi hubungan antara *coeffisient buoyancy* dengan kedalaman didapatkan persamaan pada material HY80 yaitu $Y = 0.156 + 0.000883X$ dengan tingkat error 0.019
3. Dari analisa regresi hubungan antara *coeffisient buoyancy* dengan kedalaman didapatkan persamaan pada material HY100 yaitu $Y = 0.142 + 0.000800X$ dengan tingkat error 0.018.
4. Besarnya *coeffisient buoyancy* dipengaruhi oleh kedalaman dari perairan, jenis material dan variasi desain variabel. Semakin dalam suatu perairan maka nilai *coeffisient buoyancy* akan semakin besar juga.
5. Nilai *coeffisient buoyancy* pada material HY80 lebih besar dibandingkan dengan material HY100. Pada material HY100 kekuatan material lebih besar sehingga kebutuhan akan material lebih sedikit dibandingkan dengan material HY80 sehingga pada umumnya penggunaan struktur dengan material HY100 akan memiliki berat struktur lebih ringan bila dibandingkan dengan HY80.

5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan pada penulisan Tugas Akhir ini digunakan sebagai kajian studi mengenai desain optimasi pressure hull dimasa yang akan datang.

1. Perhitungan optimasi berat pressure hull dilakukan pada kedalaman dan meterial serta ukuran dimensi pressure hull yang lebih bervariasi.
2. Bentuk pressure hull didesain lebih kompleks, seperti seperti memakai gabungan bentuk *cone* (silinder tirus) dan silinder dengan kedua ujung *dome* yang berbeda bentuk, bentuk frame dengan menggunakan jenis frame memanjang pada pressure hull.
3. Menganalisa kekuatan pressure hull terhadap beban yang bervariasi, seperti *shock loading* atau *impact loading*.
4. Digunakan prosedur desain pressure hull yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- ASME. 2004. "*Boiler and Pressure Vessel Section VIII Division I*"
- ABS. 2002. "*Rules for Building and Classing*" *Underwater Vehicles, System and Hiperbaric Facilities.*
- API bulletin. 2000. "*Bulletin on Stability Design of Cylindrical Shells*".
- Carl T. F. Ross. 2005. *International Journal of Struktural Stability and Dynamic.*
- Carl T. F. Ross. 2006. *Journal "A conceptual design of an underwater vehicle"*
- DNV-RP-C202. 2002. "*Buckling Strength of Shelf*".
- Popov, EP. (1996). **Mekanika Teknik.** Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Rosyid, DM. 1999. **Optimasi, Teknik Pengambilan Keputusan Secara Kuantitatif.**
Diktat Kuliah Optimasi Program Pendidikan Tinggi Teknik, Teknik Kelautan, ITS, Surabaya.
- Schodeck, Daniel L. 1999. **Struktur.** Erlangga, Jakarta, Indonesia.
- Suyanto. 2005. **Algoritma Genetika dalam Matlab.** Andi, Yogyakarta, Indonesia.
- Timoshenko, S. P. dan Krieger-Woinowsky. 1992. **Teori Pelat dan Cangkang.**
Erlangga, Jakarta.
- Michalewis, Zbigniew. 1995. **Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs.**

LAMPIRAN A

**OUTPUT OPTIMASI MATERIAL
HY80 PADA KEDALAMAN 100**

4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
3.0792	29.6654	1.1961	0.0558	0.3349	0.0357	0.0670	0.0310
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
3.4590	26.4412	0.8271	0.0909	0.3019	0.0204	0.0604	0.0414
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
4.9448	26.3966	0.5723	0.0679	0.0863	0.0339	0.0173	0.0432
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
5.3792	25.4500	1.3795	0.0495	0.1887	0.0284	0.0377	0.0375
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
2.5512	29.2501	1.4423	0.0683	0.0838	0.0444	0.0168	0.0118
3.7435	25.9920	1.2991	0.0749	0.3958	0.0209	0.0792	0.0402
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
2.9855	27.0762	0.5402	0.0416	0.0807	0.0428	0.0161	0.0374
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
2.9301	29.8784	1.6163	0.0246	0.4775	0.0444	0.0955	0.0165
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
5.2110	26.0845	0.8880	0.0489	0.0970	0.0363	0.0194	0.0468
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
3.0258	29.0322	0.5483	0.0545	0.1892	0.0347	0.0378	0.0208
2.8781	25.8051	0.9533	0.0813	0.2761	0.0438	0.0552	0.0166
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
5.2196	27.8811	0.8890	0.0792	0.0786	0.0353	0.0157	0.0435
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
3.6342	25.6461	1.3587	0.0557	0.1212	0.0147	0.0242	0.0484
2.8292	29.1520	0.4435	0.0456	0.1848	0.0465	0.0370	0.0352
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
2.8844	28.4222	0.7541	0.0742	0.3456	0.0150	0.0691	0.0229
4.5427	25.1582	0.9948	0.0571	0.3818	0.0460	0.0764	0.0467
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
3.9415	28.1577	0.8135	0.0586	0.1098	0.0479	0.0220	0.0166
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185
4.6696	25.4255	1.6150	0.0229	0.4879	0.0116	0.0976	0.0185

The Result of GA Computation.....

