

Pendekatan Multiple-Objective Genetic Algorithm Optimization Dalam Konsep Desain Midget Untuk Aplikasi Militer Di Indonesia

Nopember 2007

**Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan
SENTA 2007 ITS Surabaya**

DR. Ir. Wisnu Wardhana, MSc. SE.

Jurusan Teknik Kelautan (JTK)
Fakultas Teknologi Kelautan (FTK)
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

KAJIAN NUMERIK DAN EKSPERIMEN RANCANGBANGUN MIDGET (BABY SUBMARINE) UNTUK APLIKASI MILITER DI INDONESIA

- Program Insentif Riset Dasar 2007
- Diusulkan penelitian selama 3(tiga) tahun 2007-2009
- Peneliti :
 - DR. Ir. Wisnu Wardhana, MSc. SE. (FTK ITS) / Peneliti Utama
 - DR. Ir. Agoes Priyanto, MSc. (LHI-BPPTeknologi) / Peneliti
 - Prof. DR. Ir. Paulus Indijono, MSc. (FTK ITS) / Peneliti
 - DR. Ir. Hesti Poerwanto, MSc. (PT. PAL Indonesia (Persero) / Peneliti
 - Kolonel Laut (Purn.) Oyok A. Efendi/Tenaga Ahli Bid. Operasional Kapal Selam
 - Kapten Laut Oman Surachman/Tenaga Ahli Bid.Tel/Nav/Persenjataan KRI Cakra
- Dibiayai Kementerian Riset dan Teknologi Jakarta
- Biaya:
 - a. Usulan Seluruh Biaya 3 tahun : Rp. 1,209,415,000.00,-
 - b. Biaya Tahun I : Rp. 254,790,000.00,-
 - c. Usulan Biaya Tahun II : Rp. 479,835,500.00,-
 - d. Usulan Biaya Tahun III : Rp. 474,790,000.00,-

DEFINISI & TUJUAN UMUM

- MIDGET/Baby Submarine
 - Kapal Selam kecil
 - Displacement sekitar 500 ton, panjang sekitar 30 meter, jumlah kru sekitar 15 orang.
 - Berfungsi sebagai semi-patrolling submarine untuk memberikan informasi kondisi riil dan aktual pada target di lapangan serta berfungsi sebagai attacking submarine memberikan pukulan awal untuk penyerangan
 - Dalam keadaan damai berfungsi sebagai penjaga kedaulatan NKRI
- Tujuan Kegiatan Riset selama 3 Tahun
 - Pengembangan MCD (Midget Conceptual Design)
 - Pengembangan MPDS (Midget Product Definition System)
 - Persiapan ke arah desain Kapal Selam Nasional Indonesia yang dirancang dan dibuat secara mandiri oleh putra-putri Indonesia
- Aspek Kajian
 - Aspek Strategis, Teknis, Ekonomis, Penerapan dan Pengembangan Teknologi, Desain, dan Materi Content

LATAR BELAKANG

- Kondisi NKRI yang berkepulauan dengan laut yang luas dan terbuka
- Rendahnya kemampuan sumberdaya Indonesia untuk pengadaan dan pengoperasian kapal laut ukuran besar untuk tujuan penjagaan dan pengawasan secara rutin serta perang laut
- Pentingnya teknologi Kapal Selam untuk penjagaan wilayah dengan detect probability rendah, dan kill probability yang tinggi
- Teknologi ini dapat dikembangkan untuk tujuan komersial seperti: kegiatan eksplorasi dan eksploitasi sumberdaya kelautan
- Industri maritim Indonesia sudah memasuki tahap transformasi industri dengan kandungan teknologi yang semakin tinggi dan bersiap memasuki tahap terakhir proses transformasi, yaitu riset dasar pengembangan teknologi baru
- Perlunya Indonesia dapat mandiri dalam Bidang Teknologi Pertahanan dan Keamanan laut dengan Tentara Nasional Indonesia, khususnya TNI-AL, sebagai inisiator sekaligus aktor pengembangan teknologi tinggi kelautan secara mandiri
- Masih terbatasnya negara-negara di wilayah Asia-pasifik yang menguasai teknologi Midget

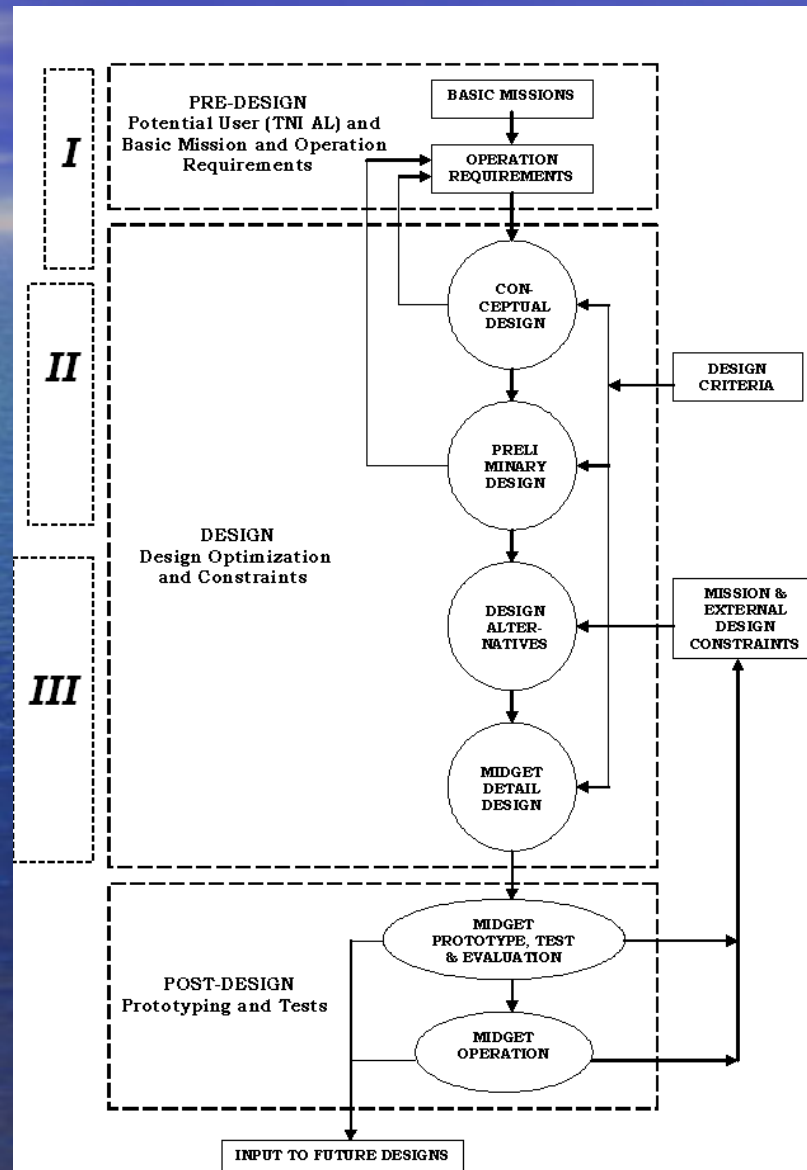
BEBERAPA PEMIKIRAN TENTANG PENGUNAAN ALAT PERANG PRODUK ASING??

- Kondisi geografis, sosiologis, environment dan politis serta permasalahan/kebutuhan NKRI akan Teknologi Pertahanan dan Keamanan bersifat spesifik dan unik sehingga perlu alat perang yang dirancang khusus sehingga memiliki tingkat efektivitas yang tinggi, dengan biaya dan resiko yang memadai, untuk memenuhi kebutuhan misi yang spesifik tersebut
- Alat perang produk asing tidak dirancang secara optimal untuk kebutuhan spesifik NKRI, dengan trade-off tingkat efektivitas, biaya atau resiko
- Mahal, confidential, maintenance rutin, kerahasiaan yang tidak terjamin
- Alat perang produk asing diperlukan karena kita belum mampu memproduksi alat perang yang tepat untuk kebutuhan spesifik NKRI
- Kalau tidak dimulai sekarang, sampai kapan kita akan terus membuang resource dalam bentuk trade-off efektivitas, biaya dan resiko tersebut???

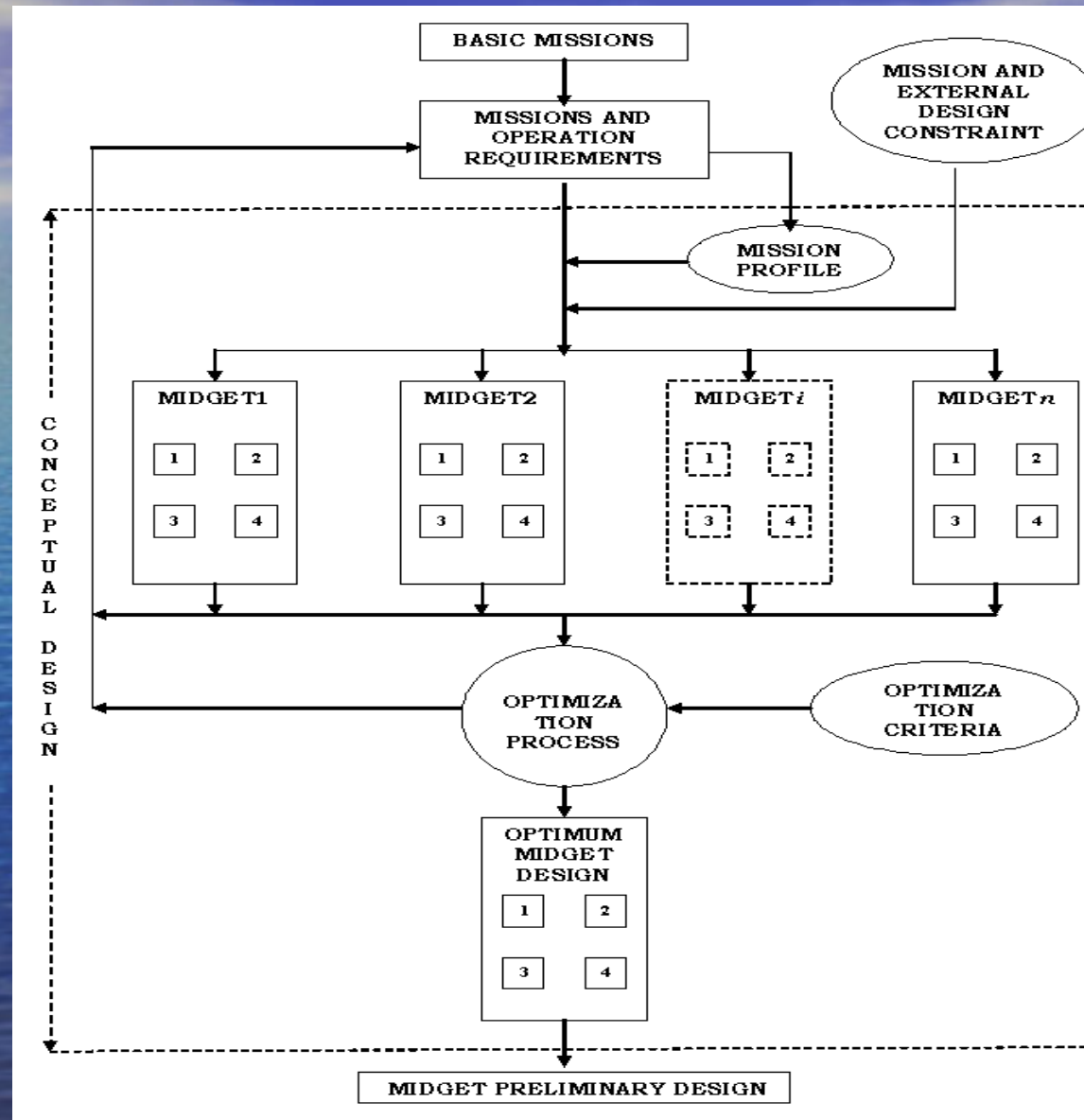
KENAPA MIDGET/Baby Submarine??

- Midget mampu mensubstitusi secara efisien dan efektif hampir semua fungsi kapal selam besar, seperti: menembakkan torpedo, canon, menebar ranjau, melepas regu komando untuk tugas raid, sabotage, penculikan dan salvage.
- Midget mampu melakukan pendeteksian intelejen, seperti: Electronic Intelligence (mendeteksi inframerah, radar dan getaran), Signal Intelligence (mendeteksi komunikasi radio lawan) dan Photo Intelligence (memotret kondisi fisik base lawan)
- Detect probability Midget yang rendah dan kill probability yang tinggi, memberikan cakupan wilayah perlindungan efektif yang luas sehingga biaya efektif untuk tujuan pengawasan menjadi rendah
- Kedalaman perairan Indonesia sekitar 40 meter, cukup luas untuk olah gerak (surfacing, diving dan manoeuvring) Midget. Sampai kedalaman design depth 100 meter, Midget tidak memerlukan material dengan tensile yang amat tinggi
- Negara tetangga (UTM Malaysia/Prof.Omar Yacoob) telah memulai penelitian teknologi kapal selam ini dengan intensif serta diwujudkan pembelian beberapa buah kapal selam kelas Scorpion oleh Malaysia dari Perancis

