

*Majalah Ilmiah*  
***Pengkajian Industri***

---

Volume 11 Nomor 3 : Desember 2017

Topik  
Industri Teknologi Hankam dan Material



Diterbitkan oleh :  
**Deputi Teknologi Industri Rancang Bangun & Rekayasa**  
**Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi**  
**Jakarta**

MPI	Vol. 11	No. 3	Hal. 185 - 250	Jakarta, Desember 2017	E-ISSN 2541-1233 P-ISSN 1410-3680
-----	---------	-------	----------------	------------------------	--------------------------------------

**E-ISSN 2541-1233**  
**P-ISSN 1410-3680**



E-ISSN 2541-1233  
P-ISSN 1410-3680

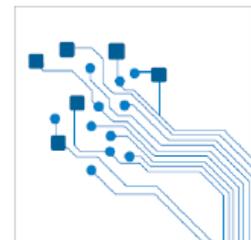
*Majalah Ilmiah*  
***Pengkajian Industri***

---

Volume 11 Nomor 3 : Desember 2017

Topik  
Industri Teknologi Hankam dan Material

**Diterbitkan oleh :**  
**Deputi Teknologi Industri Rancang Bangun & Rekayasa**  
**Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi**  
**Jakarta**



MPI	Vol. 11	No. 3	Hal. 185 - 250	Jakarta, Desember 2017	E-ISSN 2541-1233 P-ISSN 1410-3680
-----	---------	-------	----------------	------------------------	--------------------------------------

## Majalah Ilmiah Pengkajian Industri

---

Volume 11 Nomor 3 : Desember 2017

Majalah Ilmiah Pengkajian Industri adalah wadah informasi bidang Pengkajian Industri berupa hasil penelitian, studi kepustakaan maupun tulisan ilmiah terkait dalam bidang industri. Terbit pertama kali pada tahun 1996 frekuensi terbit tiga kali setahun bulan April, Agustus dan Desember

**Editor in Chief :**

Dr. Ir. Rizqon Fajar, M.Sc (Tek. Bahan Bakar dan Pembakaran) (PTSPT)

**Editors :**

Dr. Dipl.Ing. Mulyadi Sinung Harjono,MT (PTSPT-BPPT)

Ir. Endro Wahyu Tjahjono, (PTSEIK-BPPT)

**Section Editors :**

Ihwan Haryono,ST, (BT2MP-BPPT)

Eka Febriyanti, ST. MT. (B2TKS-BPPT)

Mohamad Ivan Ajisaputro,ST, (PTSTP-BPPT)

**Copy Editors :**

Prasetyaning Diah Rizky Lestari,M.Si, (BT2MP-BPPT)

Dimas Bahtera Eskayudha,ST (PTSPT-BPPT)

Malinda Sabrina,S.Si (PTSPT-BPPT)

Hendrato, ST (PTSPT-BPPT)

Fitriyanto, ST, PTIH-BPPT)

Siti Yubaidah, ST, MT (BT2MP-BPPT)

**Layout Editors :**

Muhammad Maruf,MT, BT2MP-BPPT)

Era Restu Finalis, ST,MT (PTSEIK-BPPT)

**Proofreaders :**

Eka Febriyanti, ST. MT. (B2TKS-BPPT)

Ihwan Haryono,ST, (BT2MP-BPPT)

**Reviewers :**

Dr. Maizirwan Mel, MSc. Bidang Bio Process Engineering IIUM Gombak-Kuala Lumpur Dr. Ing.Ir.,

Prof. Ir. Wimpie Agoeng N. Aspar, MSCE., Ph.D. Bidang Teknik Sipil BPPT

Ir. Eko Syamsudin, M. Eng. (Teknik Mesin, Bid. Industri Hankam),(PTIPK)

Prof. Dr.Ir. Sulistijono, DEA Bidang Teknik Desain Material FTI-ITS

Dr. Ir. Myrna Ariati,MS Bidang Metalurgi dan Material, FT-UI

Dr. Ir. I Nyoman Jujur, M.Eng. Bidang Teknik Mesin BPPT

H. Agus Suhartono Bidang Material BPPT

---

Alamat Redaksi/Penerbit :

Deputi Bidang Teknologi Industri Rancang Bangun dan Rekayasa

Gedung Teknologi II (251) Lantai 3, PUSPIPTEK Serpong, TangSel (15314)

Telepon : (021)75875944, ext. 1112, Fax.(021)75875938

E-mail : [majalah\\_mpi@yahoo.com](mailto:majalah_mpi@yahoo.com)

Home Page : <http://ejurnal.bppt.go.id/index.php/MIPI>



### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih dan penghargaan disampaikan kepada para pakar yang telah diundang sebagai Mitra Bestari/Penelaah oleh Majalah Ilmiah Pengkajian Industri dalam Volume 11, No. 3. Desember 2017. Berikut ini daftar nama pakar yang berpartisipasi :

Nama	Alamat/Instansi
Dr. Ir. Eko Syamsudin, M.Sc. (Specialist Avionics and Navigation)	Pusat Teknologi Industri Keamanan dan Pertahanan Gedung Teknologi 2, PUSPIPTEK, Serpong
Dr. Ir. Rizqon Fajar, M.Sc (Bid.Teknik Bahan Bakar dan Pembakaran)	Pusat Teknologi Sistem dan Prasarana Transportasi Gedung Teknologi II (251), Lt.3 Kawasan Puspipstek Serpong,
Dr.Ir. Suryadi,MT. (Bidang Mekanika dan Material )	Pusat Teknologi Material Gedung Pusat Teknologi Material (224), Lt.2 Kawasan Puspipstek Serpong,
Prof. Dr. Ir. Buana Maruf,MSc (Bidang Transportasi dan Teknik Perkapalan)	Pusat Teknologi Rekayasa Industri Maritim Gedung Teknologi 2 Lt.3, Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, Tangerang, Banten
Dr. Ir. Amin Suhadi, M. Eng (Bidang Mekanika dan Material)	B2TKS, Kawasan Puspipstek, Gedung 220 Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, Tangerang, Banten

## SUSUNAN REDAKTUR PELAKSANA

### **Editor in Chief :**

Dr. Ir. Rizqon Fajar, M.Sc (Tek. Bahan Bakar dan Pembakaran) (PTSPT)

### **Editors :**

Dr. Dipl.Ing. Mulyadi Sinung Harjono,MT (PTSPT-BPPT)

Ir. Endro Wahyu Tjahjono, (PTSEIK-BPPT)

### **Section Editors :**

Ihwan Haryono,ST, (BT2MP-BPPT)

Eka Febriyanti, ST. MT. (B2TKS-BPPT)

Mohamad Ivan Ajisaputro,ST, (PTSTP-BPPT)

### **Copy Editors :**

Prasetyaning Diah Rizky Lestari,M.Si, (BT2MP-BPPT)

Dimas Bahtera Eskayudha,ST (PTSPT-BPPT)

Malinda Sabrina,S.Si (PTSPT-BPPT)

Hendrato, ST (PTSPT-BPPT)

Fitriyanto, ST, PTIH-BPPT)

Siti Yubaidah, ST, MT (BT2MP-BPPT)

### **Layout Editors :**

Muhammad Maruf,MT, (BT2MP-BPPT)

Era Restu Finalis, ST,MT (PTSEIK-BPPT)

### **Proofreaders :**

Eka Febriyanti, ST. MT. (B2TKS-BPPT)

Ihwan Haryono,ST, (BT2MP-BPPT)

### **Reviewers :**

Dr. Maizirwan Mel, MSc. Bidang Bio Process Engineering IIUM Gombak-Kuala Lumpur

Dr. Ing.Ir., Prof. Ir. Wimpie Agoeng N. Aspar, MSCE., Ph.D. Bidang Teknik Sipil BPPT

Dr.Ir. Eko Syamsudin, M. Sc. Bid. Teknik Mesin, Industri Hankam BPPT

Prof. Dr.Ir. Sulistijono, DEA Bidang Teknik Desain Material FTI-ITS

Dr, Ir. Myrna Ariati,MS Bidang Metalurgi dan Material, FT-UI

Dr. Ir. I Nyoman Jujur, M.Eng. Bidang Teknik Mesin BPPT

Prof.Dr.Ir. Buana Maruf, Bidang Transportasi Perkapalan BPPT

Dr. Ir. Amin Suhadi, M. Eng Bidang Mesin dan Material BPPT

Dr. Ir. H. Agus Suhartono Bidang Material BPPT

Dr.Ir. Suryadi,MT, Bidang Mesin dan Material BPPT

Prof. Dr. Ir. Bambang Teguh P., Dipl. Ing. DEA. Bidang Mekanika Fluida, Konversi Energi BPPT

Dr. Ir. Cuk Supriyadi Ali Nandar, M.Eng. Bidang Teknologi Sistem Stabilitas Ketenagaan dan Kendali BPPT

Dr. Hari Setiaprada, M.Eng. Bidang Teknologi Industri dan Otomotif BPPT

Ir. Djoko W. Karmiadji, MSME., Ph.D., Bidang Konstruksi Beton, Teknik Sipil BPPT

## Kata Pengantar

Industri Teknologi Hankam dan Material merupakan dua kelompok besar industri yang berbasis teknologi yaitu industri Teknologi Hankam dan Industri material logam dan industri material non logam yang meliputi semua komponen yang terkait dengan pertahanan dan keamanan baik materialnya maupun komponen lainnya seperti keramik, polimer, dan komposit. Teknologi pada industri Hankam dan material selama ini terus dikembangkan melalui berbagai kegiatan penelitian dan perekayasaan. Banyak penelitian, kajian dan perekayasaan yang dilakukan oleh berbagai pihak, baik berupa lembaga maupun perorangan yang bertujuan untuk memperluas dan meningkatkan kemampuan material untuk dapat diaplikasikan dalam berbagai keperluan.

Terbitan Majalah Ilmiah Pengkajian Industri volume. 10 no. 3 Desember 2017 kali ini, ditampilkan publikasi beberapa penelitian, kajian dan perekayasaan tentang industry teknologi material diantaranya tentang : Analisis Kegagalan Screw Penyebab Kerusakan Decanter Shaft Pada Unit Pengolahan Minyak. Evaluasi Ergonomi Kokpit Pesawat Udara N-219 Dengan Usability Testing.

Sedang tentang penelitian dan perekayasaan industri Teknologi Hankam adalah : Kajian Teknis Modifikasi Senjata Laras Panjang Untuk Prajurit TNI. Tinjauan Unjuk Kerja Hidromekanika Pada Pengembangan Awal Desain Ranpur Amfibi Beroda Ban. Kajian Kapal Cepat Rudal (Kcr) 60m Terhadap Kondisi Seastate Perairan Kawasan Barat Dan Timur Indonesia, dan Pemanfaatan Pesawat Udara Nir Awak (Puna) Alap-Alap Untuk Pemantauan Gunung Berapi.

Semoga pembahasan pada terbitan ini bermanfaat bagi perkembangan industri teknologi Hankam khususnya dan material pada umumnya. Sehingga mampu menjadi industri yang unggul dengan didukung oleh sumber daya yang produktif. Diharapkan juga informasi ini akan menjadi bagian dalam perkembangan penelitian dan kerekayasaan lebih lanjut. Redaksi selalu berusaha melakukan perbaikan-perbaikan dalam rangka meningkatkan mutu Majalah Pengkajian Industri. Selanjutnya redaksi berencana menerbitkan Vol. 11 No. 1 bulan April 2018 dimana dalam terbitan tersebut mencakup semua aspek industri teknologi yang menjadi cakupan majalah kita ini. Redaksi sangat mengharapkan adanya kritik dan saran yang sifatnya membangun.

Redaksi

### Majalah Ilmiah Pengkajian Industri

- Analisis Kegagalan Screw Penyebab Kerusakan Decanter Shaft Pada Unit Pengolahan Minyak. 185 - 192  
*Screw Failure Analysis Causes Decanter Shaft Damage In Oil Processing Units.* (Eka Febriyanti, Sutarjo, Adi Febrianto)
- Evaluasi Performa Gerak Ranpur Tank Sedang Indonesia Untuk Memenuhi Spesifikasi Teknis Operasi Militer. 193 - 202  
*Evaluation of Indonesia's Medium Armoured Vehicle Tank Motion Performance to Meet Technical Specifications of Military Operations.* (Apid Rustandi, Agus Suprianto, Nurhadi Pramana)
- Kajian Teknis Modifikasi Senjata Laras Panjang Untuk Prajurit TNI. 203 - 210  
*Technical Assessment of Long Weapon Modification For TNI Soldiers.* (Fadli C. Megawanto, Ade Purwantob, Teguh Muttaqie)
- Tinjauan Unjuk Kerja Hidromekanika Pada Pengembangan Awal Desain Ranpur Amfibi Beroda Ban. 211 - 220  
*Hydrodynamic Performance Review On Initial Development of Amphibians Armoured Vehicle with wheeled Tires.* (Samudro Dan Baharuddin Ali)
- Evaluasi Ergonomi Kokpit Pesawat Udara N-219 Dengan Usability Testing 221 - 230  
*Evaluation of N-219 Aircraft Cockpit Ergonomics with Usability Testin.* (Triyono Widi Sassongko, Nina Kartika, Tegar Septyan, Dimas Bahtera E., Budi Sampurno)
- Pemanfaatan Pesawat Udara Nir Awak (Puna) Alap-Alap Untuk Pemantauan Gunung Berapi 231 - 238  
*Utilization of Aircraft Non Crew (Puna) Alap-Alap For Volcano Monitoring.* (Yomi Gumo, Dewi H. Budiarti Dan Dwi Raharjo)
- Kajian Kapal Cepat Rudal (KCR) 60m Terhadap Kondisi Seastate Perairan Kawasan Barat Dan Timur Indonesia 239 - 250  
*Study Fast Missile Carft (KCR) 60M Depends on Seastate Condition of West and East Indonesian Sea Teritory*

## **ANALISIS KEGAGALAN SCREW PENYEBAB KERUSAKAN DECANTER SHAFT PADA UNIT PENGOLAHAN MINYAK**

**Eka Febriyanti, Sutarjo, Adi Febrianto**

### **Abstrak**

*Decanter* merupakan mesin industri pada unit pengolahan minyak yang berfungsi untuk memisahkan *sludge* dari *crude oil tank* menjadi *light phase*, *heavy phase* dan *solid* dalam *crude oil* sehingga proses pemisahan selanjutnya di dalam *clarier settling tank* akan lebih sempurna. *Shaft* merupakan salah satu bagian dari *decanter* yang berhenti beroperasi setelah pengoperasian satu tahun. Selanjutnya setelah dilakukan investigasi di tempat kejadian menunjukkan bahwa *screw* dari *shaft* mengalami patah sehingga menyebabkan *decanter* berhenti *beroperasi*. Hasil pemeriksaan visual menunjukkan bahwa *screw* mengalami perpatahan/rusak di daerah radius. Sedangkan pemeriksaan fraktografi menunjukkan bahwa foto makro permukaan patahan *screw* berupa patah ulet yang berawal dari satu sisi dan merambat hingga mencapai penjalaran retak sebesar 70%, namun patah sisa/patah akhir yang terletak berseberangan dengan patah awal. Hasil pemeriksaan tersebut juga dikonfirmasi dengan pemeriksaan metalografi yang menunjukkan adanya inklusi pengotor di lokasi perpatahan *screw*. Oleh karena itu, cacat inklusi akibat proses manufaktur berperan sebagai inisiasi perambatan retak, lalu menjalar akibat pembebanan dinamis dari pergerakan *shaft* sampai akhirnya baut mengalami perpatahan. Analisis kimia dari material *screw* menunjukkan bahwa material *screw* yang diperiksa merupakan jenis *low alloy steel* yang sesuai dengan spesifikasi standard.

Kata Kunci : *Screw, shaft, inklusi, beban dinamis*

## **EVALUASI PERFORMA GERAK KENDARAAN TEMPUR TANK SEDANG INDONESIA UNTUK MEMENUHI SPESIFIKASI TEKNIS MILITER**

**Apid Rustandi, Agus Suprianto, Nurhadi Pramana**

### **Abstrak**

Tahun 2014 Indonesia mendatangkan kendaraan tempur angkut personil Marder-1A3 dari Austria berkelas *Infantry Fighting Vehicle* untuk Infanteri TNI-AD. Di samping itu, didatangkan juga kendaraan tempur pemukul dan penghancur yang sesuai dengan medan geografis Indonesia, yaitu Tank Leopard dari Jerman untuk Kavaleri TNI-AD. Indonesia memerlukan tank kelas menengah yang sesuai dengan medan geografis, untuk mendukung mobilitas pasukan dan mempunyai daya gempur tinggi. Untuk itu, Indonesia mengembangkan kendaraan tempur jenis tank sedang. Untuk mendapatkan gambaran performa kendaraan tempur Tank Sedang Indonesia, maka pada pengkajian ini dilakukan tinjauan kemampuan mesin dan transmisi dari Tank Sedang Indonesia dengan tank Marder-1A3 sebagai pembandingan. Metode yang dipakai adalah metode kuantitatif untuk menghitung performa kemampuan rancangan kendaraan tempur, khususnya pada sistem mesin dan transmisi. Selanjutnya adalah metode kualitatif yaitu perhitungan dua dimensi atas kemampuan kendaraan tempur terhadap persyaratan dari regulator. Dari hasil pengkajian, didapatkan performa rancangan Tank Sedang Indonesia mampu menggerakkan wahana dengan gaya translasi 223.700 N serta mampu menanjak pada kemiringan 31° pada *gear shift 2<sup>nd</sup>* dan 40° pada *gear shift 1<sup>th</sup>*. Kecepatan maksimum yang dihasilkan dengan *ratio gearbox* percepatan 6 (*gearshift 6<sup>th</sup>*) mampu mencapai 47 mil/jam atau 75 km/jam. Secara keseluruhan, rancangan kendaraan tempur Tank Sedang Indonesia memenuhi spesifikasi teknis yang disyaratkan oleh Kementerian Pertahanan.

**Kata kunci** : Tank Marder-1A3, Medium Tank Indonesia, Spesifikasi Teknis, Gaya Translasi, Kemampuan menanjak, Kecepatan maksimum.

## KAJIAN TEKNIS MODIFIKASI SENJATA LARAS PANJANG UNTUK PRAJURIT TNI

Fadli C. Megawanto, Ade Purwanto, Teguh Muttaqie

### Abstrak

Rekayasa alutsista melalui modifikasi teknis (re-engineering) dengan kemampuan mandiri merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan kemampuan penguasaan teknologi industri pertahanan nasional. Memodifikasi senjata api M-16 sebagai senjata serbu ringan laras panjang, berkaliber 5.56 mm menjadi senjata laras pendek untuk pertempuran jarak pendek di kapal dapat menginisiasi rancang bangun senjata untuk prajurit TNI AL. Dalam kajian pertempuran di dalam ruang kapal, penggunaan senjata laras panjang standar TNI tipe M-16 dirasa kurang optimal. Ruang gerak prajurit yang sempit dengan jarak tembak relatif dekat, maka senjata serbu laras pendek akan lebih baik. Berkaitan dengan hal tersebut senjata serbu M-16 milik TNI AL dicoba dimodifikasi dengan cara pemendekan laras maupun penggantian laras sesuai postur dan misi tempur prajurit TNI. Dalam kajian disini ditelaah hasil modifikasi senjata laras panjang M-16 yang sesuai untuk digunakan prajurit TNI namun tetap mempunyai kinerja tembak yang optimal.

**Kata kunci** : Senjata serbu ringan, Senjata laras panjang/pendek. Modifikasi teknik.

## TINJAUAN UNJUK KERJA HIDROMEKANIKA PADA PENGEMBANGAN AWAL DISAIN RANPUR AMFIBI BERODA BAN

Samudro, Baharuddin Ali

### Abstrak

Kendaraan tempur (ranpur) amfibi *AAPC (Amphibious Armored Personal Carrier)* adalah ranpur pengangkut personel militer serta dapat dimanfaatkan untuk penyeberangan pada perairan dangkal. Ranpur mampu beroperasi di darat/ air dan dapat dikembangkan untuk operasi amfibi pendaratan. Ranpur berbobot 10,5 ton mempunyai kapasitas 10 personil, berkecepatan di darat 110 km/jam dan dirancang berkecepatan 9 km/jam di air. Pada tulisan ini secara numerik unjuk kerja hidromekanika ranpur (*amphibious mode*) dikaji, terutama karakteristik hidrostatis, aspek daya apung, aspek stabilitas serta karakteristik hidrodinamika, aspek tenaga penggerak untuk menjamin kenyamanan maupun keselamatan operasional ranpur di air. Ranpur dirancang dengan *displacement* penuh, prediksi hidrostatis ranpur menunjukkan sarat air/ ketenggelaman maksimum mencapai 1,5 m, disini ranpur tercelup hingga bukaan pintu masuk personil, namun ranpur masih mempunyai cadangan daya apung. Prediksi stabilitas ranpur menunjukkan, pada kondisi titik berat disekitar 1,25 m dari garis dasar, meski miring  $\pm 60^\circ$ , stabilitas ranpur masih dinilai optimum aman. Namun dengan bobot 10,5 ton, agar ranpur dapat melaju di air pada kecepatan 9 km/jam, diprediksi memerlukan tenaga penggerak  $\pm 1600$  HP. Padahal tenaga penggerak ranpur terpasang hanya sebesar 215 HP, sehingga kecepatan operasi di air dinilai tidak dapat terpenuhi. Karenanya bobot, bentuk dan kecepatan ranpur perlu ditinjau kembali. Secara umum unjuk kerja hidromekanika pengembangan disain ranpur-AAPC amfibi cukup baik.

**Kata Kunci** :Ranpur-AAPC, Aspek Hidromekanika, Sarat Air Maksimum, Stabilitas Optimum, Daya Gerak

## **EVALUASI ERGONOMI KOKPIT PESAWAT UDARA N-219 DENGAN *USABILITY TESTING***

**Triyono Widi Sasongko, Nina Kartika, Tegar Septyan, Dimas Bahtera E, Budi Sampurno**

### **Abstrak**

Analisis optimalisasi ergonomi kokpit pesawat udara N-219 sangat penting untuk dilakukan, dikarenakan postur tubuh yang kaku disebabkan oleh konfigurasi kokpit yang kurang baik membuat pilot merasa tidak nyaman, cepat lelah yang akan menyalahi keamanan penerbangan dan berbahaya bagi pilot. Hasil survey pengukuran ergonomi kognitif dengan metode pengukuran usability dengan *Questionnaire for User Interaction Satisfaction (QUIS)*, yang meliputi reaksi *aircrew* terhadap keseluruhan sistem, display, teknologi sistem informasi, pembelajaran dan kapabilitas sistem di kokpit N-219 mempunyai nilai pada skala 7,32 hingga 8,19, dengan kategori baik dan bisa diterima, meskipun terdapat beberapa kekurangan yang harus diperbaiki. Dalam pengembangan selanjutnya, kokpit perlu didesain ulang untuk bisa mengakomodasi pilot yang memiliki tubuh di atas rata-rata karena secara umum sistem yang berjalan saat ini masih kurang nyaman bagi pilot yang memiliki persentil atas.

**Kata Kunci** : Ergonomi, Kokpit N-219, *Usability Test*

## **PEMANFAATAN PESAWAT UDARA NIR AWAK (PUNA) ALAP-ALAP UNTUK PEMANTAUAN GUNUNG BERAPI**

**Yomi Guno, Dewi H. Budiarti dan Dwi Raharjo**

### **Abstrak**

Wilayah Indonesia merupakan bagian dari Lingkaran Cincin Api Pasifik. Ditandai dengan banyaknya gunung berapi aktif yang menghiasi wilayah Indonesia dari timur ke barat. Berdasarkan sejarah, rangkaian gunung berapi ini terbukti memiliki peranan penting dalam mempengaruhi iklim dunia. Hal ini masih berlangsung sampai hari ini hingga waktu yang akan datang. Oleh karena itu, pengetahuan yang cukup mendalam mengenai keberadaan rangkaian gunung berapi ini sangatlah penting untuk keberlangsungan hidup masyarakat di sekitar wilayah Indonesia maupun dunia. Pemantauan rangkaian gunung berapi membutuhkan banyak tenaga dan fasilitas yang memakan biaya besar. Penggunaan Pesawat Udara Nir Awak (PUNA) menawarkan solusi alternatif untuk pemenuhan tugas ini. Efisiensi dalam melaksanakan pemantauan seperti misi video surveillance dan pengumpulan gambar orthopoto di area sekitar gunung berapi dapat dilakukan dengan biaya yang relatif sangat murah dibandingkan dengan menggunakan satelit. Selain itu penggunaan PUNA sangat fleksibel karena mudahnya mengatur jadwal pemantauan PUNA sesuai dengan kebutuhan.

**Kata Kunci** : PUNA, Gunung berapi, Surveillance, *Orthopoto*

## **KAJIAN KAPAL CEPAT RUDAL (KCR) 60M TERHADAP KONDISI SEASTATE PERAIRAN KAWASAN BARAT DAN TIMUR INDONESIA**

**Soegeng Hardjono**

### **Abstrak**

Saat ini, Angkatan Laut Indonesia sedang memperkuat armada kapal perang dengan pembangunan jenis kapal Cepat Rudal (KCR) 60M. Kemampuan operasional KCR 60M tergantung pada ketinggian gelombang perairan Indonesia. Untuk itu perlu dilakukan kajian penentuan tinggi gelombang maksimum yang bisa dilalui oleh kapal KCR 60M dan penentuan panjang kapal KCR 60M minimum untuk mengatasi gelombang ekstrim tertinggi dengan metode statistik dan formula pendekatan. Hasil analisa menunjukkan bahwa Kapal KCR 60M dapat beroperasi pada tinggi gelombang hingga maksimum 4,73m. Secara umum tinggi gelombang perairan Indonesia rata2 dibawah 4,73 m, sehigga kapal KCR 60M dapat beroperasi di sepanjang tahun terkecuali pada bulan Desember dan Januari di wilayah utara berbatasan dengan Laut Cina Selatan karena pengaruh angin moonsun Asia. Walaupun demikian, keberadaan tinggi gelombang ekstrim > 4,73m menyebabkan KCR 60M tidak dapat beroperasi baik di wilayah Utara maupun Selatan Equator serta perairan Antar-Pulau disebabkan oleh angin *Moonsun Asia*. KCR 60M tidak dapat juga beroperasi di seluruh wilayah Pangkalan Utama Angkatan Laut (Lantamal) mulai dari Lantamal I (Medan) hingga Lantamal XIV (Sorong). Berdasarkan hasil analisa tinggi gelombang ekstrim rata2 5,1m, dapat ditentukan bahwa KCR 60M yang mampu beroperasi mempunyai panjang minimum sekitar 70m.