Coeffisien Buoyancy -> 0.24316

Nilai Diameter silinder = "4.669564e+000"

Nilai Panjang silinder = "2.542552e+001"

Nilai Jarak antar Frame = "1.615033e+000"

Nilai Tebal Plat = "2.285211e-002"

Nilai Panjang Frame Vertikal = "4.879446e-001"

Nilai Tebal Frame Vertikal = "1.163240e-002"

Nilai Panjang Frame Horizontal = "9.758891e-002"

Nilai Tebal Frame Horizontal = "1.850842e-002"

LAMPIRAN B

**OUTPUT OPTIMASI MATERIAL
HY80 PADA KEDALAMAN 200**

Kedalaman 200 material HY80

Status : Searching the Best Kromosom
 Status : Searching the Best Kromosom
 The Last Generation = "100"
 End
 Number of Generation is"100"

 OUTPUT THE RESULT OF GENETIC ALGORITHM COMPUTATION

Diameter Silinder (meter)	Panjang Silinder (meter)	Jarak Frame (meter)	Tebal Plat (meter)	Panjang F. Vert. (meter)	Tebal F. Vert. (meter)	Panjang F. Horz. (meter)	Tebal F. Horz (meter)
---------------------------------	--------------------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------------	------------------------------	--------------------------------	-----------------------------

Data Record....

KromosomGenerasiTerbaik =

5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
4.7400	27.9014	0.4448	0.0960	0.4412	0.0176	0.0882	0.0141
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
3.6571	28.3546	1.6004	0.0872	0.2556	0.0122	0.0511	0.0152
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
4.1598	27.1291	1.1946	0.0745	0.1501	0.0175	0.0300	0.0339
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
3.0973	27.6306	1.7947	0.0774	0.1903	0.0315	0.0381	0.0375
3.9430	28.5446	1.9377	0.0324	0.1619	0.0322	0.0324	0.0215
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
2.9557	26.2485	0.8575	0.0508	0.2605	0.0419	0.0521	0.0340
3.3177	25.9421	1.4893	0.0478	0.0635	0.0197	0.0127	0.0407
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
2.5391	28.2088	1.7897	0.0270	0.4642	0.0178	0.0928	0.0157
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
3.0646	27.0629	0.6657	0.0305	0.1397	0.0296	0.0279	0.0306
2.9725	25.8002	0.9749	0.0701	0.0819	0.0133	0.0164	0.0216
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
4.3434	25.5561	1.6438	0.0591	0.3524	0.0142	0.0705	0.0263
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
3.9397	26.6395	0.6189	0.0388	0.1699	0.0122	0.0340	0.0383
5.8979	26.9238	1.6085	0.0385	0.3446	0.0173	0.0689	0.0183
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
3.1590	25.8034	0.7212	0.0231	0.0695	0.0384	0.0139	0.0356
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
4.1310	25.6838	1.5115	0.0466	0.1926	0.0186	0.0385	0.0247
3.5156	29.7324	1.3084	0.0266	0.1322	0.0411	0.0264	0.0210
3.5378	28.3486	0.6700	0.0228	0.4821	0.0157	0.0964	0.0482
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
3.2792	26.4396	1.6347	0.0602	0.2456	0.0390	0.0491	0.0262
5.8304	27.2197	0.7141	0.0808	0.4278	0.0354	0.0856	0.0435
3.8832	29.4055	0.6095	0.0254	0.4699	0.0274	0.0940	0.0324
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
4.6431	28.7104	0.7358	0.0448	0.1683	0.0471	0.0337	0.0257