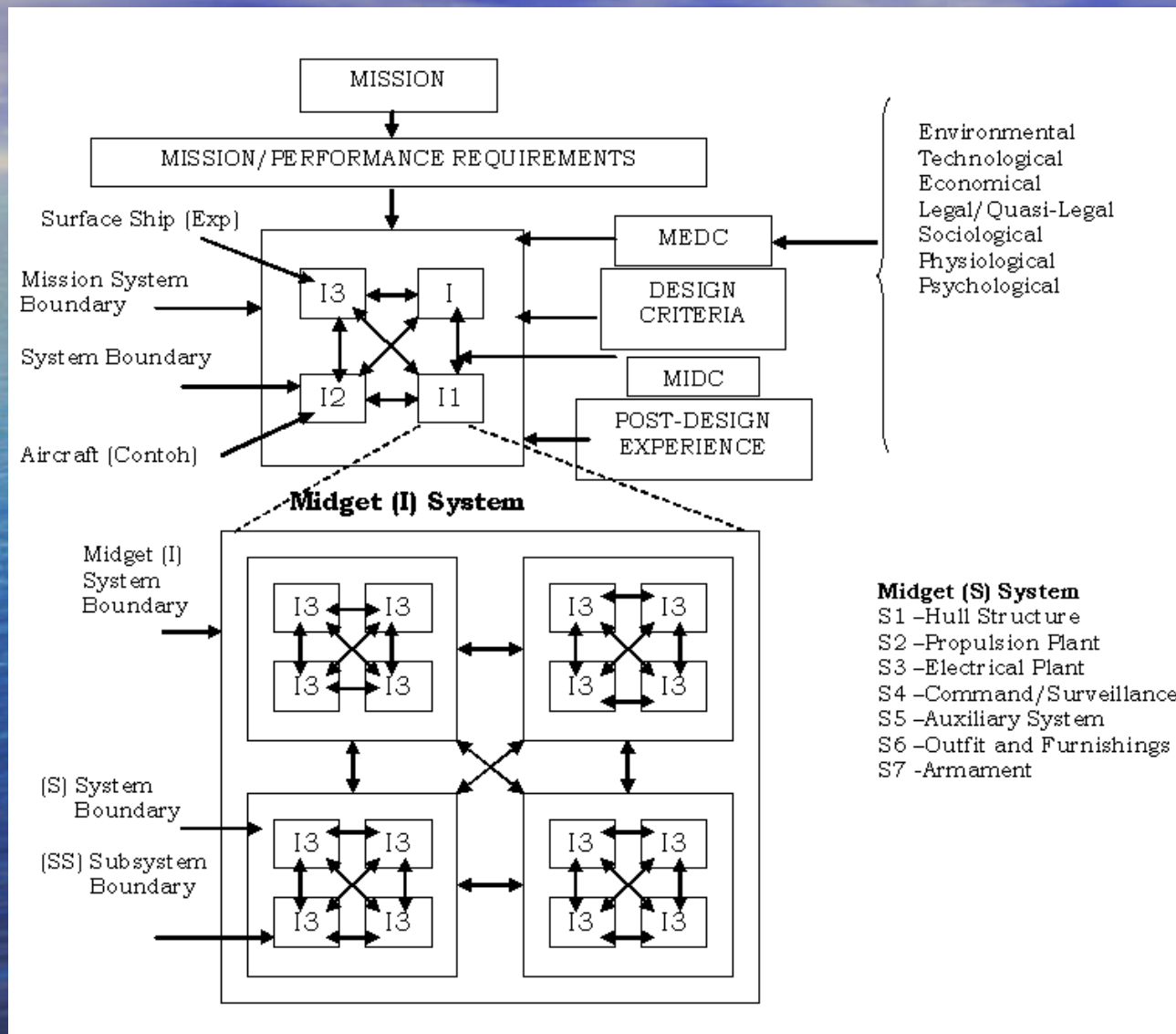
FLOW CHART TAHAPAN MIDGET DESIGN



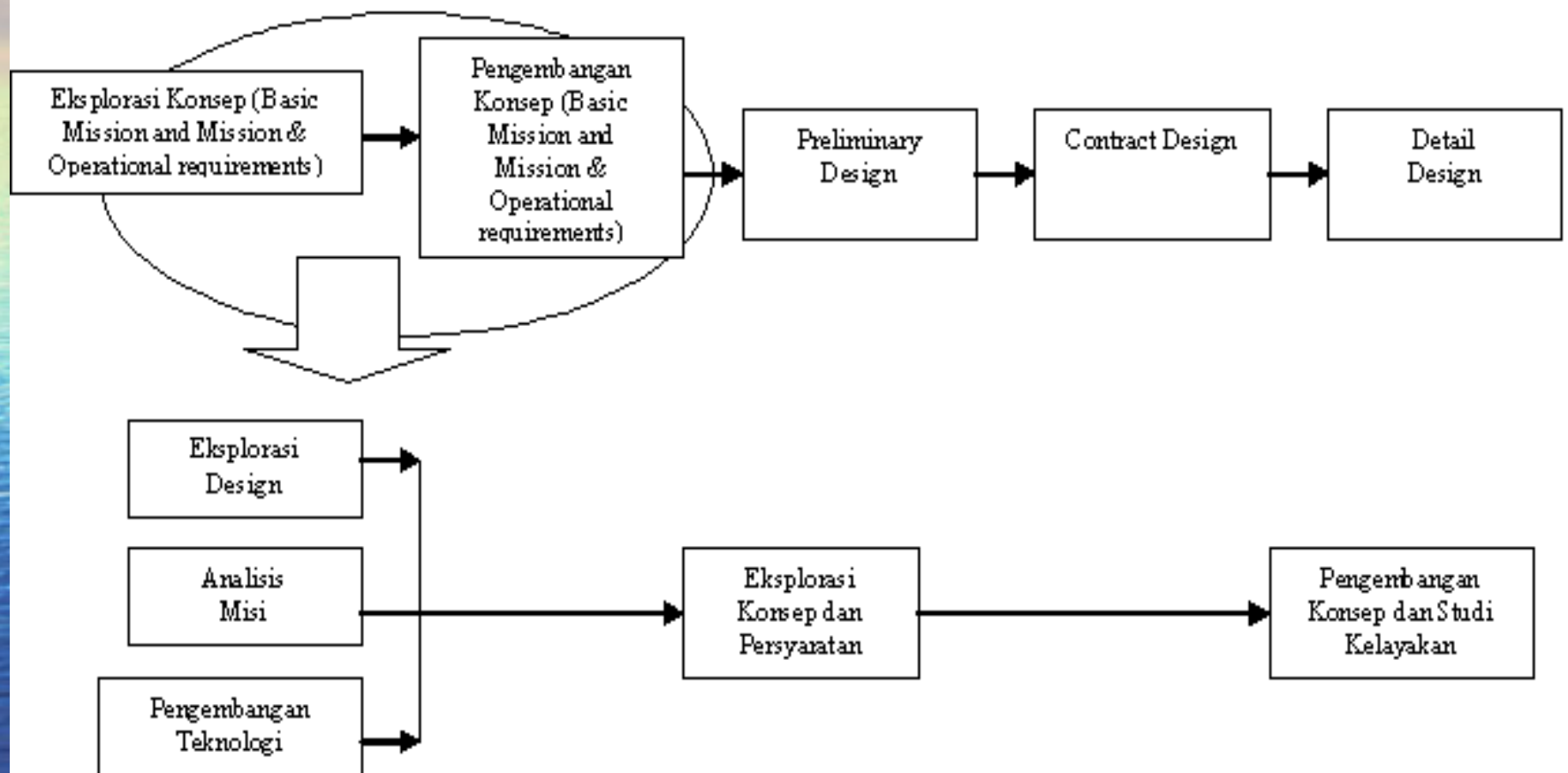
PRINSIP OPTIMISASI DESAIN



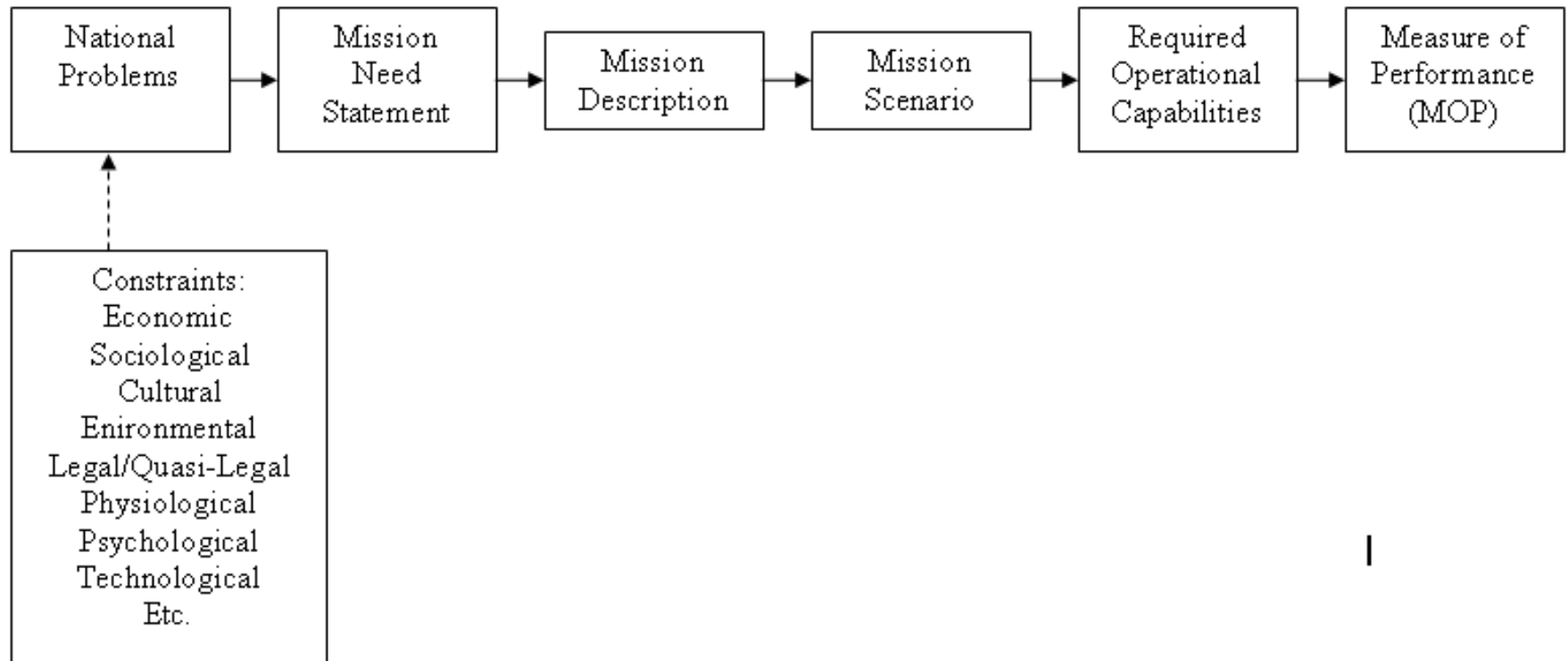
ASPEK-ASPEK DESAIN MIDGET



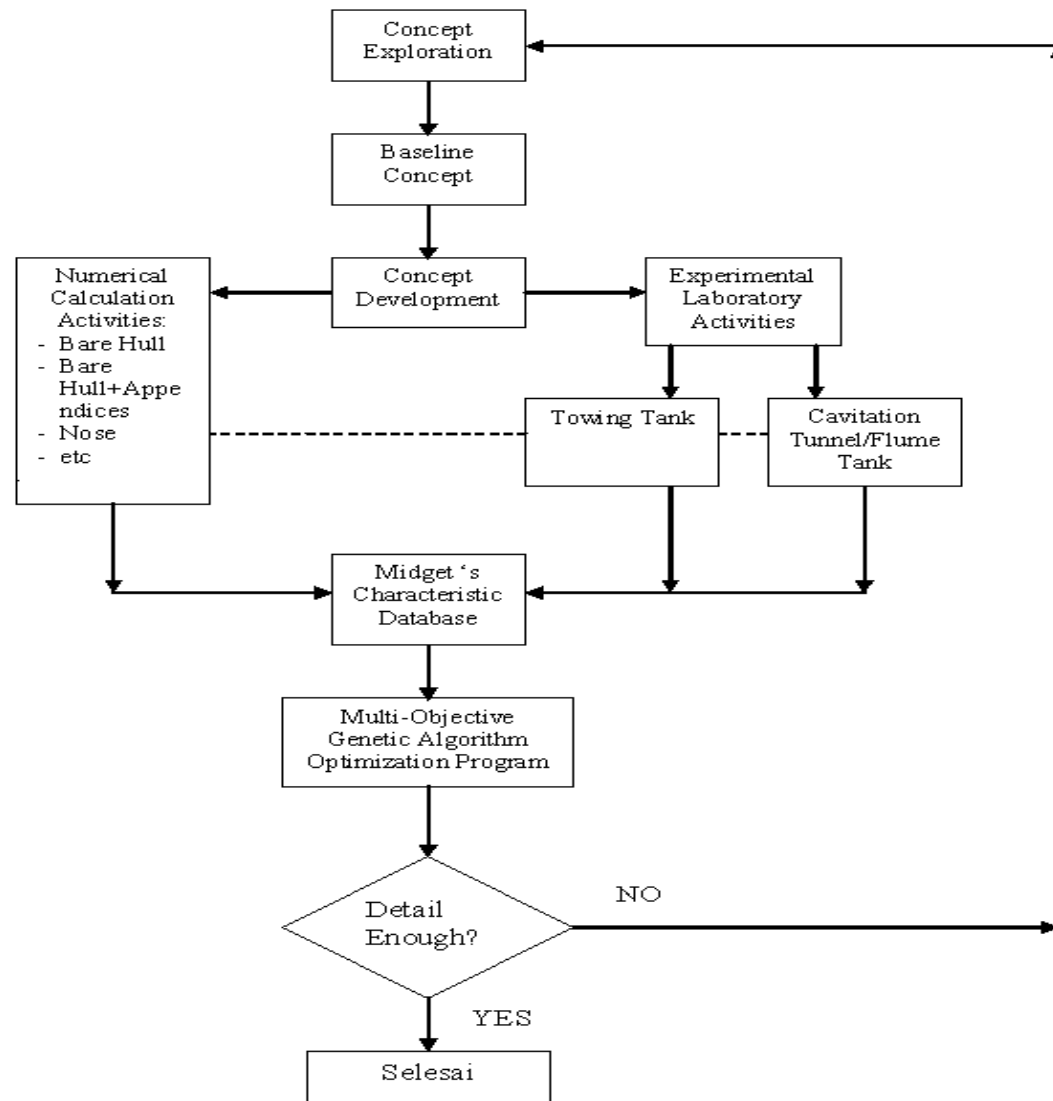
FLOW CHART DESAIN KONSEP



RATIONAL MIDGET DESIGN PROCESS



Metodologi Global Rancangbangun Kapal Selam



CONCEPT EXPLORATION

DISTRIBUSI FLORA NKRI

INDONESIA

FLORA



Hutan di Indonesia



hutan belantara

daerah hutan berladang



hutan bakau pantai

tanah perusahaan dan sabana

DISTRIBUSI PERTAMBANGAN NKRI

INDONESIA

PERTAMBANGAN



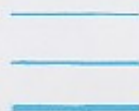
KETERANGAN GAMBAR

- | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------|---------|--------------|-----------|----------|---------------|----------------|---------|----------|------------|-----------|------------|
| Aluminium | ● Aspal | ▲ Nikel | ▽ Pasir Besi | ● Tembaga | ▲ Mangan | □ Timah Putih | ◆ Emas & Perak | ◆ Intan | ■ Marmer | ■ Batubara | ○ Bauksit | ▲ Gas Alam |
|-----------|---------|---------|--------------|-----------|----------|---------------|----------------|---------|----------|------------|-----------|------------|

JALUR PERHUBUNGAN LAUT NKRI

INDONESIA

PERHUBUNGAN LAUT



Jalur Perhubungan Laut PELNI



Pertimbangan Strategis Aspek Pertahanan dan Keamanan didalam Desain Midget Nasional NKRI

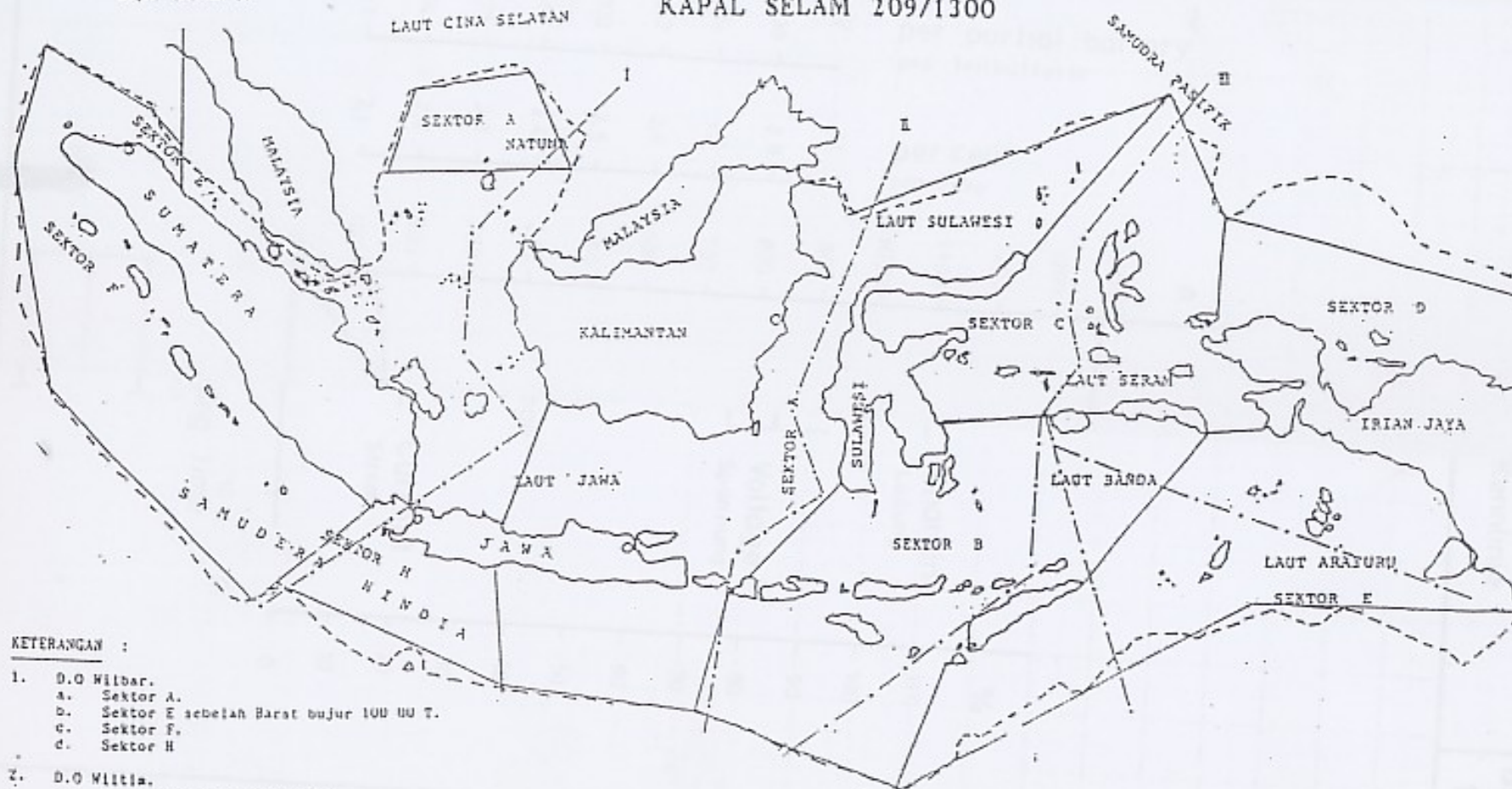
- Kekayaan alam laut, flora, fauna dan pertambangan tersebar di seluruh Indonesia
- Perlindungan jalur perhubungan laut dan udara sebagai sarana jembatan distribusi kesejahteraan di wilayah NKRI dan perekat wilayah NKRI
- Pintu laut yang terbuka dan rawan dari segi aspek pertahanan dan keamanan NKRI: Selat Malaka, Laut Cina Selatan, Selat Sulawesi, Laut Halmahera, Laut Banda, Samudra Hindia
- Pembagian wilayah Armada Barat dengan 4 sektor dan Armada Timur dengan 5 sektor untuk daerah operasi kapal selam menunjukkan kurangnya jumlah armada kapal selam. Jumlah kapal selam 2 buah: KRI Cakra dan KRI Nenggala (Tidak beroperasi)
- Luas wilayah per sektor yang harus dilindungi sekitar 500-1000 NM
- Kedalaman laut bervariasi mulai 40 meter dibagian barat dan >10000 meter di bagian timur
- Lemahnya kondisi finansial bangsa untuk memenuhi kebutuhan pertahanan dan keamanan
- Malaysia memesan 6 buah kapal selam kelas Scorpion yang lebih canggih dari Perancis serta melakukan riset intensif tentang kapal selam (Prof. Jacob/UTM)
- Singapura punya 3 buah kapal selam
- Australia punya kapal selam kelas Collins yang akan dipermoderen Tahun 2026

DAERAH OPERASI KAPAL SELAM NKRI

MARKAS BESAR
TENTARA NASIONAL INDONESIA ANGKATAN LAUT

Bujur 100 00 T.

DAERAH OPERASI
KAPAL SELAM 209/1300



KETERANGAN :

1. D.O. Wilbar.
a. Sektor A.
b. Sektor E sebelah Barat bujur 100 00 T.
c. Sektor F.
d. Sektor H.
2. D.O. Wilita.
a. Sektor A kecuali Laut Jawa.
b. Sektor B.
c. Sektor C.
d. Sektor D.
e. Sektor E.
3. U : Obyek vital Nasional.
4. --- : Zona Eksklusif Ekonomi.

MISI

- Misi *attacking/small patrolling*
- Melepas dan memuat kembali pasukan komando
- Intelligence, Reconnaissance dan Surveillance
- Mine Counter Measures
- Mempunyai kemampuan defensif/menghindar terhadap ancaman dengan kecepatan tinggi
- Search dan Salvage
- Midget dirancang untuk dapat dilepas dari kapal tender, seperti KRI Surabaya, KRI Dr. Suharso, KRI Tanjung Kambani atau KRI Makasar. Kapal dirancang seanehng mungkin, ukuran relatif kecil dengan kemampuan manuverabiliti yang baik serta berkecepatan tinggi. Kapal ini juga dirancang untuk mampu melakukan penetrasi ke pelabuhan musuh untuk memperoleh ISR secara detail serta melakukan MCM.
- Kapal selam ini juga dirancang memiliki minimum endurance range 500 NM pada 10 knots, minimum sustained (sprint) speed 15 knot, minimum sprint range 25 NM, maximum operating depth 250 ft, serta service life 25 tahun. Alternatif mesin kapal ini dirancang menggunakan Diesel + Battery atau Air Independent System. Biaya produksi diproyeksikan tidak lebih dari \$750.000.000 (Rp.7.500.000.000.000,-) yang mengacu pada perkiraan harga kapal selam Kilo Rusia. Jumlah awak kapal dirancang tidak lebih dari 15 orang termasuk jumlah pasukan khusus.

SKENARIO MISI

Hari	Skenario Misi
1-2	Meninggalkan Kapal Tender menuju daerah target
3-4	Tiba di daerah target dan persiapan pelepasan regu komando serta persiapan awak kapal untuk MCM dan ISR
4-9	Pelepasan pasukan komando. Selama operasi MCM dan ISR juga kordinasi informasi dengan kapal tender serta alat tempur lainnya. Melakukan fungsi pengawasan/pertahanan
10-12	Pasukan khusus kembali dan persiapan meninggalkan daerah target serta aktivitas SAR
13-15	Kembali ke kapal tender

RINCIAN CRITICAL REQUIRED OF CAPABILITIES

ROC	Keterangan
ASUW1	Terlibat dalam serangan udara (secara defensif)
ASUW2	Mendeteksi dan melacak ancaman permukaan air dengan sonar
ASUW3	Melepaskan diri dan menghindar dari serangan permukaan
ASW1	Terlibat dalam peperangan dengan kapal selam (secara defensif)
ASW10	Melepaskan diri dan menghindar dari peperangan kapal selam
SEW2	Melakukan sensor dan operasi ECM
SEW3	Melakukan sensor dan operasi ECCM
MIW1	Melakukan pencarian ranjau
MIW2	Melakukan sapu ranjau
MIW3	Melakukan magnetic silencing (degaussing)
MIW4	Melaksanakan penebaran ranjau
MIW5	Melakukan penghindaran ranjau
MIW6,7	Mempertahankan magnetic signature limits
LOG2	Transfer/menerima kargo/personil
CCC3	Menyediakan unit CCC sendiri
CCC4	Mempertahankan kemampuan informasi data link
INT1	Support/melaksanakan pengumpulan data intelijen

RINCIAN CRITICAL REQUIRED OF CAPABILITIES Lanjutan)

ROC	Keterangan
INT2	Menyediakan Intelligence
INT3	Melaksanakan Surveillance dan reconnaissance
MOB1	Desain dengan pemakaian bahan bakar yang efisien
MOB3	Menanggulangi dan mengontrol kerusakan
MOB7	Melaksanakan tugas-tugas pelayaran dan navigasi
MOB10	Mereparasi di laut
MOB12	Mempertahankan kesehatan dan kebugaran awak kapal
MOB14	Beroperasi dengan konfigurasi Piggy-Back
MOB16	Beroperasi pada lingkungan siang dan malam hari
MOB18	Beroperasi sesuai dengan hukum dan peraturan kontrol polusi internasional
NCO3	Mempertahankan semua alat dalam keadaan baik dan terpelihara
FSO5	Melaksanakan operasi pencarian dan pertolongan/rescue
FSO6	Melaksanakan operasi SAR
FSO7	Menyediakan pelayanan buangan bahan peledak yang baik
SPW1	Menyediakan ruang peluncuran pasukan komando
SPW2	Menyediakan modul dengan kondisi yang sehat
SPW3	Melepas, memuat dan men-support pasukan komando