**Kata kunci:** KCR 60M, Perairan Indonesia, Tinggi gelombang, Moonsun, Lantamal.

## **ANALISIS KEGAGALAN SCREW PENYEBAB KERUSAKAN DECANTER SHAFT PADA UNIT PENGOLAHAN MINYAK**

### **FAILURE ANALYSIS OF SCREW CAUSED BY DECANTER SHAFT FRACTURE IN OIL PROCESSING UNIT**

**Eka Febriyanti, Sutarjo, Adi Febrianto**

Perekayasa Pada Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur, BPPT  
Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, Tangerang 15314, Tel. (021)-7560539; Fax. (021)-7560538  
E-mail : eka.febriyanti@bppt.go.id, sutarjo@bppt.go.i, adi.febrianto@bppt.go.id

#### **Abstrak**

*Decanter* merupakan mesin industri pada unit pengolahan minyak yang berfungsi untuk memisahkan *sludge* dari *crude oil tank* menjadi *light phase*, *heavy phase* dan *solid* dalam *crude oil* sehingga proses pemisahan selanjutnya di dalam *clarier settling tank* akan lebih sempurna. *Shaft* merupakan salah satu bagian dari *decanter* yang berhenti beroperasi setelah pengoperasian satu tahun. Selanjutnya setelah dilakukan investigasi di tempat kejadian menunjukkan bahwa *screw* dari *shaft* mengalami patah sehingga menyebabkan *decanter* berhenti beroperasi. Hasil pemeriksaan visual menunjukkan bahwa *screw* mengalami perpatahan/rusak di daerah radius. Sedangkan pemeriksaan fraktografi menunjukkan bahwa foto makro permukaan patahan *screw* berupa patah ulet yang berawal dari satu sisi dan merambat hingga mencapai penjalaran retak sebesar 70%, namun patah sisa/patah akhir yang terletak berseberangan dengan patah awal. Hasil pemeriksaan tersebut juga dikonfirmasi dengan pemeriksaan metalografi yang menunjukkan adanya inklusi pengotor di lokasi perpatahan *screw*. Oleh karena itu, cacat inklusi akibat proses manufaktur berperan sebagai inisiasi perambatan retak, lalu menjalar akibat pembebanan dinamis dari pergerakan *shaft* sampai akhirnya baut mengalami perpatahan. Analisis kimia dari material *screw* menunjukkan bahwa material *screw* yang diperiksa merupakan jenis *low alloy steel* yang sesuai dengan spesifikasi standard.

**Kata Kunci : Screw, shaft, inklusi, beban dinamis**

#### **Abstract**

*Decanter is an industrial engine of oil processing unit which has function to separate sludge from crude oil tank become light phase, heavy phase, and solid in crude oil so that then segregation process in clarier settling tank is more perfect. Shafts is one of decanter which stop operated after one year operation. Therefore, after investigation on site shows that screw of shaft experienced fracture in radius area. Whereas, fractography examination showed that macro photo of screw's fracture surface is ductile fracture which initiated from one side then propagated up to reach 70% crack propagation, however residual fracture/finish fracture which is located opposite with initiate fracture. Result of examination was also confirmed with metallography examination which showed inclusion in fracture location of screw.*

*Detail analysis of the failed surface showed that failure of screw decanter shaft is caused by inclusion defect was given by manufacture process whose had a role as crack initiation then propagated by dynamic loading from shaft movement till screw could not withstand the load and fracture occurred.*

**Keywords : Screw, shaft, inclusion, dynamic load**

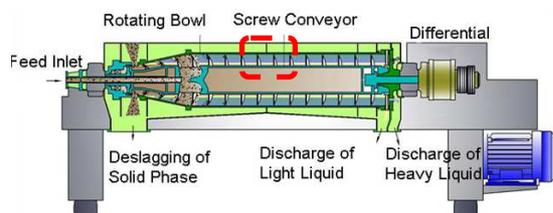
Diterima (received) : 15 Oktober 2017, Direvisi (reviewed) :10 November 2017,  
Disetujui (accepted) : 1 Desember 2017

## PENDAHULUAN

Shaft digunakan untuk menghantarkan energi ke elemen mesin lainnya dan pada umumnya terkena pembebanan torsi dan tekuk secara dinamis. Salah satu mekanisme kerusakan umum dalam shaft adalah fatik. Kerusakan fatik dimulai pada titik rentan seperti cacat *metallurgical* dan *structural* yang mengandung tegangan terpusat yang tinggi (*high localized stress*)<sup>[1]</sup>. Biasanya, titik-titik konsentrasi tegangan dalam shaft berada pada bentuk-bentuk tajam luas penampang dari *keyways*<sup>[2]</sup>. Oleh karena itu, ketika cacat-cacat muncul dalam tempat sensitif, kerusakan material akibat fatik perlu diperhatikan.

Analisis kerusakan lainnya yang telah dialami pada *shaft* biasanya muncul pada *strees raiser* potensial atau titik-titik konsentrasi tegangan akibat proses desain atau diawali selama proses fabrikasi atau pengoperasian, khususnya berhubungan dengan sudut-sudut *keyway*, *splines*, *cross holes* radius rendah dari lekukan *keyway*<sup>[3]</sup>, inklusi<sup>[4]</sup>, *repair welding* yang tidak benar<sup>[5]</sup>, mikrostruktur getas<sup>[6]</sup>, dan tanda *machining*<sup>[7]</sup>. Taylor, dkk<sup>[8]</sup> juga menyatakan bahwa perilaku fatik pada takikan dipengaruhi oleh faktor-faktor yang ditentukan seperti geometri takikan dan distribusi tegangan lokal.

Patahan *screw* yang dianalisa pada penelitian ini merupakan milik suatu *decanter shaft* pada unit pengolahan minyak yang mengalami kerusakan setelah satu tahun pengoperasian. *Decanter* umumnya digunakan untuk pengaplikasian di unit-unit pengolahan minyak yang secara garis besar berfungsi untuk memisahkan *non-oil solid* dalam *crude oil* dari *crude oil tank* sehingga proses pemisahan di dalam *clarier settling tank* akan lebih sempurna. Jadi tujuan utama pengoperasian *decanter* adalah untuk memisahkan *sludge* menjadi *light phase*, *heavy phase* dan *solid*. Pada dasarnya, sistem *decanter* terdiri atas *inlet*, *rotating bowl*, *screw shaft*, dan *differential* seperti yang terlihat pada Gambar 1.



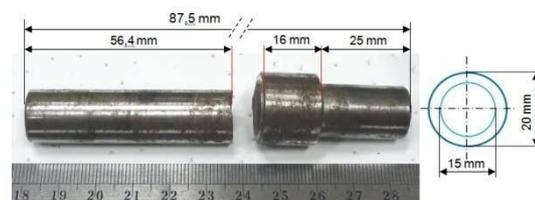
Gambar 1. Bagian-bagian *decanter*<sup>[9]</sup>

Paper ini menjelaskan tentang pemeriksaan kerusakan pada *screw* suatu *decanter shaft*. Inspeksi visual, pemeriksaan metalografi, analisis komposisi kimia, pengujian kekerasan, dan pemeriksaan SEM-EDS juga dilakukan untuk mendukung pemeriksaan kerusakan.

## Kronologis

Mesin press ulir digunakan untuk mengekstrak minyak dari tandan buah setelah melalui proses pengolahan. Ada dua shaft yang disebut yaitu *driven shaft* dan *drive shaft* (seperti yang terlihat pada Gambar 1) yang dihubungkan dengan motor elektrik. Shaft berputar berlawanan arah satu sama lain. Motor elektrik menghasilkan tenaga sebesar 30HP (22,5 KW) untuk memutar *screw* melewati *drive shaft* dengan kecepatan 11 rpm. *Screw* juga berputar pada arah yang berlawanan satu sama lain. Model dan potongan melintang *screw* yang menghubungkan *shaft* seperti yang terlihat pada Gambar 1. Dilaporkan bahwa mesin *decanter* beroperasi selama 24 jam sehari dan tidak beroperasi pada hari Minggu dan hari libur. Selain itu, shaft pada mesin *decanter* mengalami kerusakan dalam 1 tahun pengoperasian.

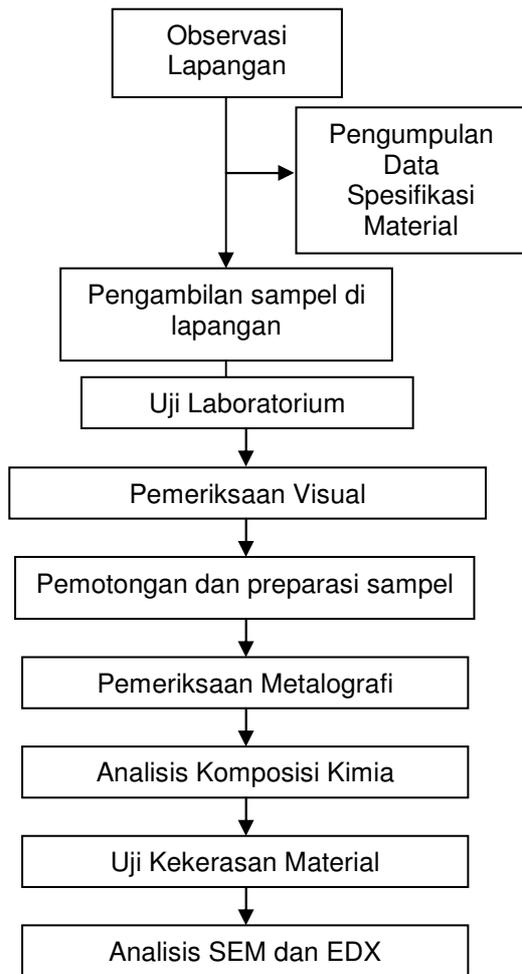
Selanjutnya *screw* pada *decanter shaft* yang patah diuji dan diperiksa di laboratorium supaya akar penyebab kerusakan dapat ditemukan. Hal ini dilakukan untuk mempercepat proses perbaikan dan mencegah terjadinya kerusakan serta kerugian yang sama di pengoperasian selanjutnya.



Gambar 2. *Screw* pada *decanter shaft* yang mengalami kerusakan/patah di daerah radius

## BAHAN DAN METODE

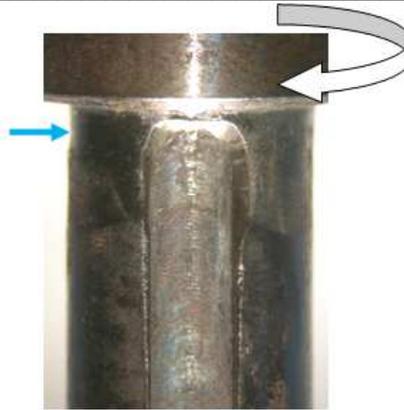
Metode penelitian terhadap *screw* pada *decanter shaft* yang mengalami perpatahan dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Diagram alir pemeriksaan dan pengujian terhadap *screw* pada *decanter shaft* yang mengalami patah

### Pemeriksaan Visual dan Fraktografi

Hasil pemeriksaan visual menunjukkan adanya kerusakan/patah di daerah radius. Pada daerah lubang pasak (lihat panah) seperti yang terlihat pada Gambar 4, terlihat ujung lubang pasak mengalami aus begitu pula di daerah radius.



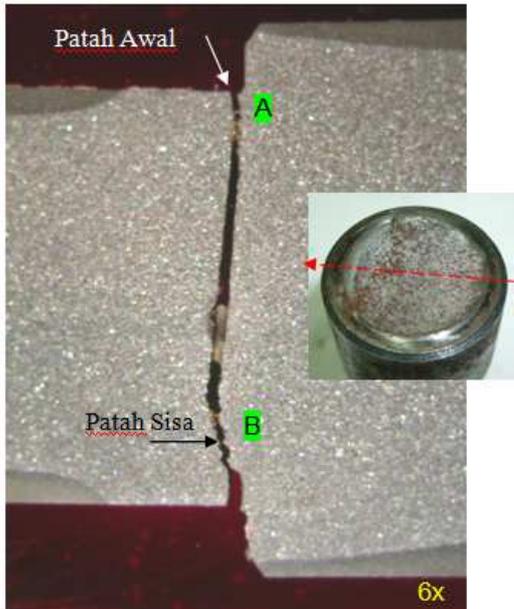
Gambar 4. Foto makro *screw* pada *decanter shaft* yang mengalami patah di daerah radius.

Sedangkan secara fraktografi, foto makro permukaan patahan *screw decanter shaft* berupa patah ulet yang berawal dari satu sisi dan merambat hingga mencapai penjalaran retak sebesar 70% sedangkan patah sisa/patah akhir terletak berseberangan dengan patah awal dan mempunyai sedikit bidang awal patah seperti yang terlihat pada Gambar 5. Beban bending yang bekerja hanya terjadi pada satu sisi, akan tetapi di daerah patah sisa juga terdapat sebagian indikasi patah awal (*secondary fracture*). Pada patah awal permukaannya lebih halus dan lebih rata dibanding patah sisa yang membentuk permukaan kasar dan menyudut<sup>[10]</sup> (lihat lingkaran).



Gambar 5. Foto makro permukaan patahan *screw decanter shaft* berupa patah ulet

Sedangkan untuk foto makro etsa sampel potongan memanjang (dibelah di posisi satu garis patah awal dengan patah sisa) menunjukkan bahwa permukaan *screw* mengalami pengerasan permukaan/*case hardening* (lokasi 1), namun di kedua radius tidak terlihat adanya pengerasan permukaan (lokasi 2). Selain itu, patah awal mempunyai bentuk patah rata (A)<sup>[11]</sup> sedangkan penjaluran patah dan patah akhir mempunyai permukaan kasar (B)<sup>[11]</sup> seperti yang terlihat pada Gambar 6.

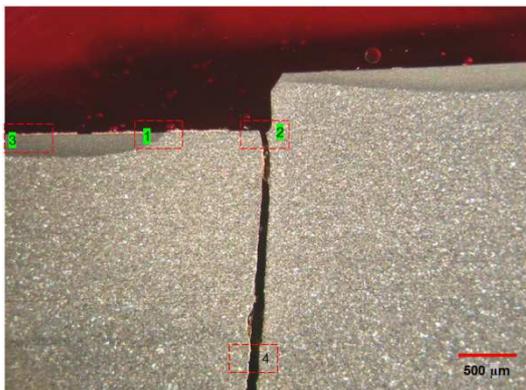


**Gambar 6.**

Foto makro etsa sampel *screw* yang patah pada potongan memanjang

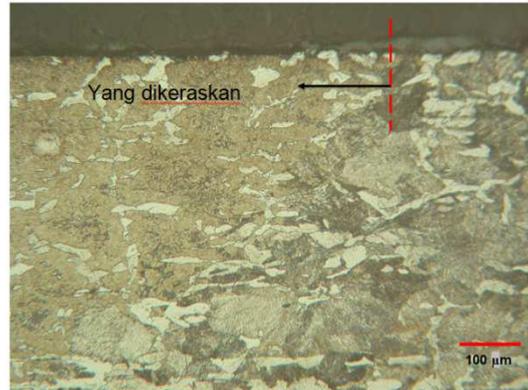
**Pemeriksaan Metalografi**

Hasil pemeriksaan metalografi pada lokasi 1 menunjukkan batas antara daerah yang dikeraskan dengan yang tidak. Untuk lokasi 2 menunjukkan bahwa struktur mikro pada permukaan patahan berupa ferit(terang)-perlit(gelap). Sedangkan untuk lokasi 3 menunjukkan bahwa struktur mikro pada permukaan yang dikeraskan/*case hardening* berupa martensit. Selain itu, terlihat masih ada austenit sisa yang terperangkap dalam martensit. Untuk lokasi 4 menunjukkan bahwa struktur mikro pada material dasar berupa ferit (terang)-perlit (gelap) dan terlihat adanya inklusi pengotor<sup>[12]</sup>. Sedangkan pada patah akhir mempunyai patahan kasar (lokasi 5).



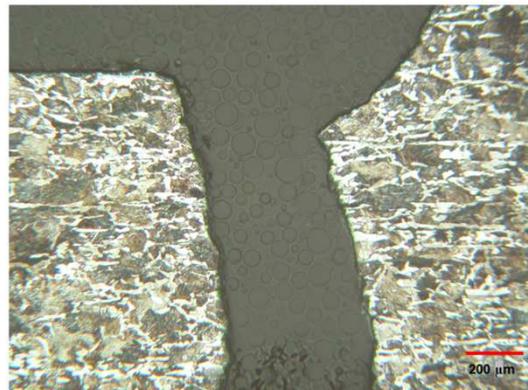
**Gambar 7.**

Lokasi pemeriksaan metalografi pada *screw* di *decanter shaft*



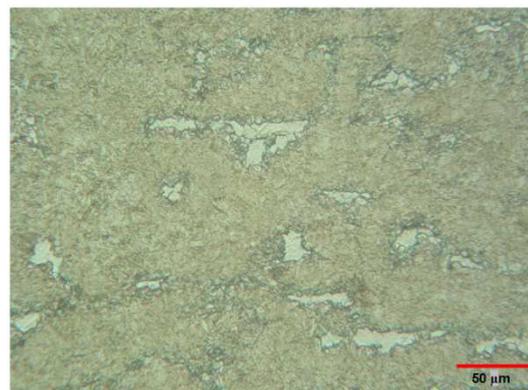
**Gambar 8.**

Struktur mikro pada lokasi 1 menunjukkan batas antara daerah yang dikeraskan dengan yang tidak



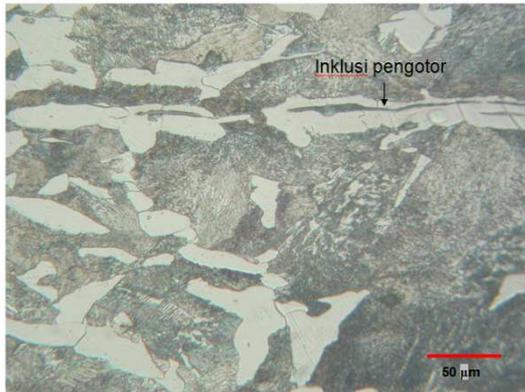
**Gambar 9.**

Foto struktur mikro daerah patahan pada lokasi 2 berupa ferit (terang)-perlit (gelap)



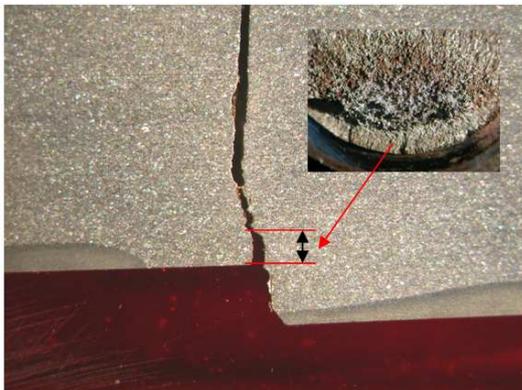
**Gambar 10.**

Struktur mikro permukaan yang dikeraskan/*case hardening* (lokasi 3) berupa martensit



**Gambar 11.**

Struktur mikro lokasi 4 material dasar berupa ferit (terang)-perlit (gelap) dan terlihat adanya inklusi pengotor



**Gambar 12.**

Pada patah akhir mempunyai patahan kasar (lokasi 5)

### Analisis Komposisi Kimia

Analisa komposisi kimia menggunakan *spectrometer analyzer* menunjukkan bahwa komposisi kimia material *screw decanter shaft* sesuai dengan komposisi kimia baja karbon atau baja paduan yang digunakan untuk *fastener Class 22H* dan sesuai dengan ISO 898-5:2012<sup>[13]</sup> (*Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel, Part 1 : Bolts, screws, and stud with specified property classes -- coarse thread and fine pitch thread*) seperti yang terlihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.**

Analisis Komposisi Kimia *Screw Decanter Shaft*

<i>Screw Decanter Shaft</i>		
Unsur	Nilai Kandungan Unsur (%)	Nilai Kandungan Unsur (%) <i>Class 22H Standard</i>
Fe	98,3	-
C	0,484	0,50 maks.
Si	0,249	-
Mn	0,718	-
Cr	0,0835	-
Ni	0,0456	-
Mo	0,0157	-
Cu	0,0710	-
Al	0,0028	-
V	0,0066	-
W	<	-
Ti	0,0250	-
Nb	<	-
B	0,0030	-
S	<	-
P	0,0010	-
	0,0304	0,05 maks.
	0,0086	0,05 maks.

### Pengujian Kekerasan

Hasil uji kekerasan pada material dasar menunjukkan bahwa nilai kekerasan material dasar (lihat lingkaran) berada pada rentang 257-286 HV sesuai dengan nilai kekerasan standar baja karbon untuk *fastener Class 22H*<sup>[13]</sup> (220-300 HV). Sedangkan kekerasan material yang mengalami pengerasan permukaan/*case hardening* berada pada range 550-712 HV seperti yang terlihat pada Tabel 2.



**Gambar 13.**

Sampel uji kekerasan *screw decanter shaft*

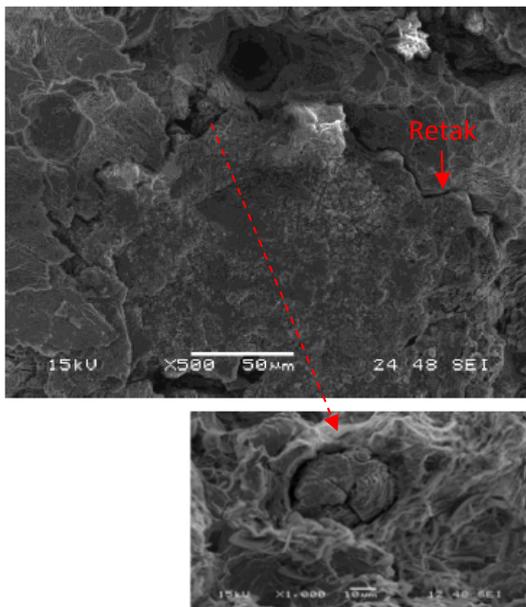
**Tabel 2.**  
Hasil Uji Kekerasan *Screw Decanter Shaft*

No.	Nilai Kekerasan Vickers (HV) P, 5kgf
1	699
2	277
3	550
4	265
5	271
6	257
7	712
8	286
9	653
10	712

Sumber Data :Hasil pengujian dengan menggunakan alat Frank Finotest

**Analisis SEM dan EDX**

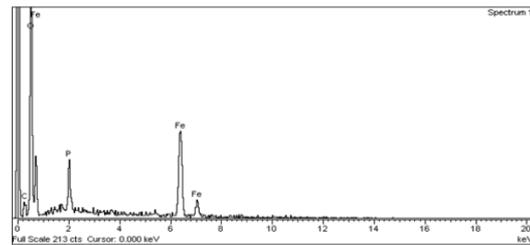
Sampel untuk analisa SEM (*Scanning Electron Microscope*) diambil dari daerah permukaan patahan *screw decanter shaft*. Pemeriksaan SEM menunjukkan adanya inklusi pada permukaan lokasi patahan. Selain itu, juga menunjukkan adanya retak pada permukaan patahan *screw decanter shaft* seperti yang terlihat pada Gambar 14.



**Gambar 14.**

Permukaan patahan *screw decanter shaft* menunjukkan adanya inklusi dan retak di sepanjang permukaan patahan

Sedangkan hasil analisa spektrum EDS pada inklusi ditunjukkan oleh Gambar 15 dan Tabel 3. Spektrum inklusi mengandung puncak P dalam spektrum matriks. Hal ini berarti terdapat kandungan P yang lebih tinggi inklusi dibandingkan dalam matriks. Hasil *scanning* dan *mapping* elemen P menunjukkan bahwa kandungan P tertinggi dalam area sekitar inklusi seperti yang terlihat pada Gambar 15. Elemen lain dalam spektrum inklusi adalah unsur Fe dan C.



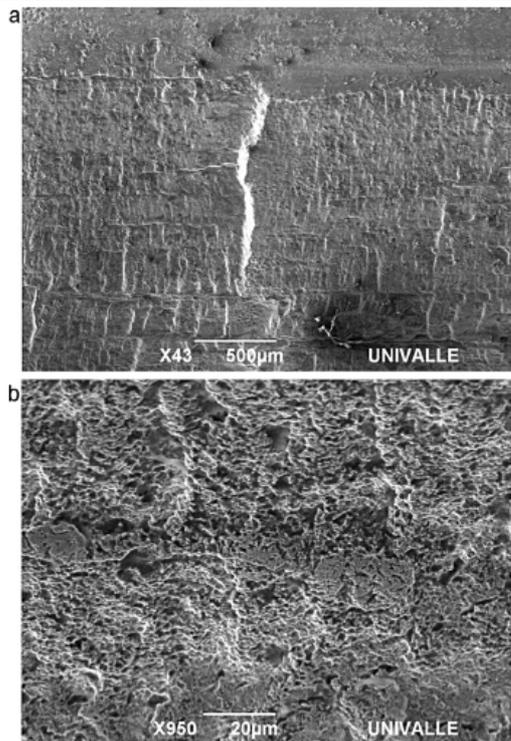
**Gambar 15.**

Spektrum inklusi hasil EDS

**Tabel 3.**  
Analisa EDS pada inklusi di permukaan *screw decanter shaft*

No.	Nama Unsur	Kandungan Unsur (%)
1	C	5,75
2	O	29,53
3	P	5,33
4	Fe	56,37

Selain itu, permukaan patahan juga menunjukkan bahwa retak diawali dari inklusi seperti yang terlihat pada Gambar 16 (a) dan striasi sejajar terhadap *beachmark* Gambar 16 (b).