3.8731	25.7129	1.4795	0.0389	0.4358	0.0382	0.0872	0.0258
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
3.2620	25.3578	1.0566	0.0735	0.1780	0.0438	0.0356	0.0193
3.2083	25.7600	0.9748	0.0941	0.4092	0.0209	0.0818	0.0190
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
4.2451	26.8000	0.7333	0.0321	0.3037	0.0351	0.0607	0.0102
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
4.4632	25.5116	1.4325	0.0574	0.2319	0.0477	0.0464	0.0240
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
2.6133	29.3626	1.6490	0.0689	0.2505	0.0349	0.0501	0.0113
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
3.7189	25.9223	1.3442	0.0493	0.0796	0.0183	0.0159	0.0114
3.2849	29.9474	1.4625	0.0620	0.4944	0.0392	0.0989	0.0357
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
4.0521	29.3657	0.7304	0.0332	0.1315	0.0126	0.0263	0.0332
4.4801	29.5703	1.9877	0.0762	0.4611	0.0177	0.0922	0.0454
4.0174	29.0934	0.8345	0.0360	0.2725	0.0110	0.0545	0.0308
4.3269	26.3575	1.2318	0.0489	0.3500	0.0276	0.0700	0.0482
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8175	27.0687	1.6188	0.0610	0.2134	0.0127	0.0427	0.0179
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
4.0139	29.6086	1.4612	0.0775	0.3373	0.0346	0.0675	0.0317
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
5.6985	25.8577	1.7098	0.0640	0.3003	0.0352	0.0601	0.0431
4.0889	27.0661	0.5454	0.0350	0.4138	0.0350	0.0828	0.0104
3.4456	26.2507	0.7735	0.0261	0.2100	0.0177	0.0420	0.0497
5.3642	26.7694	0.7500	0.0812	0.4110	0.0295	0.0822	0.0363
5.8498	29.9880	1.4151	0.0387	0.2470	0.0402	0.0494	0.0437
3.4150	25.9773	1.1956	0.0261	0.1173	0.0187	0.0235	0.0376
2.7806	25.3989	1.6844	0.0577	0.1069	0.0272	0.0214	0.0376
2.5684	27.8996	1.1739	0.0215	0.1481	0.0168	0.0296	0.0493

The Result of GA Computation.....

Coeffisien Buoyancy -> 0.336

Nilai Diameter silinder = "5.849803e+000"

Nilai Panjang silinder = "2.998800e+001"

Nilai Jarak antar Frame = "1.415135e+000"

Nilai Tebal Plat = "3.874094e-002"

Nilai Panjang Frame Vertikal = "2.47036e-001"

Nilai Tebal Frame Vertikal = "4.019071e-002"

Nilai Panjang Frame Horizontal = "4.94101e-002"

Nilai Tebal Frame Horizontal = "4.367311e-002"

LAMPIRAN C

**OUTPUT OPTIMASI MATERIAL
HY80 PADA KEDALAMAN 300**

Kedalaman 300 material HY80

Status : Searching the Best Kromosom
 Status : Searching the Best Kromosom
 The Last Generation = "100"
 End
 Number of Generation is"100"

OUTPUT THE RESULT OF GENETIC ALGORITHM COMPUTATION

Diameter Silinder (meter)	Panjang Silinder (meter)	Jarak Frame (meter)	Tebal Plat (meter)	Panjang F. Vert. (meter)	Tebal F. Vert. (meter)	Panjang F. Horz. (meter)	Tebal F. Horz. (meter)
---------------------------------	--------------------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------------	------------------------------	--------------------------------	------------------------------

Data Record....

KromosomGenerasiTerbaik =

4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
2.6194	29.9939	1.1794	0.0589	0.1056	0.0273	0.0211	0.0423
5.1014	28.2494	0.8531	0.0788	0.3076	0.0347	0.0615	0.0350
5.0568	27.1466	1.1268	0.0983	0.3267	0.0198	0.0653	0.0180
3.1363	29.9203	0.5543	0.0522	0.3035	0.0363	0.0607	0.0144
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.4181	27.3085	0.6748	0.0457	0.0972	0.0285	0.0194	0.0351
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.1414	25.5696	1.5122	0.0859	0.3861	0.0379	0.0772	0.0313
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
3.8115	26.3597	0.5881	0.0853	0.0995	0.0194	0.0199	0.0442
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
3.3712	28.4141	1.9189	0.0601	0.3162	0.0256	0.0632	0.0278
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
5.2869	27.3068	0.5317	0.0530	0.0693	0.0388	0.0139	0.0389
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
3.1990	25.3973	0.6542	0.0675	0.2875	0.0325	0.0575	0.0135
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
3.1869	26.4265	0.8285	0.0573	0.0524	0.0500	0.0105	0.0146
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.4485	28.4622	1.0816	0.0716	0.2712	0.0288	0.0542	0.0268
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
3.2836	25.5248	0.5193	0.0291	0.4926	0.0280	0.0985	0.0453
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.3454	29.4865	0.4499	0.0728	0.4652	0.0168	0.0930	0.0491
4.0533	28.6441	0.9319	0.0360	0.1649	0.0368	0.0330	0.0322
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.9283	25.0755	1.3664	0.0525	0.0780	0.0468	0.0156	0.0332
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
5.9753	29.5914	1.3001	0.0852	0.1186	0.0177	0.0237	0.0290
4.3712	28.5536	0.5222	0.0559	0.4953	0.0263	0.0991	0.0457
3.4359	26.2114	0.9367	0.0463	0.3286	0.0327	0.0657	0.0103
5.5704	29.9636	1.5946	0.0903	0.2154	0.0391	0.0431	0.0426
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
2.6590	26.4123	1.2265	0.0959	0.4866	0.0258	0.0973	0.0126
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
5.4292	26.0389	1.5930	0.0727	0.1960	0.0233	0.0392	0.0269
2.8798	25.0461	1.8572	0.0583	0.4103	0.0438	0.0821	0.0235
2.7112	28.7384	0.4726	0.0850	0.3941	0.0372	0.0788	0.0324
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
3.3744	29.8153	1.1921	0.0908	0.2861	0.0210	0.0572	0.0283
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360