ROC/MOP/DV

Kemampuan Operasional yang Dibutuhkan (Required Operational Capability)	MOP utama atau constraint	Threshold atau constrain	Goal	Variabel Desain Terkait
ASUW1 - Terlibat perang permukaan dengan menggunakan persenjataan anti-permukaan	MOP1 - ASW MOP2 - C4I	ASW = 5 C4I = 3	ASW = 1 C4I = 1	DV8-ASW Alternative DV10-C4I Alternative
ASUW2 - Mendeteksi dan tracking ancaman permukaan dengan sonar	MOP1 - ASUW	ASUW = 4	ASUW = 1	DV8-ASUW Alternative
ASUW3-Mundur, lari & menghindari serangan permukaan	MOP11 - Kecepatan Sprint	15 knot	30 knot	DV1-5-Hullform, DV2- Displacement, DV3-Sistem propulsi
ASW1-Menghadapi kapal selam musuh secara defensif	MOP8-ASW	ASW = 4	ASW = 1	DV8-ASW Alternatif
ASW10-Mundur, lari & menghindari serangan kapal selam dengan menerapkan teknik serang-balik dan menghindar	MOP8-ASW	ASW=4	ASW=1	DV8-ASW Alternatif
	MOP13-Kecepatan sprint			DV1-5-Hull form
	MOP8-Rentang jarak kecepatan sprint			DV1-5-Hull form, DV15-Sistem propulsi
SEW2-Melakukan operasi sensor dan ECM	Dibutuhkan oleh semua desain			
SEW3-Melakukan operasi sensor dan ECCM	Dibutuhkan oleh semua desain			
MTW1-Melakukan pencarian ranjau	MOP4-MCM MOP2-C4I	MCM=4	MCM=1	DV11-MCM Alternatif DV9-C4I Alternatif
MTW2-Melakukan sapu ranjau	MOP4-MCM	MCM=4	MCM=1	DV11-MCM Alternatif
MTW3-Melakukan magnetic silencing	MOP4-MCM	MCM=4	MCM=1	DV11-MCM Alternatif
MTW4-Melakukan pelepasan ranjau	MOP4-MCM	MCM=4	MCM=1	DV11-MCM Alternatif
MTW5-Melakukan penghindaran ranjau	MOP4-MCM	MCM=4	MCM=1	DV11-MCM Alternatif
MTW6,7-Mempertahankan batas magnetic signature	MOP14-Magnetic signature	No	Yes	DV14-Batas Degaussing

ROC/MOP/DV

Kemampuan Operasional yang Dibutuhkan (Required Operational Capability)	MOP utama atau constraint	Threshold atau constrain	Goal	Variabel Desain Terkait
LOG1-Melakukan penggantian/pengisian bawah air	Dibutuhkan oleh semua desain			
LOG2-Memindahkan/menerima kargo dan personel	Dibutuhkan oleh semua desain			
CCC3-Menyediakan unit CCC sendiri	MOP2-C4I	C4I=3	C4I=1	DV9-C4I Alternatif
CCC4-Mempertahankan kemampuan data link	MOP2-C4I	C4I=3	C4I=1	DV9-C4I Alternatif
INT1-Memberikan dukungan/mengumpulkan kegiatan/data intelejen	MOP3-ISR	ISR=2	ISR=1	DV10-ISR Alternatif
INT2-Melaksanakan kegiatan intelejen	MOP3-ISR	ISR=2	ISR=1	DV10-ISR Alternatif
INT3-Melakukan surveillance dan reconnaissance (ISR)	MOP3-ISR	ISR=4	ISR=1	DV10-ISR Alternatif
MOB1-Desain dengan konsumsi bahan bakar yang paling efisien	MOP8-Rentang jarak kecepatan sprint	200 NM	300 NM	DV1-5-Hull form, DV15-Sistem propulsi
	MOP9-rentang jarak endurance	500 NM	1500 NM	
	MOP13-Kecapatan sprint	15 knot	30 knot	
MOB3-Mencegah dan mengontrol kerusakan	MOP17-Personil	25	10	DV6-Faktor Awak Kapal dan otomatisasi DV15-Sistem propulsi
	MOP15-Acoustic signature			
	MOP14-Magnetic signature	No Degaussing	Degaussing	DV14-Sistem degaussing

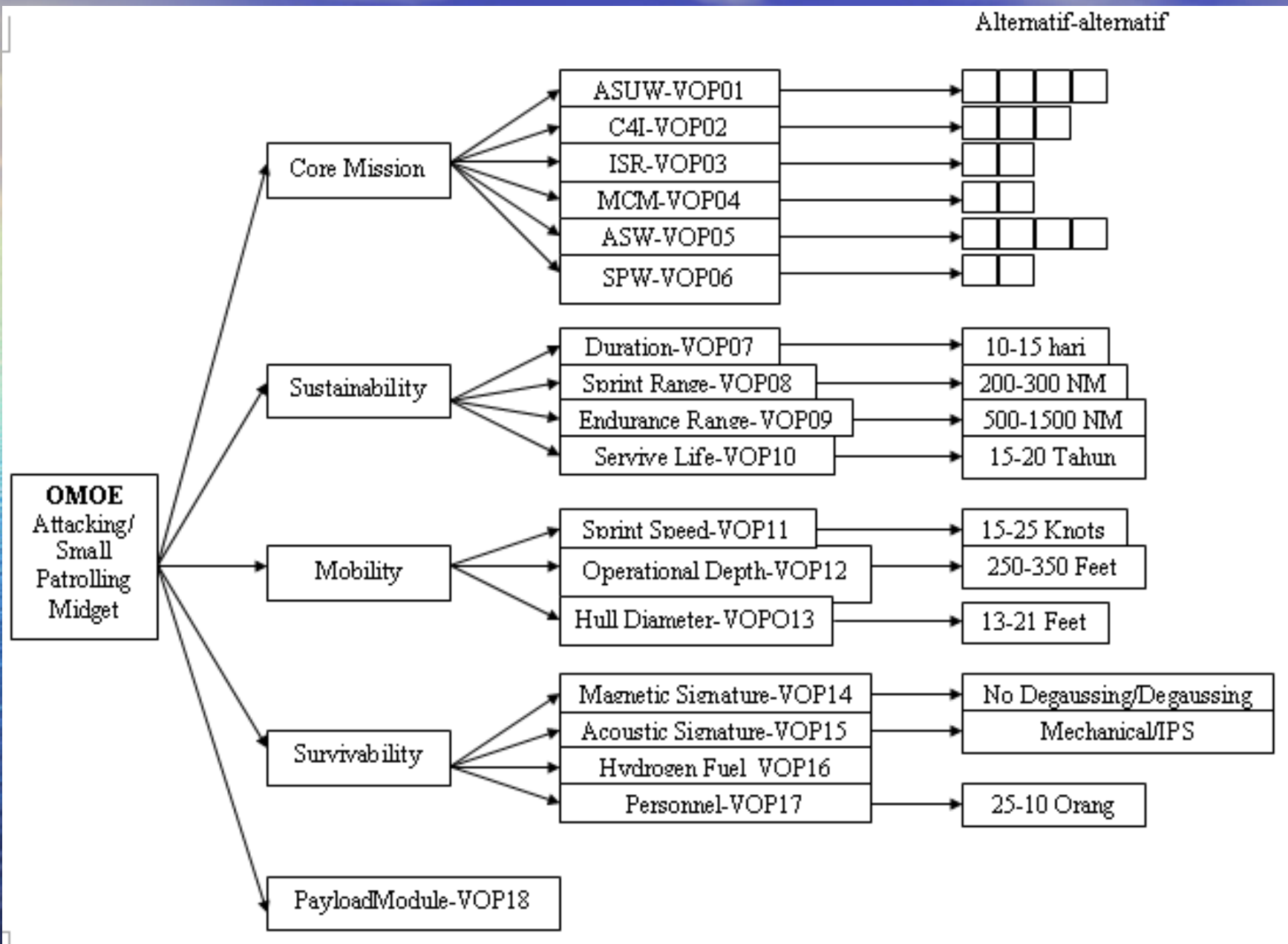
ROC/MOP/DV

Kemampuan Operasional yang Dibutuhkan (Required Operational Capability)	MOP utama atau constraint	Threshold atau constrain	Goal	Variabel Desain Terkait
MOB7-Melakukan tugas-tugas yang berhubungan dengan kepelautan, kepesawatudaraan dan navigasi (navigasi, hangkar, tambat, kegiatan life boatraft, tunda dan sebagainya)	Dibutuhkan oleh semua desain			
MOB10-Melakukan penggantian di laut	Dibutuhkan oleh semua desain			
MOB12-Mempertahankan kesehatan dan kesejahteraan awak kapal	Dibutuhkan oleh semua desain			
MOB14-Mengoperasikan konfigurasi Piggy-Back	Dibutuhkan oleh semua desain			
MOB16-Beroperasi pada lingkungan siang dan malam hari	Dibutuhkan oleh semua desain			
MOB18-Beroperasi dengan kesesuaian penuh dengan hukum dan peraturan polisi internasional yang berlaku	Dibutuhkan oleh semua desain			
NC03-Menyediakan kondisi dan pemeliharaan yang baik untuk setiap unit	Dibutuhkan oleh semua desain			
FSO5-Melakukan operasi search/salvage serta rescue	Dibutuhkan oleh semua desain			
FSO6-Melakukan operasi SAR	Dibutuhkan oleh semua desain			
FSO7-Melaksanakan peraturan kelayakan pembuangan material explosive dengan baik	Dibutuhkan oleh semua desain			
SPW1-Menyediakan lock out chamber	Dibutuhkan oleh semua desain			
SPW2-Modul habitability	Dibutuhkan oleh semua desain			
SPW3-Mampu melepas regu pasukan komando	MOP6- SPW	Swim	Wet Sub	DV12-SPW Alternatif

MOP MIDGET

MOP utama atau constraint	Threshold atau constraint	Goal	Variabel desain terkait
MOP1-ASUW	ASUW=4	ASUW=1	DV8-ASUW Alternatif
MOP2-C4I	C4I=3	C4I=1	DV9-C4I Alternatif
MOP3-ISR	ISR=2	ISR=1	DV10-ISR Alternatif
MOP4-MCM	MCM=2	MCM=1	DV11-MCM Alternatif
MOP5-ASW	ASW=4	ASW=1	DV9-ASW Alternatif
MOP6-SPW	SPW=2	SPW=1	DV12-SPW Alternatif
MOP7-Jangka waktu misi	10 hari	15 hari	DV7-Lama misi
MOP8-Rentang kecepatan sprint	200NM	300 NM	DV3-Sistem propulsi
MOP9-Rentang Endurance	500NM	1500 NM	DV3-Sistem propulsi
MOP10-Umur kapal	15 tahun	20 tahun	DV7-Lama misi
MOP11-Kecapatan sprint	15 knot	30 knot	DV3-Sistem propulsi
MOP12-Kedalaman operasi	250 ft		
MOP13-Diameter hull	13 ft		
MOP14-Magnetic signature	No degausing		
	Baja	composite	DV4-Tipe material envelope
MOP15-Acoustic signature	Mechanical	IPS	DV3-Sistem Propulsi
MOP16-Bahanbakar hidrogen	25	10	DV6-Faktor Awak Kapal dan otomatisasi
MOP17-Personil			
MOP18-Modul Payload	Exterior	Interior	DV12-Modular payload

HIERARKI AHP DESAIN MIDGET



Tabel 1,-*Alternatif Pemilihan Mesin-*



Keterangan	Pilihan Propulsi (PSYS)	Daya Generator Utama KGg (KW)	Berat Mesin Propulsi (lton)	SFC (kg/KW hr)	Specific Oxidant Consumption (kg/KW hr)	Specisif Argon Consumption (kg/KW hr)	Inboard fuel tank volume per lton fuel (ft3/lton) incl Structure	Outboard fuel per lton fuel (ft3/lton)	Oxidant volume per lton oxidant (ft3/lton)
CAT 3406E	1	410	13.7	0.213	0.84	0.03	45.15	0	36.9
CAT 3412E	2	690	23.1	0.211	0.84	0.03	45.15	0	36.9
250 KW PEM	3	250	4.7	3.49	0.44	0	0	10.9	36.9
250 KE PEM with reformer	4	250	7.2	0.31	0.9	0	45.15	0	36.9
250 KW Alkaline	5	250	5.3	2.9	0.37	0	0	10.9	36.9
250 KW Stirling Engine	6	250	7.4	0.293	1.022	0.01	45.15	0	36.9
Diesel-Elektrik	7	250							



Keterangan	Argon tank per lton argon (ft3/lton)	Hydrogen tank structure weight (lton/lton fuel)	Oxidant tank structure weight lton per (lton oxidant)	Argon tank structure weight (lton/lton argon)	Minimum machinery room length required (m)	Minimum machinery room width required (m)	Minimum machinery room height required (m)	Propulsion machinery required volume (m3)
CAT 3406E	29.8	0	0.375	0.1	1.535	0.995	1.231	36.49
CAT 3412E	29.8	0	0.375	0.1	1.913	1.444	1.621	61.41
250 KW PEMFC	0	0.25	0.375	0	0	0	0	16
250 KW PEMFC with reformer	0	0	0.375	0	0	0	0	32.5
250 KW Alkaline FC	0	0.25	0.375	0	0	0	0	0
250 KW Stirling Engine	29.8	0	0.375	0.1	0	0	0	0
Diesel-Elektrik								

Tabel 2,-*Alternatif Pemilihan Batere-*

Batteries	Weight (MT/kwhr)	Vol (m ³ /kwhr)	kW/kW-hr
Lead Acid	0.0333	0.0173	0.5
Lithium Ion	0.0058	0.0027	0.56
Nickel Cadmium	0.0113	0.0032	0.87

Tabel 3,-*Alternatif MCM-*

ID	Alternatif Sistem MCM	1 (Goal)	2 (Threshold)
23	Penghindaran Ranjau melalui Deteksi Sonar Depan	1	1
24	Deteksi Sonar Samping	1	-
	Value of Performance MCM, VOP4	1.0	0.33
	Degaussing	Yes	No
	Magnetic Signature Value of Performance, VOP14	1.0	0.0

Tabel 4,-*Alternatif Sistem Persenjataan ASW dan ASUW-*



ID	Alternatif Sistem ASW/ASUW	1(Goal)	2	3	4(Threshold)
1	Passive Ranging Sonar	1	1	1	1
2	Flank array sonar	1	1	1	
3	Integrated bow array sonar	1	1	1	1
4	ASW weapon control	1	1	1	1
5,7	Inboard light weight torpedo room w/2 light weight torpedo in tubes and 2 reloads	1			
6	Small missil with cartridge		1		
8	Anti torpedo torpedo	4	6	8	4
9	Countermeasure Launcher	2	2	2	2
10	Countermeasure Reloads	1	1	1	1
11	Countermeasure tubes (external)	2	2	2	
	ASUW Value of Performance, VOP1	1.0	0.704	0.196	0.175
	ASW Value of Performance, VOP5	1.0	0.572	0.179	0.088
	Primary power	Fuel Cell			Engine
	Acoustic Signature Value of Performance, VOP15	1.0			0.0



Tabel 5,-Alternatif SPW-

ID	Alternatif Sistem SPW	1(Goal)	2	3	4(Threshold)
25	4-man horizontal/vertical lockout trunk		1		1
26	2-man horizontal/vertical lockout trunk	1		1	
	Seal squad (officer+5enlisted)	2	2	1	1
27	Zodiac RHIB and diver stowage	4	4	2	2
	SPW Value of Performance, VOP6	1.0	0.8	0.3	0.0

Tabel 6,-Sistem Alternatif C4I-

ID	Alternatif Sistem C4IR	1(Goal)	2	3(Threshold)
12,13	Photonics Mast w/UAVs	1	1	
14	Integrated antenna mast	1	1	1
15	Multifunction Mast Antenna (MMA)	1	1	1
16	Floating integrated Antenna	1		
17	Underwater Communications (UWC)	1	1	1
18	Navigation Echo Sounders and Velocity Meter (NEVM)	1	1	1
19	Emergency Position Indicator Radio Beacon (IPERB)	1	1	1
20	Communications Electronics and equipment	1	1	1
	C4I Value of Performance, VOP2	1.0	0.405	0.164

Tabel 7,-Sistem Alternatif ISR-

ID	Alternatif Sistem ISR	1(Goal)	2(Threshold)
21	ISR Control and Processing	1	1
22	NPP Imaging Centre	1	
	ISR Value of Performance, VOP3	1.0	0.5

A.3.5. Ringkasan Payload Sistem Tempur



ID	NAME	WARAREA	Single D SWBS	WT Lton	VCG/ D ft	AR EA ft ²	Voh ft ³	KW
1	Passive ranging sonar	ASW/MCM/C4I	4	0.13	0.1	25.0	45.0	1.0
2	Flank array sonar and electronics	ASW/MCM/C4I	4	0.2	0.45	25	55	5
3	Integrated bow array-conformal	ASW/ASUW	7	1.45	0.48	30	63.9	20
4	ASW Weapon control system	ASW/ASUW	4	1.5	0.65	30	0	5
5	Light weight torpedo	ASW/ASUW	7	6.25	0.4	60	90	3
6	Anti torpedo torpedo	ASW/ASUW	7	1.5	0.4	25	90	1
7	Torpedo counter measure	ASW/ASUW	21	0.67	0.4	19.5	0	0
8	Canon 30mm	ASW/ASUW	21	0.33	0.4	0	11.9	0.1
9	Small missile with cartridge	ASW	7	0.09	0.7	1	0	0.1
10	Acoustic and magnetic mines	ASW	21	0.04	0.65	3	0	0
11	Mine torpedo	ASW	7	0.22	0.9	0	0.69	0.1
12	Optical color tv, thermal imaging laser, rangefinder, Glonnas	C4I/ISR/ASUW	4	4	0.9	4	10	4
13	Internal communication	C4I/ISR/ESM	4	0.09	0.95	0	0	1
14	Inter/intra-net satellite communication	C4I/ISR/ESM	4	1.5	0.9	4	3	5
15	Integrated antenna mast	C4I	4	1	0.9	2	5	3
16	Floating integrated antenna	C4I	4	0.5	0.9	30	10	7
17	Underwater telephone and communications (UWT)	C4I	4	0.05	0.85	2	1.2	1
18	Navigation echo sounder	C4I	4	0.1	0.4	0	1.3	1
19	Emergency Position Indicator Radio Beacon (IPERB)	C4I	4	0.05	0.95	0	1	0.5
20	Communication electronics and equipments	C4I	4	1.25	0.65	20	0	5
21	ISR control and processing	ISR	4	0.5	0.65	50	0	2
22	Imaging centre-for optonic system	ISR	4	0.5	0.65	30	0	3
23	Mine avoidance sonar and electronics	MCM	4	0.9	0.3	25	50	5
24	Side scan sonar	MCM	4	0.1	0.3	15	20	2
25	2 man vertical/horizontal lockout trunk	SPW	1	8.62	0.45	0	301.6	1
26	4 man vertical/horizontal lockout trunk	SPW	1	17.23	0.45	0	603.2	4
27	Combat rubber raiding craft and diver stowage	SPW	5	0.15	0.8	0	20	0