**Gambar 16.**

Hasil SEM dari permukaan *screw decanter shaft*. permukaan patahan *screw* menunjukkan bahwa retak diawali dari inklusi (a) dan striasi sejajar terhadap *beachmark* (b)

## PEMBAHASAN

Hasil dari pemeriksaan *screw* dari *decanter shaft* setelah satu tahun pengoperasian yaitu terlihat ujung lubang pasak mengalami aus begitu pula di daerah radius seperti yang terlihat pada Gambar 4. Selain itu, foto makro permukaan patahan *screw decanter shaft* berupa patah ulet yang berawal dari satu sisi dan merambat hingga mencapai penjaralan retak sebesar 70% sedangkan patah sisa/patah akhir terletak berseberangan dengan patah awal dan mempunyai sedikit bidang awal patah seperti yang terlihat pada Gambar 5.

Analisis komposisi kimia pada permukaan *screw* yang patah dilakukan dengan menggunakan *optical emission spectrometer*. Hasil analisa komposisi kimia dimasukkan ke dalam Tabel 1 lalu dibandingkan dengan standard material baja karbon atau paduan untuk *fastener class 22H*<sup>[13]</sup>. Analisa komposisi kimia menunjukkan bahwa material *screw* memiliki perbedaan, namun tidak signifikan dengan standard material baja karbon atau paduan untuk *fastener class 22H*<sup>[13]</sup>.

Sampe untuk pemeriksaan metalografi diambil dari beberapa lokasi berbeda (no. 1 s/d no.4) pada permukaan patahan *screw* seperti yang terlihat pada Gambar 7. Dari hasil pemeriksaan metalografi di lokasi no.4 menunjukkan adanya inklusi pengotor seperti yang terlihat pada Gambar 11. Inklusi pengotor dikenal sebagai pusat tegangan tinggi (*severe stress concentration*) yang akan mempengaruhi ketahanan fatik dari *screw* dan memfasilitasi inisiasi dari perambatan retak fatik.

Mikrostruktur sampel yang dietsa dengan larutan nital 2 % terlihat pada Gambar 9 dan Gambar 11 menunjukkan bahwa struktur mikro material dasar terdiri atas ferit (daerah terang)-perlit (daerah gelap) yang mengindikasikan kondisi normal struktur mikro baja karbon untuk *fastener Class 22H*. Sedangkan struktur mikro pada daerah yang dikeraskan (*case hardening*) terdiri atas martensit sehingga menunjukkan bahwa *screw* telah mengalami *heat treatment* di permukaannya (*case hardening*). Hal ini juga dikonfirmasi dari hasil uji kekerasan pada 5 lokasi berbeda yaitu berada pada rentang nilai kekerasan 550 HV s/d 712 HV. Sedangkan nilai kekerasan untuk material dasar pada 5 lokasi yang berbeda dari *screw* yang patah berada pada rentang nilai kekerasan 257 HV s/d 286 HV seperti yang dijelaskan pada Tabel 2. Rentang nilai kekerasan pada material dasar *screw* sesuai dengan rentang kekerasan material baja karbon untuk *fastener Class 22H*.

*Stress concentration* akibat proses fabrikasi dan kondisi pembebanan dinamis pada *screw* menyebabkan *decanter shaft* rentan terhadap kerusakan akibat fatik yang mengarah pada perpatahan awal. Cacat inklusi merupakan salah satu mekanisme yang memicu inisiasi perambatan fatik secara luas dan mengurangi umur fatik dari material *screw*. Proses kerusakan karena cacat inklusi dapat dideskripsikan ke dalam tiga tahapan yaitu inisiasi awal dengan perubahan struktur mikro dan tampilan beberapa cacat berukuran nanometer atau mikrometer pada permukaan material yang diikuti dengan evolusi retak mikro, perambatan pertumbuhan retak yang signifikan, dan *final failure* (kerusakan akhir)<sup>[14]</sup>.

Sebagai tambahan, apabila inklusi berkembang pada titik *stress concentration* yang tinggi seperti takikan dan *fillet*, retak mikro kemungkinan tumbuh secara progresif sehingga menghasilkan nilai *Stress Intensity Factor* (SIF) dan retakan dengan mudah melebihi nilai ambang insentitas tegangan

(*threshold intensity factor*) sehingga menghasilkan pertumbuhan retak fatik.

Dalam kasus ini, kombinasi antara cacat inklusi selama proses fabrikasi, geometri radius, dan kondisi permukaan tanpa adanya *heat treatment* di bawah pembebanan dinamis berupa tarik-tekan yang mengarah pada kerusakan awal dari *screw* pada *decanter shaft*.

## SIMPULAN

Dari hasil observasi, pengamatan, dan analisa laboratorium serta pembahasan dapat disimpulkan bahwa penyebab perpatahan *screw decanter shaft* adalah cacat akibat manufaktur berupa inklusi pengotor. Inklusi pengotor berperan sebagai pusat tegangan tinggi (*severe stress concentration*) yang akan mempengaruhi ketahanan fatik dari *screw* dan memfasilitasi inisiasi dari perambatan retak fatik. Adanya pembebanan dinamis berupa tarik-tekan menyebabkan material *screw* mengalami kelebihan tegangan pada daerah tertentu dan akhirnya menghasilkan retak dan patahan.

## SARAN

Saran yang perlu dilakukan untuk mencegah terjadi kerusakan yang sama di masa mendatang yaitu melakukan pemeriksaan awal *screw* sebelum diinstalasi pada *decanter shaft*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Sudarmadi, M.Eng., MSc. selaku Kepala B2TKS BPPT, Dr.Ing.H.Agus Suhartono selaku Kepala Bidang Kajian Material B2TKS, dan Sutarjo, ST, MM selaku Kepala Sub Bidang Analisa Kerusakan dan Umur Sisa untuk koordinasi dan pemberian ijin dalam menggunakan alat uji laboratorium.

## DAFTAR PUSTAKA

1. *Failure Analysis and Prevention, Metal Handbook*, Vol. 11, 9th edition, hal.1482, American Society for Metals, Metal Park, Ohio, (1986)
2. Bendt F., Van Bennekom A., *Pump shaft failures a compendium of case*

- studies, Engineering Failure Analysis*, 8 (2001), hal.135-144
3. Goksenli, A., Eryurek IB, *Failure analysis of an elevator drive shaft*, *Engineering Failure Analysis*, 16 (4) (2009), hal.1001-1009
4. Bhattacharyya, S., Banerjee, A., dkk, *Failure analysis of an input shaft of skip drive gearbox*, *Engineering Failure Analysis*, 15 (4) (2008), hal. 411-419
5. Attaga, G., Irrisari AM, *Failure analysis of the end of a shaft of an engine*, *Engineering Failure Analysis*, 17 (4) (2010), hal.714-721
6. Parida, N, dkk, *Failure analysis of coal pulverizer mill shaft*, *Engineering Failure Analysis*, 10 (6) (2003), hal. 733-744
7. SK, Bhauni, dkk, *Fatigue failre of a hollow power transmission shaft*, *Engineering Failure Analysis*, 9 (4) (2002), hal. 457-467
8. D., Taylor, dkk, *Prediction of fatigue failure location on a component using a critical distance method*, *International Journal Fatigue*, 22 (9) (2002), hal. 735-742
9. A. Ktari, dkk, *Fatigue fracture expertise of train engine crankshaft*, *Engineering Failure Analysis*, 18 (3) (2011), hal.1085-1093
10. Ling, Li, Rong Wang, *Failure analysis on fracture worm gear connecting bolts*, *Engineering Failure Analysis*, 36 (2014), hal.439-446
11. Kong, Huanppping, dkk, *U-shaped bolt fracture failure analysis*, *Procedia Engineering* 99, (2015), hal.1476-1481
12. V.Shibaaeva, Tatyana V., dkk, *The effect of microstructure and non-metallic inclusions on corrosion behaviour of low carbon steel in chloride containing solutions*, *Corrosion Science*, 80 (2014), hal. 209-308
13. *Mechanical Properties of Fasteners Made of carbon steel and alloy steel*, BS EN ISO 898 Part 1, British Standard Institution, United Kingdom, (2012)
14. Sabnavis G, dkk, *Cracked shaft detection and diagnostics: a literature review*, *Shock. Vib. Dig.*, 36 (4) 2004, hal.287–295

## **EVALUASI PERFORMA GERAK KENDARAAN TEMPUR TANK SEDANG INDONESIA UNTUK MEMENUHI SPESIFIKASI TEKNIS MILITER**

### **PERFORMANCE EVALUATION OF MEDIUM TANK INDONESIA TO COMPLY WITH MILITARY'S TECHNICAL SPECIFICATION**

**Apid Rustandi, Agus Suprianto, Nurhadi Pramana**

Pusat Teknologi Industri Pertahanan dan Keamanan – BPPT  
Gd Hankam No. 256 Kawasan PUSPIPTEK - Serpong, Tangerang Selatan – 15314, Indonesia  
Telp. 021-75791262 (ext. 322), Fax 021. 75791295  
e-mail: apid.rustandi@bppt.go.id, agus.suprianto@bppt.go.id, nurhadi.pramana@bppt.go.id

#### **Abstrak**

Tahun 2014 Indonesia mendatangkan kendaraan tempur angkut personel Marder-1A3 dari Austria berkelas *Infantry Fighting Vehicle* untuk Infantri TNI-AD. Di samping itu, didatangkan juga kendaraan tempur pemukul dan penghancur yang sesuai dengan medan geografis Indonesia, yaitu Tank Leopard dari Jerman untuk Kavaleri TNI-AD. Indonesia memerlukan tank kelas menengah yang sesuai dengan medan geografis, untuk mendukung mobilitas pasukan dan mempunyai daya gempur tinggi. Untuk itu, Indonesia mengembangkan kendaraan tempur jenis tank sedang. Untuk mendapatkan gambaran performa kendaraan tempur Tank Sedang Indonesia, maka pada pengkajian ini dilakukan tinjauan kemampuan mesin dan transmisi dari Tank Sedang Indonesia dengan tank Marder-1A3 sebagai pembandingan. Metode yang dipakai adalah metode kuantitatif untuk menghitung performa kemampuan rancangan kendaraan tempur, khususnya pada sistem mesin dan transmisi. Selanjutnya adalah metode kualitatif yaitu perhitungan dua dimensi atas kemampuan kendaraan tempur terhadap persyaratan dari regulator. Dari hasil pengkajian, didapatkan performa rancangan Tank Sedang Indonesia mampu menggerakkan wahana dengan gaya translasi 223.700 N serta mampu menanjak pada kemiringan 31° pada *gear shift* 2<sup>nd</sup> dan 40° pada *gear shift* 1<sup>th</sup>. Kecepatan maksimum yang dihasilkan dengan *ratio gearbox* percepatan 6 (*gearshift* 6<sup>th</sup>) mampu mencapai 47 mil/jam atau 75 km/jam. Secara keseluruhan, rancangan kendaraan tempur Tank Sedang Indonesia memenuhi spesifikasi teknis yang disyaratkan oleh Kementerian Pertahanan.

**Kata kunci** : Tank Marder-1A3, Medium Tank Indonesia, Spesifikasi Teknis-Kementerian Pertahanan, Gaya Translasi, Kemampuan menanjak, Kecepatan maksimum.

#### **Abstract**

*In 2014, Indonesia government had imported Armored Personal Carrier, which is Marder-1A3, intended for Indonesia's Military Infantry division. Meanwhile, they also ordered Leopard tank for the military cavalry division. Both of these vehicles are needed by Indonesia's military due to its lethality and mobility. Therefore, Indonesia government proposed to develop armored vehicle which inherit both vehicle's capability. It is Medium Tank Indonesia (MTI). The vehicle's performance*

*should comply with the armored vehicle regulation test. This research has been made to show the result of engine performance, including translation force, velocity and gradient ability. By using quantitative method for performance and then using qualitative method to evaluate the achievements. Parameters are Vehicle weight, Engine, Transmission and Sprocket Diameter. Requirements are longitudinal slope and maximum velocity. According to calculation, translation force of MTI is 223.700N at the 6,2 transmission ratio. While climbing ability of MTI are complied to satisfy the requirement, which is 31° at the 2<sup>nd</sup> gear and 40° at 1<sup>st</sup> gear. Maximum velocity reached by MTI is 47 mile/hour or 75 km/hour at the 6<sup>th</sup> gear. Theoretically, MTI has more decent capability to overcome the obstacles rather than Marder-1A3 and it has been complied with the armored vehicle regulation test.*

**Keywords:** *Ranpur Marder M-1A3, Medium Tank Indonesia (MTI), the armored vehicle regulation test, Translation Forces, Gradient Climbing ability and Top speed ability.*

Diterima (received ) : 13 Oktober 2017, Direvisi (revised ) : 08 November 2017  
Disetujui (Accepted) : 29 November 2017

## PENDAHULUAN

Pada tahun 2014 Pemerintah Indonesia mengadakan kendaraan tempur (Ranpur) angkut personil (*Armor Personal Carrier/ APC*) untuk satuan Infanteri TNI-AD. Ranpur tersebut jenis Tank - Marder 1A3 (M-1A3), kelas *Infantry Fighting Vehicle* (IFV) buatan Austria, Ranpur M-1A3 dengan berat total 33 ton, menggunakan *tank platform* memakai roda rantai serta dilengkapi dengan perlindungan STANAG level 2 dan meriam / *Arsenal* 20 mm, ditampilkan seperti pada Gambar 1. Ranpur APC kelas ini termasuk kelas baru di Indonesia berbeda dengan tipe APC yang dimiliki Indonesia sebelumnya seperti Panzer Anoa, BTR-80. Ditinjau dari segi kesesuaian penggunaan untuk medan di Indonesia maka ranpur ini dapat dijadikan rujukan untuk membuat rancangan Tank Sedang Indonesia (MTI, Medium Tank Indonesia).

Pada tahun yang sama, untuk kebutuhan satuan Kavaleri TNI-AD, Indonesia juga mengadakan ranpur jenis tank penghancur Tank Leopard dari Jerman. Tank Leopard (TL) memiliki spesifikasi berat 60-80 ton dengan perlindungan STANAG level 4 dan meriam (*Arsenal Turret Cannon*) 120 mm.

Pengembangan rancangan MTI akan mengkombinasikan penggunaan rancangan *platform* M-1A3 dan kemampuan sistem persenjataan dari Tank Leopard (TL). Dengan penggunaan sistem persenjataan yang mengacu pada ranpur TL, maka konsep rancangan MTI sebagaimana yang diwacanakan akan mengalami penambahan

berat. Hal ini perlu dikaji lebih mendalam, terkait dengan rancangan MTI dalam uji performa pemenuhan persyaratan teknis (*Technical Requirement*) yang dikeluarkan TNI dalam bentuk *Design Requirement Objective* (DR&O) <sup>1)</sup>.

Pengkajian ini ditujukan untuk menganalisis prestasi kerja/ performa dari sistem propulsi/mesin terkait dengan total bobot kendaraan tempur yang dimiliki TNI terhadap medan uji di Indonesia.



Gambar 1.  
Tank Marder 1A3 - Austria

## BAHAN DAN METODOLOGI

Sebagai bahan utama dalam kajian disini adalah rancangan ranpur MTI <sup>2)</sup>, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2.  
Konseptual Desain MTI

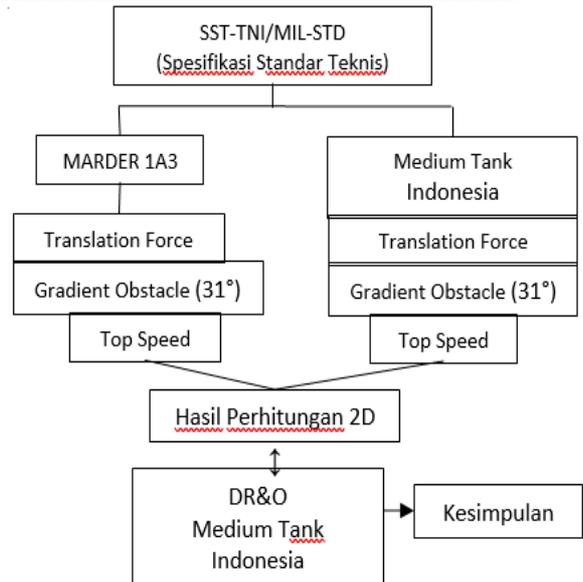
Sebagaimana diterapkan dalam doktrin pertempuran, peran dan misi penggunaan ranpur tank adalah mampu melakukan penggempuran jarak menengah. Disini digunakan ranpur penggempur (*main battle tank*) dengan klasifikasi kelas sedang (*medium tank*) antara 20-40 ton, dipersenjatai meriam kaliber 90mm / 100mm / 105mm, memiliki sistem pelindung yang tangguh, sehingga menghasilkan daya kejut & daya gempur yang dahsyat.

Untuk itu MTI perlu dilengkapi sistem komunikasi, dan sistem navigasi, sehingga setelah suatu wilayah pertempuran dapat dilumpuhkan dan dikuasai, maka tank jenis APC M-1A3 dapat memasuki wilayah untuk melakukan pembersihan dan melakukan pertahanan wilayah (*clearance area and defensive*) dan diikuti pasukan infantri masuk kesuatu wilayah penyerbuan musuh dengan aman.

Sedangkan metode pendekatan yang digunakan untuk pengkajian ini adalah secara kuantitatif dengan melakukan perhitungan awal dua dimensi (2D) sesuai dengan Spesifikasi Standar Teknis (SST) Kemenhan untuk perhitungan performa ranpur. Setelah itu dilakukan uji kualitatif menggunakan komparasi antara hasil perhitungan dengan persyaratan teknis (*Technical Requirement*) yang ditetapkan oleh Kemenhan<sup>2)</sup>.

Pada Gambar 3 ditampilkan diagram alur untuk pengkajian performa gerak Tank Marder-1A3 dan MTI, yang meliputi kinerja gaya gerak translasi, kinerja gaya gerak menyudut naik dan kecepatan tank maksimum pada ratio roda gigi (*gear box*) optimum.

Adapun materi yang akan dievaluasi mengambil data dari spesifikasi teknis pada kedua jenis tank M-1A3 dan MTI.



Gambar 3.  
Alur Pengkajian Kinerja Gerak  
Ranpur M-1A3 dan MTI

Bagan SST/MIL-STD adalah tahapan untuk mengidentifikasi standar-standar pengujian performa kendaraan terutama power/tenaga mesin terhadap bobot dan medan/kontur. Pada tahap ini standar yang dipakai untuk evaluasi meliputi uji *translation force* yaitu daya mesin untuk menggerakkan bobot pertama kali, uji *gradient contour* yaitu daya mesin untuk menggerakkan bobot pada sudut 31° serta uji kecepatan pada *gear ratio*.

Bagan Marder-1A3 dan MTI adalah tahap identifikasi spesifikasi teknis dari masing-masing ranpur ditampilkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Sedangkan pada Bagan hasil perhitungan 2D merupakan hasil dan grafik/ *line chart* dari kemampuan masing-masing penggerak/ daya/mesin terhadap bobot dan medan uji. Bagan DR&O merupakan persyaratan teknis (*Technical Requirement*), memuat data-data yang menerangkan maksud dan capaian yang diinginkan dari sebuah rancangan tank.

Dari urutan evaluasi bagan-bagan tersebut terakhir adalah melakukan proses kajian kualitatif untuk menguji antara hasil perhitungan 2D dan persyaratan teknis (*Technical Requirement*) dari DR&O.

Tabel 1.  
Spesifikasi Teknis Platform Ranpur M-1A3 dan MTI

No	Parameter	Marder-1A3 Austria	MTI
1	Weight	33 ton	36 ton
2	Power Pack	MTU MB 883 (591 HP)	MTU 6V890 (720 HP)
3	Vehicle Legth	6.790 mm	7.500 mm
4	Vehicle Width	3.240 mm	3.300 mm
5	Vehicle Height	2.980 mm	3.500 mm
6	Ground Clearance	400 mm	400 mm
7	Maximum speed	60 km/jam	75 km/jam
8	Gradient	60% (31°)	60% (31°)
9	Track length	3.900 mm	4.000 mm
10	Track width	2.620 mm	2.714 mm
11	Track link width	450 mm	450 mm

(Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian)<sup>3)</sup>

Tabel 2.  
Spesifikasi Teknis Drive line Ranpur M-1A3 dan MTI

	MARDER-1A3	MTI
<b>Weight Vehicle</b>	33 ton	36 ton <sub>(MIN)</sub> (Op.Req)
<b>P to W Ratio</b>	18,1 HP/ton	20 HP/ton <sub>(MIN)</sub> (Op.Req)
<b>Velocity<sub>(MAX)</sub></b>	60 km/jam	75 km/jam (Asumsi)
<b>Engine</b>	MTU MB 833 Ea-500	MTU 8V 199 Euro 3 (Op.Req)
<b>Power<sub>(MAX)</sub>/rpm</b>	591 hp/2.200 rpm	720 hp/2.300 rpm (Op.Req)
<b>Torque<sub>(MAX)</sub>/rpm</b>	1.914,14 N.m/ 1.500 rpm atau 1.410,89 ft.lbs/ 1.500 rpm	2.700 N.m/ 1.500 rpm (Op.Req) atau 1.991 ft.lbs/ 1.500 rpm (Op.Req)
<b>Transmission (use)</b>	RENK HSWL 194 (power range 400 s/d 500 kw).	RENK HSWL 256 (power range 500 s/d 700 kw).
<b>- overall transmission ratio</b>	- 6,3	- 6,2

(Sumber: Hasil Olahan Data Penelitian)<sup>3)</sup>

Dari hasil evaluasi ini dapat disimpulkan hasil kajian berupa pendekatan awal nilai kemampuan daya penggerak/mesin MTI dalam memenuhi syarat spesifikasi teknis operasi dari Kemenhan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

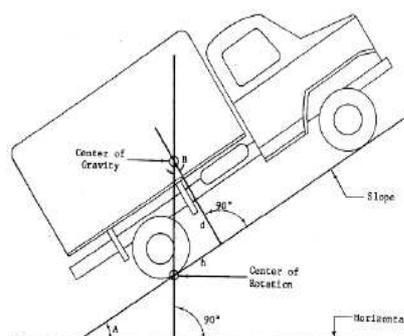
### 3.1 Persyaratan Teknis/MIL-STD

Untuk memenuhi persyaratan teknis yang ditetapkan Kemenhan/ Military Standard (MIL-STD), maka ranpur M-1A3 dan MTI dilakukan evaluasi melalui pengujian kinerja gerak. Prosedur pengujian kemampuan kinerja ranpur tersebut merujuk pada standar uji: "Test Operations Procedure, yang dikeluarkan US-ARMY Developmental Test Command – 2009"<sup>4)</sup>. Dalam standar ini dijelaskan metode tes yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja kendaraan beroda ban maupun rantai.

Terlingkup juga prosedur untuk mengevaluasi mesin, transmisi, sistem rem, dan kinerja sistem bahan bakar dan stabilitas kendaraan dan kontrol selama pengujian pada kondisi sisi jalan datar dan kemiringan

menggunakan informasi pada "Milbrook Defense"<sup>8)</sup>.

Dari hal-hal tersebut diatas, maka hal pokok yang akan dibahas dalam evaluasi tersebut meliputi: (1) Transmisi, (2) Kemiringan/ gradient/ Critical angle dan (3) Kecepatan optimal & kontrol. Adapun model pengujian kendaraan militer ditampilkan pada seperti Gambar 4.



Gambar 4.  
Critical Angle for Vehicle

on Longitudinal Slope

Pada Gambar 4, dijelaskan pengujian kemampuan ranpur untuk beroperasi di bidang miring/lereng pada sudut tertentu yaitu  $31^\circ$  yang telah disyaratkan oleh regulasi atau Spesifikasi Standar Teknik (SST) <sup>1)</sup>. Pada

pengujian ini dimaksudkan untuk uji kemampuan operational kendaraan militer tersebut dalam situasi taktis di medan. Evaluasi *gradient ability* dan sisi kinerja kemiringan kendaraan dinilai dan dikalibrasi untuk penilaian traksi mesin ranpur tersebut.

Tabel 3.  
Persyaratan Teknis Ranpur MTI

Performance Aspect	Performance value
Crew	3
Maximum speed	80 Km/hour
Cruising range	500 Km
Vertical obstacle	0.8 meter
Trench	0.75 meter
Gradient	60 %
Departure angle	$45^\circ$
Approach angle	$40^\circ$

(Sumber data: BALITBANG Kemenhan.2014 <sup>1)</sup>)

### 3.2 Spesifikasi Teknis Kendaraan

Kendaraan tempur Marder-1A3 dan MTI mempunyai spesifikasi teknis detail kendaraan sebagai mana ditampilkan pada Tabel.1 dan spesifikasi drive line ranpur M-1A3 dan MTI pada Tabel 2.

$$E_{ff\ transmissi} = \text{efisiensi } 0.88$$

Perhitungan tahap ini adalah untuk mendapatkan nilai performa mesin terhadap sistem *drive line* berupa transmisi, *torque converter*, *final drive* dan *sprocket*.