4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.1702	29.0776	0.9188	0.0527	0.0890	0.0402	0.0178	0.0166
3.8270	25.6632	1.9783	0.0360	0.4581	0.0123	0.0916	0.0143
4.0588	29.3837	1.7024	0.0780	0.4343	0.0259	0.0869	0.0212
2.5587	26.9584	1.5416	0.0291	0.2337	0.0483	0.0467	0.0342
3.8847	26.3258	1.0404	0.0503	0.3400	0.0254	0.0680	0.0363
3.0781	26.3953	1.6496	0.0831	0.1452	0.0375	0.0290	0.0290
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
3.0000	27.6815	1.4494	0.0791	0.2525	0.0323	0.0505	0.0418
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
3.2761	26.0943	0.9355	0.0684	0.4202	0.0106	0.0840	0.0207
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
5.9814	28.7397	0.5244	0.0730	0.1693	0.0120	0.0339	0.0310
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
2.7935	27.2540	0.9042	0.0450	0.3285	0.0377	0.0657	0.0368
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
3.8834	26.7442	1.9263	0.0520	0.2928	0.0182	0.0586	0.0315
5.3798	29.1208	1.8405	0.0710	0.1561	0.0403	0.0312	0.0496
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
3.0084	28.6890	0.7930	0.0738	0.0550	0.0464	0.0110	0.0167
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
5.2488	25.2371	1.7692	0.0607	0.3241	0.0148	0.0648	0.0172
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
5.9933	29.4444	1.9056	0.0571	0.2855	0.0396	0.0571	0.0448
3.5538	25.6983	1.7890	0.0695	0.4461	0.0385	0.0892	0.0309
2.9308	27.6682	1.5162	0.0446	0.0962	0.0346	0.0192	0.0320
5.2820	25.6170	1.7275	0.0692	0.4582	0.0381	0.0916	0.0418
2.6570	28.6697	1.3931	0.0396	0.2576	0.0174	0.0515	0.0227
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360
3.6126	27.0014	1.4788	0.0792	0.1167	0.0449	0.0233	0.0160
4.6052	27.0991	1.4583	0.0426	0.1858	0.0128	0.0372	0.0360

The Result of GA Computation.....

Coeffisien Buoyancy -> 0.41983

Nilai Diameter silinder = "4.605246e+000"

Nilai Panjang silinder = "2.709906e+001"

Nilai Jarak antar Frame = "1.458325e+000"

Nilai Tebal Plat = "4.260260e-002"

Nilai Panjang Frame Vertikal = "1.858407e-001"

Nilai Tebal Frame Vertikal = "1.277767e-002"

Nilai Panjang Frame Horizontal = "3.716814e-002"

Nilai Tebal Frame Horizontal = "3.600235e-002"

LAMPIRAN D

**OUTPUT OPTIMASI MATERIAL
HY100 PADA KEDALAMAN 100**

Kedalaman 100 material HY100

Status : Searching the Best Kromosom
 Status : Searching the Best Kromosom
 The Last Generation = "100"
 End
 Number of Generation is"100"

 OUTPUT THE RESULT OF GENETIC ALGORITHM COMPUTATION

Diameter Silinder (meter)	Panjang Silinder (meter)	Jarak Frame (meter)	Tebal Plat (meter)	Panjang F. Vert. (meter)	Tebal F. Vert. (meter)	Panjang F. Horz. (meter)	Tebal F. Horz. (meter)
---------------------------------	--------------------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------------	------------------------------	--------------------------------	------------------------------

Data Record....