Tabel 8.-Variabel Desain

Design Variables	Name	Unit	Keterangan	Kontang Trade-off
D01	Lbow	Feet	Panjang laban	20-35
D02	Lmid	Feet	Panjang Panel Midle Body	40-75
D03	Left	Feet	Panjang lunban	40-70
D04	B	Feet	Lebar	20-30
D05	D	Feet	Tinggi	20-30
D06	Cmanang	-	Kalor pengurangan a wal kapal dan otonisasi	0.5-1
D07	Is	Hari	Jangka waktu misi	5-10
D08	APW	Alternatif	Anti-submarine warfare Universal component: passive, integrated bow array sonar, weapon control countermeasure launcher + reload 1=flank array sonar, light weight torpedo room, 4 exterior torpedo; 2=flank array, interior light weight torpedo access, 4 exterior light weight torpedoes; 3=3 exterior light weight torpedoes; 4=canon 30mm	1-4
D09	C4I	Alternatif	Computer, Communication, Command, Control and Intelligence Universal component: Underwater comm, echo sonar, distress beacon, communication and electronic eqp. 1=phonic mast w/UAVs, Eope buoy; 2=phonic mast w/UAVs, 3=jet universal 4=Optonic Periscope	1-4
D010	ISE	Alternatif	Intelligence Surveillance and Reconnaissance 1=Control and process, Imaging centre; 2=Imaging centre	1-2
D011	MCM	Alternatif	Mine countermeasure 1=Forward looking sonar, side sonar; 2=Forward looking sonar	1-2
D012	SPW	Alternatif	Jumlah pasukan Mow 1=squad and 4 max 2=squad and 9 max 3=platoon and 4 max 4=platoon and 9 max 5=squad and 2 man	1-5
D013	Depth	Feet	Kedalaman selam	250-350
D014	Ndgases	-	De gasing system	0 atau 1
D015	PSTS	Alternatif	Alternatif sistem propulsi 1=CA1340+E CCD +10 1W; 2=CA13412E CCD 690 1W; 3=250 1W PEMFC; 4=25 1W PEMFC w/Esformer; 5= 250 1W Alkaline; 6=250 1W Stirling; 7=MTU Diesel electric	1-7
D016	BA type	Alternatif	Tipe baterai 1=hidrum ion; 2=nickel cadmium; 3=lead acid	1-3
D017	Battery	KWh	Kapasitas baterai	5000-15000
D018	Ng	-	Jumlah generator motor utama	1-4
D019	Wfuel	Ton	Berat bahan bakar	5-15
D020	Nyma	-	Jumlah Payload Interface Modules	1-4

NILAI OMOE

- $OMOE = g[VOP_i(MOP)_i] = \sum w_i VOP_i (MOP_i)$
- W_i = Bobot kepentingan relatif dari AHP
- MOP_i = Measure of Performance i
- $VOP_i (MOP_i)$ = Value of Performance i

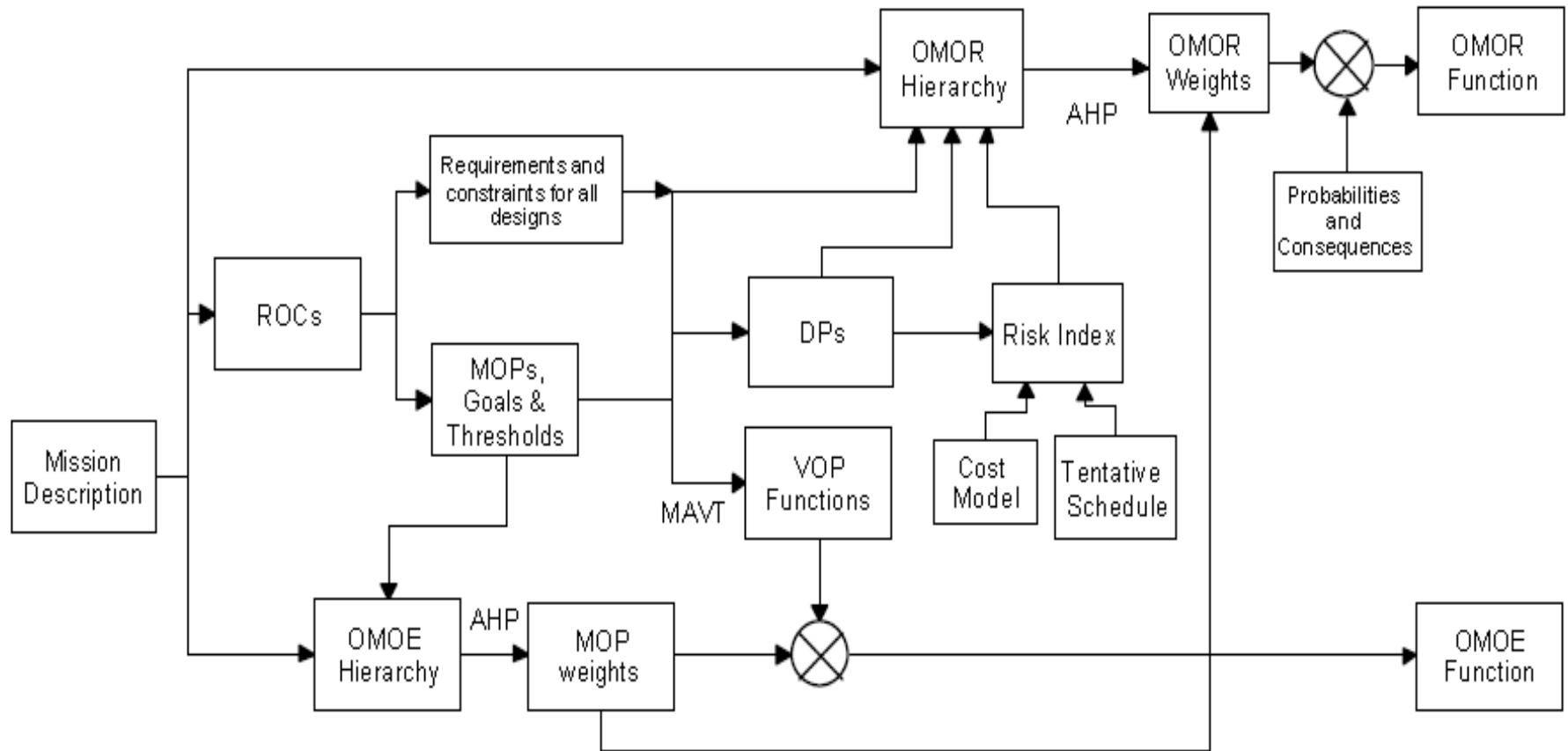
Multi-Objective Genetic Algorithm Optimization (MOGO) Program

- Optimisasi dengan cara mensimulasi proses evolusi alam melalui proses seleksi, cross-over, mutasi, dan migrasi
 - Tepat untuk permasalahan yang highly-non linear dengan continuous/discontinuous constraints
 - Military Objectives:
 - Maximize Overall Measure of Effectiveness (OMOE)
 - Minimize Cost
 - Minimize Overall Measure of Risk (OMOR)
 - Constraints
 - a. *Sustainability constraints* : E, Es, Vs dan Pmain
 - b. *Feasibility constraints* : Eta, Effmin, Effmax, Eleadmin, Eleadmax, Evs, Ekw, Egm, Egb, Ee dan Ees
- Variabel desain utama terdiri dari:
- Lbow, Lmid, Laft, B, D, Cmanning, Ts, ASW, C4I, ISR, MCM, SPW, Depth, Ndegaus, PSYS, BATtype, Ebattery, Ng, Wfuel dan Npim

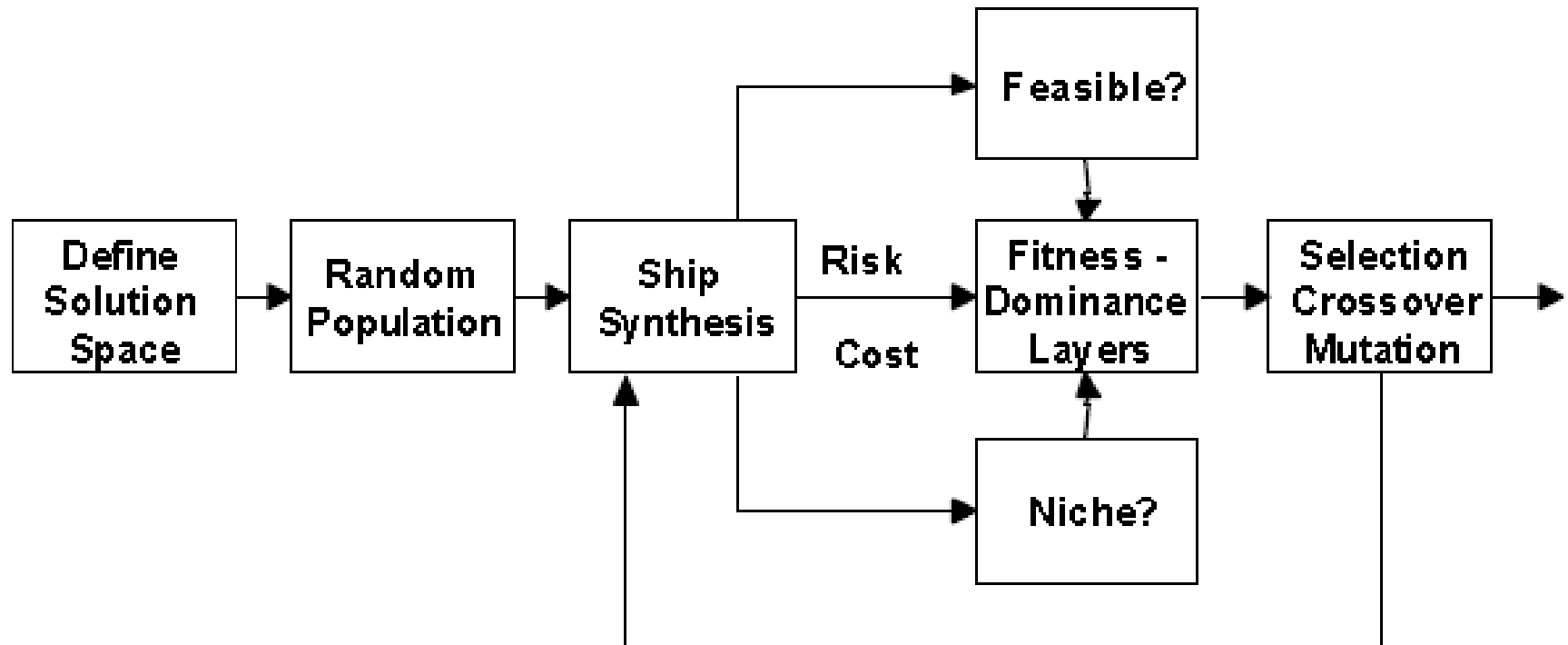
Terminologi

- Overall Measure of Effectiveness (OMOE) – Single overall figure of merit index (0-1.0) describing midget effectiveness over all assigned mission or mission types
- Mission or Mission Type Measure of Effectiveness (MOEs) – Figure of merit index (0-1.0) for specific mission or mission types
- Measure of Performance (MOPs) – Specific ship or system performance metric independent of mission (speed, range, number of missiles etc.)
- Value of Performance (VOPs) – Figure of merit index (0-1.0) specifying the value of a specific MOP to a specific mission area for a specific mission type.

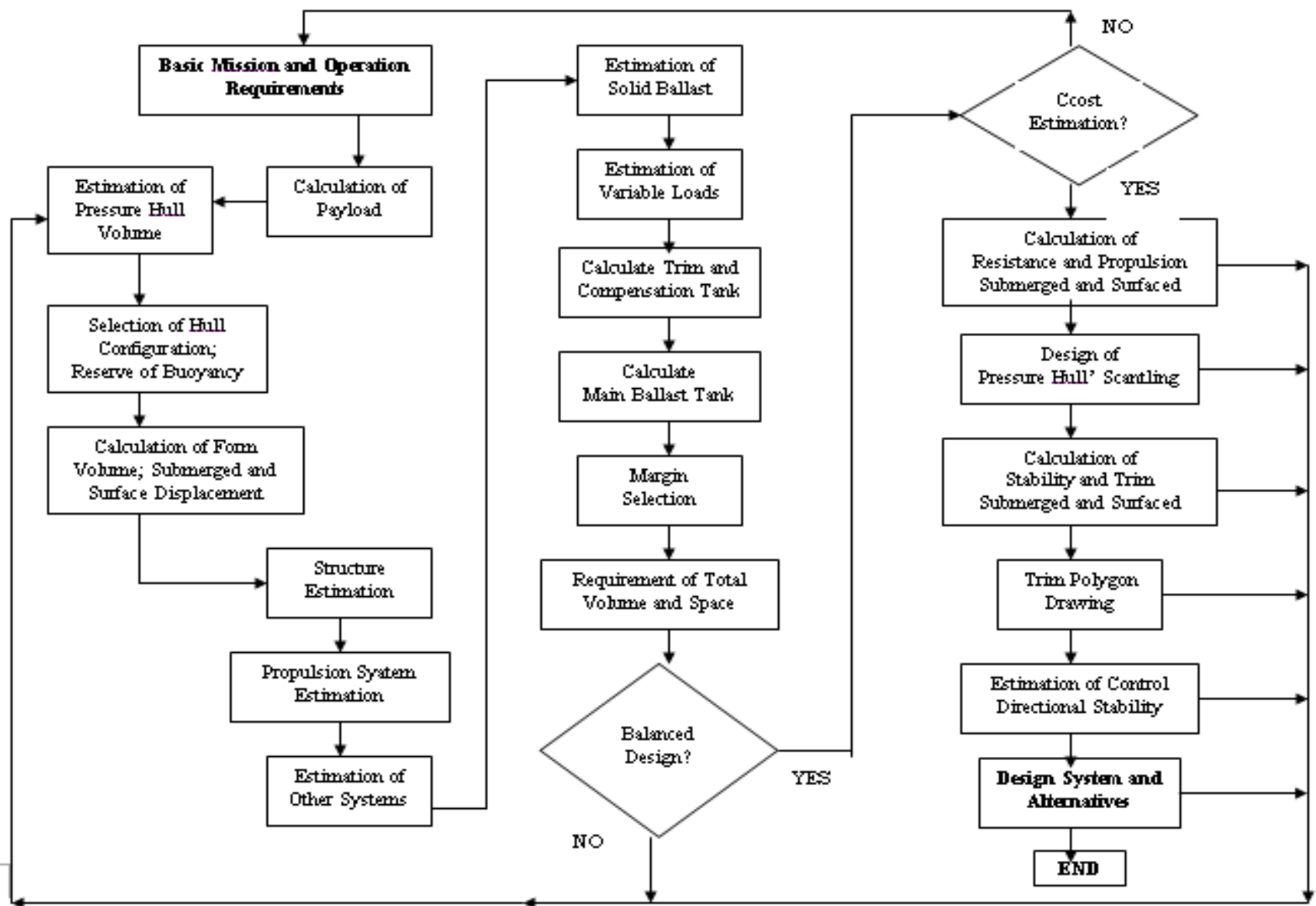
Proses Perhitungan OMOE dan OMOR



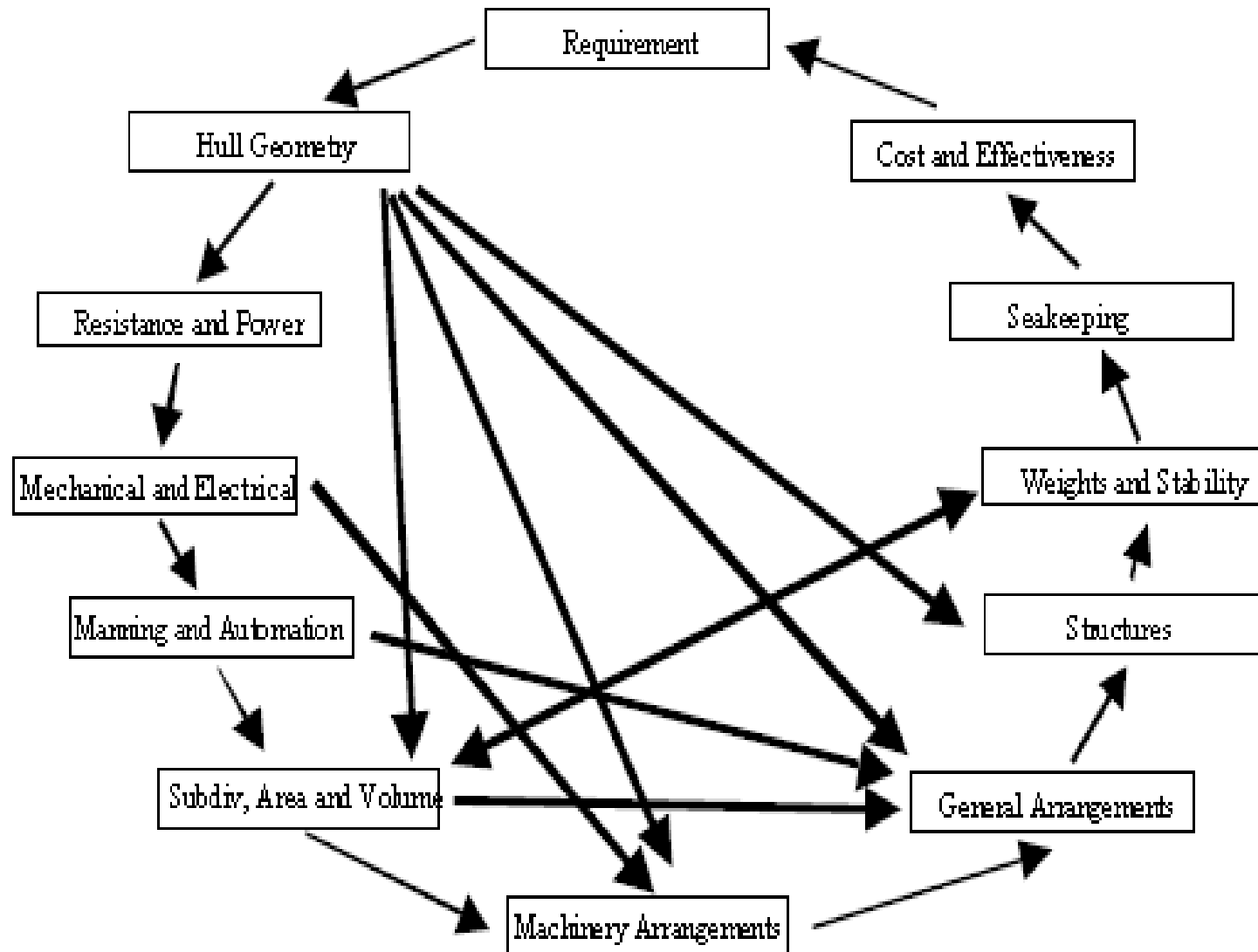
Proses Optimisasi Kapal Selam Dengan Multi-Objective Genetic Algorithm Optimization Program (MOGO)



Sintesa Desain Kapal Selam



Spiral Midget Design Synthesis



OVERALL MEASURE OF RISKS (OMOR)

- Tujuan menentukan nilai OMOR adalah untuk menghitung secara kuantitatif tingkat resiko keseluruhan untuk desain tertentu berdasarkan seleksi teknologi yang dipakai.
- Tipe resiko: resiko *performance*, resiko biaya dan resiko skedul. Resiko *performance* adalah resiko bahwa sistem tersebut tidak sesuai dengan yang diharapkan. Resiko biaya adalah resiko bahwa biaya akan melebihi dari yang diperkirakan. Resiko skedul adalah resiko bahwa teknologi yang dipilih belum siap saat dibutuhkan.
- Proses perhitungan OMOR dimulai dengan meng-identifikasi resiko kejadian-kejadian pada desain variable tertentu dalam kaitannya dengan *performance*, skedul dan biaya yang diprediksi.
- Perhitungan resiko R_i untuk setiap kejadian merupakan hasil kali dari kemungkinan kegagalan P_i dengan konsekuensi kegagalan kejadian tersebut C_i . Nilai-nilai tersebut ditentukan berdasarkan pendapat ahli.
- Formulasi OMOR

$$OMOR = W_{perf} \sum_i \frac{w_i}{\sum_i w_i} P_i C_i + W_{cost} \sum_j w_j P_j C_j + W_{sched} \sum_k w_k P_k C_k$$

Estimasi Probabilitas Kejadian

Probabilitas	Bagaimana Kemungkinan Kejadian Resiko Akan Terjadi?
0.1	Sangat tidak mungkin terjadi
0.3	Tidak mungkin terjadi
0.5	Mungkin terjadi
0.7	Sangat mungkin terjadi
0.9	Hampir pasti