### 3.3 Evaluasi Gaya Gerak Translasi Datar (Translation Force)

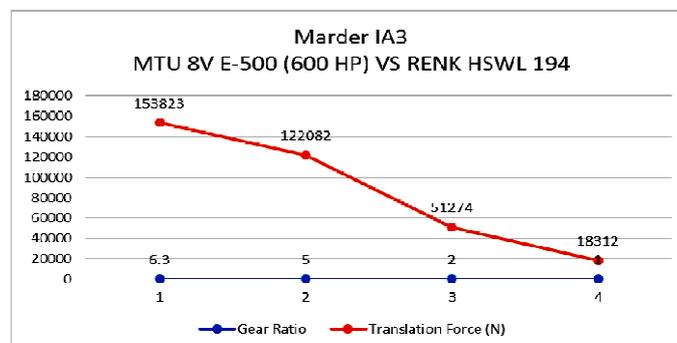
Perhitungan gaya dorong total gerak translasi datar ranpur dihitung dengan persamaan <sup>3),5),6)</sup>:

Pada perhitungan ini tidak mengasumsikan berat kendaraan dan friksi terhadap permukaan jalan sebagai faktor yang memengaruhi nilai performa mesin ranpur. Dari persamaan (1) gaya translasi datar kendaraan tempur M-1A3 dan MTI dapat dihitung <sup>8)</sup>. Hasilnya dapat digambarkan bahwa translasi yang terjadi pada ranpur M-1A3 dengan mesin sebesar 591 HP dapat menghasilkan gaya sebesar 153.823 N, pada rasio transmisi sebesar 6,3.

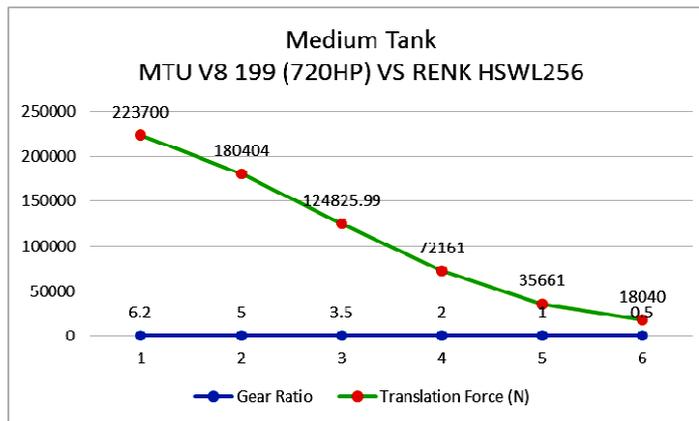
$$F_{dorong\ (total)} = \frac{i_{tr} \cdot i_{F.D} \cdot M_e}{r} \cdot E_{ff\ transmissi} \quad (1)$$

dimana :

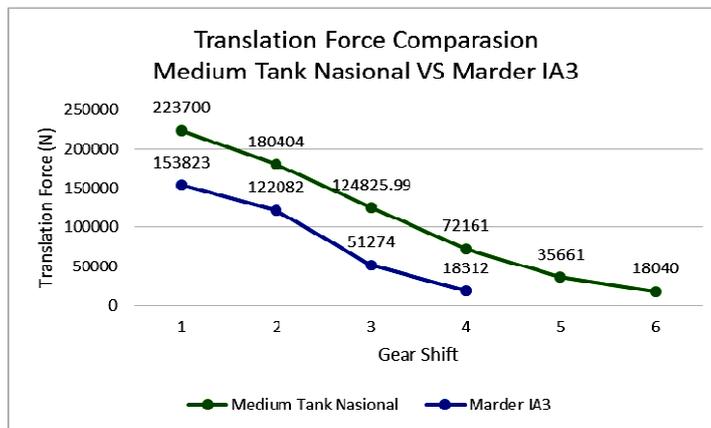
- $i_{tr}$  = Rasio Transmisi
- $i_{FD}$  = Rasio Final Drive
- $M_e$  = Engine Torque
- $r$  = Radius Sporcket (720 cm)



Gambar 5.  
Line chart translation force ranpur Marder 1A3



Gambar 6.  
Line chart translation force ranpur MTI



Gambar 7.  
Line chart translation force ranpur M-IA3 dibandingkan ranpur MTI

Sedangkan pada ranpur MTI dengan tenaga mesin 720 HP menghasilkan gaya garak tranlasi sebesar 223.700 N pada ratio 6,2. Pada gambar 5, dan gambar 6 menampilkan grafik besaran gaya translasi pada ranpur M-1A3 dan MTI masing-masing sesuai tipe mesin dan gear ratio yang digunakan. Pada Gambar 7 ditampilkan grafik perbandingan besar gaya translasi pada ranpur M-1A3 dan MTI, terlihat bahwa untuk ranpur MTI besar gaya translasi datar dapat meningkat hampir 50% pada gear ratio maksimum

### 3.4 Evaluasi Medan Tanjak (Gradient)

Evaluasi performa ranpur pada medan tanjakan dipengaruhi oleh

beberapa faktor: gaya hambat (*drag*), berat, friksi dan hambatan lain, seperti dihitung pada rumusan dibawah <sup>3),7)</sup>:

$$\sin \theta + \mu \cos \theta = \frac{\text{Torque} \cdot E_{tl} \cdot i_{tr} \cdot i_{fd} \cdot E_f}{W \cdot R} \quad (2)$$

Dimana :

$E_{tl}$  = Factor to compensate torque loses (9,5)

$E_f$  = Factor to compensate engine loses (8,76)

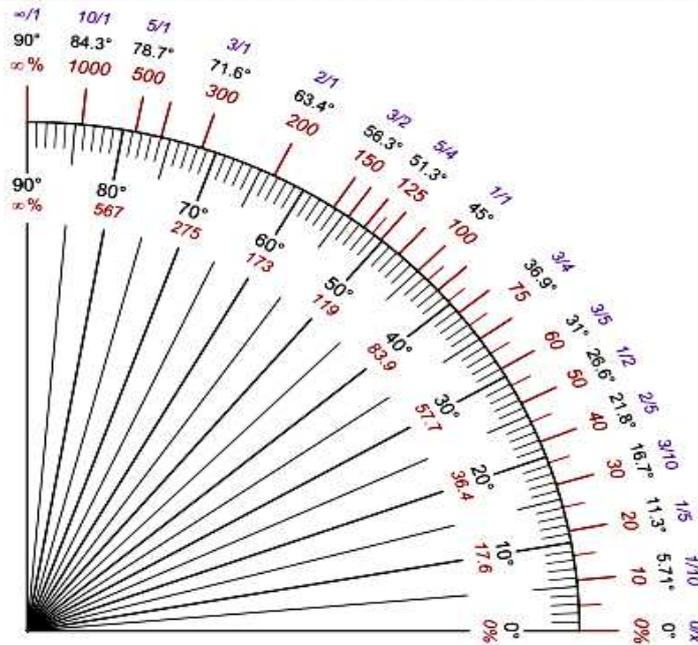
$i_{tr}$  = Rasio Transmisi

$i_{fd}$  = Rasio Final Drive

$W$  = Weight

$R$  = Radius sprocket

$\mu \cos$  = Koefisien gesek antar material

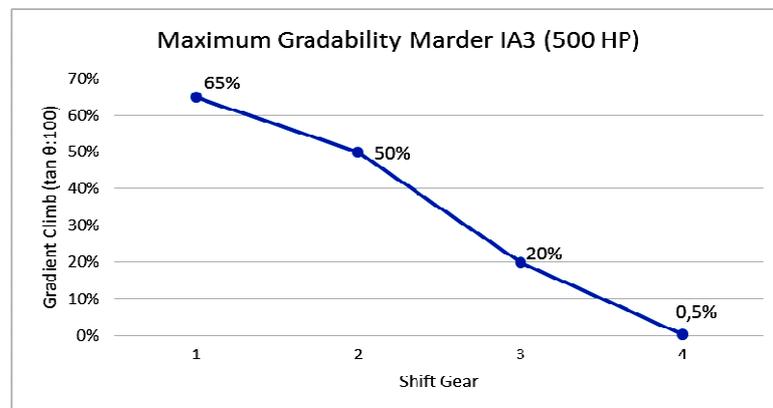


Gambar 8.  
Nomenklatur Performa Menanjak (*Gradient Ability*)

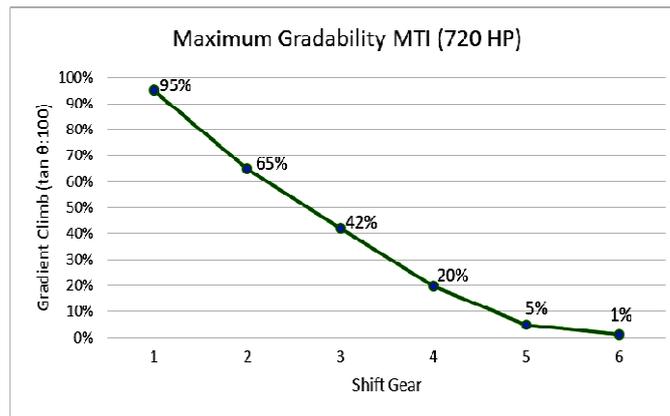
$$\alpha = \arctan \frac{\% \text{ slope}}{100} \quad (3)$$

Dari Gambar 8 dapat dijelaskan bahwa pada ranpur M-IA3 dengan GVW 35.000 kg yang dilengkapi mesin ber-torsi 1419 N.m pada gear shift 1, ratio transmisi ( $i_{rt}$ ) ; 6,3 serta final drive ( $i_{fd}$ ): 5,16, menghasilkan performa menanjak (*gradient ability*) max. 33%. Hal ini berarti pada gear shift 1, ranpur M-1A3 mampu menanjak pada kemiringan medan dengan sudut max 33° atau

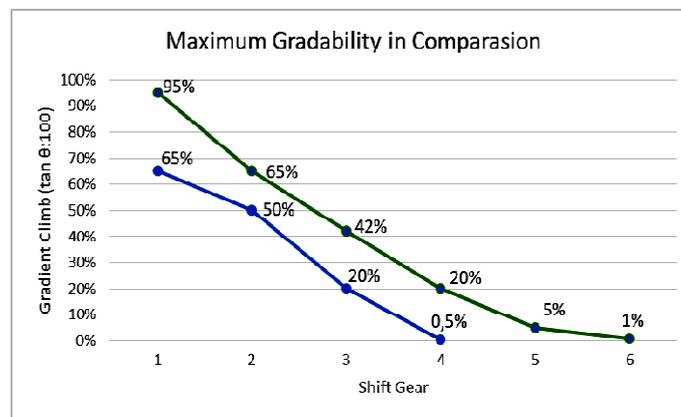
65%/100. Sedangkan pada Gambar 9 dapat dijelaskan bahwa ranpur MTI dengan spesifikasi GVW 37.000 kg, mesin bertorsi max 1.991 N.m pada gear shift 1, dengan ratio transmisi ( $i_{rt}$ ): 6,2 dan final drive ( $i_{fd}$ ): 5,4 tampak mampu menghasilkan nilai performa menanjak (*gradient ability*) max. 40°.



Gambar 9.  
*Line chart gradient ability ranpur M-IA3*



Gambar 10.  
Line chart gradient ability ranpur ranpur MTI



Gambar 11.  
Line chart gradient ability ranpur M- IA3 dibandingkan ranpur MTI

Hal ini berarti pada gear shift 1, ranpur MTI mampu menahan dengan sudut max 40° atau 95/100%. Sedangkan pada Gambar 10 ditampilkan evaluasi perbandingan kemampuan *gradient ability* antara ranpur M-1A3 dan MTI, tampak bahwa kemampuan performa mesin ranpur MTI lebih tinggi 30% dari ranpur M-1A3 dalam kondisi medan menanjak. Secara umum, performa mesin terhadap berat kendaraan dan gradient, disini tercatat hasilnya melebihi persyaratan teknis (*Technical Requirement*) yang ditetapkan oleh TNI baik pada rampur M-IA3 maupun ranpur MTI.

3.5 Evaluasi Kecepatan Maksimum  
Evaluasi kecepatan maksimum ( $V_{max}$ ) kendaraan tempur dihitung dari rumus 3),5),7) :

$$V_{max} = \frac{RPM}{i_{tr} \cdot i_{fd}} D\pi \quad (3)$$

Dimana :

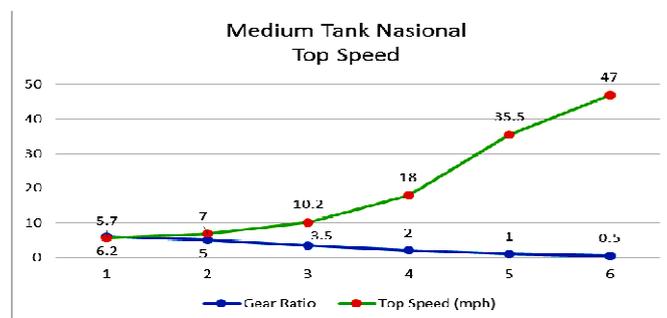
- RPM = Putaran mesin
- D = Diameter Sprocket
- $i_{tr}$  = Rasio Transmisi
- $i_{fd}$  = Rasio Final Drive



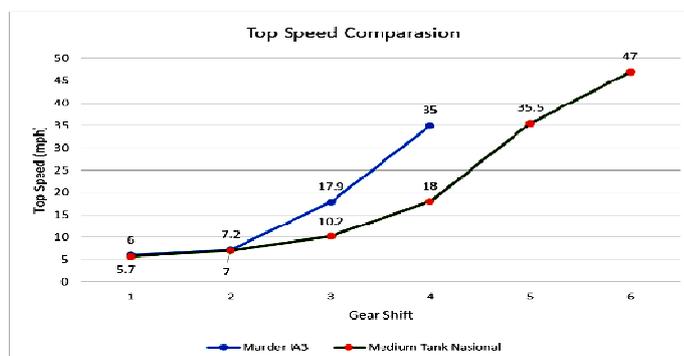
Gambar 12.  
Grafik kecepatan maksimum ranpur Marder-1A3

Dari grafik pada Gambar 11 dapat terlihat bahwa performa mesin ranpur M-IA3 dihitung melalui nilai maksimum RPM terhadap gear shift ( $i_{rt}$ ) : 1, dengan ratio transmisi 6,3 dan final drive ( $i_{fd}$ ) : 5,16 kemudian diteruskan ke radius sprocket sehingga mampu menghasilkan kecepatan maksimum pada gear shift tersebut sebesar 6 mil/jam pada RPM 2.200/ 1.419 N.m. Sedangkan kecepatan optimal dicapai pada gear shift 4<sup>th</sup>, menghasilkan kecepatan sebesar 35 mil/jam,

sebagaimana ditampilkan pada *line chart*. Sedangkan pada gambar 12 didapat performa mesin ranpur MTI dengan gear shift ( $i_{rt}$ ) : 1, ratio transmisi 6,2 dan final drive ( $i_{fd}$ ) 5,4 kemudian diteruskan ke radius sprocket, mampu menghasilkan kecepatan maksimum pada gear shift tersebut sebesar 5,7 mil/jam pada RPM 2.300/ 1.991 N.m. Sedangkan kecepatan optimal dicapai pada gear shift 6, menghasilkan kecepatan sebesar 47 mil/jam, sebagaimana ditampilkan pada *line chart*.



Gambar 13.  
Grafik kecepatan maksimum ranpur MTI



Gambar 14.  
Grafik perbandingan kecepatan maksimum Marder-IA3 dan MTI

Pada Gambar 13 dengan membandingkan dua wahana ranpur M-1A3 dan MTI dengan spesifikasi bobot, mesin dan diameter sprocket masing masing berbeda, terlihat bahwa M-1A3 dengan bobot 28-30 ton, konfigurasi mesin sebesar 550 HP dan diameter sprocket  $D=72$  cm, serta ranpur MTI, dengan bobot 35-38 ton, konfigurasi mesin 700-720 HP dan diameter sprocket  $D=72$  cm, akan menghasilkan gaya translasi datar yang cukup untuk mampu menggerakkan wahana atau ranpur tersebut sesuai dengan bobotnya.

Pada ranpur MTI memiliki kemampuan menanjak pada gear 2<sup>nd</sup> sampai sekitar 35°, melebihi standar sudut kemiringan tanjakan yang ditetapkan 31°. Sedangkan kecepatan maksimum dari kedua ranpur mencapai 35.5 mil/jam atau 57 km/jam untuk M-1A3 sedangkan MTI dapat mencapai hingga 47 mil/jam atau 75 km/jam.

## SIMPULAN

Dengan membandingkan dua wahana ranpur M-1A3 dan MTI sesuai dengan spesifikasi masing masing, maka terlihat dengan peningkatan bobot dari 28-30 ton ke 35-38 ton (21%), peningkatan daya mesin 550 HP ke 700-720 HP (23 %), pada diameter sprocket yang sama  $D=72$  cm akan menghasilkan peningkatan gaya translasi datar sebesar 33% yaitu 223.700N. Ditinjau dari segi kemampuan kendaraan menanjak, maka ranpur MTI meningkat 17.5% dari Max 33° ke 40° demikian juga untuk kecepatan maksimum meningkat 25% dari 37 mil/jam ke 47 mil/jam sesuai dengan ketentuan teknis yang disyaratkan Kementerian Pertahanan sebesar 47 mil/jam atau 75 km/jam.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kajian penulisan ini, penulis berterimakasih kepada pihak Balitbang Kemenhan yang telah memaparkan kegiatan Rancang bangun MTI dan memberikan laporan rancang bangun tersebut kepada pihak PTIPK. Tidak lupa juga penulis berterimakasih kepada institusi Pusat Teknologi Industri Pertahanan dan Keamanan (PTIPK-BPPT) yang menaungi penulis dan tempat mengabdikan untuk dapat mengkases laporan- laporan dan terlibat pada kegiatan Rancang bangun Medium Tank Indonesia. Terakhir, adalah PT. Pindad (Persero) yang telah banyak memberikan

informasi melalui diskusi-diskusi mengenai Rancang bangun MTI.

## DAFTAR PUSTAKA

1. *Technical Requirement Medium Tank Indonesia*, Balitbang KEMHAN, Kavaleri TNI AD dan PT.Pindad, 2014, (Tidak dipublikasikan).
2. Kementerian Pertahanan (KEMHAN), *RANCANG BANGUN (TECHNOLOGY DEVELOPMENT) Medium Tank Indonesia*. BALIBANG KEMHAN, Jakarta, 2014 (Tidak dipublikasikan).
3. Rustandi, A. *Technical Report: Perhitungan Awal Performa Kendaraan Tempur Marder. Laporan Kegiatan Program Kajian Teknis Pengembangan Ranpur Medium Tank*. PTIPK-BPPT, 2015 (Tidak dipublikasikan).
4. US ARMY DEVELOPMENTAL TEST COMMAND. *Defense Technical Information Center (DTIC)*, Washington-USA, 2009.
5. Prof.Ir.I Nyoman Sutantra, M. P. (2010). *Teknologi Otomotif* (Edisi Kedua ed.). Surabaya: Guna Widya. Diakses Oktober 2015
6. Agus Suprianto S, *Perhitungan Gaya Translasi Pada Medium Tank. Laporan Kegiatan Program Kajian Teknis Pengembangan Ranpur Medium Tank*. PTIPK-BPPT, 2015 (Tidak dipublikasikan).
7. Corp., M. F. (2016, June). *Operating Manual*. Diakses dari Mitsubishi Fuso Truck & Bus Corp.: <http://www.mitsubishi-fuso.com/en/technology/>.html diakses Agustus 2015
8. Millbrook. (2016, April). *millbrook Defence*. Diakses dari <http://www.millbrook.co.uk>: <http://www.millbrook.co.uk/sectors/defence/> diakses Agustus 2015
9. Dr. Peterson. (2003, Juni). *Slope Angle*. Diakses dari <http://mathforum.org/library/drmath/view/63099.html> diakses Desember 2015
10. Hahn, Rubert. (2002, April). *Rigid Body Dynamics of Mechanisms I: Theoretical Basis*. New York: Springer

## KAJIAN TEKNIS MODIFIKASI SENJATA LARAS PANJANG UNTUK PRAJURIT TNI

### TECHNICAL STUDY FOR MODIFICATION LONG BARRELED RIFLES FOR TNI SOLDIER

Fadli C. Megawanto, Ade Purwanto, Teguh Muttaqie

Pusat Teknologi Industri Pertahanan dan Keamanan-BPPT  
Gd. Hankam No. 256/ Lt. 3, BPPT, PUSPIPTEK - Serpong, Tangerang Selatan – 15314  
E-mail : fadli.cahya@bppt.go.id, ade.purwanto@bppt.go.id, teguh.muttaqie@gmail.com

#### Abstrak

Rekayasa alutsista melalui modifikasi teknis (re-engineering) dengan kemampuan mandiri merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan kemampuan penguasaan teknologi industri pertahanan nasional. Memodifikasi senjata api M-16 sebagai senjata serbu ringan laras panjang, berkaliber 5.56 mm menjadi senjata laras pendek untuk pertempuran jarak pendek di kapal dapat menginisiasi rancang bangun senjata untuk prajurit TNI AL. Dalam kajian pertempuran di dalam ruang kapal, penggunaan senjata laras panjang standar TNI tipe M-16 dirasa kurang optimal. Ruang gerak prajurit yang sempit dengan jarak tembak relatif dekat, maka senjata serbu laras pendek akan lebih baik. Berkaitan dengan hal tersebut senjata serbu M-16 milik TNI AL dicoba dimodifikasi dengan cara pemendekan laras maupun penggantian laras sesuai postur dan misi tempur prajurit TNI. Dalam kajian disini ditelaah hasil modifikasi senjata laras panjang M-16 yang sesuai untuk digunakan prajurit TNI namun tetap mempunyai kinerja tembak yang optimal.

**Kata kunci** : Senjata serbu ringan, Senjata laras panjang/pendek. Modifikasi teknik.

#### Abstract

*Technical modification of the main weapon system (Alutsista) through re-engineering with their ownncompetency is one of the efforts to enhance the ability of mastering technology in national defense industry. Modifying an M-16 as lightweight long-barreled rifle having caliber of 5.56 mm into a short-barreled rifles for short range combat in ship can initiate the design of weapons for Indonesian Navy (TNI AL) personnel. Study of the battle in deck space of ships, the use of standard military rifle M-16 type is less optimal. The condition of narrow space for soldier movement and a relatively close of shooting range will lead to better use of the short-barreled rifles. With regard to this issues, the modification of M-16 by means of replacing and shortening the barrel should be based on the posture and combat mission of Indonesian soldier (TNI) has been analyzed and still being complied with tha optimum shooting performance.*

**Keywords** : *lightweight barreled rifles, long-barreled rifles, short barreled rifles, technical modification*

Diterima (*received*) : 14 Oktober 2017, Direvisi (*reviewed*) : 9 November 2017,  
Disetujui (*accepted*) : 30 November 2017

#### PENDAHULUAN

Kekuatan pertahanan nasional merupakan kebutuhan mutlak untuk menegakkan, menjaga dan

mempertahankan kedaulatan Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI), karenanya perlu disusun kekuatan pertahanan secara mandiri, strategis,

terarah, terpadu serta berkelanjutan. Untuk mewujudkan hal tersebut harus didukung dengan pembinaan potensi pertahanan nasional, salah satunya adalah kemandirian industri pertahanan dalam negeri<sup>1)</sup>.

Bentuk kemandirian dalam kesiapan penyediaan alat utama sistem senjata (alutsista) oleh produksi dalam negeri, dilakukan melalui upaya kemandirian rancang bangun senjata prajurit TNI yang dilaksanakan secara bertahap. Modifikasi teknis (*re-engineering*) alutsista yang ada dengan kemampuan sendiri merupakan salah satu upaya guna meningkatkan kemampuan teknologi industri pertahanan dalam negeri.

Sejalan dengan adanya kebutuhan TNI AL, senjata yang sesuai untuk pertempuran dalam ruang kapal, serta perlunya pemanfaatan secara optimal senjata lama TNI yang tersedia, maka melalui kajian teknis ini dilakukan penelitian dan perekayasa teknis alternatif modifikasi dengan cara pemotongan laras senjata untuk memperbaiki kemampuan tempur senjata TNI untuk pertempuran dalam ruang kapal.

Dari hasil kajian diharapkan dapat menginisiasi kemandirian industri pertahanan dan keamanan dalam negeri untuk dapat menghasilkan alutsista khususnya senjata api laras panjang serta kemampuan mengembangkan rancangan (disain) senjata laras panjang standar yang sesuai dengan postur dan kebutuhan personil TNI AL di lapangan.

#### **BAHAN PENGKAJIAN TEKNIS SENJATA**

Dalam kegiatan kajian ini digunakan bahan kajian pada senjata serbu ringan laras panjang standar militer TNI jenis M-16 buatan Amerika<sup>2,3)</sup>, Sesuai dengan *operation requirement* TNI, senjata serbu berkaliber 5,56 mm dengan beberapa komponen senjata dari bahan paduan alumunium yang dimaksudkan untuk memperingan berat senjata dan tahan karat<sup>4)</sup>. Saat ini senjata tersebut banyak digunakan hampir semua prajurit TNI AL. contoh senjata varian M-16 ditampilkan pada Gambar 1.

#### **METODOLOGI**

Dilakukan tahapan pengkajian teknis meliputi:

##### **1. Studi Literatur**

Mempelajari berbagai jenis senjata standar laras panjang dan amunisi yang digunakan TNI AL serta melakukan analisa

perbandingan dengan produk-produk senjata sejenis yang lain<sup>5)</sup>.

##### **2. Survei Modifikasi Senjata**

Melakukan survei data kemampuan senjata untuk kebutuhan prajurit TNI-AL di dalam kapal (*Operation Requirements/ Ops-Req*) yang dituangkan sebagai acuan Sistem Standar.Teknis (SST). Dilanjutkan dengan observasi perekayasa modifikasi teknis senjata dengan cara pemotongan laras, penggantian laras baru serta pengujian penembakan

##### **3. Analisa dan Evaluasi**

Melakukan studi perilaku amunisi di dalam laras (*internal ballistic*) senjata laras panjang. Studi perilaku amunisi di luar laras (*eksternal ballistic*).

Studi perilaku peluru pada target (*target ballistic*). Serta studi banding hasil modifikasi senjata laras panjang ke PT. PINDAD.



Gambar 1.