KromosomGenerasiTerbaik =

4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
2.5835	27.9773	1.4025	0.0898	0.2143	0.0364	0.0429	0.0236
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.1663	29.6650	0.6209	0.0272	0.0794	0.0148	0.0159	0.0423
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
3.1878	29.2053	1.7075	0.0645	0.4608	0.0350	0.0922	0.0100
2.9151	27.9633	1.8633	0.0259	0.3521	0.0213	0.0704	0.0159
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
5.3302	29.0437	1.2978	0.0988	0.1915	0.0300	0.0383	0.0392
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
3.0780	25.6451	1.2618	0.0816	0.2075	0.0261	0.0415	0.0175
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.3597	27.0200	1.7726	0.0768	0.2123	0.0488	0.0425	0.0413
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
3.1442	25.0916	1.0565	0.0564	0.3465	0.0271	0.0693	0.0110
2.7258	28.4911	1.1801	0.0352	0.2133	0.0182	0.0427	0.0288
2.6144	28.5216	1.6904	0.0910	0.2978	0.0123	0.0596	0.0469
3.4229	28.6662	1.5799	0.0809	0.3624	0.0290	0.0725	0.0209
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
5.2279	27.5490	1.3124	0.0553	0.0653	0.0159	0.0131	0.0481
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
2.5718	25.9907	0.5144	0.0162	0.4294	0.0155	0.0859	0.0250
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
5.6381	26.5023	0.6035	0.0760	0.2809	0.0333	0.0562	0.0423
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.6738	27.4930	1.2667	0.0958	0.4198	0.0473	0.0840	0.0479
4.3236	28.6603	0.8954	0.0655	0.3538	0.0320	0.0708	0.0188
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
3.7407	29.0904	1.6449	0.0414	0.4253	0.0398	0.0851	0.0377
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
5.0808	27.6948	1.9083	0.0799	0.0741	0.0397	0.0148	0.0493
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168



3.9174	25.8812	1.8166	0.0641	0.4913	0.0310	0.0983	0.0403
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
5.7258	28.3974	1.3175	0.0595	0.4071	0.0236	0.0814	0.0295
3.7806	26.7248	1.2432	0.0579	0.3867	0.0443	0.0773	0.0240
5.2623	25.6217	1.0569	0.0991	0.0624	0.0422	0.0125	0.0412
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.9931	28.2110	1.7003	0.0887	0.2617	0.0279	0.0523	0.0379
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
3.6797	28.3476	1.1518	0.0378	0.4376	0.0314	0.0875	0.0457
5.5696	28.3747	1.6234	0.0578	0.1535	0.0385	0.0307	0.0495
4.0876	27.3112	1.4321	0.0433	0.4289	0.0132	0.0858	0.0326
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
5.8222	26.9167	1.6610	0.0307	0.2314	0.0305	0.0463	0.0302
5.7388	29.9759	1.1087	0.0674	0.2641	0.0305	0.0528	0.0340
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
3.3535	26.3900	1.9089	0.0757	0.1903	0.0144	0.0381	0.0148
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
5.8569	28.0433	1.8888	0.0504	0.2264	0.0141	0.0453	0.0350
4.1494	29.7259	1.0858	0.0319	0.1308	0.0432	0.0262	0.0123
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
3.4673	28.0791	1.1527	0.0585	0.0685	0.0144	0.0137	0.0451
3.7761	26.2384	0.5270	0.0435	0.1640	0.0165	0.0328	0.0450
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
2.7063	29.7692	0.5469	0.0768	0.1753	0.0169	0.0351	0.0475
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
2.7639	27.9674	1.9329	0.0205	0.3852	0.0245	0.0770	0.0492
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168
2.6538	29.2208	0.9156	0.0252	0.1156	0.0454	0.0231	0.0176
5.5230	28.2652	0.8787	0.0826	0.0985	0.0159	0.0197	0.0146
5.2685	27.7724	1.8107	0.0485	0.4231	0.0102	0.0846	0.0482
4.5076	29.6891	0.9359	0.0218	0.1239	0.0141	0.0248	0.0168

The Result of GA Computation.....