Estimasi Konsekuensi Kejadian

Consequence Level	Given the Risk is Realized, What Is the Magnitude of the Impact?		
	Performance	Schedule	Cost
0.1	Minimal or no impact	Minimal or no impact	Minimal or no impact
0.3	Acceptable with some reduction in margin	Additional resources required; able to meet need dates	<5%
0.5	Acceptable with significant reduction in margin	Minor slip in key milestones; not able to meet need date	5-7%
0.7	Acceptable; no remaining margin	Major slip in key milestone or critical path impacted	7-10%
0.9	Unacceptable	Can't achieve key team or major program milestone	>10%

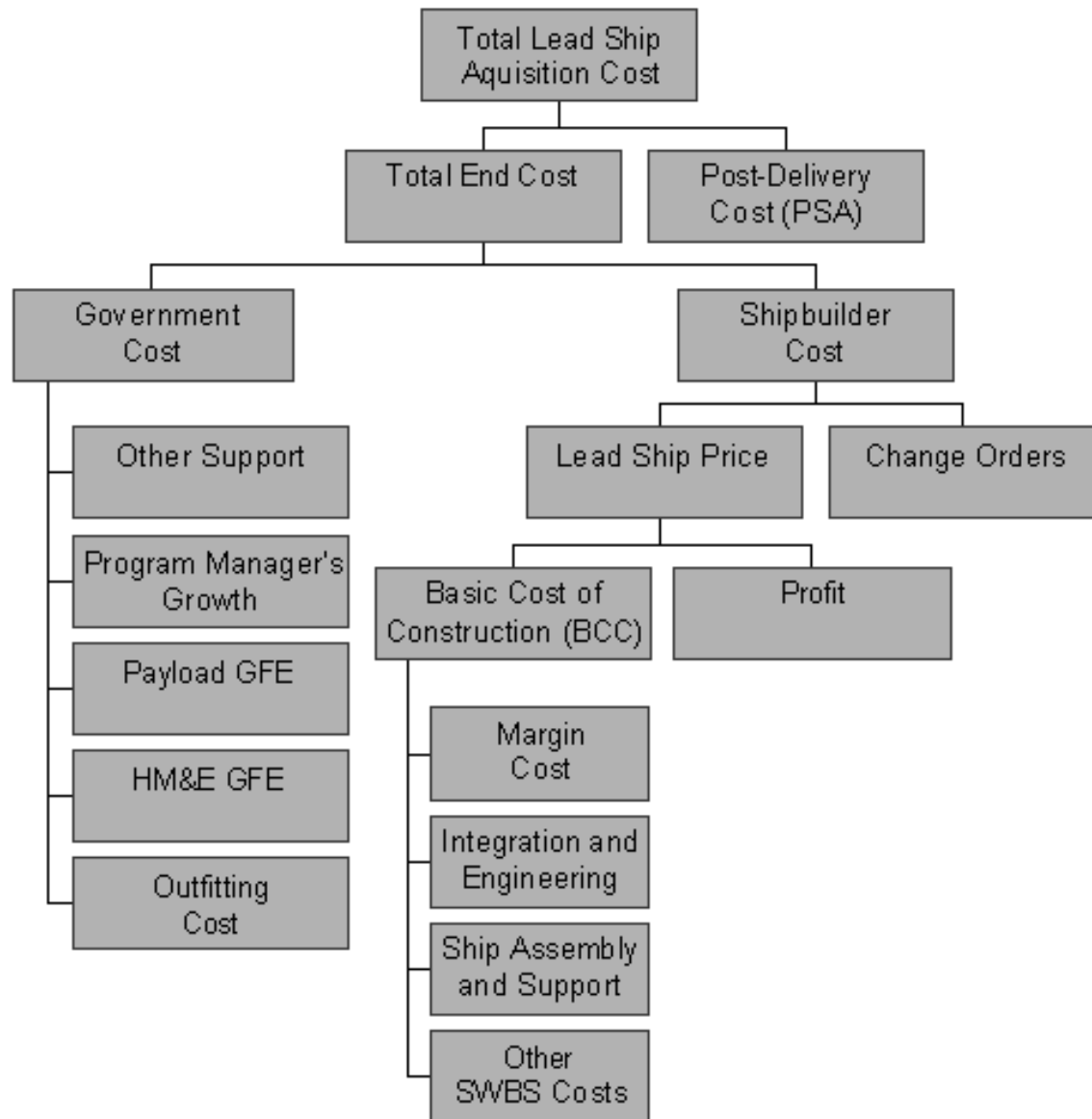
Daftar Resiko Midget

SWBS	System	Risk Type	Risk ID	Related	DV Description	DV Value	Risk Event Ei	Risk Description	Pi	Ci	Ri
2	Propulsion	Performance	1	DV ₁₆	Primary Power Alternative (PSYS)	1,2	Development, testing and qualification of closed cycle diesel system for US submarine application	System will not meet performance and safety requirements	0.2	0.6	0.12
2	Propulsion	Cost	2	DV ₁₆	Primary Power Alternative (PSYS)	1,2	Development, testing and qualification of closed cycle diesel system for US submarine application	Unexpected problems with development will require more money	0.3	0.3	0.09
2	Propulsion	Schedule	3	DV ₁₆	Primary Power Alternative (PSYS)	1,2	Development, testing and qualification of closed cycle diesel system for US submarine application	Unexpected problems with development will require more time	0.3	0.3	0.09
2	Propulsion	Performance	4	DV ₁₆	Primary Power Alternative (PSYS)	3	Development, testing and qualification of PEM Fuel Cell for US submarine application	System will not meet performance and safety requirements	0.4	0.5	0.2
2	Propulsion	Cost	5	DV ₁₆	Primary Power Alternative (PSYS)	3	Development, testing and qualification of PEM Fuel Cell for US submarine application	Unexpected problems with development will require more money	0.5	0.3	0.15
2	Propulsion	Schedule	6	DV ₁₆	Primary Power Alternative (PSYS)	3	Development, testing and qualification of PEM Fuel Cell for US submarine application	Unexpected problems with development will require more time	0.5	0.3	0.15
2	Propulsion	Performance	7	DV ₁₆	Primary Power Alternative (PSYS)	4	Development, testing and qualification of PEM Fuel Cell with reformer for US submarine application	System will not meet performance and safety requirements	0.7	0.5	0.35

Daftar Resiko Midget

SWBS	System	Risk Type	Risk ID	Related	DV Description	DV Value	Risk Event Ei	Risk Description	Pi	Ci	Ri
2	Propulsion	Cost	8	DV ₁₆	Primary Power Alternative (PSYS)	4	Development, testing and qualification of PEM Fuel Cell with reformer for US submarine application	Unexpected problems with development will require more money	0.8	0.3	0.24
2	Propulsion	Schedule	9	DV ₁₆	Primary Power Alternative (PSYS)	4	Development, testing and qualification of PEM Fuel Cell with reformer for US submarine application	Unexpected problems with development will require more time	0.8	0.3	0.24
2	Propulsion	Performance	7	DV ₁₆	Primary Power Alternative (PSYS)	5	Development, testing and qualification of Alkaline Fuel Cell for US submarine application	System will not meet performance and safety requirements	0.6	0.5	0.3
2	Propulsion	Cost	8	DV ₁₆	Primary Power Alternative (PSYS)	5	Development, testing and qualification of Alkaline Fuel Cell for US submarine application	Unexpected problems with development will require more money	0.7	0.3	0.21
2	Propulsion	Schedule	9	DV ₁₆	Primary Power Alternative (PSYS)	5	Development, testing and qualification of Alkaline Fuel Cell for US submarine application	Unexpected problems with development will require more time	0.7	0.3	0.21
2	Propulsion	Performance	7	DV ₁₆	Primary Power Alternative (PSYS)	6	Development, testing and qualification of Stirling Engine for US submarine application	System will not meet performance and safety requirements	0.3	0.5	0.15
2	Propulsion	Cost	8	DV ₁₆	Primary Power Alternative (PSYS)	6	Development, testing and qualification of Stirling Engine for US submarine application	Unexpected problems with development will require more money	0.4	0.3	0.12
2	Propulsion	Schedule	9	DV ₁₆	Primary Power Alternative (PSYS)	6	Development, testing and qualification of Stirling Engine for US submarine application	Unexpected problems with development will require more time	0.4	0.3	0.12
2	Propulsion	Performance	4	DV ₁₇	Battery Type (B A Typ)	1	Development, testing and qualification of Lithium Ion battery for US submarine application	System will not meet performance requirements	0.7	0.4	0.28
2	Propulsion	Cost	5	DV ₁₇	Battery Type (B A Typ)	1	Development, testing and qualification of Lithium Ion battery for US submarine application	Unexpected problems with development will require more money	0.8	0.3	0.24
2	Propulsion	Schedule	6	DV ₁₇	Battery Type (B A Typ)	1	Development, testing and qualification of Lithium Ion battery for US submarine application	Unexpected problems with development will require more time	0.8	0.3	0.24
2	Propulsion	Performance	4	DV ₁₇	Battery Type (B A Typ)	2	Development, testing and qualification of Nickel Cadmium battery for US submarine application	System will not meet performance requirements	0.3	0.4	0.12
2	Propulsion	Cost	5	DV ₁₇	Battery Type (B A Typ)	2	Development, testing and qualification of Nickel Cadmium battery for US submarine application	Unexpected problems with development will require more money	0.4	0.3	0.12
2	Propulsion	Schedule	6	DV ₁₇	Battery Type (B A Typ)	2	Development, testing and qualification of Nickel Cadmium battery for US submarine application	Unexpected problems with development will require more time	0.4	0.3	0.12
7	Weapons System	Performance	7	DV ₈	ASW System alternative	3,4	Development, testing and qualification external torpedo launch for US submarine application	System will not meet performance requirements	0.5	0.5	0.25
7	Weapons System	Cost	8	DV ₈	ASW System alternative	3,4	Development, testing and qualification external torpedo launch for US submarine application	Unexpected problems with development will require more money	0.6	0.4	0.24
7	Weapons System	Schedule	9	DV ₈	ASW System alternative	3,4	Development, testing and qualification external torpedo launch for US submarine application	Unexpected problems with development will require more time	0.6	0.4	0.24
4	Automation	Performance	10	DV ₆	Manning and Automation Factor	0.5 - 1	Development and integration of automation	System will not meet performance requirements	0.5	0.5	0.25
4	Automation	Cost	11	DV ₆	Manning and Automation Factor	0.5 - 1	Development and integration of automation	Unexpected problems with development will require more money	0.6	0.4	0.24
4	Automation	Schedule	12	DV ₆	Manning and Automation Factor	0.5 - 1	Development and integration of automation	Unexpected problems with development will require more time	0.6	0.4	0.24

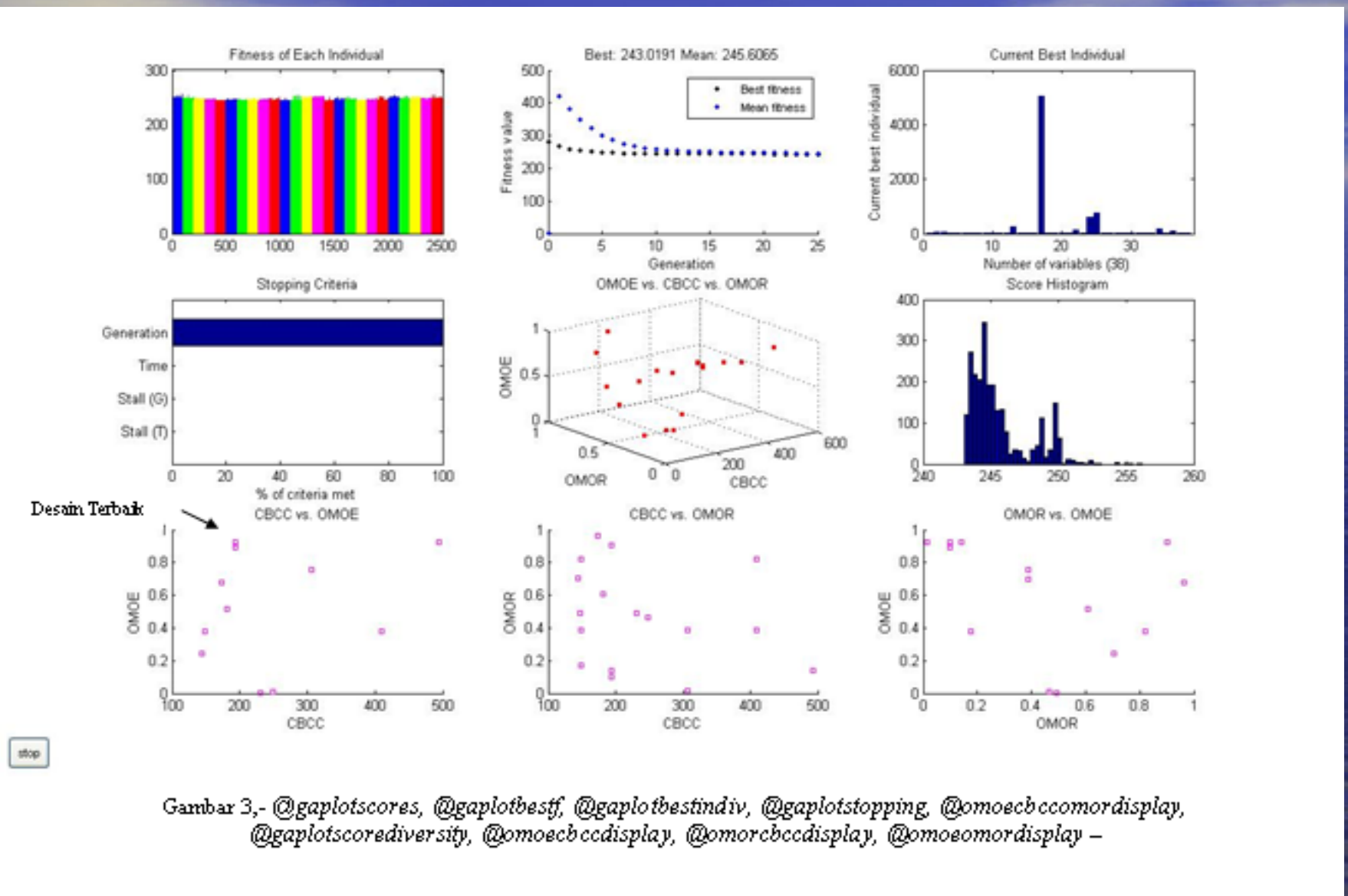
COST



FUNGSI SINTESA DESAIN MIDGET PADA MATLAB7.3

1. [VOP1 VOP2 VOP3 VOP4 VOP5 VOP6 Wp VCGp Wvp VCGvp Wp100 Wp400 Wp500 W7 WF20 Ap4 A7 KWpay Vpim Vpob NESP NO] = **sscombat**(ASW,C4I,MCM,SPW,Npim,D,ID, WG,WT,VCG,AREA,Vob,KW)
2. [LOA del S Venv] = **sshull**(Lbow,Lmid,Laft,B,D)
3. [Pmain Pbattery Wbm Wbattery Woxidant Wargon W2reactks Vmb Vbattery V2ib V2ob SFCmain LMBreq HMBreq wMBreq KWg] =...
sspropulsion(PSYS,BATtype,Ebattery,Wfuel,Ng,PC,etatrans,Nprop, KWg,Wbm,SFCmain,SOxCmain,SArCmain,dfuelib,dfuelob,... doxidant,dargon,sfuel,soxidant,sargon,LMBreq,wMBreq,HMBreq,Vmbmain)
4. [Vtk NE NT WF46 WF52 Wsew] = **sstankage**(V2ib,Cmanning,Pmain,Venv,NO, NESP,Woxidant);
5. [Vph Vob Veb Vmbt Vsub Vff Vffmin Vffmax Vaux Atr Ata] = **ssspspace**(Ts, HDK, NE, NO, NT, Aphmargin, Ap4, A7, Vmb, Vpob, Vtk, V2ob, Vbattery, Venv, Lmid, Laft, B, D);
6. [KWmflm KW24avrg KWgreq] = **sselectric**(EFMF,EDMF,E24MF,Nprop,Wp,Vph,Vmb,Vaux,Pmain,LOA,D, KWpay,NT,Ng,Ndegaus);
7. [Vs SHPe Piprp E Es] = **sresistance**(Ve,Ca,PMF,S,KW24avrg,LOA,B,D,PC,etatrans,Pmain, SFCmain, Pbattery, Ebattery, Wfuel, NT);
8. [Wleadmax Wleadmin GB GM W1 W2 W3 W4 W5 W6 W7 W8 W9 Wnsc] = ...
ssweight(Depth,Ndegaus,Wbattery,Wbm,WMF,Veb,Piprp,KWmflm,LOA, D,B,Vph,Wp100,Wp400,Wp500,W7,W2reactks,Wvp,WF46,WF52,Wfuel, Woxidant,Wsew,Wargon,NT,NO,NE,Ts,HDK,VCGvp);
9. [Eta Effmin Effmax Eleadmin Eleadmax Evs Ekw Egm Egb Ee Ees] =...
ssfeasible(Emin,Vsmin,Esmin,GBmin,GMmin,Wleadmin,Wleadmax,Vff min,Vffmax,Wnsc,Ata,Atr,Vff,W8,Vs,KWg,KWgreq,GM,GB,E,Es);
10. [VOP OMOE] = **ssomoe**(Ts,E,Es,BATtype,Vs,Depth,D,PSYS,NT,Npim,Ndegaus,VOP1, VOP2,VOP3,VOP4,VOP5,VOP6,Emin,Esmin,Vsmin);
11. [CBCC LCC] = **sscst**(W1,W2,W3,W4,W5,W6,W7,Yioc,Rp,Mh,Yb,R,ovhd,profit,BATtype,PSYS,Cmanning);
12. [OMOR] = **ssrisk**(PSYS,BATtype,ASW,Cmanning);