Beberapa varian senjata laras panjang M-16 yang digunakan TNI

#### **HASIL PEMBAHASAN**

##### **Survei/Observasi Modifikasi Senjata**

Survei/observasi modifikasi senjata laras panjang dilaksanakan bekerjasama dengan TNI AL di KOARMATIM TNI AL Surabaya. Spesifikasi teknik sampel senjata digunakan tipe M-16<sup>6)</sup> seperti pada Tabel 1.

Pihak TNI AL menginginkan modifikasi dilakukan dengan cara mengganti laras M-16A1 dengan laras yang lebih pendek. Hal ini mempertimbangkan misi, fungsi dan ukuran postur prajurit TNI serta adanya

ketersediaan cukup banyak senjata tipe M-16A1 yang  $\pm$  40 tahun belum digunakan secara optimal seperti pada Gambar 2. .

Tabel 1.  
Spesifikasi Senjata M-16

	Ukuran
Unloaded Weight (tanpa magasin)	3,2 Kg
Loaded Weight	4,0 Kg
Length	840 mm
Barrel Length	370 mm
Barrel Profile	1 / 12
Action Gas Operated	Rotated Bolt
<b>Cartridge (NATO stnd)</b>	5,56 x 45
<b>Effective Range</b>	100 m
<b>Muzle Velocity</b>	900 m/s



Gambar 2.

Contoh senjata tipe M16A1 belum dimodifikasi (original)

Dalam pelaksanaan rekayasa modifikasi senjata laras panjang digunakan 3 (tiga) cara dengan pemotongan dan penggantian laras, sebagaimana pada Tabel 2.

Tabel 2.  
Modifikasi Laras Senjata M-16

Modifikasi Laras/ Barrel	Keterangan	Material Laras
Dipotong	$\pm$ 30 %	Original
Diganti baru	Barrel M4	Lokal
Diganti baru	Barrel M4-Cbn	Original

Pada modifikasi dengan cara pemotongan laras terlihat pekerjaan dilakukan tidak sempurna. Panjang Laras/barrel dipotong tidak terukur presisi. Sehingga berakibat sisa panjang laras/barrel ataupun parameter lainnya seperti diameter lubang gas dan peletakan pada barrel tidak tepat. Pada pengujian penembakan mengalami kegagalan.

Pada kondisi laras/barrel senjata diganti baru dengan laras yang dimanufaktur

sendiri, faktor kepresisian dan jenis material pengganti masih belum sama. Pada pengujian penembakan juga mengalami kegagalan. Sedangkan pada kondisi laras/ barrel diganti baru dengan menggunakan barrel senjata tipe M4-Carbine hasilnya belum optimal, mengingat umur material sudah tua, hasil penembakan kurang terukur.



Gambar 3.

Contoh senjata tipe M16A1 hasil modifikasi (pemendekan laras)

### Pembahasan Teknis

Dari hasil observasi kegiatan modifikasi senjata laras panjang di lapangan disampaikan pokok tinjauan bahasan sebagai berikut :

#### 1. Kemampuan Teknis Senjata

- Secara teori dengan pemotongan laras/barrel  $\pm$  30%, untuk penembakan dengan jarak 100 m, senjata modifikasi M-16 masih bisa digunakan dengan baik, mengingat amunisi kaliber 5,56 mm didesain untuk jarak tembak sampai 600 m. Namun demikian tinggi lubang pada pisir bidik/pejera harus didesain ulang, mengingat sudut berangkat dari lintasan amunisi sudah berubah, karena efek dari pemotongan panjang laras<sup>7)</sup>.
- Sebagai senjata serbu kemampuan tembak M16 dengan jarak 100 m masih dapat diandalkan, jika ditinjau dari sisi kondisi komponen senjata memang masih prima/akurat, Namun hasil titik bidikan akan bergeser sedikit karena berubahnya waktu lintasan amunisi dalam barrel (*lock-time*).
- Dengan adanya pemotongan laras, maka gaya hentakan ke belakang (*recoil*) yang dihasilkan akan lebih besar/keras, karena penjaralan tekanan gas ke mulut laras lebih

singkat sedangkan tekanan gas masih cukup besar setelah laras dipotong.

- d. Dengan memotong panjang laras, maka akan menggeser posisi lubang gas pada laras, berarti merubah tekanan gas yang keluar lubang, karenanya diameter lubang gas harus disesuaikan agar senjata tetap bisa berfungsi dengan baik.

## 2. Kemampuan teknis Amunisi

- a. Senjata dengan jarak tembak 100 - 200 m adalah desain untuk senjata perang kota, sehingga amunisi kaliber 5,56 mm cukup memadai. Untuk perang dalam ruang kapal didesain senjata dengan jarak tembak 25-50 m disarankan cukup dengan amunisi kaliber lebih kecil.
- b. Amunisi kaliber 5,56 mm untuk digunakan pertempuran dalam ruangan mempunyai energi yang berlebih, bila digunakan menembak, kemungkinan musuh belum dapat dilumpuhkan secara total, karena proyektil hanya lewat/menembus sasaran.
- c. Akibat pemotongan laras senjata, terkait perbaruan posisi ketinggian lubang pisir, maka sudut lintasan amunisi/proyektil akan berubah. Untuk itu diperlukan waktu penelitian yang panjang untuk mengetahui sudut lintasan amunisi yang tepat.

## 3. Tinjauan Data Kepustakaan

Metode penelitian panjang efektif laras/barrel dan efeknya terhadap tekanan ujung laras serta kecepatan amunisi/ peluru melintas dilakukan dengan cara mengukur tekanan di ujung laras menggunakan sensor *piezzo-electric* dan *chronograph* dipasang di ujung laras. Hal ini untuk mengukur tekanan dan kecepatan peluru keluar di ujung laras (*muzzle velocity*), sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4 dan 5. Proses ini diulang dengan variasi panjang laras per 1 inchi pemotongan.



Gambar 4.  
Pengukuran tekanan dan kecepatan peluru pada ujung laras



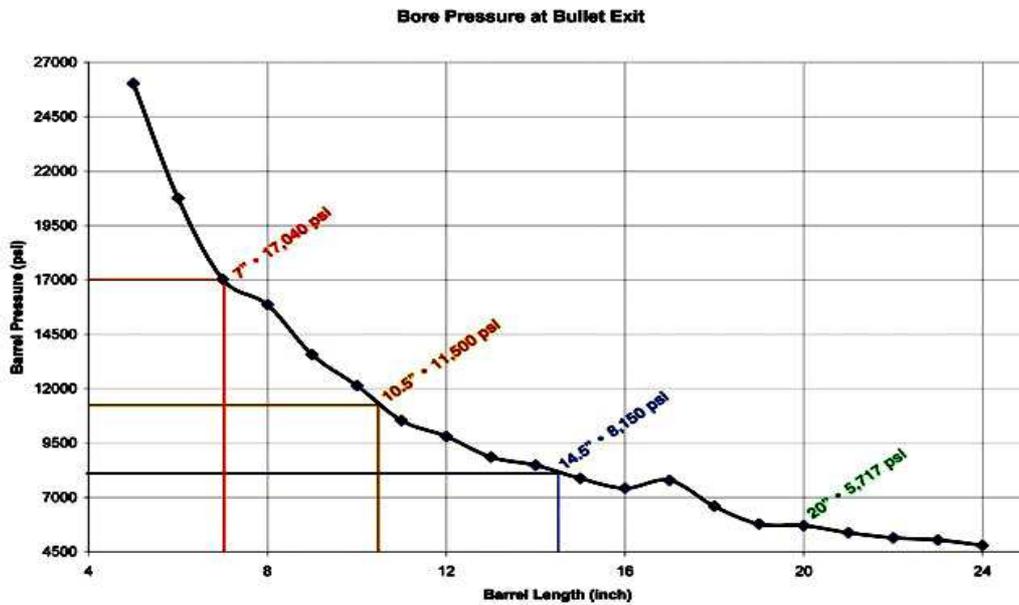
Gambar 5.  
Pemasangan sensor piezzo-electric dan chronograph pada ujung laras

Sebagai contoh pada Gambar 6, ditampilkan pengujian tembak pada senapan tipe AR-15 dengan panjang laras semula 24" dan mempunyai twist rate 1:7", menggunakan amunisi tipe M855 (*Military standard NATO*) caliber 5.56 x 45 mm (62 grain) dengan jarak tembak tetap<sup>8)</sup>.

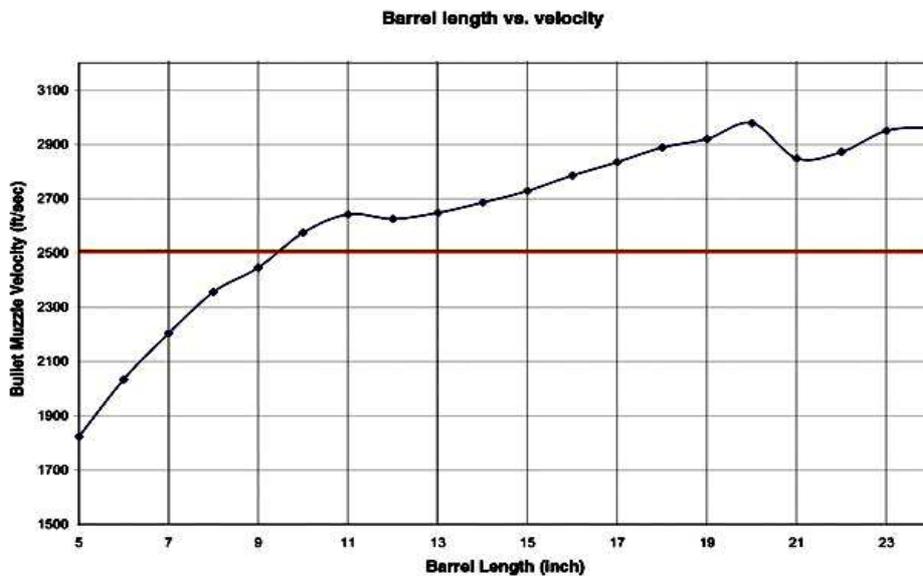


Gambar 6.  
Senapan Tipe AR-15 pada saat Dilakukan pengujian tembak

Hasil pengujian tembak semacam ini akan dapat ditampilkan data berupa panjang laras/barrel dan tekanan peluru diujung laras dalam bentuk grafik<sup>9)</sup> seperti pada Gambar 7.



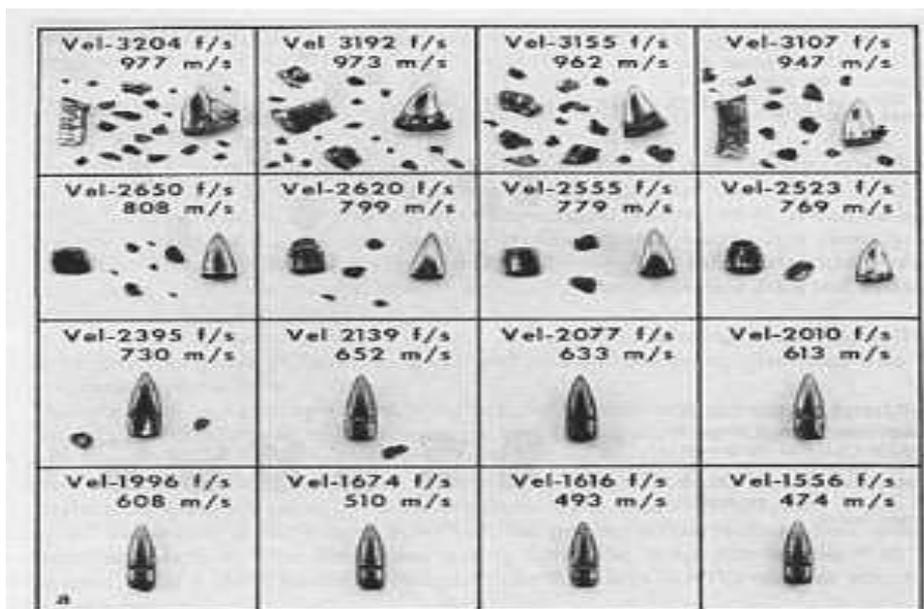
Gambar 7.  
Tampilan grafik tekanan (di ujung laras) terhadap panjang laras/ barrel (inch) (Dater *et al*, 2010)



Gambar 8.  
Grafik Panjang barrel (ft) dan Kecepatan peluru di ujung laras dalam (ft/sec) (Dater *et al*, 2010)

Pada Gambar 8 ditampilkan grafik panjang barrel dan kecepatan lintas peluru di ujung laras<sup>9)</sup>. Sedangkan garis merah menunjukkan batas minimal dari kecepatan peluru tipe M855 agar terjadi fragmentasi secara efektif saat mencapai target tembak. Sebagai mana diketahui, bahwa peluru kaliber 5.56 mm kemampuan mematikan (*lethality*) terletak pada kemampuan fragmentasi peluru tersebut di dalam target tembak.

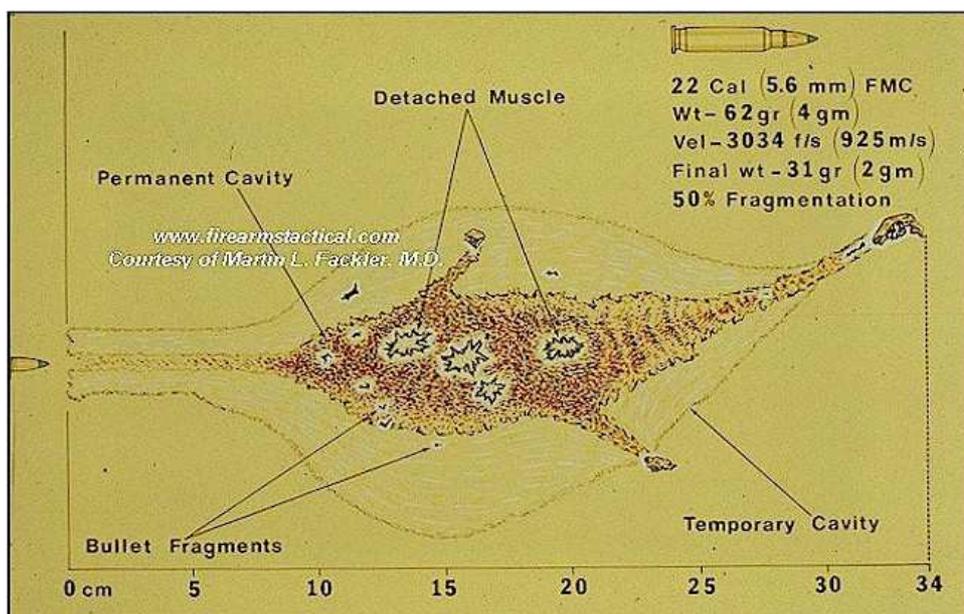
Seperti terlihat pada Gambar 9 ditampilkan bentuk-bentuk fragmentasi peluru kaliber 5,56 mm yang terjadi disaat uji penembakan sesuai dengan kecepatan lintas peluru masing-masing kondisi. Dalam pelaksanaan uji penembakan tersebut digunakan material *gelatin balistik* untuk dapat menggambarkan bentuk dan ukuran fragmentasi material peluru.



Gambar 9.  
 Hasil uji tembak peluru kaliber 5.56 x 45 pada gelatin balistik yang mewakili *soft tissue*  
 (Martin L. Fackler - www.AR15.com)

Pada Gambar 9 terlihat gambar, fragmentasi efektif dari peluru yang baru mulai terjadi

pada kecepatan peluru melintas menuju target bidik diatas 2500 ft/sec atau 769 m/s.



Gambar 10.  
 Ilustrasi profil dari fragmentasi Peluru tipe M855 5.56x45 mm digunakan pada senjata M-16A2 (U.S. Military)

Measurement scale in centimeters (5 cm = 2 inches). Illustration courtesy of Martin L. Fackler, M.D.

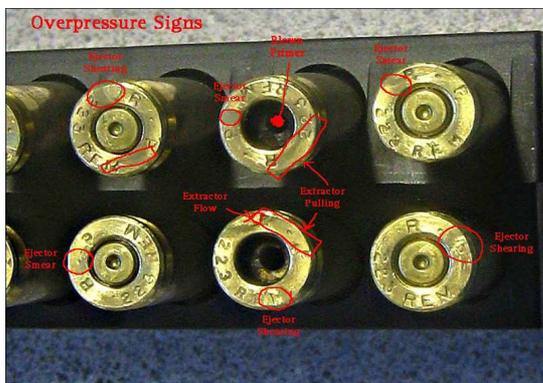
Gambar 10 di atas menampilkan hasil uji tembak peluru kaliber 5.56 x 45 mm terekam pada gelatin balistik yang mewakili *soft tissue*. Terlihat pada gambar bahwa fragmentasi yang timbul menjadi faktor penyumbang terbesar penyebab kematian

(*lethality*). Dari hasil penembakan dapat dihasilkan efek melukai yang besar, terjadi ketika dampak peluru pada kecepatan tinggi menembus jaringan target dan dengan cepat mentransfer energi kinetik menyebabkan fragmentasi amunisi<sup>10</sup>.

Dari uraian di atas secara teknis bisa dipahami bahwa bila dilakukan pemotongan panjang laras senjata maka minimum panjang laras tersebut setelah dipotong

menjadi 14.5", dari panjang barrel semula 24" dan panjang barrel optimum 20" untuk peluru kaliber 5.56 mm. Ketika dilakukan pemotongan laras, dimana panjang laras menjadi kurang dari 14.5", maka akan terlihat banyak efek negatif seperti kecepatan peluru yang menurun drastis, level kebisingan akibat ledakan meningkat, terjadi *muzzle flash* yang cukup besar. *Muzzle flash* diperkirakan tidak terlihat lagi ketika panjang barrel minimal 16".

Dari pengujian tembak dengan peluru tipe MU5TJ, dengan berat 4gr (62 grain) maka stabilitas tembakan yang paling tepat adalah dengan twist 1:7<sup>(11)</sup>. Sehingga sebaiknya laras/barrel lama senjata M16A1 yang mempunyai twist rate 1:12 dapat dimodifikasi diganti menggunakan barrel baru dengan twist rate 1:7. Penempatan lubang gas amunisi juga harus hati-hati diperhitungkan, hal ini mempertimbangkan *dwell time* yaitu waktu antara peluru melewati lubang gas dan peluru keluar dari laras. Jika hal ini tidak diperhatikan maka bisa terjadi *over-pressure*, yaitu jika lubang gas terlalu dekat dengan *chamber*, ataupun *under-pressure* jika lubang gas terlalu dekat dengan mulut laras.



Gambar 11.  
Contoh longsong peluru hasil uji penembakan dengan tekanan berlebih

## SIMPULAN

Modifikasi teknis dengan pemotongan laras/barrel senjata akan berpengaruh pada parameter kemampuan senjata antara lain : Lock time peluru akan mengubah proyeksi lintasan peluru di dalam laras sehingga menggeser titik target tembak. Muzzle Flash akan terjadi di ujung laras senjata, hal ini karena bubuk mesiu peluru tidak mempunyai waktu terbakar yang cukup di dalam laras/barrel sehingga mengurangi juga tekanan peluru. Muzzle Velocity (MV)/kecepatan peluru akan berkurang

dikarenakan gaya tekan yang terbentuk di bagian belakang peluru lebih kecil sehingga jarak tembak efektif yang dicapai akan berkurang. Accuracy Barrel/ Laras semakin baik dikarenakan semakin pendeknya laras, kekakuan (*stiffness*) laras semakin baik. Gas Sadap, akan berpengaruh pada kesempurnaan beroperasinya sistem pembuangan selongsong peluru pasca penembakan. Penggunaan sistem gas sadap yang baik akan memberikan keamanan bagi penggunaan senjata.

Selain itu Modifikasi teknis dengan pemotongan laras/ barrel senjata memerlukan perhitungan ulang posisi pisir, target bidik dan cara manufaktur yang lebih presisi. Hal ini akan terkait juga dengan kondisi prima komponen senjata yang ada serta kinerja hasil penembakan. Modifikasi teknis dengan penggantian laras/ barrel senjata laras pendek dari jenis yang lain. Hal ini memerlukan kesesuaian kaliber amunisi yang akan digunakan sesuai misi tempur senjata yang dimodifikasi.

## REKOMENDASI

1. Modifikasi senjata serbu standar laras panjang M-16 untuk menjadi senjata serbu laras pendek dengan cara pemotongan laras tidak direkomendasikan, karena akan mengurangi kinerja dari senjata.
2. Penggunaan senjata serbu untuk pertempuran dalam ruang, sebaiknya menggunakan senjata yang didesain dengan jarak tembak 25 – 50 m. Senjata serbu tersebut sebaiknya menggunakan amunisi kaliber 9 mm yang memang didesain melumpuhkan lawan dalam jarak dekat.
3. Jika terpaksa harus memodifikasi senjata laras panjang, maka cara yang paling tepat adalah dengan mengganti laras senjata lama dengan laras baru yang sesuai misi tempur yang dikehendaki, dengan mempertimbangkan kondisi komponen senjatanya serta dilakukan pengujian laboratorium terlebih dahulu.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kajian teknis Modifikasi Senjata Laras Panjang TNI merupakan hasil kegiatan kerjasama antara PTIPK-BPPT dan TNI AL TA 2010, didukung oleh KOARMATIM TNI AL dan PT.PINDAD sebagai mitra kerja/narasumber. Terimakasih kepada semua pihak yang telah bekerjasama dalam menyelesaikan riset ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Andi Widjajanto, *Krisis Ekonomi dan Kemandirian Pertahanan Indonesia*, Majalah TNI Patriot, Ed. Khusus No. 92, Tahun XIII, Oktober 2012.
2. Cutshaw, Charles Q. and Ness, Leland., *Jane's Ammunition Handbook 2003-2004*, Jane's Information Group Ltd, Sentinel House, Surrey, UK
3. Hogg, Ian V., *Jane's Infantry Weapons 1996-1997*, Jane's Information Group Ltd, Sentinel House, Surrey, UK.
4. Yuwono, Guntur., *Receiver Senapan Serbu dari Bahan Aluminium dan Alternatif Proses Pembuatannya*, Majalah Ilmiah Pengkajian Industri, No.22, April 2004, Deputi Teknologi Rancang Bangun dan Rekayasa, BPPT, 2004
5. Williams, Anthony G., *Assault Rifles And Their Ammunition History And Prospect*, <http://www.quarry.nildram.co.UK>, Februari 2012
6. ...., *M16A1 & M16A2 Wound Profile Illustrations*, Firearms Tactical Institute, <http://firearmstactical.com>, 1999
7. Sutardjo, Fx., *Pengetahuan Dasar Balistik*, Departemen Pendidikan dan Pelatihan DITMINKU PT PINDAD, 2000
8. Dater, Philip H. dan Wong, Jason., *Barrel Length Sties in 5.56mm NATO-Weapons*, <http://sadefensejournal.com>
9. Dater, Philip H. dan Wong, Jason., *Effects of Barrel Length on Bore Pressure, Projectile Velocity and Sound Measurement*, [https://ndiastorage.blob.core.usgovcloudapi.net/ndia/2010/armament/Wednesday Cumberland Philip Dater.pdf.](https://ndiastorage.blob.core.usgovcloudapi.net/ndia/2010/armament/Wednesday%20Cumberland%20Philip%20Dater.pdf), 2010.
10. Wakeman, Randy., *Energy Transfer and Other Bullet Ballistics*, <http://www.chuckhawks.com>, 2006
11. ...., *Kelengkapan Data Anak Peluru MU4-TJ dan MU-5TJ*, PT PINDAD
12. ...., *Bull Barrel Profile*, <http://AR15BARRELS.com/mv.htm>, 2011

## TINJAUAN UNJUK KERJA HIDROMEKANIKA PADA PENGEMBANGAN AWAL DISAIN RANPUR AMFIBI BERODA BAN

### HYDROMECHANIC PERFORMANCE REVIEW AT THE DEVELOPMENT OF PRELIMINARY DESIGN OF WHEELED AMPHIBIOUS ARMoured VEHICLE

Samudro<sup>a</sup>, Baharuddin Ali<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Pusat Teknologi Industri Pertahanan dan Keamanan - BPPT  
Gedung 256 Teknologi HANKAM/Lt. 2, PUSPIPTEK, Serpong, 15314. Telp. 021.758759, Fax. 75791285

<sup>b</sup> Balai Teknologi Hidrodinamika – BPPT  
Jl. Hidrodinamika, Kompleks ITS Sukolilo, Surabaya, 60112 Telp. 031.5948060, Fax. 031.5948066  
e-mail :samudro@bppt.go.id, baharuddin.ali@bppt.go.id

#### Abstrak

Kendaraan tempur (ranpur) amfibi AAPC (*Amphibious Armored Personal Carrier*) adalah ranpur pengangkut personel militer serta dapat dimanfaatkan untuk penyeberangan pada perairan dangkal. Ranpur mampu beroperasi di darat/ air dan dapat dikembangkan untuk operasi amfibi pendaratan. Ranpur berbobot 10,5 ton mempunyai kapasitas 10 personil, berkecepatan di darat 110 km/jam dan dirancang berkecepatan 9 km/jam di air. Pada tulisan ini secara numerik unjuk kerja hidromekanika ranpur (*amphibious mode*) dikaji, terutama karakteristik hidrostatis, aspek daya apung, aspek stabilitas serta karakteristik hidrodinamika, aspek tenaga penggerak untuk menjamin kenyamanan maupun keselamatan operasional ranpur di air. Ranpur dirancang dengan *displacement* penuh, prediksi hidrostatis ranpur menunjukkan sarat air/ ketenggelaman maksimum mencapai 1,5 m, disini ranpur tercelup hingga bukaan pintu masuk personil, namun ranpur masih mempunyai cadangan daya apung. Prediksi stabilitas ranpur menunjukkan, pada kondisi titik berat disekitar 1,25 m dari garis dasar, meski miring  $\pm 60^\circ$ , stabilitas ranpur masih dinilai optimum aman. Namun dengan bobot 10,5 ton, agar ranpur dapat melaju di air pada kecepatan 9 km/jam, diprediksi memerlukan tenaga penggerak  $\pm 1600$  HP. Padahal tenaga penggerak ranpur terpasang hanya sebesar 215 HP, sehingga kecepatan operasi di air dinilai tidak dapat terpenuhi. Karenanya bobot, bentuk dan kecepatan ranpur perlu ditinjau kembali. Secara umum unjuk kerja hidromekanika pengembangan disain ranpur-AAPC amfibi cukup baik.