Coeffisien Buoyancy -> 0.223

Nilai Diameter silinder = "4.507573e+000"

Nilai Panjang silinder = "2.968908e+001"

Nilai Jarak antar Frame = "9.359350e-001"

Nilai Tebal Plat = "2.179164e-002"

Nilai Panjang Frame Vertikal = "1.238969e-001"

Nilai Tebal Frame Vertikal = "1.408471e-002"

Nilai Panjang Frame Horizontal = "2.477938e-002"

Nilai Tebal Frame Horizontal = "1.683708e-002"

LAMPIRAN E

**OUTPUT OPTIMASI MATERIAL
HY100 PADA KEDALAMAN 200**

Kedalaman 200 material HY100

Status : Searching the Best Kromosom
 Status : Searching the Best Kromosom
 The Last Generation = "100"
 End
 Number of Generation is "100"

 OUTPUT THE RESULT OF GENETIC ALGORITHM COMPUTATION

Diameter Silinder (meter)	Panjang Silinder (meter)	Jarak Frame (meter)	Tebal Plat (meter)	Panjang F. Vert. (meter)	Tebal F. Vert. (meter)	Panjang F. Horz. (meter)	Tebal F. Horz. (meter)
---------------------------------	--------------------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------------	------------------------------	--------------------------------	------------------------------

Data Record....

KromosomGenerasiTerbaik =

3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
4.6304	29.0938	0.7622	0.0473	0.0575	0.0160	0.0115	0.0461
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.7767	25.0174	1.7880	0.0854	0.4873	0.0381	0.0975	0.0381
3.4431	27.3597	1.3572	0.0597	0.1076	0.0435	0.0215	0.0431
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.8025	29.6702	1.6463	0.0858	0.3544	0.0178	0.0709	0.0213
3.0051	26.5942	1.5782	0.0458	0.3558	0.0460	0.0712	0.0139
5.2544	25.2488	1.8904	0.0949	0.0758	0.0307	0.0152	0.0175
3.0240	28.4115	0.8033	0.0260	0.2644	0.0217	0.0529	0.0229
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
5.0271	27.5912	1.9049	0.0728	0.1317	0.0480	0.0263	0.0341
5.1778	29.4936	0.9187	0.0681	0.2584	0.0479	0.0517	0.0485
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
5.8241	25.3623	0.5750	0.0554	0.2472	0.0238	0.0494	0.0132
3.0468	27.1259	1.0374	0.0978	0.1371	0.0277	0.0274	0.0367
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9684	29.7607	0.9217	0.0438	0.4217	0.0133	0.0843	0.0204
4.3353	27.2615	1.2086	0.0426	0.3400	0.0390	0.0680	0.0452
5.2860	25.7544	0.5321	0.0601	0.3863	0.0115	0.0773	0.0144
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
2.9247	27.0225	1.0911	0.0203	0.4096	0.0390	0.0819	0.0170
3.4844	29.4772	0.9179	0.0810	0.3759	0.0454	0.0752	0.0139
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.5502	29.9703	1.4762	0.0850	0.3873	0.0479	0.0775	0.0240
5.6952	28.5212	1.5103	0.0404	0.3289	0.0445	0.0658	0.0274
5.6445	28.1921	1.1870	0.0375	0.1845	0.0437	0.0369	0.0117
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444

3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.0512	0.0290	0.0102	0.0444
4.0669	29.5296	1.8701	0.0511	0.3357	0.0294	0.0671	0.0317
3.0142	25.8881	1.4588	0.0948	0.3553	0.0216	0.0711	0.0394
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
2.6674	29.4420	1.0586	0.0442	0.1545	0.0164	0.0309	0.0238
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.7585	27.2810	0.8263	0.0557	0.2169	0.0249	0.0434	0.0390
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
5.5202	25.9660	1.2936	0.0846	0.0671	0.0490	0.0134	0.0436
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.3082	28.8433	1.0450	0.0320	0.2853	0.0122	0.0571	0.0114
3.4478	28.4640	1.4728	0.0667	0.0520	0.0368	0.0104	0.0376
4.6787	27.5581	1.1670	0.0376	0.0673	0.0217	0.0135	0.0255
4.5862	29.3167	0.6152	0.0637	0.3889	0.0400	0.0778	0.0481
2.7045	25.0377	0.6111	0.0673	0.3560	0.0122	0.0712	0.0494
5.9325	28.4165	0.5901	0.0586	0.1301	0.0450	0.0260	0.0466
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
5.9622	28.9910	0.5991	0.0917	0.1782	0.0237	0.0356	0.0310
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
4.4230	27.5363	1.6480	0.0505	0.1292	0.0264	0.0258	0.0488
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
2.8664	27.3680	0.9449	0.0311	0.3257	0.0421	0.0651	0.0225
3.4382	25.1589	1.5642	0.0314	0.0715	0.0115	0.0143	0.0300
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
5.9228	28.0672	0.6260	0.0619	0.4364	0.0274	0.0873	0.0359
3.7263	25.8467	1.1384	0.0912	0.1690	0.0122	0.0338	0.0321
5.1558	28.0219	0.9902	0.0393	0.0509	0.0295	0.0102	0.0419
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
5.6477	28.8494	1.9062	0.0868	0.4029	0.0365	0.0806	0.0367
4.3968	25.9739	0.5955	0.0693	0.3691	0.0426	0.0738	0.0405
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444
3.9057	29.7590	1.4382	0.0268	0.1450	0.0102	0.0290	0.0444

The Result of GA Computation.....