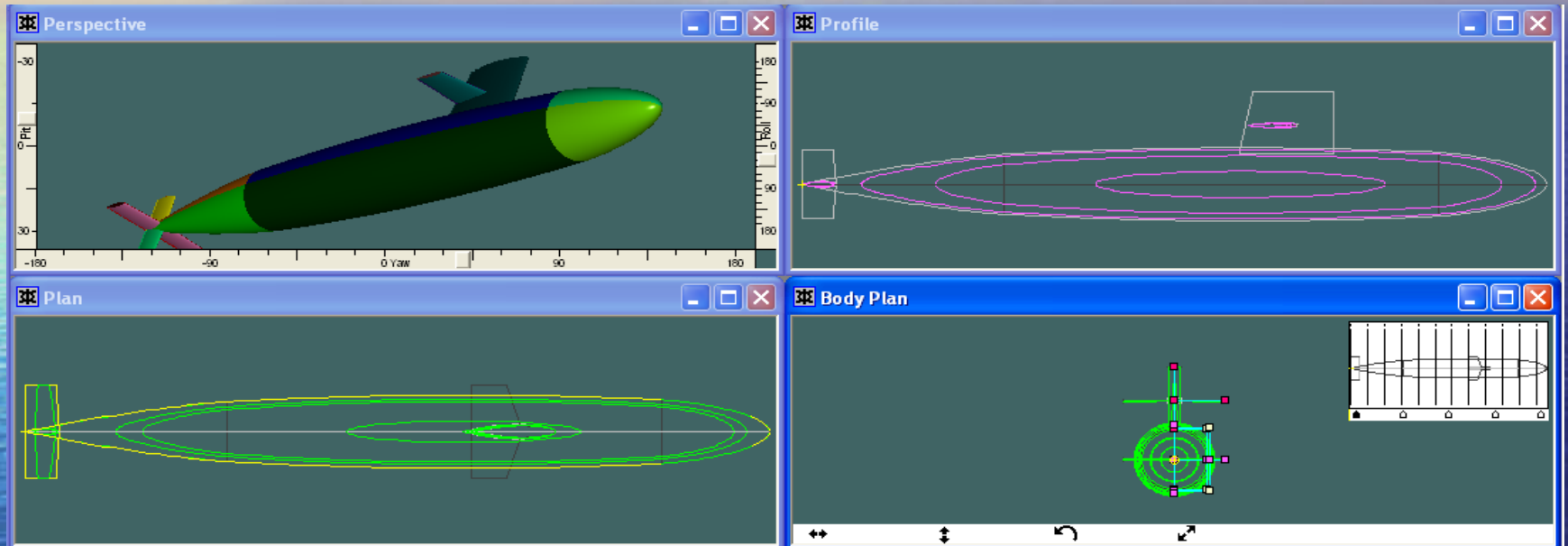
Output MOGO



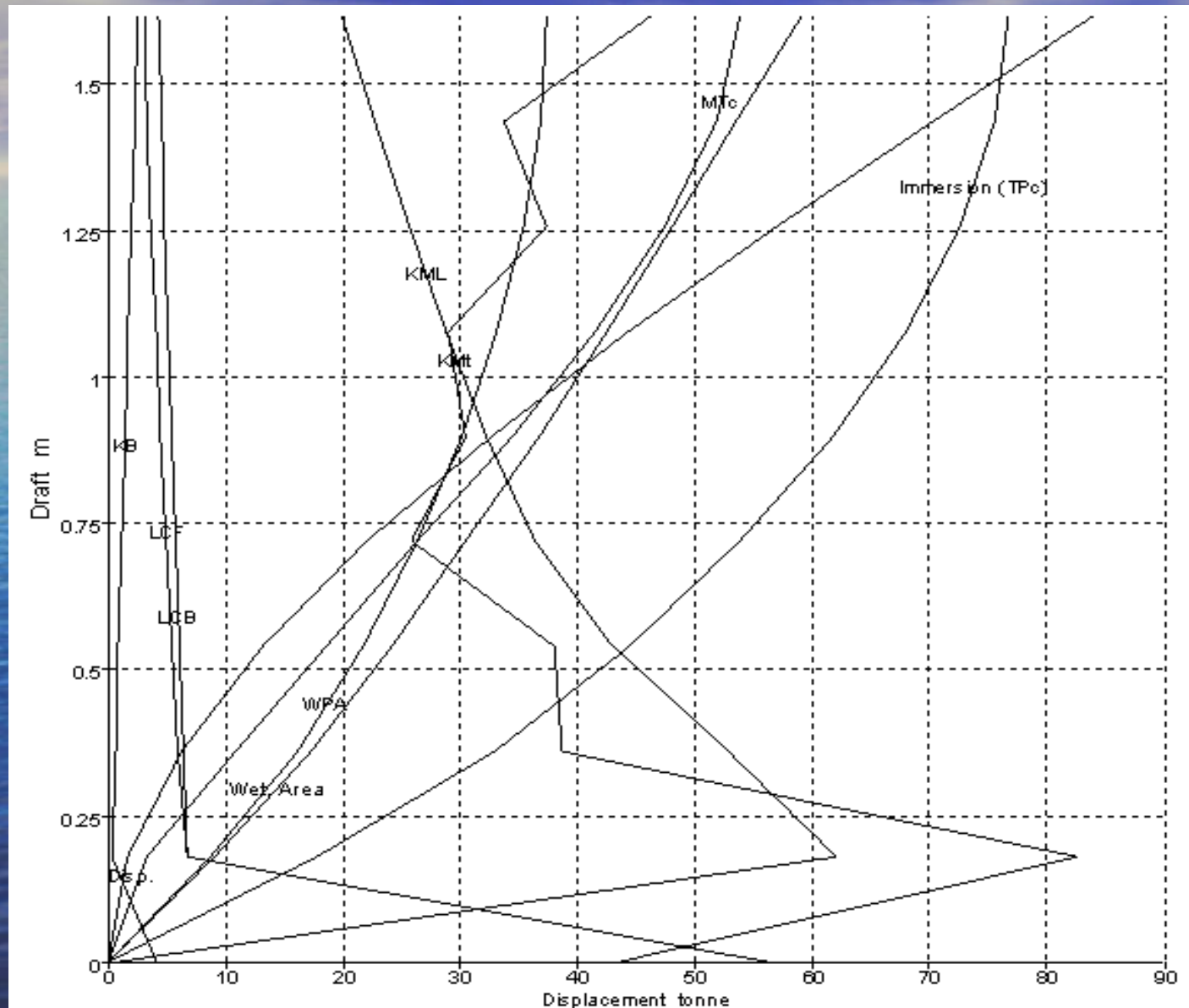
Gambar 3.- @gaplotscores, @gaplotbestf, @gaplotbestindiv, @gaplotstopping, @omoecbccomordisplay, @gaplotscorediversity, @omoecbccdisplay, @omorcbccdisplay, @omoecomordisplay –

CONCEPT DEVELOPMENT

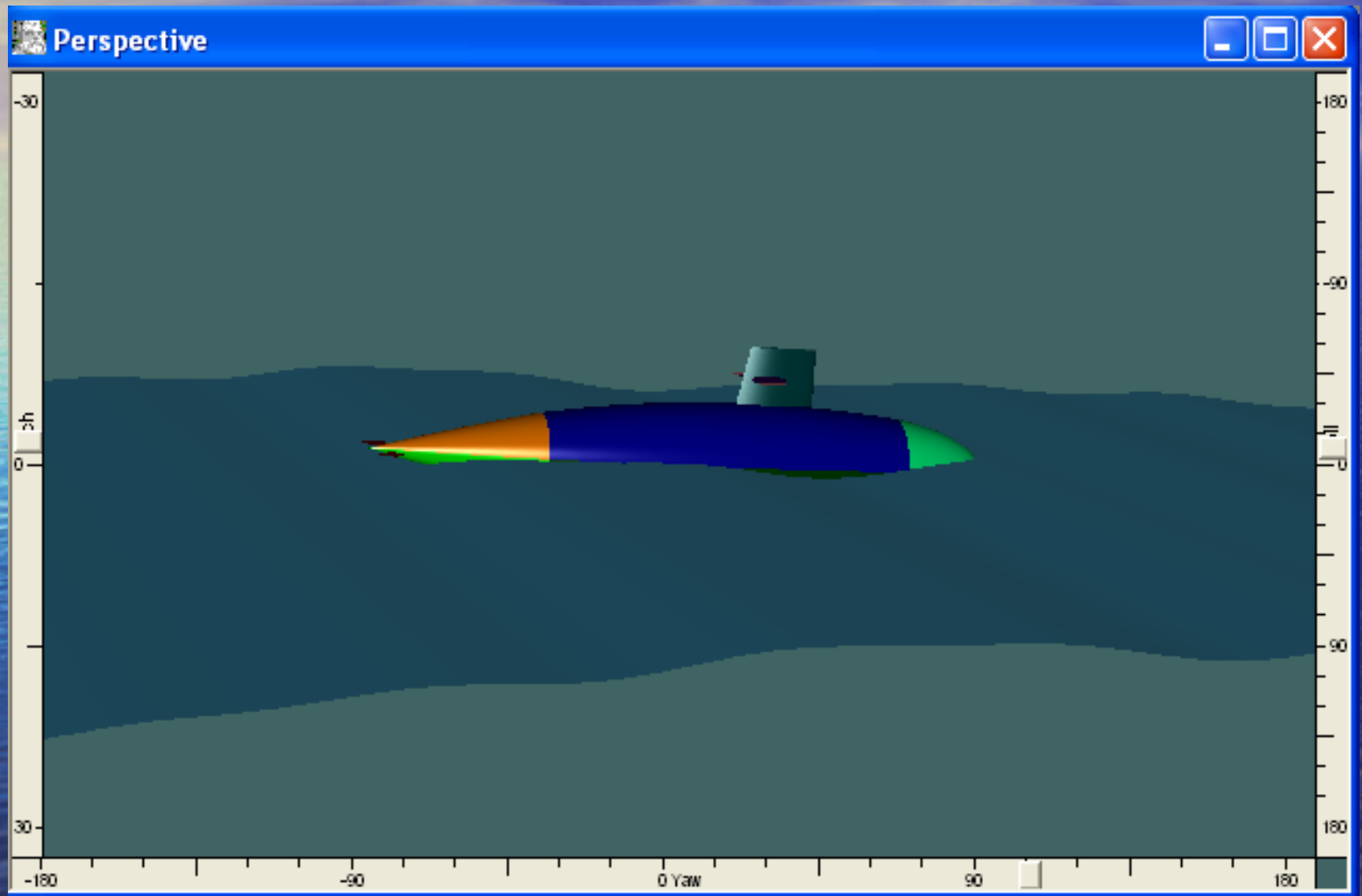
3D Kapal Selam dan Lines Plan



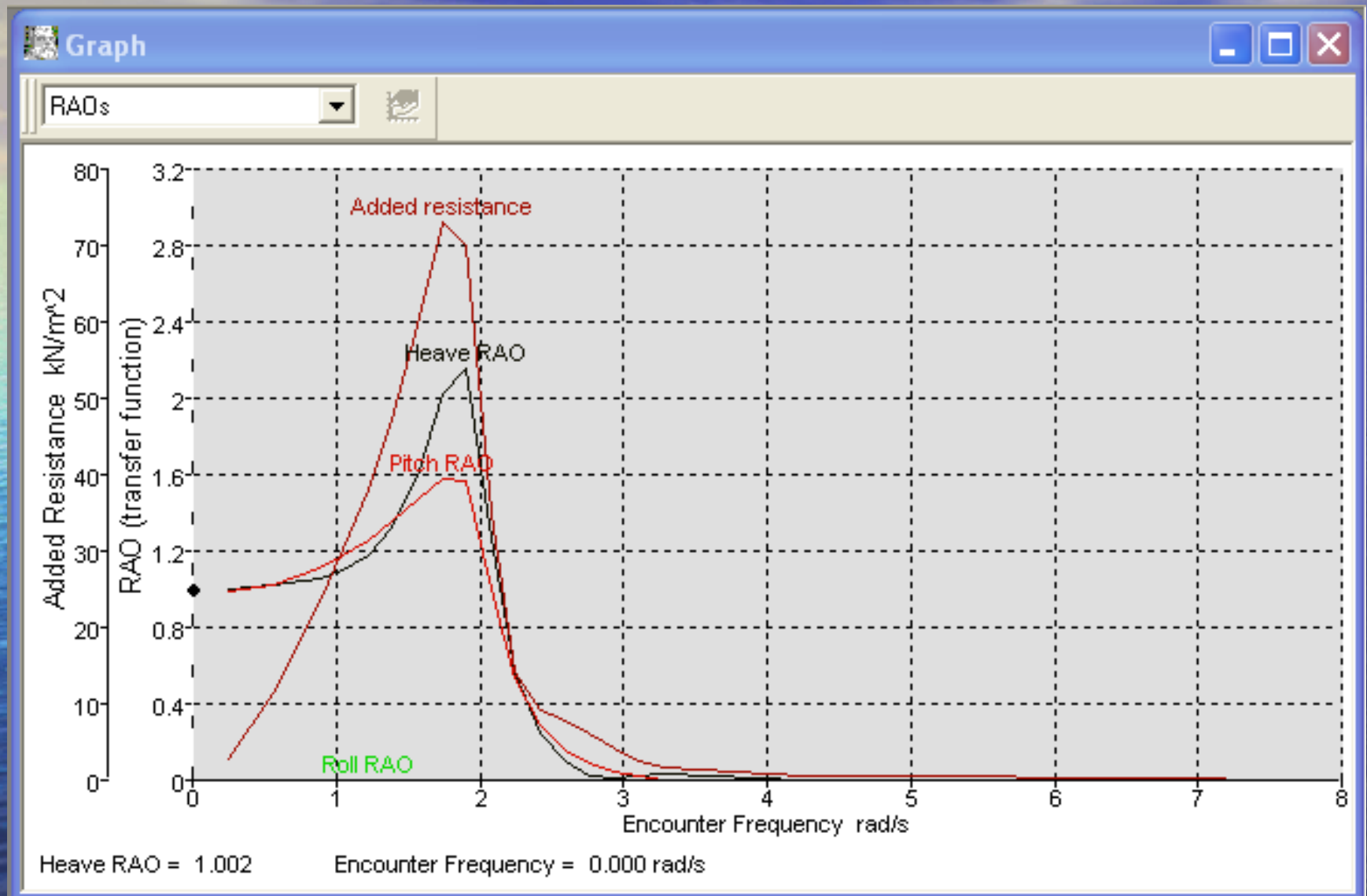
Karakteristik Hydrostatic Kapal Selam



Simulasi Gerak Kapal Selam

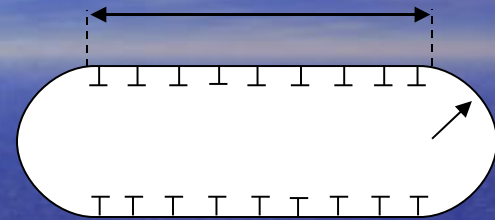


Karakteristik Gerak Kapal Selam

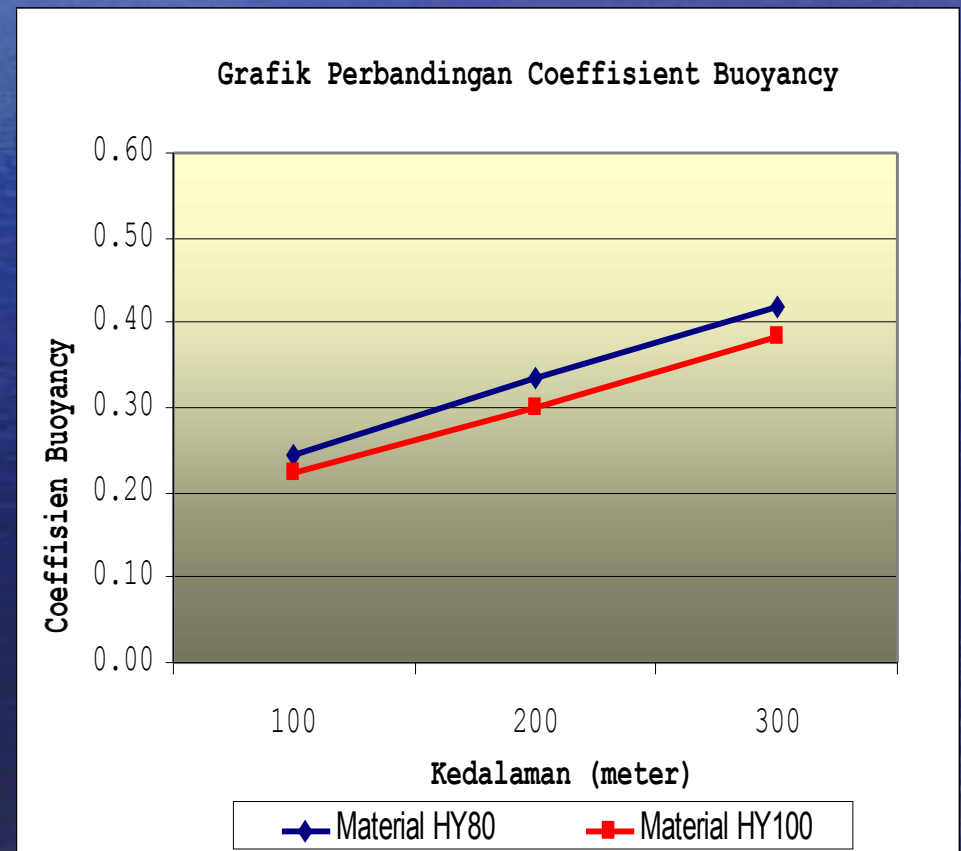
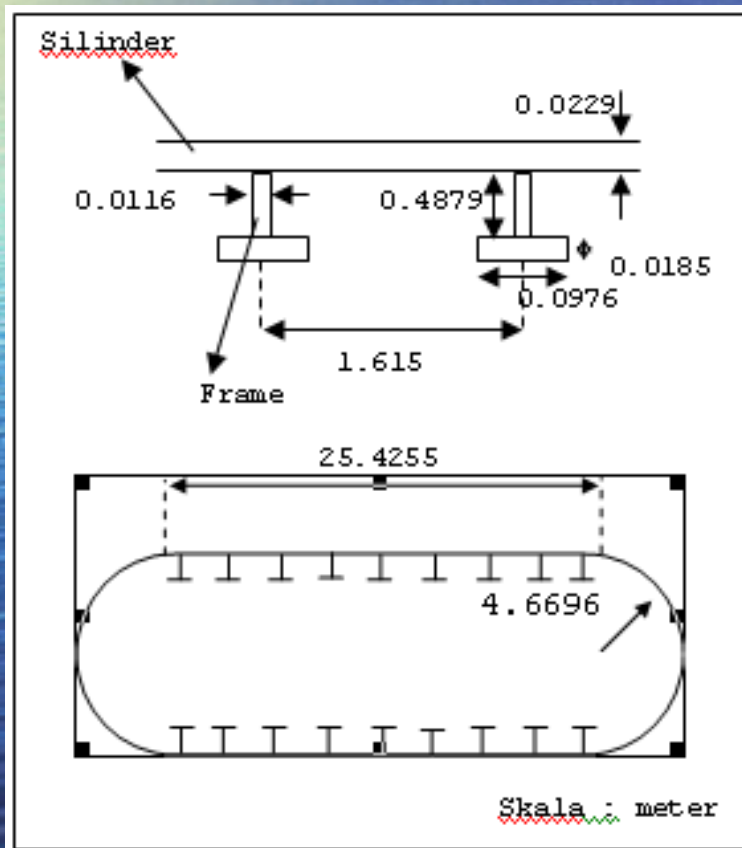


Kekuatan Struktur Pressure Hull Terhadap Beban Buckling

- Tipe Buckling: *local buckling, interframe buckling, frame yeilding, dan over all collapse.*
- Tipe Struktur: Ring Stiffened Cylinder
- External: Hydrostatic Force
- Metoda: Genetic Algorithm
 - Minimize Buoyancy Coefficient = Berat Struktur/Displacement
- Formulasi: ABS, Bucking Theory