**Kata Kunci** :Ranpur-AAPC, Aspek Hidromekanika, Sarat Air Maksimum, Stabilitas Optimum, Daya Gerak

#### Abstract

*Amphibious Armored Personal Carrier (AAPC) Vehicle (ranpur) is a combat vehicle of military personnel carrier and can be used for the wet crossings in shallow waters. Ranpur is able to conduct an operation on the land and on the water and be developed for amphibious landing operation. Ranpur weighing 10.5 tons has the capacity of 10 personnel, land-speed 110 km/h and designed speed at 9 km/h speed on water. This paper numerically examines the ranpur-hydrmechanics performance on amphibious mode, particularly the characteristics of hydrostatic, related to the aspect of buoyancy, stability aspect as well as the characteristic of*

*hydrodynamic related to the aspect of propulsion to ensure the comfort as well as the operational safety of ranpur on the water. Ranpur is designed with a full displacement, based on the prediction result of hydrostatic performance by using a fully loaded condition, the ranpur has a maximum draft of about 1.5 m, the body of ranpur immersed up-to the openings of entrance personnel, it still have a buoyancy reserves. The Stability prediction indicates that the optimum stability of ranpur seem to be safe when the center of gravity is around 1.25 m above the base line, even it rolling on  $\pm 60^\circ$ . However, by using full loaded condition of 10,5 ton, it can be predicted need propulsion power of 1600 HP and by its existing propulsion power of 215 HP, the ranpur has been predicted to be unable to achieve the expected speed of 9 km/hour on the water. Therefore weights, shapes and ranpur-speed needs to be reviewed. In general, the hydromechanic performance of the design development of ranpur-AAPC for amphibious mission is good enough.*

**Keywords:** AAPC (Amphibious Armored Personal Carrier), Hydromechanic Aspect, Maximum Draft, Optimum Stability, Powering

Diterima (received) : 13 Oktober 2017, Direvisi (revised) : 08 November 2017, Disetujui (accepted) : 29 November 2017

## PENDAHULUAN

Peran, tugas dan fungsi strategis Tentara Nasional Indonesia (TNI) dalam rangka melaksanakan kebijakan pertahanan negara dapat dilakukan melalui kegiatan Operasi Militer Perang (OMP) maupun Operasi Militer Selain Perang (OMSP). Kegiatan disini terutama dalam bentuk pertahanan dan pengamanan wilayah teritorial darat, laut dan udara serta perbatasan termasuk alur pelayaran, laut kepulauan terluar maupun sungai dan perairan pedalaman<sup>1,2)</sup>. Melihat kondisi geografis Indonesia sebagai negara kepulauan dengan kondisi garis pantai yang panjang serta berbatasan dengan laut dan perairan pedalaman negara lain, maka penjagaan, pengamanan dan kewajiban mempertahankan kedaulatan Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI) perlu diutamakan. Dalam kaitan kegiatan pengamanan dan pertahanan wilayah pantai, operasi amfibi sebagai salah satu gelar operasi militer gabungan yaitu operasi pendaratan pasukan dari laut ke darat oleh TNI sangat diperlukan. Oleh karena itu kemampuan gelar operasi amfibi bagi pasukan TNI AD dan TNI AL tetap perlu ditingkatkan, tidak terbatas pada kemampuan perorangan prajurit TNI, namun juga prasarana dan sarana pendukung pada operasi amfibi. Dalam teori pertempuran darat-laut dinyatakan bahwa, misipertama operasi amfibi adalah kemampuan pendaratan pasukan untuk memberikan kejutan taktis dan operasional pada musuh di pantai maupun pada titik-titik rawan daerah penyerbuan dari laut yang tidak terjaga.

Meskipun di sini disadari bahwa dalam operasi amfibi juga mengandung resiko adanya halangan jebakan ranjau pantai dan tembakan terbuka alteleri musuh dari darat ke laut. Sedangkan pada misi kedua, operasi amfibi ditujukan untuk

pengamanan, penjagaan wilayah teritorial terutama pada kepulauan dan garis pantai terluar wilayah perbatasan maupun pada daerah operasi berawa dan sungai. Oleh karenanya untuk menunjang keberhasilan misi ini dukungan kemampuan teknis sarana operasi amfibi sangat diperlukan<sup>3)</sup>. Salah satu komponen sarana mobilitas pendukung untuk keberhasilan suatu gabungan operasi amfibi adalah perlu ketersediaan sarana militer kendaraan tempur (Ranpur) amfibi (*Amphibious Armored Personnel Carrier, AAPC*) multi fungsi. Sebagai kendaraan tempur AAPC harus memenuhi ketentuan khusus, seperti menggunakan pelat baja tahan peluru, bersenjata, sebagai pengangkut pasukan atau ambulan tempur yang mampu bergerak di medan tempur dengan tingkat kesulitan tertentu<sup>4)</sup>. Dalam kajian di sini ranpur-AAPC yang semula didisain sebagai wahana pengangkut personil pasukan infantri darat atau sebagai sub-sistem alat utama sistem persenjataan (alutsista) dalam mendukung daya gempur dan pergerakan operasi tempur penyerbuan maupun untuk patroli pasukan. Selanjutnya dikembangkan untuk mampu mendukung mobilitas penyeberangan pasukan pada perairan dangkal.

Varian ranpur-AAPC dalam satuan infantri TNI AD sebagai sub-sistem alutsista pendukung penyerbuan, perlu dirancang untuk kemudahan pengangkut pasukan dengan cepat dan mampu mengatasi segala medan<sup>5,6)</sup>.

Berbeda dengan jenis kendaraan tempur darat, maka ranpur-AAPC berkemampuan amfibi harus memiliki konstruksi ringan, mampu beroperasi membawa personil di darat maupun di air dengan kecepatan tertentu. Untuk itu pada ranpur-AAPC perlu dirancang sebagai kendaraan tempur beroda ban berkapasitas angkut 10 orang personil dan 2

awak, dilengkapi sistem persenjataan senapan mesin ringan kaliber 12,7mm serta perlengkapan komunikasi. Ranpur ini harus mempunyai daya apung, stabilitas yang baik dan daya penggerak yang cukup, mampu mendaratkan pasukan pada kondisi perairan bergelombang rendah, operasi penyeberangan sungai dan handal beroperasi di daratan rawa-pantai. Sebagai tahap awal untuk melakukan disain ranpur amfibi-AAPC dapat dikembangkan dari konsep ranpur beroda ban pengangkut personel tipe sedang untuk mendukung mobilitas operasi militer darat<sup>(7)</sup>.

Tabel 1.  
Spesifikasi teknik Ranpur-AAPS

No	Spesifikasi Teknis	Ukuran
1	Dimensi (LxWxH) /mm	6000x2500x2170
2	Bobot tempur /Ton	10,50
3	Jarak badan ke dasar /m	0,35
4	Mesin /HP – Cylinder	± 215 - 6
5	Kecepatan Darat /Air Km/jam	110 / 9
6	Konfigurasi	4 x 4
7	Awak / Personil	2 / 10

## MATERI DAN METODOLOGI

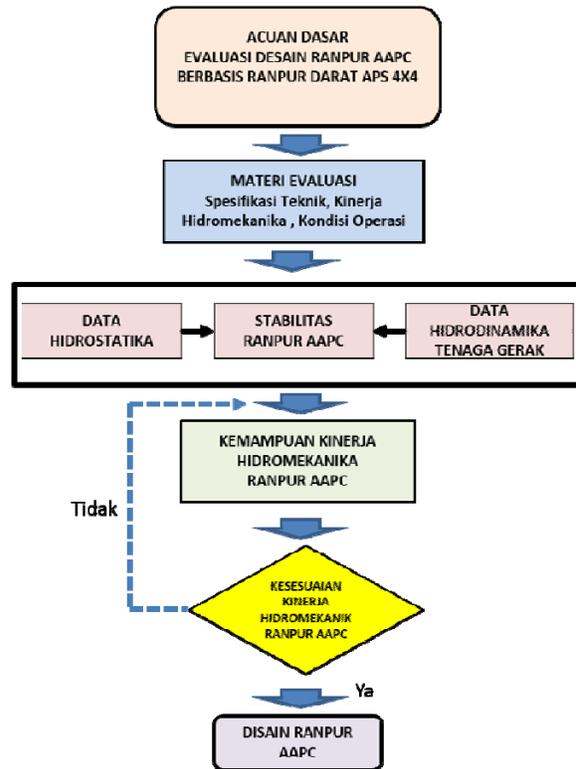
### 1. Materi Ranpur Amfibi APS 4x4



Gambar 1  
Prototip Ranpur Darat-APS 4x4

Dalam materi kajian kinerja hidromekanika Ranpur Amfibi menggunakan data dari prototip Ranpur Angkut Personil Sedang (APS 4x4), produksi PT. PINDAD dengan spesifikasi teknik ditampilkan pada Tabel 1. Ranpur ini merupakan hasil kerjasama rancang bangun ranpur militer-darat antara BPPT dan PT. PINDAD. Hasil kajian pada prototip ini akan menjadi bahan masukan proses disain varian baru ranpur APS 4x4 yang dikembangkan untuk mampu beroperasi di air sebagai ranpur amfibi. Konfigurasi prototip ranpur APS 4x4 seperti ditampilkan pada Gambar 1.

### 2. Metodologi



Gambar 2.  
Metodologi kajian disain Ranpur-AAPC

Pada tinjauan kajian di sini difokuskan untuk menganalisa kinerja hidromekanika pada disain awal ranpur-AAPC amfibi beroda ban yang dikembangkan dari basis disain ranpur darat. Tinjauan teknis yang dilakukan meliputi aspek hidrostatis pada daya apung, stabilitas dan hidrodinamika, untuk tenaga gerak (*powering*)<sup>(8)</sup>. Tinjauan unjuk kerja hidromekanika pada disain ranpur ini dilakukan dengan cara mengevaluasi melalui prediksi perhitungan numerik parameter-parameter aspek hidrostatis terutama daya apung.

Titik berat dan stabilitas (*intact stability*) dengan menggunakan pemrograman Matlab. Sedangkan untuk prediksi daya gerak (*powering*) dievaluasi pada kondisi ranpur-AAPC beroperasi dalam kondisi pendaratan amfibi dari laut ke pantai pada keadaan perairan berombak rendah.

Secara umum lingkup kajian unjuk kerja hidromekanika ranpur-AAPC dimulai dari Studi literature, Kajian acuan dasar, Pemodelan bentuk fisik lambung ranpur-AAPC, Perhitungan dan analisa data hidrostatis, Perhitungan dan analisa stabilitas dan Perhitungan tenaga gerak. Selanjutnya hasil perhitungan kemampuan kinerja hidromekanika desain ranpur divalidasi dengan ketentuan spesifikasi teknis, kinerja dan kondisi operasional sesuai yang ditetapkan. Pada Gambar 2 ditampilkan diagram metodologi kajian.

### 3. Peninjauan teoretis aspek Hidromekanika

#### 3.1 Aspek Hidrostatika – Daya apung, Stabilitas

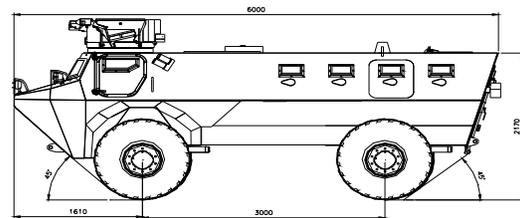
Padadisain ranpur amfibi-AAPC berbasis disain ranpur darat, maka aspek hidromekanika menjadi suatu hal yang penting didalami, terutama aspek data hidrostatika dan stabilitas. Saat beroperasi di air, aspek hidrostatika akan berkaitan dengan karakteristik bentuk lambung yang tercelup di air dan sistem kekedapan pada lambung ranpur-AAPC. Hal ini terkait erat dengan ketersediaan volume udara sebagai daya apung serta letak titik berat ranpur. Ranpur amfibi pada kondisi terapung di air, badan ranpur yang tercelup akan menerima gaya-gaya hidrostatika tekan ke atas yang sebanding dengan gaya berat seluruh komponen badan ranpur. Demikian juga dengan berat dan distribusi berat komponen badan ranpur akan berpengaruh pada letak posisi titik berat ranpur dan sarat air ketenggelaman badan ranpur. Sedangkan letak titik berat akan mempengaruhi kemampuan stabilitas (*intact stability*) ranpur. Oleh karenanya kemampuan/daya apung dan stabilitas ranpur perlu diprediksi terutama pada saat kondisi ranpur-AAPC meluncur dari kapal pengangkut menuju ke permukaan air untuk mulai mengapung. Hal ini penting untuk diketahui karena hak tersebut merupakan kondisi kritis yang sangat berpengaruh pada stabilitas dinamis ranpur-AAPC akibat adanya gaya berat, gaya apung, dan gaya luar (*external force*) gelombang yang bekerja saat ranpur-AAPC mulai mengapung di air.

#### 3.2. Aspek Hidrodinamika - Tenaga gerak

Pada tinjauan aspek hidrodinamika menyangkut tenaga gerak (*powering*) disain awal ranpur amfibi-AAPC ditekankan pada prediksi kebutuhan daya gerak ranpur dalam kondisi ranpur melakukan operasi amfibi pendaratan dari laut ke pantai. Prediksi perhitungan kemampuan tenaga gerak (*powering*) dimaksudkan untuk mengatasi beban gaya-gaya hidrodinamika pada saat ranpur mengapung, melaju melakukan olah gerak maupun untuk mengatasi tahanan air dan gelombang pantai. Pada kondisi tersebut sebagian lambung ranpur-AAPC tercelup di air hal ini akan terjadi gaya gesek air dan gaya gelombang. Berdasarkan gaya hambatan air di laut dapat diprediksi besar tenaga mesin yang harus disediakan agar ranpur dapat bergerak di air pada kecepatan operasi amfibi serta tenaga gerak ranpur-AAPC beroperasi di darat.

#### 3.3 Disain Lambung Ranpur-AAPC

Untuk dapat melakukan prediksi unjuk kerja hidromekanika, karakteristik ranpur-AAPC perlu dimodelkan secara numerik. Selanjutnya dalam perhitungan analisa numerik parameter hidrostatika dan stabilitas dibutuhkan data rencana garis (*lines plan*) badan ranpur yang akan dimodelkan. Data hasil numerik tersebut selanjutnya diolah dengan software berbahasa pemrograman Matlab dari hasil pengembangan mandiri<sup>6)</sup>. Data numerik model karakteristik ranpur yang diprediksi dibuat berdasarkan disain awal ranpur-AAPC yang dikembangkan oleh BPPT dan PT PINDAD, seperti ditampilkan pada Gambar 3.

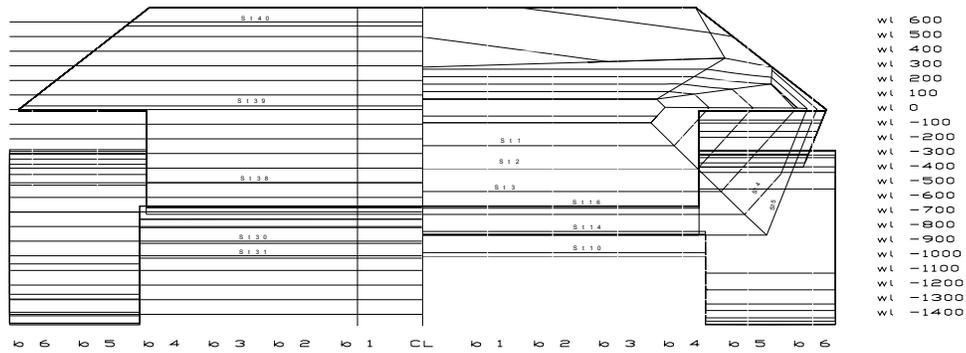


Gambar 3.  
Disain Ranpur-AAPCBPPT - PT PINDAD

#### 3.4 Rencana Garis Ranpur – AAPC

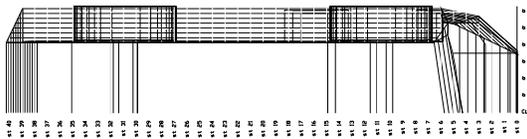
Rencana garis (*lines plan*) menggambarkan garis-garis yang membentuk disain lambung ranpur-AAPC sebagaimana ditampilkan pada contoh Gambar 3.1 Body-plan lambung ranpur-AAPC serta Gambar 3.2a *Lines-plan* dan Gambar 3.2b *Buttock-plan*. Karakteristik ranpur-AAPC memiliki bentuk kontur lambung menyiku seperti halnya lambung kapal berbentuk *chine* dengan lekukan menyiku. Penggambaran garis air (*water-line*) WL-0 dimulai pada garis air tepat menyentuh pada ujung lambung depan ranpur-AAPC, pada titik perpotongan antara garis tegak pada ujung lambung depan dan garis singgung lambung bawah bagian depan menerus ke roda ban luar membentuk sudut serang  $45^\circ$  dengan garis dasar (*baseline*).

Penggambaran rencana garis (*Lines-plan*) lambung ranpur-AAPC dibuat pada setiap garis air (*water-line*). Rancangan garis air digambar setiap 100 mm keatas sampai dengan WL+600, sedangkan ke bawah digambar sampai dengan WL -1400. Sebagaimana rencana garis ditampilkan pada Gambar 3.2a.

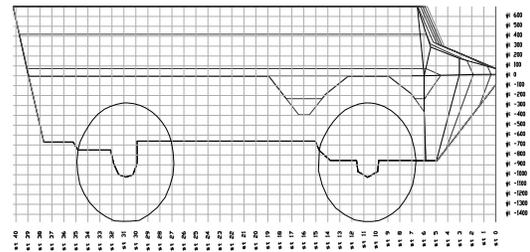


Gambar 3.1.  
Body plan Ranpur-AAPC

*Buttock-plan* pada gambar 6 buah pada setiap jarak 349 mm pada setengah lebar lambung ranpur ke arah kanan dan ke kiri. Lambung depan ranpur membentuk sudut serang  $45^\circ$  dan bagian lambung belakang berbentuk transom

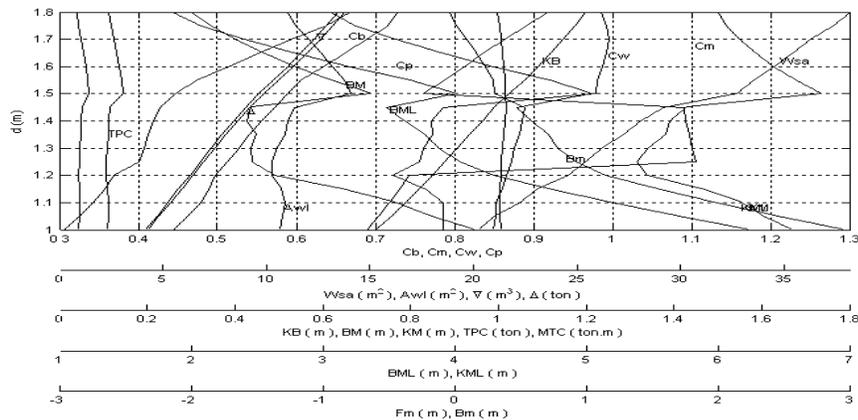


Gambar 3.2a.  
Lines-plan Ranpur-AAPC



Gambar 3.2b.  
Buttock-plan Ranpur-AAPC

## HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 4.  
Grafik parameter Hidrostatik Ranpur-AAPC

Dari data numerik *body-plan*, *lines-plan* dan *buttock-plan* ranpur-AAPC yang ada dilakukan perhitungan numerik untuk mengetahui karakteristik parameter hidrostatika maupun kemampuan intact-stabilitas ranpur pada kondisi di air tenang. Hasil

perhitungan karakteristik hidrostatika ranpur-AAPC disampaikan dalam grafik sebagaimana pada Gambar 4.

### 1. Tinjauan Hidrostatika Ranpur-AAPC

Saat ranpur-AAPC mengapung di air sedikitnya ada 2 jenis gaya utama yang bekerja, gaya berat (*weight*) bekerja pada pusat berat dan gaya apung (*buoyancy*) bekerja pada pusat gaya apung. Besar gaya berat tergantung pada massa ranpur-AAPC, sedangkan besar gaya apung tergantung pada bagian lambung berisi udara yang tercelup di bawah permukaan air (*immersed body*). Perhitungan hidrostatika secara umum yang digunakan untuk disain ranpur ampibi-AAPC sebagaimana digunakan pada perhitungan teknik perkapalan (*naval architecture technology*), meliputi perhitungan volume lambung tercelup di air (*displacement*), luas permukaan basah lambung, luas garis air, posisi titik apung, posisi titik berat, luas penampang melintang lambung,

Koefisien bentuk lambung pada setiap beda ketinggian 50mm sarat air serta data perubahan berat dan momen setiap perubahan ketinggian sarat air. Data karakteristik parameter hidrostatika ranpur-AAPC ditampilkan pada Gambar 4. Pada gambar-gambar grafik di sini salah satunya memberikan gambaran umum distribusi berat rancangan ranpur-AAPC saat mengapung. Dari hasil perhitungan disain dapat dihitung total berat ranpur-AAPC, meliputi berat konstruksi dan berat muatan penuh sebesar 10,5 ton, maka dari hasil prediksi hidrostatika pada Gambar 4. dapat diketahui bahwa sarat air yang terjadi adalah 1,5 m. Dari prediksi ini diketahui bahwa ranpur-AAPC masih dapat mengapung meski dengan kondisi sarat air sedikit di bawah pintu masuk pengemudi dan separuh tinggi pintu belakang sudah tertutup air. Dalam kondisi ini ranpur-AAPC masih dapat beroperasi dengan baik dengan asumsi sistem kekedapan air pada jendela, pintu dan bukaan pada badan ranpur-AAPC cukup baik, sehingga air tidak dapat masuk ke ruang dalam ranpur-AAPC.

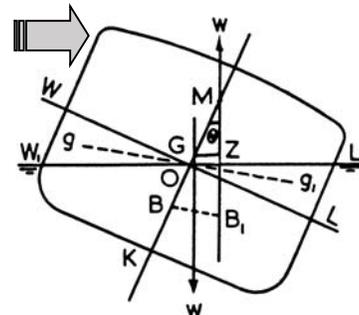
### 2. Prediksi Stabilitas Ranpur-AAPC

Tinjauan pada aspek stabilitas terkait kemampuan ranpur untuk kembali ke posisi semula tegak apabila ranpur mengalami oleng saat terapung di air. Hal ini berkaitan erat dengan optimasi penempatan titik berat ranpur. Secara umum stabilitas benda apung sangat dipengaruhi oleh besar volume basah benda atau bagian benda yang tercelup di air serta letak titik berat dan titik apung benda tersebut<sup>(9)</sup>.