Coeffisien Buoyancy -> 0.2990

Nilai Diameter silinder = "3.905673e+000"

Nilai Panjang silinder = "2.975902e+001"

Nilai Jarak antar Frame = "1.438209e+000"

Nilai Tebal Plat = "2.681542e-002"

Nilai Panjang Frame Vertikal = "1.450191e-001"

Nilai Tebal Frame Vertikal = "1.01957e-002"

Nilai Panjang Frame Horizontal = "2.904209e-002"

Nilai Tebal Frame Horizontal = "4.442030e-002"

LAMPIRAN F

**OUTPUT OPTIMASI MATERIAL
HY100 PADA KEDALAMAN 300**

Kedalaman 300 material HY100

Status : Searching the Best Kromosom
 Status : Searching the Best Kromosom
 The Last Generation = "100"
 End
 Number of Generation is "100"

OUTPUT THE RESULT OF GENETIC ALGORITHM COMPUTATION

Diameter Silinder (meter)	Panjang Silinder (meter)	Jarak Frame (meter)	Tebal Plat (meter)	Panjang F. Vert. (meter)	Tebal F. Vert. (meter)	Panjang F. Horz. (meter)	Tebal F. Horz. (meter)
---------------------------------	--------------------------------	---------------------------	--------------------------	--------------------------------	------------------------------	--------------------------------	------------------------------

Data Record....

KromosomGenerasiTerbaik =

4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.6818	25.6512	0.8192	0.0949	0.4606	0.0176	0.0921	0.0214
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
3.8050	26.0908	1.0721	0.0686	0.4332	0.0269	0.0866	0.0199
4.1379	25.7754	1.7390	0.0725	0.1243	0.0141	0.0249	0.0483
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.2116	28.3514	0.9919	0.0740	0.2578	0.0482	0.0516	0.0146
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
3.2925	27.2500	0.9680	0.0767	0.0911	0.0480	0.0182	0.0133
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
2.5391	27.3487	1.7389	0.0934	0.2117	0.0208	0.0423	0.0145
4.6667	25.2596	0.7814	0.0720	0.2252	0.0192	0.0450	0.0453
4.7985	26.5432	1.9080	0.0412	0.2393	0.0161	0.0479	0.0218
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
3.9757	26.1061	1.2878	0.0615	0.3577	0.0235	0.0715	0.0351
2.9254	29.3231	0.8776	0.0402	0.2988	0.0292	0.0598	0.0290
3.7350	27.9844	1.4155	0.0292	0.1644	0.0343	0.0329	0.0280
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
5.6803	29.5847	0.4856	0.0620	0.1597	0.0460	0.0319	0.0134
5.8861	28.3393	1.6789	0.0700	0.4320	0.0374	0.0864	0.0345
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
3.1245	27.7587	1.5918	0.0367	0.2871	0.0436	0.0574	0.0223
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
5.7149	28.9016	0.4536	0.0533	0.4235	0.0289	0.0847	0.0213
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.5628	26.2017	1.3342	0.0380	0.2947	0.0241	0.0589	0.0244
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
2.9976	26.5838	0.7774	0.0292	0.2384	0.0304	0.0477	0.0146
2.7986	26.7197	1.1915	0.0873	0.1319	0.0216	0.0264	0.0485
4.8288	27.9835	1.7729	0.0630	0.4857	0.0264	0.0971	0.0237
2.8456	26.6048	1.0431	0.1000	0.3123	0.0207	0.0625	0.0333
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.7280	25.0605	0.7703	0.0798	0.1049	0.0178	0.0210	0.0332
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.9716	27.7719	1.9420	0.0577	0.2889	0.0383	0.0578	0.0202
2.9586	26.3688	1.4100	0.0965	0.2304	0.0349	0.0461	0.0180
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
3.5162	25.5086	0.5115	0.0809	0.3186	0.0311	0.0637	0.0410
3.1339	28.5503	1.7814	0.0480	0.0994	0.0286	0.0199	0.0437
5.0187	26.8160	0.5017	0.0823	0.3024	0.0411	0.0605	0.0245
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
5.7872	26.3551	1.0082	0.0945	0.3517	0.0114	0.0703	0.0256
4.9170	27.7081	1.6740	0.0602	0.4988	0.0484	0.0998	0.0172
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231