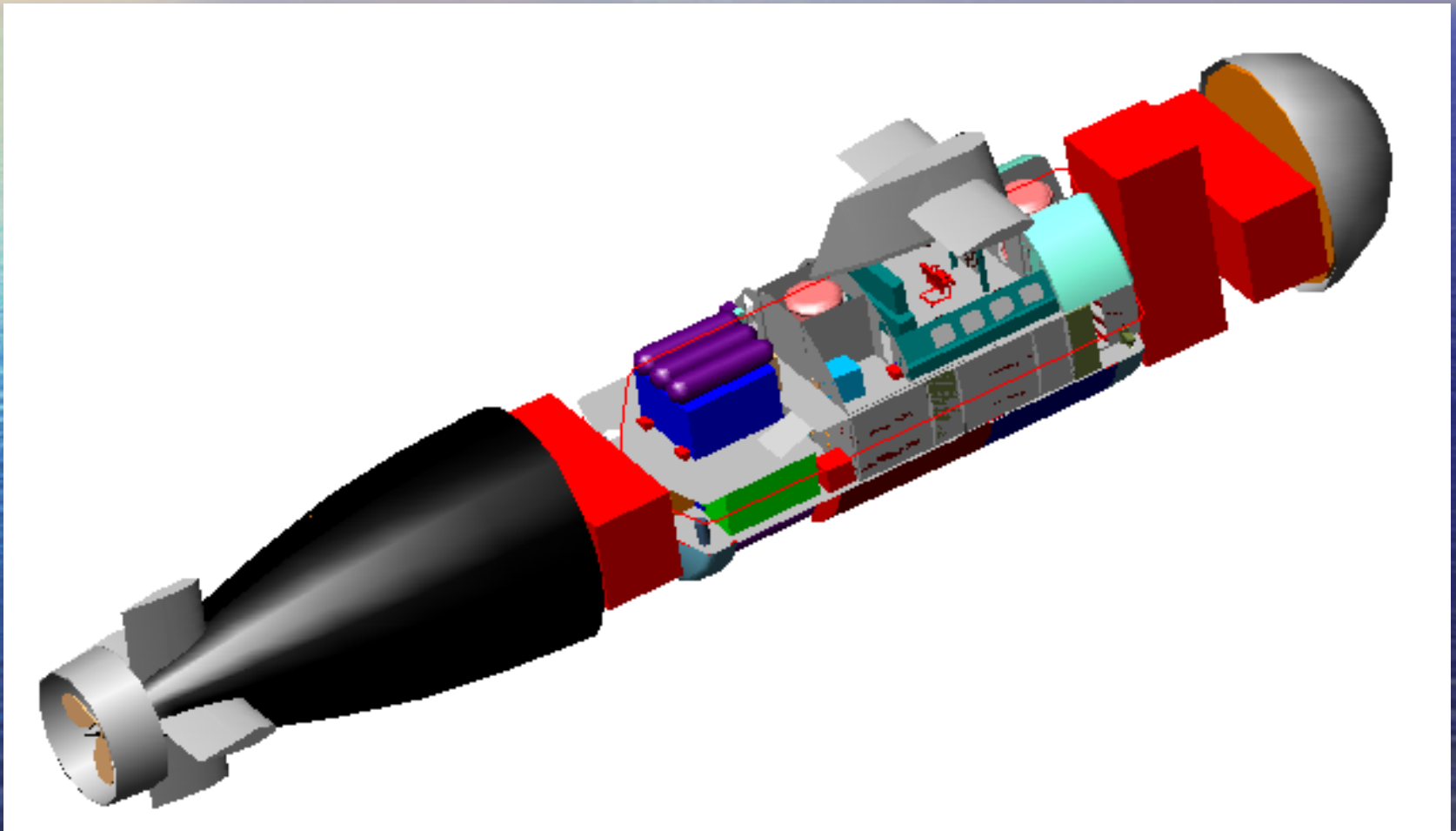


Design Variables dan Hasil Optimisasi

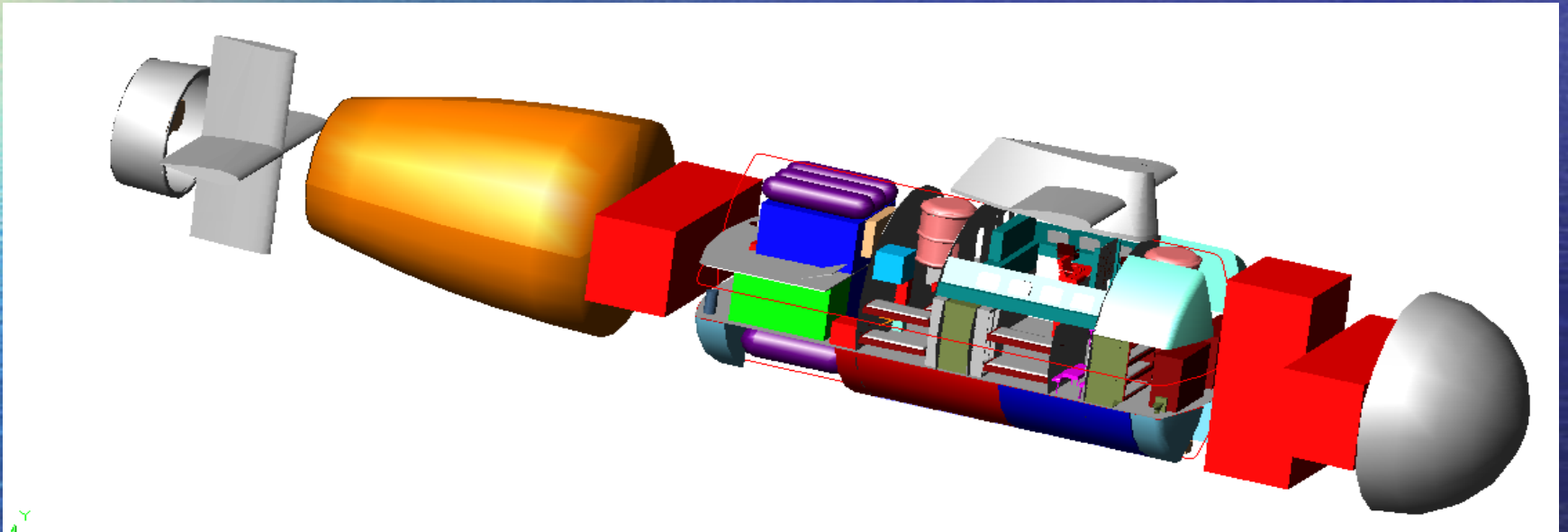


KAJIAN KECUKUPAN RUANG

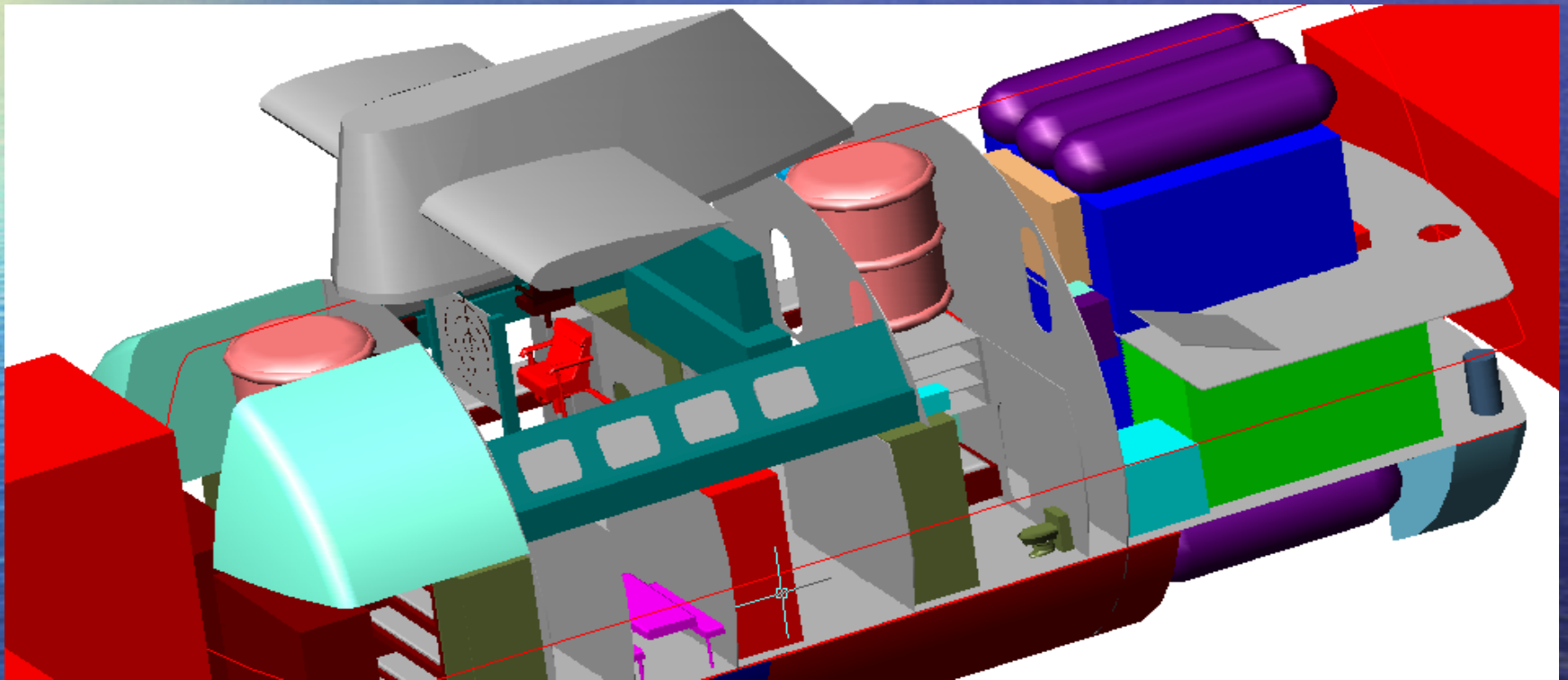
Kapal selam adalah produk teknologi dengan density tinggi (≈ 1) agar dapat melayang didalam air. Ketersediaan ruang menjadi sangat terbatas sehingga perlu kajian kecukupan ruang. Design for space approach



Hasil Awal General Arrangement



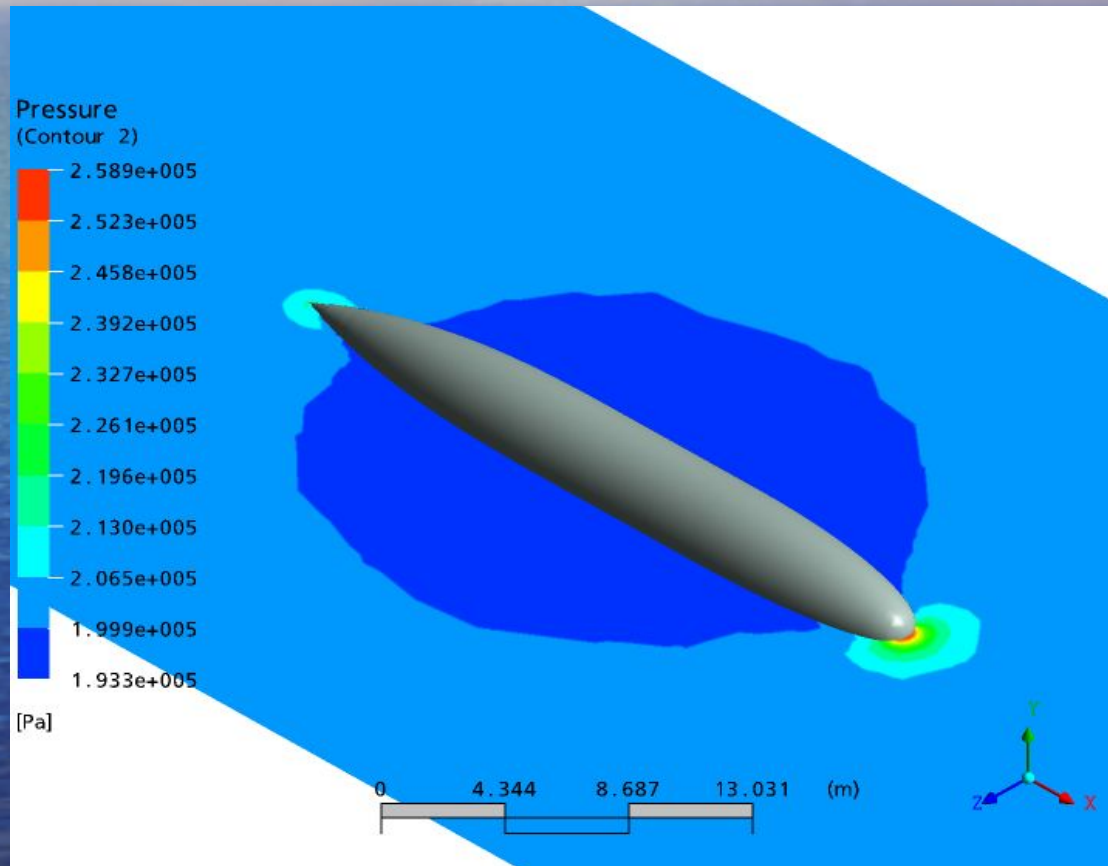
Hasil Awal General Arrangement



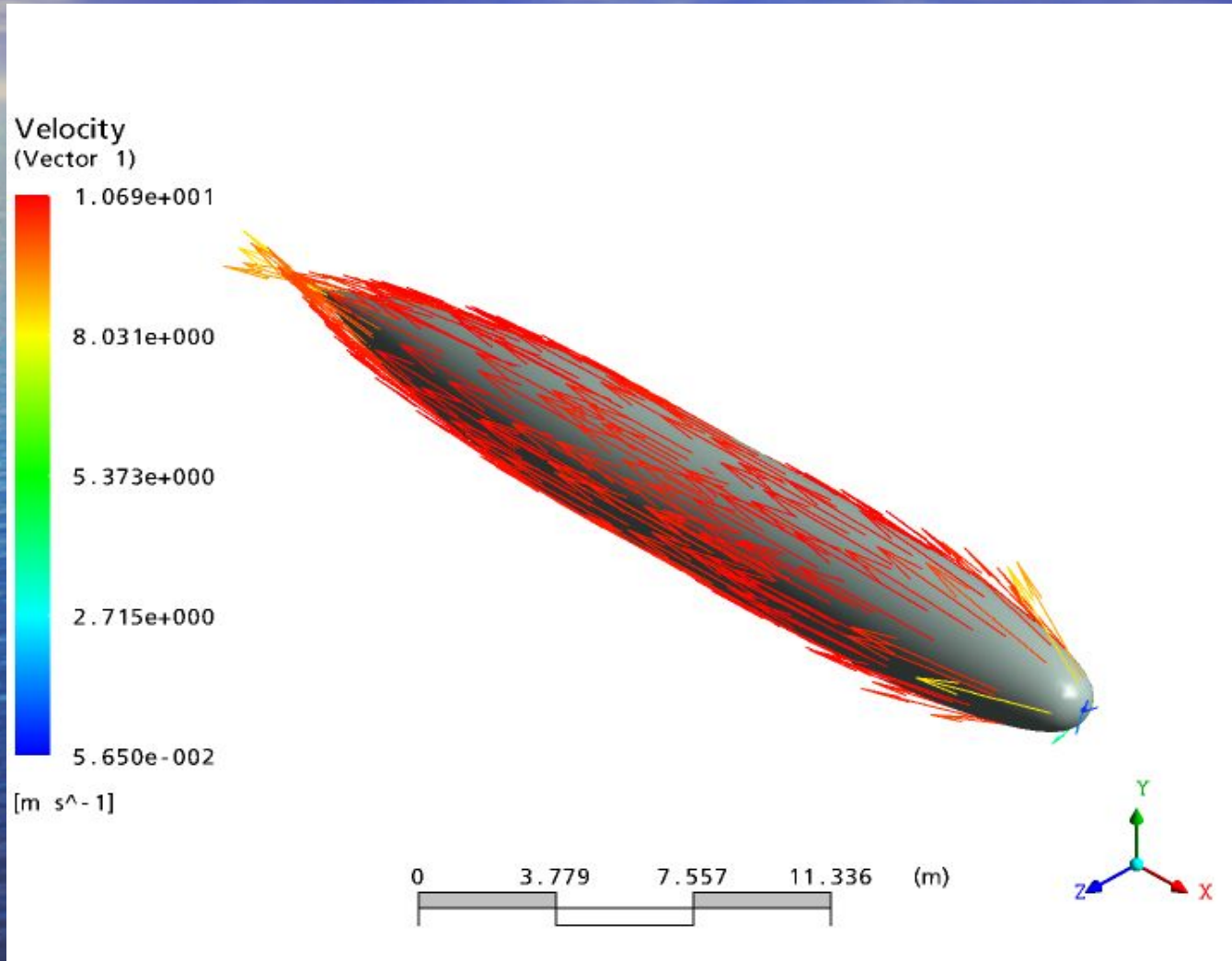
KAJIAN HIDRODINAMIKA

TAHAP PENGEMBANGAN KONSEP

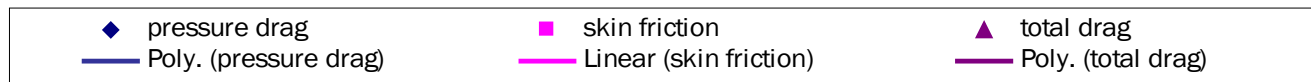
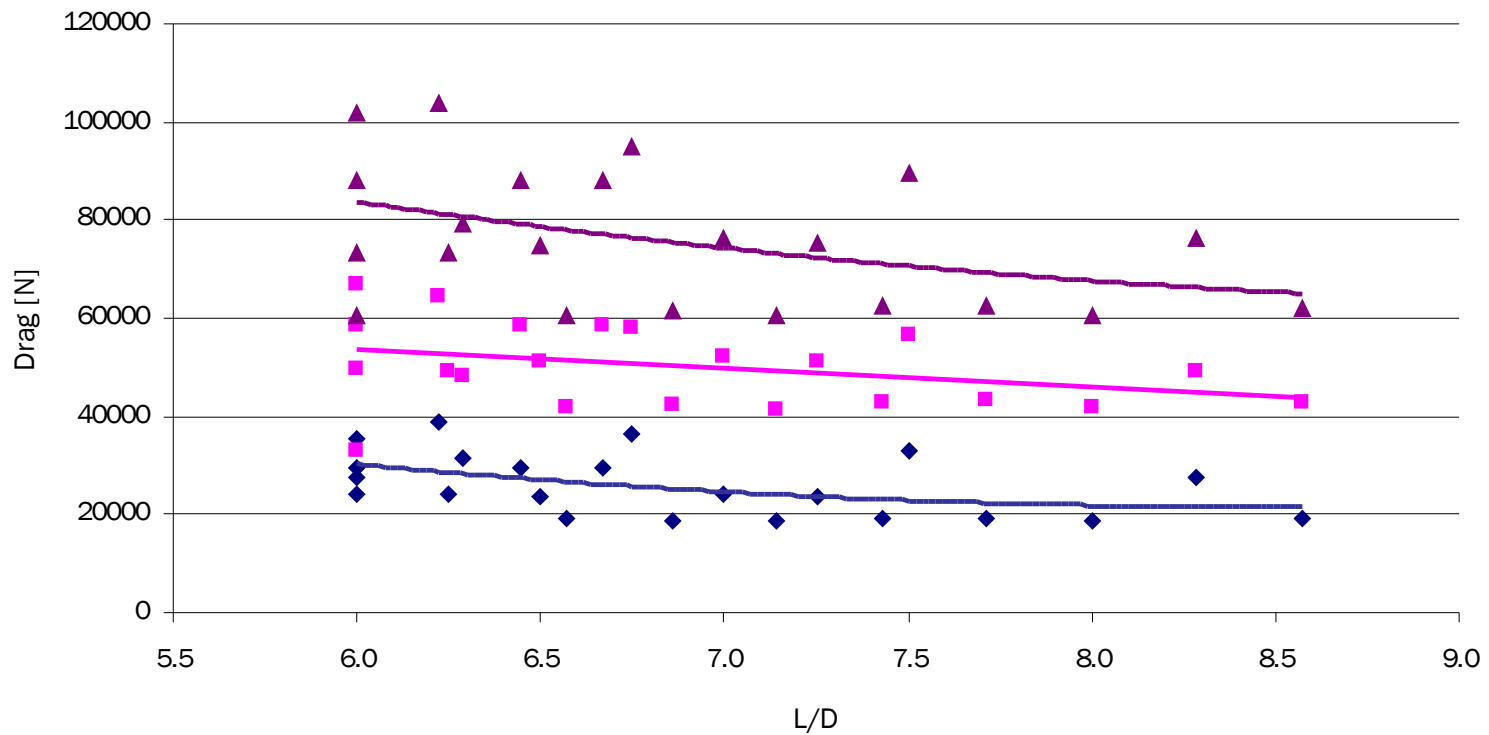
Kontur Distribusi Pressure Bare Hull Untuk $L=30$ meter, $D=4$ meter dan kecepatan 20 knot-