Pada Gambar 5 dijelaskan bahwa sebuah benda yang mengapung stabil di air tercelup pada garis air WL, sedikitnya ada dua jenis gaya yang bekerja, gaya berat (*weight*) dan gaya apung (*buoyancy*) yang berlawanan arah, bekerja pada titik pusat berat G dan titik apung B yang bekerja pada garis lurus, sehingga titik referensi dasar K, titik B dan titik G merupakan garis lurus. Jika benda tersebut

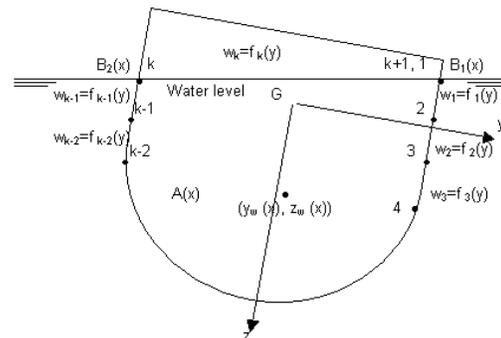
maka benda akan oleng dengan sudut ( $\Theta$ ) pada salah satu sisi. Jika gaya luar tersebut dihilangkan, maka ada tiga kemungkinan yang akan dialami oleh benda tersebut. Keadaan pertama adalah benda akan kembali pada posisi semula tegak, keadaan ini disebut keadaan stabil (stabilitas positif). Keadaan kedua, benda tetap miring seperti pada posisi terkena gaya, keadaan ini disebut keadaan stabilitas netral. Keadaan ketiga, benda tersebut akan terus oleng sehingga terbalik, keadaan ini disebut keadaan tidak stabil (stabilitas negatif). Ketiga keadaan tersebut diekspresikan sebagai berikut :

1. Stabilitas positif jika  $GM > 0$
2. Stabilitas netral jika  $GM = 0$
3. Stabilitas negatif jika  $GM < 0$



Gambar 5. Model Stabilitas positif  $GM > 0$

Dimana garis GM adalah tinggi metasentra (*metacenter height*), yang menunjukkan nilai stabilitas awal benda. Titik G adalah titik berat vertikal benda dan titik M disebut titik metasentra yang merupakan perpotongan sumbu vertikal B saat oleng dengan sumbu vertikal saat diam/tidak oleng. Sedangkan garis GZ merupakan lengan pengembali dari keadaan oleng ke keadaan semula tegak. Untuk mengetahui besar lengan pengembali GZ saat benda oleng, dapat dicari dengan persamaan umum yang dijelaskan dari Gambar 6 :



Gambar 6. Model potongan melintang benda apung

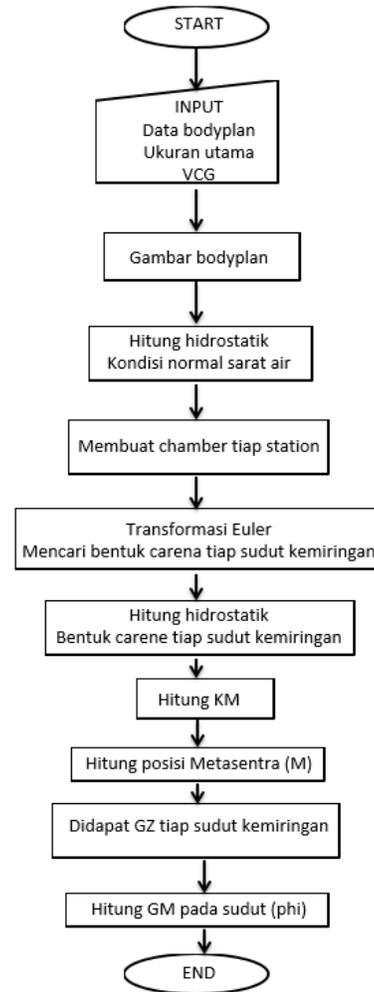
$$A(x) = \sum_{j=1}^k \int_{y_j}^{y_{j+1}} \left[ \int_{a_j y + b_j}^0 dz \right] dy \quad (1);$$

$$y_w(x) = \frac{\sum_{j=1}^k \int_{y_j}^{y_{j+1}} y \left[ \int_{a_j y + b_j}^0 dz \right] dy}{\sum_{j=1}^k \int_{y_j}^{y_{j+1}} \left[ \int_{a_j y + b_j}^0 dz \right] dy} \quad (2);$$

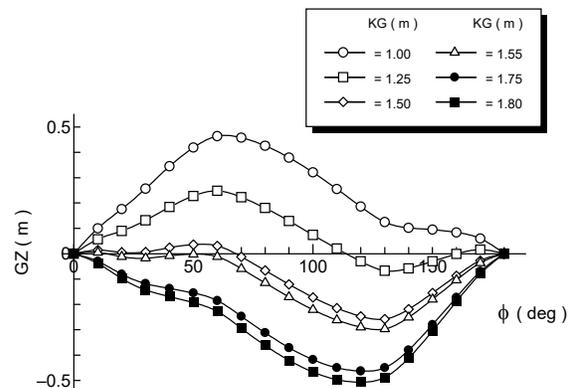
$$z_w(x) = \frac{\sum_{j=1}^k \int_{y_j}^{y_{j+1}} z \left[ \int_{a_j y + b_j}^0 dz \right] dy}{\sum_{j=1}^k \int_{y_j}^{y_{j+1}} \left[ \int_{a_j y + b_j}^0 dz \right] dy} \quad (3);$$

Besar volume displacement benda apung ( $V$ ) adalah integral dari luasan seksi melintang benda apung  $A(x)$  dihitung dari persamaan (1), sepanjang badan benda apung. Sedangkan  $y_w(x)$  dan  $z_w(x)$  adalah titik pusat luasan potongan melintang benda apung seperti dihitung pada persamaan (2) dan (3). Sebagai gambaran besar luasan potongan melintang dan titik pusat benda apung dapat dihitung melalui penentuan lebar garis air badan benda apung tercelup air pada setiap kondisi oleng yaitu dengan menentukan titik interseksi  $B_1(x)$  dan  $B_2(x)$  secara numerik.

Pada saat dilakukan disain sebuah ranpur-AAPC, harus dirancang untuk memenuhi kriteria kestabilan minimum serta tinggi GM harus bernilai positif atau  $GM > 0$ . Melalui pemrograman Matlab dengan alur perhitungan sebagaimana ditampilkan pada Gambar 7, maka hasil simulasi prediksi nilai stabilitas GM pada perhitungan disain ranpur-AAPC dapat dihitung dan ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 7. Diagram alur perhitungan lengan stabilitas (GZ) dan nilai stabilitas (*Intact Stability*) GM Ranpur-AAPC



Gambar 8. Grafik lengan stabilitas disainRanpur-AAPC

Pada gambar 8 ini prediksi stabilitas ranpur dilakukan dengan memvariasikan tinggi KG, yaitu dengan meletakkan titik berat vertikal, dihitung dari bagian terbawah badan ranpur-AAPC, masing-masing antara ketinggian 1 m sampai dengan 1.8 m.

Dari simulasi diketahui bahwa titik berat vertikal yang optimum adalah terletak diantara posisi 1 m sampai dengan 1.5 m, dengan nilai GM yang terjadi bernilai positif dan mempunyai lengan stabilitas GZ lebih besar dibandingkan dengan posisi titik berat yang lain. Panjang lengan pengembali GZ tertinggi adalah sekitar 0.5 m pada tinggi KG = 1 m. Lebih rinci dari Gambar 8. tampilan grafik lengan stabilitas Ranpur-AAPC dapat dianalisa bahwa lengan stabilitas GZ untuk penempatan KG = 1 m maupun untuk KG = 1,25 m menunjukkan nilai curva lengan stabilitas GZ bernilai positif dan mempunyai titik belok maksimum disekitar sudut kemiringan tenggelam ranpur-AAPC sekitar 60°.

Mengingat bentuk disain ranpur-AAPC yang tersedia sudah dirancang seperti pada Gambar 3, maka untuk mendapatkan nilai GM positif yang lebih tinggi yaitu dengan cara menempatkan titik berat G ranpur lebih rendah dari 1 m sudah tidak memungkinkan. Dengan mengatur titik berat G kurang dari 1 m dari garis dasar akan berakibat menurunkan peletakan komponen dan badan ranpur lebih rendah, hal ini akan merugikan sebab mengurangi cadangan daya apung.

Sedangkan untuk pengaturan titik berat memanjang, perlu disesuaikan dengan kondisi pemuatan dan distribusi berat komponen ranpur sehingga tidak terjadi kondisi trim belakang atau depan saat dilakukan perhitungan stabilitas ranpur.

### 3. Prediksi Powering Ranpur-AAPC

Tenaga penggerak (*powering*) pada ranpur-AAPC dipengaruhi oleh besarnya luasan basah (S) atau lambung ranpur yang tercelup bawah air. Dari data numerik disain ranpur-AAPC yang dibuat pada Gambar 3.2a Lines-plan dan Gambar 3.2b *Buttock-plan*, terlihat karakteristik lambung berbentuk *chine* dengan lekukan menyiku. Kecenderungan bentuk lambung seperti ini memiliki tahanan air yang besar karena pola aliran yang ditimbulkan saat ranpur beroperasi di air tidak *stream line*<sup>10</sup>. Karena ranpur-AAPC tidak dirancang untuk bergerak dengan kecepatan tinggi saat beroperasi di air dan juga adanya pertimbangan teknis operasional sebagai ranpur amfibi-AAPC beroda ban untuk mampu beroperasi di darat sebagai pengangkut personil pasukan, maka batasan disain awal ranpur menjadi bahan pertimbangan utama dalam pengembangan disain untuk misi amfibi.

Dengan berat total ranpur-AAPC mencapai 10,6Ton, maka ketenggelaman badan ranpur/sarat air dan luas permukaan basah badan ranpur dapat dilihat dari grafik pada Gambar 4. Besar

kebutuhan tenaga gerak (*powering*) ranpur amfibi di air dihitung berdasarkan persamaan (4) <sup>11</sup> sebagai berikut :

$$F = \frac{1}{2} \rho S V^2 \quad (4)$$

F = Hambatan air pada ranpur (N)

$\rho$  = Masa jenis air laut (Kg/m<sup>3</sup>)

S = Luas permukaan basah ranpur (m<sup>2</sup>)

V = Kecepatan operasional ranpur di air (m/det)

Dengan ditetapkan kecepatan operasional ranpur di air tenag sekitar 9km/jam, maka dari data hidrostatis ranpur-AAPC pada Gambar 4, terlihat besartenaga gerak ranpur pada kondisi sarat air 1,5 m dapat prediksi besar daya mesinnya mencapai 443,53 KN atau setara dengan 1600 HP. Besarnya daya gerak yang dibutuhkan ini tidak sebanding dengan besar daya mesin terpasang pada ranpur yaitu sebesar 215 HP. Oleh karena itu ditinjau dari aspek tenaga gerak (*powering*) ranpur pada kondisi amfibi kebutuhan daya mesin tidak mencukupi, sehingga harus disediakan sistem penggerak khusus dengan daya yang cukup dan/atau dapat juga dengan menurunkan spesifikasi kecepatan operasi ranpur.

### SIMPULAN

Dari kajian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa dengan dilakukan pembuatan model numerik varian desain ranpur-AAPC versi amfibi, maka data hidrostatis hasil perhitungan numerik desain ranpur dapat digunakan sebagai informasi awal dalam perhitungan prediksi daya apung, titik berat, kemampuan stabilitas dan hambatan ranpur-AAPC saat beroperasi di air. Dari hasil perhitungan hidrostatis terlihat bahwa distribusi titik apung ranpur-AAPC cukup baik. Dikarenakan bentuk badan ranpur yang tercelup di air cukup lebar mengakibatkan ranpur cukup stabil. Dengan kondisi sarat air maksimum ranpur mencapai 1,5 m, pada disain terlihat pintu masuk ranpur di bagian belakang sebagian sudah terendam air. Untuk itu guna menjamin daya apung ranpur, sistem kekedapan air pada bukaan pintu perlu dijamin bagus. Dari hasil simulasi stabilitas ranpur dapat diketahui bahwa titik berat vertikal ranpur paling optimum terletak vertikal di titik1 sampai dengan 1.25 m dari garis dasar. Hal ini mengakibatkan tinggi lengan stabilitas GZ mencapai nilai maksimum pada sudut tenggelam sekitar 60°

Tersedianya besar daya mesin ranpur yang ada dinilai tidak mencukupi untuk memenuhi kecepatan ranpur saat beroperasi di air akibat besar hambatan gesek air pada badan ranpur. Secara umum dari hasil kajian hidromekanika ranpur-AAPC menunjukkan bahwa unjuk kerja

pengembangan awal desain ranpur-AAPC untuk misi amfibi cukup baik.

## SARAN

Dalam kajian ini prediksi numerik memberikan kondisi batas matematis dalam penyelesaian penilaian unjuk kerja hidromekanika ranpur-AAPC. Untuk itu pengujian model fisik pada kolam uji sangat dibutuhkan guna memberikan gambaran kondisi dinamis model ranpur saat beroperasi di air.

Pengujian model fisik yang dilakukan meliputi uji gerak (*seakeeping, maneuvering*) dan peluncuran (*launching*) ranpur dari kapal pengangkut guna mengetahui unjuk kerja ranpur amfibi di air tenang maupun bergelombang serta uji tarik (*resistance*) guna mengetahui besar daya mesin yang dibutuhkan saat ranpur beroperasi di air.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Studi kinerja hidromekanika disain awal ranpur amfibi beroda ban merupakan bagian program kegiatan PTIPK BPPT yang didukung oleh kerjasama Rancang bangun Panser APC beroda ban 4x4 - BPPT dan PT PINDAD untuk pengembangan ranpur amfibi produk dalam negeri. Ucapan terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu menyelesaikan kajian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Undang-undang TNI No. 34 Tahun 2004

2. Soeparna, Laksamana TNI, *TNI AL Dalam Penegakan dan Pengamanan Wilayah Laut Yurisdiksi Nasional dan Pulau Terluar*, Majalah TNI Patriot, Ed. Khusus, No. 92, Thn. XIII, Oktober 2012. p.18
3. Operasi Amphibi, Edisi. Koleksi Angkasa XXVIII, PT Gramedia, Jakarta, p.14.
4. G.H Hohl, *Military Terrain Vehicles*, Journal of Terramechanics, 2007, No. 44, p 23-34, Elsevier.
5. R.P Hunnicutt, *Armored Car*, Presidio Press, Novato-CA, 2002, p.211.
6. D.A Sloss, W.J Baker, D.M Lassaline, C.E.C.F Miranda, *The Military Water-Crossing Problem*, Journal of Terramechanics, 1967, Vol. 4, No. 4, p. 55-71, Pergamon Press Ltd, Great Britain
7. Baharuddin A, *Lap. Evaluasi Kinerja Ranpur Amphibi*, UPT Balai Pengkajian dan Penelitian Hidrodinamika, BPPT, Surabaya, 2008 (Tidak dipublikasikan)
8. S. Helvacioğlu, I.H Helvacioğlu, B. Tuncer. *Improving The River Crossing Capability of an Amphibious Vehicle*, Journal Ocean Engineering, No. 38, 2011, p 2201-2207., Elsevier.
9. K.J Rawson, E.C Tupper, *Basic Ship Theory*, Vol. 1, 3<sup>rd</sup> ed, Longman Scientific & Technical, England.
10. I.R Ehrlich, I.O Kamm, G. Worden, *Water Performance of Amphibious Vehicles, Part I Drag and Water Speeds*, Journal of Terramechanics, 1970, Vol. 7, No 2, p.61-102, Pergamon Press Ltd, Great Britain.
11. Sv. Aa Harvald. *Tahanan dan Propulsi Kapal* (Terjemahan), Airlangga University Press, Surabaya, 1992.



## **EVALUASI ERGONOMI KOKPIT PESAWAT UDARA N-219 DENGAN *USABILITY TESTING***

### ***N-219 AIRPLANE'S COCKPITERGONOMICS EVALUATION USING USABILITY TESTING***

**Triyono Widi Sasongko<sup>a</sup>, Nina Kartika<sup>a</sup>, Tegar Septyan<sup>b</sup>,  
Dimas Bahtera E<sup>a</sup>, Budi Sampurno<sup>c</sup>**

<sup>a</sup>*Pusat Teknologi Sistem dan Prasarana Transportasi BPPT*

<sup>b</sup>*Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik UI*

<sup>c</sup>*Program N-219 PT Dirgantara Indonesia*

*e-mail: triyono.widi@bppt.go.id*

#### **Abstrak**

Analisis optimalisasi ergonomi kokpit pesawat udara N-219 sangat penting untuk dilakukan, dikarenakan postur tubuh yang kaku disebabkan oleh konfigurasi kokpit yang kurang baik membuat pilot merasa tidak nyaman, cepat lelah yang akan menyalahi keamanan penerbangan dan berbahaya bagi pilot. Hasil survey pengukuran ergonomik kognitif dengan metode pengukuran usability dengan *Questionnaire for User Interaction Satisfaction (QUIS)*, yang meliputi reaksi *aircrew* terhadap keseluruhan sistem, display, teknologi sistem informasi, pembelajaran dan kapabilitas sistem di kokpit N-219 mempunyai nilai pada skala 7,32 hingga 8,19, dengan kategori baik dan bisa diterima, meskipun terdapat beberapa kekurangan yang harus diperbaiki. Dalam pengembangan selanjutnya, kokpit perlu didesain ulang untuk bisa mengakomodasi pilot yang memiliki tubuh di atas rata-rata karena secara umum sistem yang berjalan saat ini masih kurang nyaman bagi pilot yang memiliki persentil atas.

**Kata Kunci :** Ergonomi, Kokpit N-219, *Usability Test*

#### **Abstract**

*Analysis of optimization of the airplane's cockpit ergonomics N-219 is very important to do, due to the rigid posture caused by the uncomfortable of configuration of the cockpit that make pilots uneasy and tired. It is going to violate the security of the flight and dangerous for pilots. The survey results of measurement with the method of measurement of cognitive ergonomic usability with a Questionnaire for User Interaction Satisfaction (QUIS), which includes reaction to the overall system, aircrew display systems technology, information, learning and capability systems in the cockpit N-219 has a value on a scale of 7.32 up to 8.19, by category which is good and acceptable, although there were some shortcomings that must be rectified. In future development, cockpit needs to be redesigned to be able to accommodate the pilots who have above average of anthropometric because in general the system running at present still less convenient for pilots who have the top percentile.*

**Keywords :** *Cockpit Ergonomics, N-219, Usability Test*

Diterima (received ) : 14 Oktober 2017, Direvisi (revised ) : 09 November 2017  
Disetujui (Accepted) : 30 November 2017

## PENDAHULUAN

Saat ini PT. Dirgantara Indonesia sedang melakukan pengembangan pesawat udara N-219 yang memiliki kelebihan dibandingkan pesawat kompetitornya yaitu memiliki volume kabin yang lebih besar, *multi purpose*, dapat lepas landas dan mendarat pada landasan sepanjang 450 meter. Landasan tidak harus beraspal atau beton tetapi juga lapangan berumput dan memiliki kapasitas angkut lebih besar 500 kg dari pesawat kompetitor lainnya.

Dalam rangka pengembangan pesawat N-219 diperlukan analisis optimalisasi ergonomi konfigurasi kokpit pesawat terhadap rancangan yang sudah ada, untuk mendukung keselamatan penerbangan. Konfigurasi kokpit yang nyaman bagi pilot merupakan syarat untuk meningkatkan keamanan dan menjamin pilot dalam kondisi yang baik.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperoleh optimalisasi ergonomi konfigurasi kokpit pesawat udara N-219 agar pilot merasa nyaman dan aman saat mengemudikan pesawat sehingga akan menjamin keselamatan penerbangan.

Pada tahun 2016 telah dilakukan perhitungan ergonomik fisik seperti LBA (*Low Back Analysis*), OWAS (*Ovako Working Posture Analysis*), RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*) terkait dengan gerakan pilot dalam mengemudi dan menjangkau, serta jangkauan pandangan mata<sup>1)</sup>. Beberapa hasil adalah sebagai berikut:

- a) Berdasarkan perhitungan nilai LBA yang menunjukkan tekanan kompresi yang dialami oleh tubuh didapatkan jangkauan nilai sebesar 256 - 574 Newton. Hal ini masih berada di bawah nilai batas toleransi yang sebesar 3400 Newton, yang merupakan batas nilai beban ideal untuk punggung yang dapat diterima oleh manusia. Dari hasil perhitungan LBA untuk persentil bawah dan atas ini menunjukkan bahwa postur kerja untuk bagian punggung masih memenuhi batas normal.
- b) Nilai OWAS pada gerakan mengemudi dan menjangkau menunjukkan nilai 1 yang berarti masih berada dalam toleransi
- c) Pada analisis RULA ditemukan bahwa gerakan menjangkau ini adalah postur kritis karena memiliki nilai RULA yang lebih besar dibandingkan gerakan mengemudi.
- d) Untuk analisis jangkauan mata masih berada dalam jangkauan normal baik untuk ke arah depan maupun pada saat ke arah bawah

Untuk melengkapi hasil di atas, maka pada paper ini akan disampaikan hasil analisis ergonomik kognitif dengan pengukuran usability terhadap aspek ergonomi kokpit N-219 dengan cara mewawancarai pilot dan *flight engineer*. Ergonomi kognitif berkaitan dengan proses mental, seperti persepsi, memori, penalaran, dan respon motorik yang mempengaruhi interaksi manusia dan bagian lain dari sistem<sup>6, 7)</sup>.

## METODOLOGI

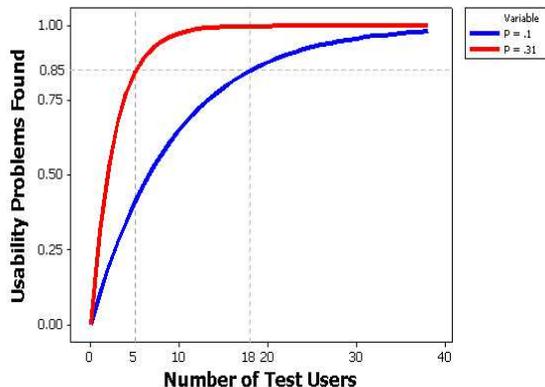
Metode *usability testing* dalam evaluasi ergonomi kognitif dilakukan dengan melakukan wawancara kepada para pilot dan *flight engineer* N-219 dengan panduan pertanyaan, sehingga responden dapat melakukan penilaian mandiri terhadap beberapa aspek ergonomi kokpit pesawat N-219 yang dikenal dengan *Questionnaire for User Interaction Satisfaction* (QUIS).

*Usability* menurut ISO FDIS 9241-210 dapat didefinisikan sebagai seberapa jauh sebuah sistem, produk atau jasa bisa digunakan oleh pengguna tertentu untuk mencapai tujuan yang spesifik dengan efektif, efisien, dan memuaskan dalam konteks penggunaan. Menurut Nielsen (1993) dalam bukunya yang berjudul *Usability Engineering*<sup>2)</sup>, ada lima dimensi utama yang harus diperhatikan yaitu:

- *Learnability* (pembelajaran), sebuah sistem harus dapat dipelajari dengan mudah dan cepat agar pengerjaan dari tujuan yang diinginkan dapat diselesaikan.
- *Efficiency* (efisiensi), berkaitan dengan produktivitas, begitu pengguna sistem telah selesai mempelajari sistem diharapkan dapat meningkatkan tingkat produktivitas.
- *Memorability* (pengingatan), sebuah sistem harus dapat diingat oleh pengguna dengan baik, bahkan apabila pengguna sudah lama tidak menggunakan sistem tersebut dan tanpa harus mempelajari seluruh sistem tersebut dari awal lagi.
- *Errors* (kesalahan), sebuah sistem harus memiliki tingkat kesalahan yang rendah sehingga apabila pengguna sedang menggunakan sistem dan berbuat kesalahan, maka pengguna dapat dengan mudah memperbaiki kesalahan tersebut.
- *Satisfaction* (kepuasan), sistem yang baik juga harus dapat menyenangkan bagi penggunanya

QUIS merupakan kuesioner yang digunakan sebagai alat pengukuran kepuasan subjektif pengguna terhadap aspek *human-computer interface*. QUIS mulai dikembangkan pada tahun 1987 oleh *University of Maryland Human-Computer Interaction Lab*. QUIS terdiri dari 27 pertanyaan yang dibagi menjadi 5 kategori yaitu *Overall Reaction to The Software, Screen, Terminology and System Information, Learning* dan *System Capabilities*. Pada setiap pertanyaannya memiliki pilihan jawaban dengan skala 0-9<sup>4)</sup>.

Berdasarkan hasil-hasil studi sebelumnya terkait *usabilitas*<sup>2,3,5)</sup> jumlah optimal yang efisien untuk responden adalah sebesar 3-5 untuk menemukan sekitar 75-85% terkait masalah *usabilitas*.



Gambar 1.  
Jumlah Sampel dalam Usability Testing

Pada tahap ini akan dianalisis hasil survey terhadap 5 orang *aircrew* (2 pilot dan 3 *flight engineer*) menggunakan metode QUIS dengan melihat 5 aspek utama yaitu reaksi keseluruhan terhadap sistem, layar, terminologi dan sistem informasi, pembelajaran, dan kapabilitas sistem.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Data Kokpit N-219

Kokpit N-219 dioperasikan oleh dua pilot, pilot duduk sebelah kiri dan bertanggung jawab terhadap keamanan pesawat selama penerbangan, sedangkan kopilot duduk sebelah kanannya dan bertugas membantu pilot. Kontrol dan *display* yang berada didalam kokpit dan bersifat sering dan penting digunakan selama penerbangan harus bisa dioperasikan dari sisi pilot maupun dari sisi kopilot. Dalam keadaan darurat, misalnya

salah satu pilot pingsan, pesawat harus bisa dikendalikan dengan aman sampai ke landasan. Kokpit N-219 terdiri dari *Instrument Panel/Forward Panel, Glareshield Panel, Center Console, Overhead Panel, dan Circuit Breaker Panel*. Sedangkan *Forward Panel* itu sendiri terdiri dari *Pilot Forward Panel, Copilot Forward Panel* dan *Center Forward Panel*<sup>6)</sup>.

*Pilot/Copilot Forward panel* berada tepat didepan pilot/kopilot dan masing masing berisi satu buah *Primary Flight Display* yang identik. *Primary Flight Display* berfungsi menampilkan informasi penting yang dibutuhkan saat terbang dan harus sering dipantau selama penerbangan.

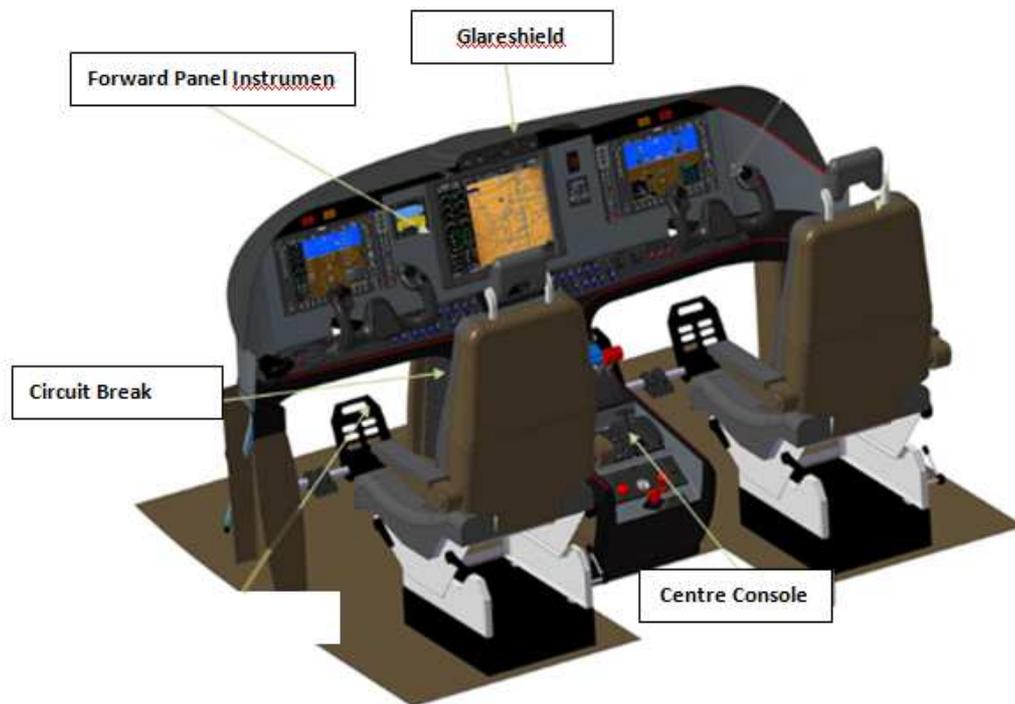
*Center Forward Panel* berada diantara Pilot/kopilot *Forward Panel*. Kontrol dan *display* yang berada di area panel ini harus bisa dipantau dan dioperasikan oleh kedua pilot. *Center Forward Panel* terdiri dari *Multi Function Display*. Peletakan panel didesain agar pilot dapat memonitor dan mengakses area panel tanpa halangan saat mereka sedang bertugas. Pada sisi kanan dan kiri di bagian bawah *instrument panel* terpasang berbagai macam kontrol.