4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
5.1043	26.0371	1.6803	0.0882	0.0754	0.0431	0.0151	0.0227
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
5.1673	27.8570	0.9088	0.0966	0.1280	0.0439	0.0256	0.0307
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
3.9570	26.0677	1.2311	0.0716	0.3764	0.0111	0.0753	0.0126
5.3149	25.1288	0.6824	0.0730	0.3180	0.0322	0.0636	0.0201
4.0863	28.7715	1.8157	0.0879	0.3859	0.0487	0.0772	0.0155
2.7797	29.5642	0.8661	0.0638	0.3301	0.0291	0.0660	0.0472
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
2.7390	28.0526	1.5909	0.0246	0.3241	0.0330	0.0648	0.0489
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
3.3485	27.4150	0.6278	0.0410	0.2322	0.0245	0.0464	0.0313
3.3437	28.9468	0.9357	0.0300	0.1170	0.0479	0.0234	0.0280
3.0998	26.0610	1.6122	0.0709	0.1181	0.0123	0.0236	0.0350
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
5.9382	27.1923	0.4350	0.0977	0.2960	0.0124	0.0592	0.0200
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
3.0627	29.9519	0.5382	0.0397	0.4228	0.0419	0.0846	0.0347
4.2489	26.5827	1.7067	0.0587	0.4024	0.0330	0.0805	0.0143
3.6110	29.4549	1.1966	0.0908	0.4486	0.0120	0.0897	0.0402
3.9843	26.9105	1.9661	0.0331	0.4719	0.0439	0.0944	0.0422
4.5521	25.8141	0.8239	0.0887	0.3358	0.0169	0.0672	0.0302
3.0998	26.2266	1.5800	0.0627	0.2390	0.0104	0.0478	0.0485
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
5.0886	25.4980	1.6340	0.0606	0.0884	0.0426	0.0177	0.0426
5.9790	25.0300	0.9723	0.0609	0.3840	0.0487	0.0768	0.0404
5.8163	27.3149	0.5602	0.0840	0.4467	0.0498	0.0893	0.0308
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
4.1073	27.5262	0.7493	0.0331	0.1478	0.0209	0.0296	0.0231
3.9265	27.2733	0.6030	0.0891	0.2112	0.0416	0.0422	0.0460

The Result of GA Computation.....

Coeffisien Buoyancy -> 0.38303

Nilai Diameter silinder = "4.107286e+000"

Nilai Panjang silinder = "2.752624e+001"

Nilai Jarak antar Frame = "7.492633e-001"

Nilai Tebal Plat = "3.313544e-002"

Nilai Panjang Frame Vertikal = "1.477721e-001"

Nilai Tebal Frame Vertikal = "2.086973e-002"

Nilai Panjang Frame Horizontal = "2.955441e-002"

Nilai Tebal Frame Horizontal = "2.308769e-002"



I Gede Suarsana, lahir di kota Singaraja-Bali 18 juli 1985 merupakan anak 6 dari 7 bersaudara. Pendidikan Sekolah Dasar ditempuh di SD 3 Kampung Anyar, kemudian melanjutkan ke SLTP Negeri 1 Singaraja dan pada tahun 2000 menempuh pendidikan di SMU Negeri 1 Singaraja. Pada tahun 2003 penulis diterima melanjutkan pendidikan sarjana S-1 di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui Seleksi Penerimaan Mahasiswa Baru (SPMB) dan menyelesaikan pendidikan sarjana pada tahun 2007. Selama duduk di bangku kuliah penulis terdaftar sebagai anggota Himpunan Teknik Kelautan dan gemar mengikuti pelatihan-pelatihan keterampilan seperti Autopipe, GtStrudl, Building Self Confidence, Matlab dan keterampilan lainnya. Penulis juga pernah menjadi pengurus Tim Pembina Kerohanian Hindu (TPKH) ITS, menjadi Ketua Panitia KPP TPHK 2004 dan menjadi Ketua alumni SMU se Singaraja di Surabaya pada tahun 2005. Cita-cita penulis adalah menjadi ” *Profesional Structure and Pipeline Engineer* ” yang mampu menjadi motor dari perkembangan dan kemajuan *oil and gas* di Indonesia.