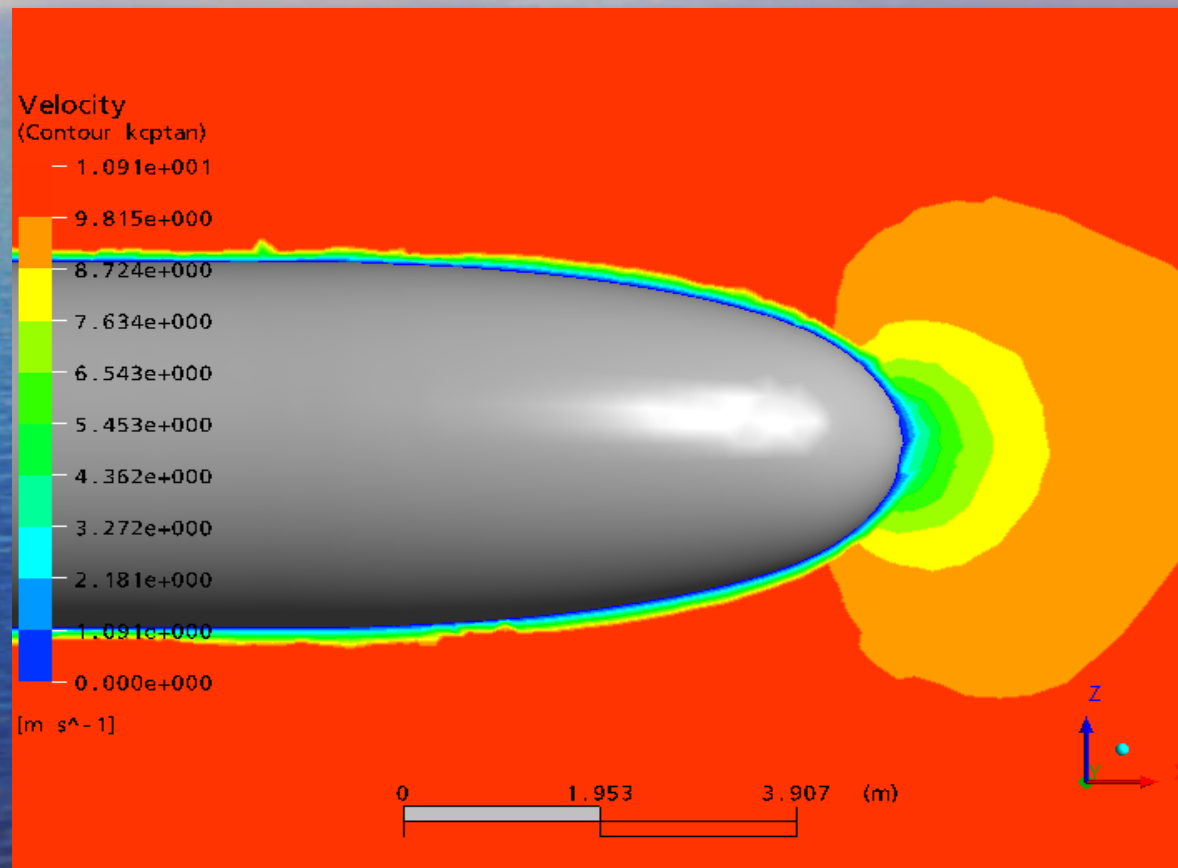
Distribusi Kecepatan Bare Hull Untuk $L=30$ meter, $D=4$ meter dan kecepatan 20 knot-



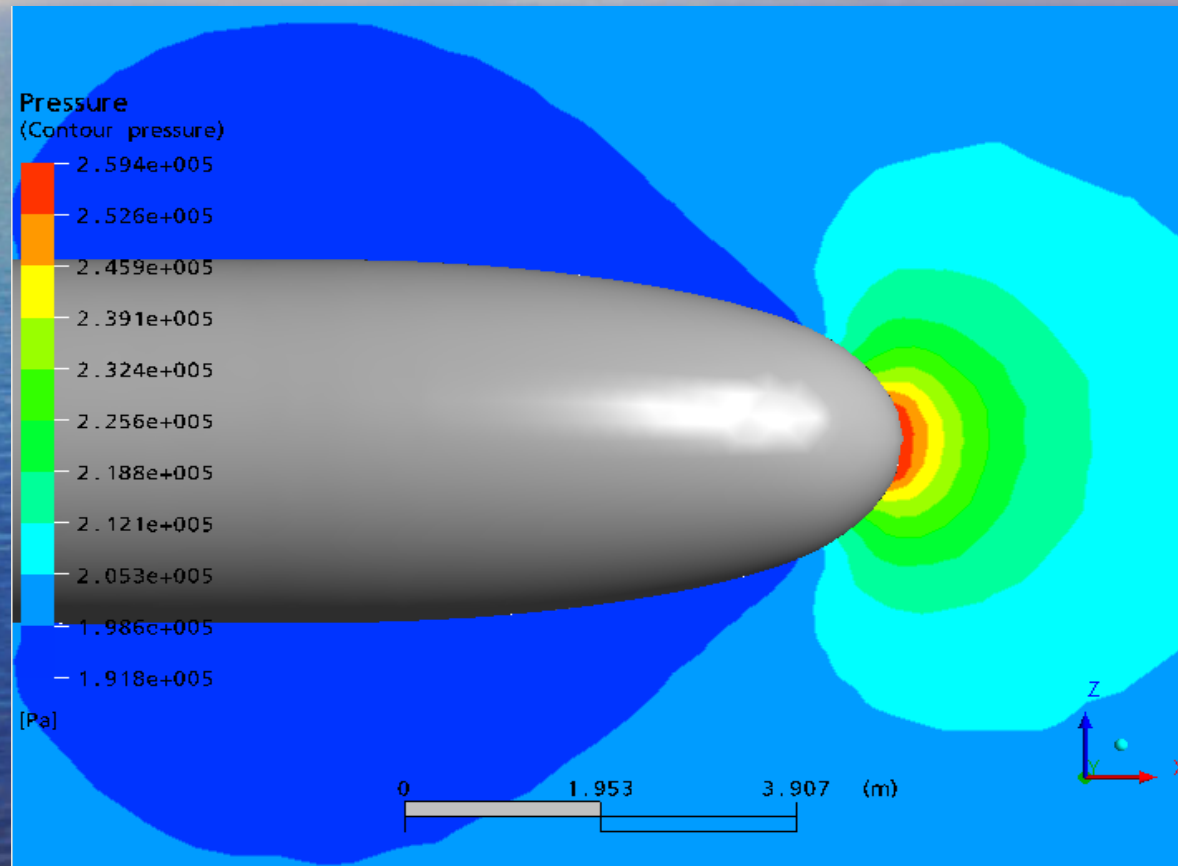
Grafik Hubungan Drag dengan Rasio L/D
pada Kecepatan 10 Knot



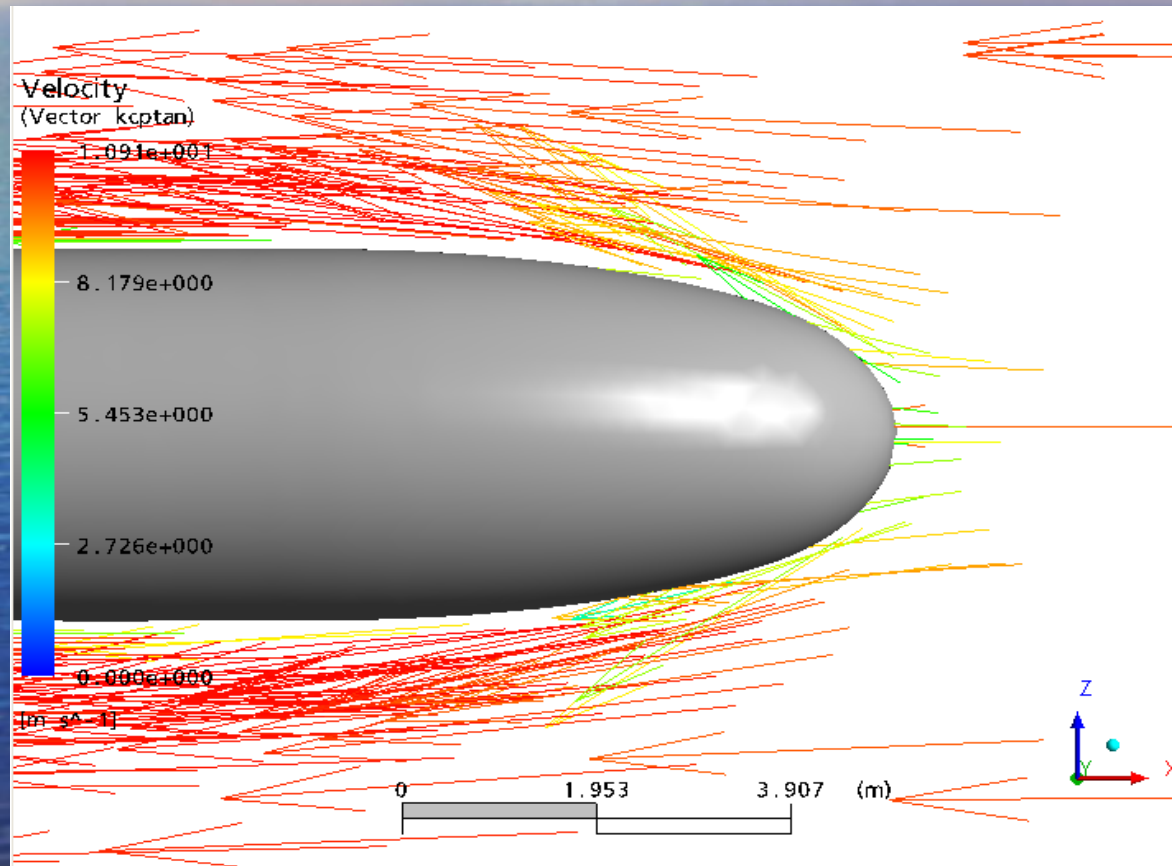
Karakteristik Kontur Kecepatan Di Sekitar Nose Kapal Selam



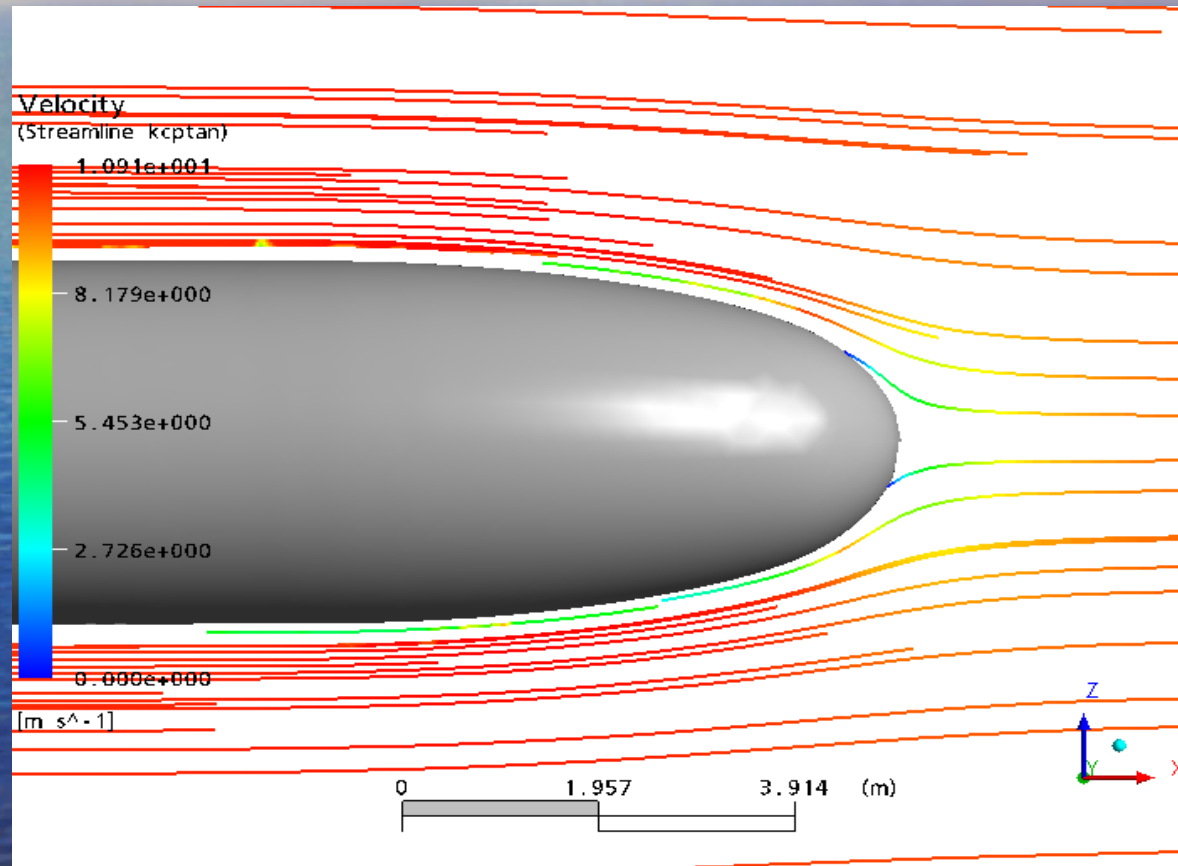
Karakteristik Kontur Tekanan Di Sekitar Nose Kapal Selam



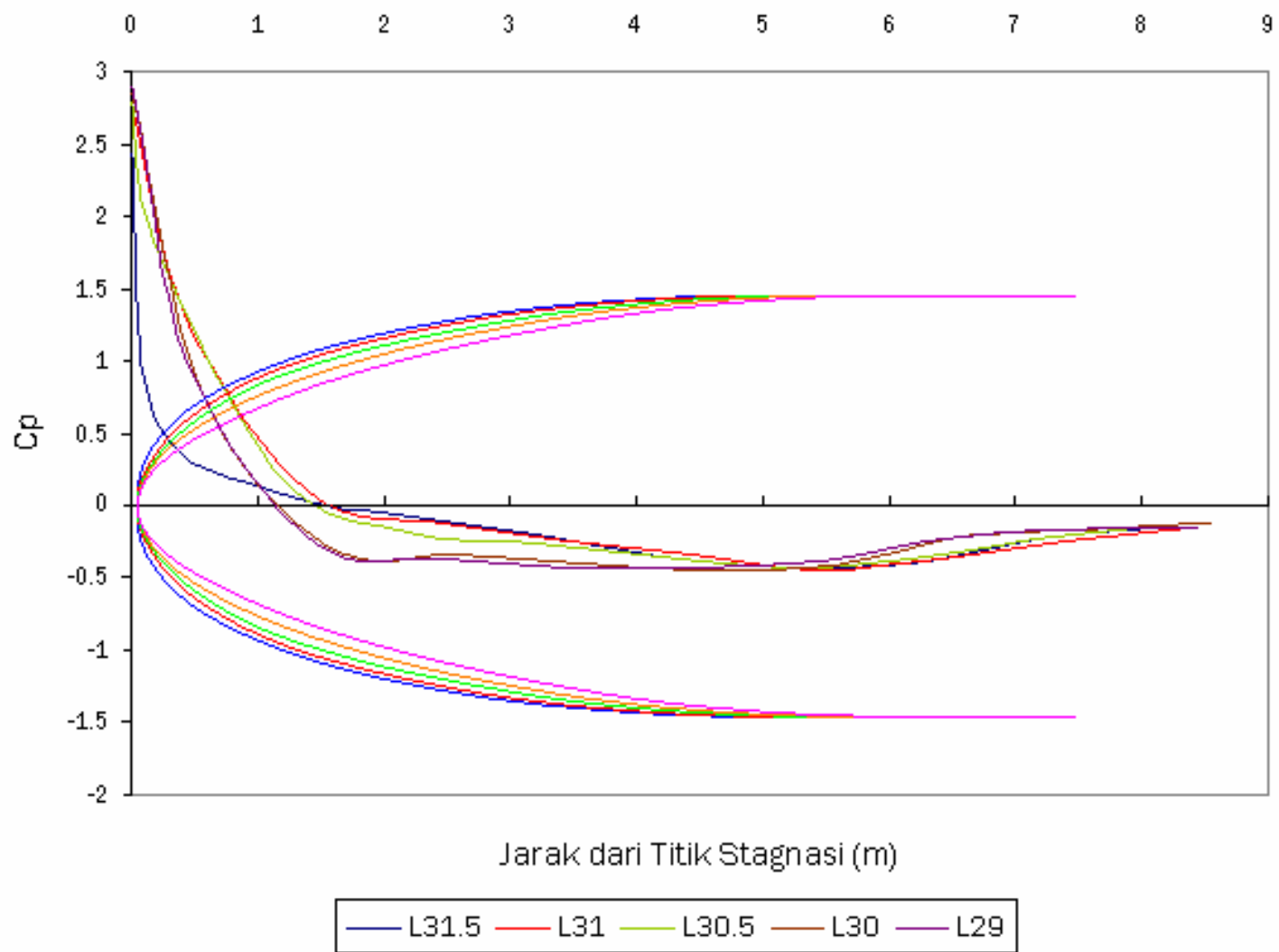
Karakteristik Vector Kecepatan Di Sekitar Nose Kapal Selam



Karakteristik Streamline Di Sekitar Nose Kapal Selam



Grafik Distribusi Tekanan Pada Bagian Depan Kapal Selam Dengan Berbagai Variasi Bentuk Nose



PERCOBAAN LABORATORIUM

- Laboratorium Towing Tank untuk meneliti karakteristik tahanan, aliran di air tenang/bergelombang
- Laboratorium Maneuvring Basin untuk meneliti karakteristik gerakan kapal selam
- Laboratorium Cavitation Tunnel untuk meneliti karakteristik detail aliran dan noise akibat aliran
- Model 6 buah:
 - Model USS Virginia
 - Model USS Sturgeon
 - Model USS Skipjack
 - Model USS Permit
 - Model USS Seawolf
 - Model USS Albacore

Model USS Permit



Model Hydroplane



Model Sail/Bridge Water



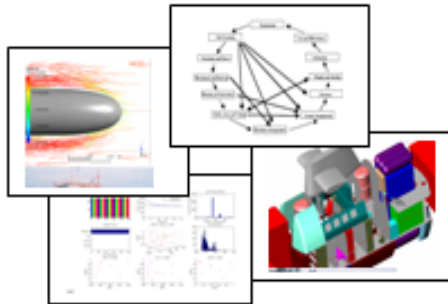
Foto-foto Proses Pembuatan Model Kapal Selam



III.2. RINGKASAN HASIL PENELITIAN

LEMBAGA PENELITIAN DAN
PENGABDIAN MASYARAKAT
ITS SURABAYA

MIDGET INCENTIVE RESEARCH PROJECT



CONCEPT EXPLORATION AND DEVELOPMENT

- Mission and Operation Requirements
- Design Optimization
- Flow around body/appendices
- Internal Arrangement
- Physical Model Making

Januari-Oktober 2007

CONCEPT DEVELOPMENT AND LABORATORY WORKS

- Detail internal arrangement (cont'd)
- Flow around body/appendices(cont'd)
- Design Optimization (cont'd)
- Physical Model Finishing
- Measuring & laboratory auxilliary systems
- Laboratory works
- Design review & optimum midget
- HAKI proposal
- Publications and Journals

Januari-Oktober 2008

MIDGET PRODUCT DEFINITION SYSTEM (MPDS)

RANCANGBANGUN MIDGET
UNTUK APLIKASI MILITER
DI INDONESIA



Januari-Oktober 2009

2010

YEARS

KESIMPULAN

- Kapal selam merupakan salah satu alat pertahanan laut yang paling efektif
- Perlu rancangan alat tempur yang dirancang optimal untuk kebutuhan dan permasalahan NKRI yang spesifik
- Kemampuan didalam menguasai Teknologi Pertahanan dan Keamanan merupakan salah satu aspek penting didalam mempersatukan wilayah *archipelagic* NKRI
- Teknologi Pertahanan dan Keamanan perlu secepatnya dikembangkan secara mandiri untuk kewibawaan bangsa Indonesia
- Perlu kerjasama terencana yang lebih erat, lebih sinergis serta lebih terfokus antara Tentara Nasional Indonesia dengan Perguruan Tinggi serta Industri Nasional untuk mewujudkannya
- Terimakasih atas segala perhatiannya