Pada bagian bawah *Forward Panel* berisi kontrol dari berbagai sistem yang dibutuhkan pesawat seperti: sistem elektrik, sistem *fuel*, dan lain-lain. Kontrol di area ini umumnya hanya dioperasikan sebelum pesawat lepas landas, dan dilakukan oleh masing-masing pilot yang terdekat dengan kontrol tersebut.

*Glareshield Panel* berada tepat diatas *Forward Panel* dan berfungsi untuk menjaga semua *display* yang berada dibawahnya bebas dari silau yang diakibatkan cahaya dari luar kokpit. Kontrol atau *display* yang berada di panel ini harus bisa dipantau dan dioperasikan oleh kedua pilot. Panel ini terdiri dari *Auto Pilot Kontrol Panel*.

*Center console* berisi kontrol yang sering dioperasikan selama operasi penerbangan seperti *powerplant control* dan *flight control*. Panel kontrol yang berada di area ini harus dapat dijangkau oleh kedua pilot dengan mudah.

*Overhead Panel* berada tepat diatas pilot dan kopilot dan hanya berisi *dome light* dan *outlet* pendingin ruang. Sedangkan *Circuit Breaker Panel* berada di samping kiri dan kanan dinding *center console*. Panel ini tidak pernah dioperasikan/dipantau selama pesawat di udara.



Gambar 2.  
DetailLayout Dari Tiap Panel Yang Menunjukkan Letak Instrumen, Kontrol, Dan *Warning*

### Ketentuan Tentang Kokpit

Berdasarkan *Civil Aviation Safety Regulation (CASR) 23<sup>B</sup>* terdapat beberapa ketentuan atau regulasi yang harus diikuti, diantaranya adalah:

- Ruang (kokpit) dan peralatan yang terdapat di dalam kokpit harus dapat menunjang tugas pilot tanpa mengganggu konsentrasi dan kelelahan pada pilot.
- Pandangan dari Kokpit
  - a) Kokpit harus didesain dengan pandangan (*view*) yang luas, jelas, dan tidak berbias sehingga pilot dapat melakukan tugasnya (*taxi, takeoff, approach, land, maneuvers*) dengan aman.
  - b) Kokpit harus didesain bebas dari cahaya yang menyilaukan dan pantulan cahaya yang dapat mengganggu pandangan pilot.
  - c) Kokpit harus didesain ketika terjadi hujan tidak menghalangi pandangan pilot ketika penerbangan dalam kondisi normal maupun ketika mendarat

- *Cockpit Control*

- a) Kontrol pada kokpit harus dapat diidentifikasi oleh pilot sehingga pilot dapat merasa nyaman. Hal ini untuk menghindari kebingungan dan kelalaian oleh pilot dalam menjalankan tugasnya.
- b) Kontrol pada kokpit harus disusun atau didesain agar tidak terhalang apapun ketika pilot duduk pada kursi.

### Tahapan Pilot dalam Menerbangkan Pesawat

Secara umum, menerbangkan pesawat dibagi menjadi 4 tahap<sup>10</sup>, yaitu:

- 1) *Pre-Flight* (Persiapan Terbang), tahap untuk menghidupkan berbagai sistem di pesawat untuk persiapan lepas landas.
- 2) *Take Off* (Lepas Landas), tahap ketika sistem pesawat sudah menyala dan pesawat akan lepas landas dari landasan.
- 3) *Cruise* (Melaju) tahap pesawat melaju ke tujuan tertentu.
- 4) *Landing* (Mendarat), tahap pesawat kembali menyentuh landas pacu dan kemudian berhenti.

Tabel 1.  
Tahap dan Prosedur Pilot  
dalam Menerbangkan Pesawat

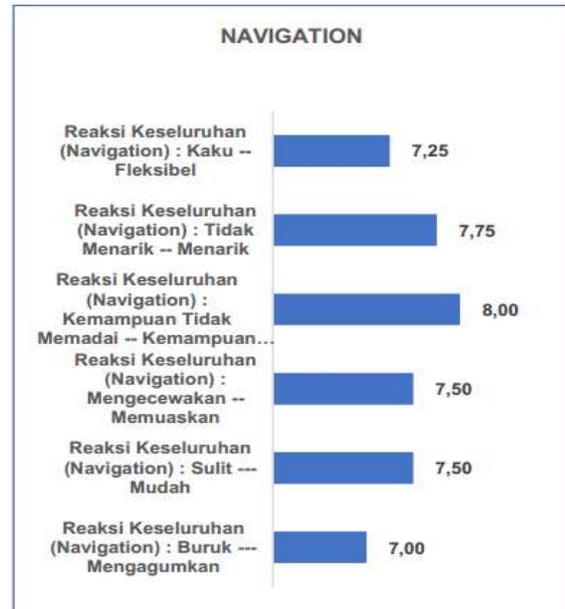
Prosedur	
<b>1</b>	<b>PREFLIGHT</b>
1.1	Menyalakan lampu penerang pada kokpit pesawat
1.2	Menyalakan lampu luar pesawat untuk menandakan pesawat akan menyalakan mesin ( <i>starting engine</i> )
1.3	Menyalakan DC Power (daya listrik) untuk persiapan <i>starting engine</i>
1.4	Menghidupkan <i>engine</i> pesawat dimulai dari <i>engine</i> kanan kemudian <i>engine</i> kiri
1.5	Mengatur posisi sudut <i>propeller</i> untuk menghasilkan gaya dorong
1.6	Menyalakan sistem lainnya (sistem elektrik, hidraulik dan <i>air conditioning</i> pesawat)
1.7	Membuka katup bahan bakar untuk persiapan menambah daya mesin agar pesawat dapat <i>take off</i>
<b>2</b>	<b>TAKE OFF</b>
2.1	Menambah daya mesin sampai kebatas maksimum
2.2	Pilot memonitor <i>parameter engine</i> yang ada pada layar utama. Pesawat mulai bergerak di landasan dan pilot menjaga pesawat agar tetap pada jalurnya dengan mengendalikan setir ( <i>Control Wheel</i> )
2.3	Setelah mencapai kecepatan tertentu, pilot mulai melepas landasan pesawat dengan menarik <i>control wheel</i>
2.4	Menyesuaikan daya mesin keposisi <i>cruise</i>
<b>3</b>	<b>CRUISE</b>
3.1	Pilot mengemudikan dan mengarahkan pesawat ke tujuan dengan menggunakan <i>control wheel</i> . Sesekali pilot mengatur daya mesin pesawat.
<b>4</b>	<b>LANDING</b>
4.1	Mengatur <i>flap</i> pada posisi <i>landing</i> dan menurunkan daya mesin untuk persiapan <i>landing</i> .
4.2	Pilot mengarahkan pesawat menuju landasan dan kemudian mendarat.
4.3	Melakukan <i>power reverse</i> (membalikkan arah dorong pesawat dengan mengatur sudut <i>propeller</i> ) untuk memperlambat laju pesawat hingga berhenti.

Sumber: PT Dirgantara Indonesia, 2016

### Hasil Survey Questionnaire For User Interaction Satisfaction (QUIS)

- Reaksi Keseluruhan Terhadap Sistem (Navigasi, Komunikasi, Propulsi, Elektrikal, Environmental dan Flight Control)

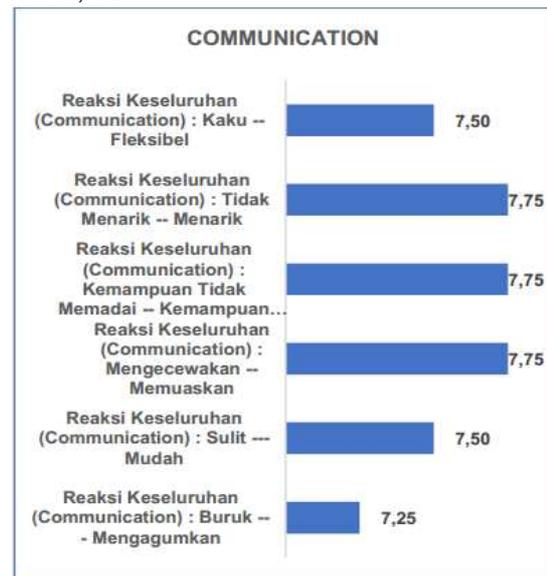
Penilaian berkaitan dengan **peralatan navigasi** yang terdapat di kokpit berada pada skala 7 hingga 8 dengan nilai rata-rata 7,5.



Sumber: Hasil Survey, 2017

Gambar 3  
Reaksi Keseluruhan Terhadap Sistem (Navigation)

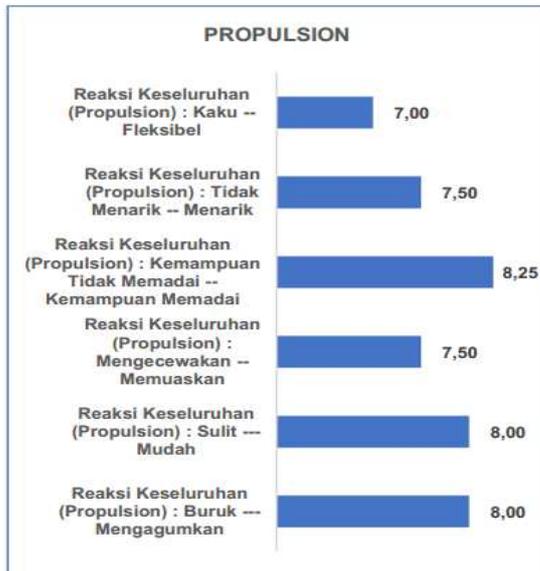
Penilaian berkaitan dengan **peralatan komunikasi** yang terdapat di kokpit berada pada skala 7,25 s/d 7,75 dengan nilai rata-rata 7,58.



Sumber: Hasil Survey, 2017

Gambar 4  
Reaksi Keseluruhan Terhadap Sistem (Communication)

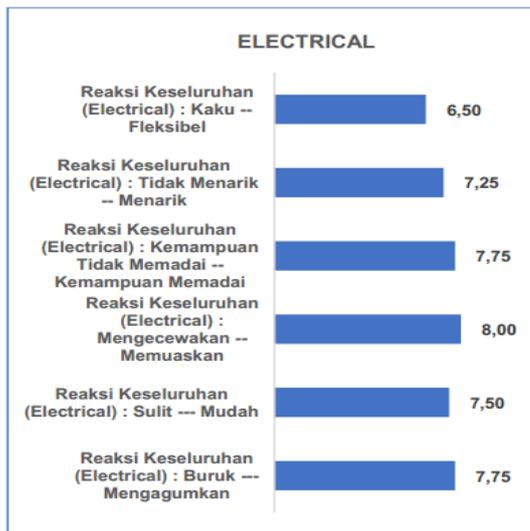
Penilaian berkaitan dengan **peralatan terkait propulsi** yang terdapat di kokpit berada pada skala 7 s/d 8,25 dengan nilai rata-rata 7,71.



Sumber: Hasil Survey, 2017

Gambar 5  
Reaksi Keseluruhan Terhadap Sistem (*Propulsion*)

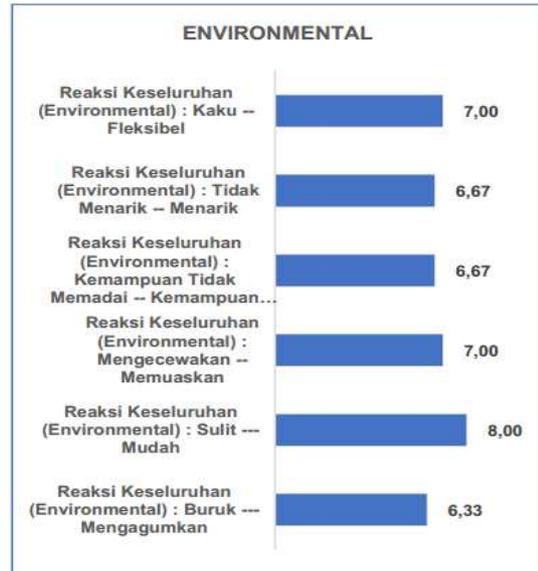
Penilaian berkaitan dengan **peralatan terkait electrical** yang terdapat di kokpit berada pada skala 6,5 s/d 8 dengan nilai rata-rata 7,38.



Sumber: Hasil Survey, 2017

Gambar 6  
Reaksi Keseluruhan Terhadap Sistem (*Electrical*)

Penilaian berkaitan dengan **peralatan terkait environmental** yang terdapat di kokpit berada pada skala 6,33 s/d 8 dengan nilai rata-rata 6,95.



Sumber: Hasil Survey, 2017

Gambar 7  
Reaksi Keseluruhan Terhadap Sistem (*Environmental*)

Penilaian berkaitan dengan **peralatan flight control** yang terdapat di kokpit berada pada skala 6,25 s/d 7,25 dengan nilai rata-rata 6,75.

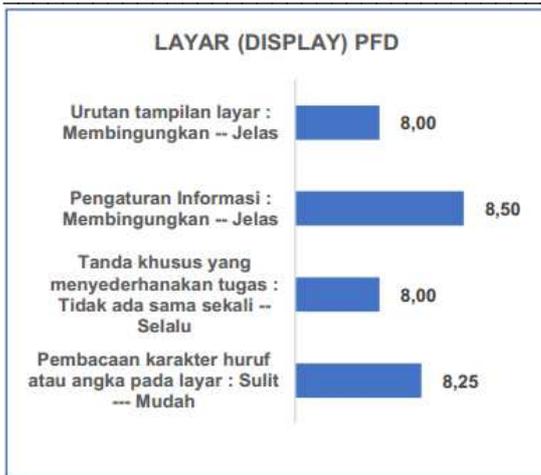


Sumber: Hasil Survey, 2017

Gambar 8  
Reaksi Keseluruhan Terhadap Sistem (*Flight Control*)

- **Reaksi Terhadap Display**

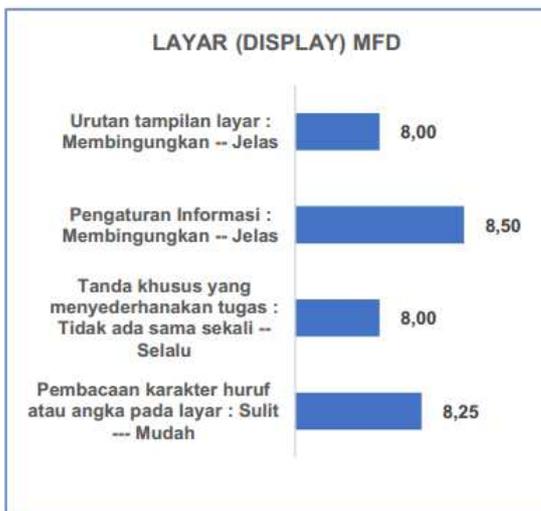
Penilaian berkaitan dengan **Primary Flight Display (PFD)** yang terdapat di kokpit berada pada skala 8,00 s/d 8,50 dengan nilai rata-rata 8,19.



Sumber: Hasil Survey, 2017

Gambar 9  
Reaksi Terhadap Layar (*Display*) PFD

Penilaian berkaitan dengan **Multi-Function Flight Display (MFD)** yang terdapat di kokpit mempunyai nilai sama dengan PFD, yang berada pada skala 8,00 s/d 8,50 dengan nilai rata-rata 8,19.

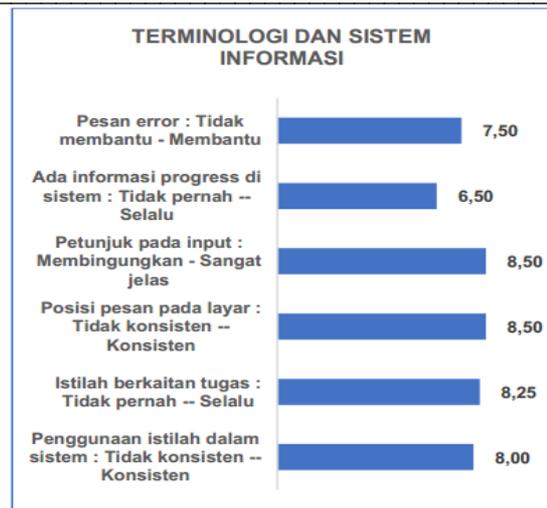


Sumber: Hasil Survey, 2017

Gambar 10  
Reaksi Terhadap Layar (*Display*) MFD

• **Reaksi Terhadap Teknologi dan Sistem Informasi**

Penilaian berkaitan dengan teknologi dan sistem informasi yang terdapat di kokpit berada pada skala 6,5 s/d 8,5 dengan nilai rata-rata 7,88.

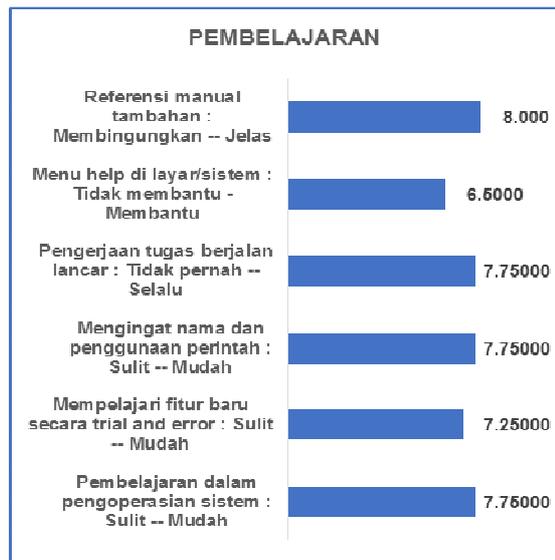


Sumber: Hasil Survey, 2017

Gambar 11  
Reaksi Terhadap Teknologi dan Sistem Informasi

• **Reaksi Terhadap Pembelajaran**

Penilaian berkaitan dengan aspek pembelajaran berada pada skala 6,5 s/d 8 dengan nilai rata-rata 7,5.



Sumber: Hasil Survey, 2017

Gambar 12  
Reaksi Terhadap Pembelajaran

• **Reaksi Terhadap Kapabilitas Sistem**

Penilaian berkaitan dengan kapabilitas sistem yang terdapat di kokpit berada pada skala 7 s/d 8,5 dengan nilai rata-rata 7,8.



Sumber: Hasil Survey, 2017

Gambar 13

Reaksi Terhadap Kapabilitas Sistem

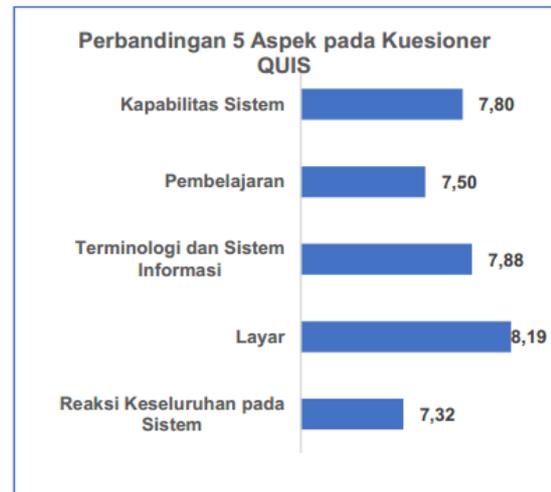
• **Perbandingan 5 Aspek Utama pada Kuesioner QUIS**

Berikut ini merupakan perbandingan nilai rata-rata dari 5 aspek utama yang telah dipaparkan di atas, dimana aspek layar mempunyai nilai rata-rata tertinggi, kemudian diikuti pada urutan berikutnya aspek terminologi dan sistem informasi, kapabilitas sistem, aspek pembelajaran, dan aspek reaksi keseluruhan pada sistem.

Tabel 2  
Perbandingan 5 Aspek Utama pada Kuesionair QUIS

Aspek QUIS	Rata-rata	Standar Deviasi
Reaksi Keseluruhan pada Sistem	7,32	0,84
Layar ( <i>Display</i> )	8,19	0,74
Terminologi dan Sistem Informasi	7,88	1,15
Pembelajaran	7,50	0,93
Kapabilitas Sistem	7,80	0,89

Sumber: Hasil Survey diolah, 2017



Sumber: Hasil Survey, 2017

Gambar 14

Perbandingan 5 Aspek Utama pada Kuesionair QUIS

Dari Tabel 2 yang divisualkan dalam Gambar 14 dapat dilihat bahwa hanya aspek layar (*display*) mempunyai rata-rata nilai 8,32, di antara nilai 8 dan 9, yang berarti masuk dalam kategori sangat bagus (*Excellent*). Sedangkan aspek-aspek lainnya mempunyai nilai rata-rata nilai di antara 7 dan 8, masuk dalam kategori bagus (*Good*). Hasil ini secara umum mengindikasikan bahwa kondisi ergonomi kokpit N-219 bisa diterima (*Acceptable*).

**Hasil Wawancara**

Untuk mengkonfirmasi dan memverifikasi hasil dari kuesioner yang telah diajukan, langkah selanjutnya adalah melakukan wawancara pada *aircrew* untuk mengakomodasi masukan dan catatan yang belum terwadahi dalam butir pertanyaan di kuesioner. Untuk wawancara, jumlah sampel untuk responden adalah sebanyak sampel pada kuesioner ditambah 2 orang pilot yang mewakili variasi dari persentil bawah sampai persentil atas.

Beberapa catatan yang berkaitan dengan hasil diskusi terhadap para *aircrew* adalah lebih banyak melakukan *benchmarking*/membandingkan dengan kokpit pesawat lainnya yang sekelas.

Aspek-aspek positif:

- 1) Secara umum penempatan/posisi instrument sudah baik dan sudah sesuai standar, tidak membingungkan pilot
- 2) Untuk fitur pembelajaran juga relatif sudah baik, tetapi tetap dibutuhkan adanya semacam menu yang bisa berperan sebagai menu bantuan untuk pengoperasian

- 3) Untuk pengaksesan menu secara umum relatif baik, tetapi untuk menu tertentu (apabila memungkinkan) ada proses/langkah yang bisa diefisienkan

Aspek-aspek lainnya yang bisa ditingkatkan:

- 1) Kokpit yang bisa diakomodasikan untuk pilot yang memiliki tubuh di atas rata-rata karena secara umum sistem yang berjalan saat ini masih kurang nyaman bagi pilot yang memiliki persentil atas
- 2) Pengembangan *software* tidak hanya menggunakan pengaturan bawaan dari *provider*, tetapi juga mengakomodasi kebutuhan yang ada (pengembangan bisa bersifat open) apabila ingin dimodifikasi untuk tujuan efisiensi dan efektifitas pengoperasian
- 3) Untuk penanda tombol, hal yang bisa ditingkatkan adalah adanya warna yang berbeda selain perbedaan bentuk, hal ini akan memudahkan pilot untuk mengoperasikan tombol secara intuitif.

## SIMPULAN

Hasil survey pengukuran ergonomik kognitif dengan metode pengukuran *usability* dengan *Questionnaire for User Interaction Satisfaction (QUIS)*, yang meliputi reaksi *aircrew* terhadap keseluruhan sistem, *display*, teknologi system informasi, pembelajaran dan kapabilitas sistem di kokpit N-219 mempunyai nilai pada skala 7,32 s/d 8,19, dengan kategori baik dan bisa diterima, meskipun terdapat beberapa kekurangan yang harus diperbaiki. Berdasarkan persepsi pilot bisa disimpulkan bahwa: Secara umum penempatan/posisi instrument sudah baik dan sudah sesuai standar, tidak membingungkan pilot. Untuk fitur pembelajaran juga relatif sudah baik, tetapi tetap dibutuhkan adanya semacam menu yang bisa berperan sebagai menu bantuan untuk pengoperasian. Untuk pengaksesan menu secara umum relatif baik, tetapi untuk menu tertentu (apabila memungkinkan) ada proses/langkah yang bisa diefisienkan. Salah satu titik kritis yang perlu menjadi catatan adalah pengembangan desain kokpit pesawat ini ke depannya perlu mengakomodasi pilot yang memiliki antropometri persentil atas apalagi bila pesawat ini ingin dikomersialisasikan kepada maskapai yang memiliki armada pilot asing (umumnya memiliki ukuran tubuh persentil atas).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada Kemenristekdikti yang telah membiayai penelitian ini melalui program Insinas Ristek Tahun 2016 dan 2017.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Triyono Widi Sasongko, Nina Kartika, Tegar Septyan, Dimas Bahtera E, *Analisis Ergonomi Konfigurasi Kokpit Pesawat Udara N-219*, Prosiding Seminar Perhimpunan Ergonomi Indonesia, Denpasar, Oktober 2017.
2. Nielsen, J, *Usability Engineering*, Morgan Kaufmann, 1993.
3. Lewis, J, *Sample Sizes for Usability Studies: Additional Considerations.*, Human Factors, 1994.
4. Nielsen, J, & Landauer, T, *A Mathematical Model of the Finding of Usability Problems*, ACM Proceedings, Interchi 93, Amsterdam, 1993.
5. Virzi, R, *Refining the Test Phase of Usability Evaluation: How Many Subjects is Enough?*, Human Factors, 1992.
6. Tarwaka, Solichul HA. Bakri, Lilik Sudiajeng, *Ergonomi untuk Keselamatan, Kesehatan Kerja dan Produktivitas*, Uniba Press, 2004.
7. Kuswana, Wowo Sunaryo, *Ergonomi dan Kesehatan Keselamatan Kerja (K3)*, Rosdakarya, Bandung, 2016.
8. International Civil Aviation Organization, *'Safety Report' 2014 Edition*.
9. Zhang, Yanjun et al, *A Framework for Ergonomics Design of Transport Category Airplane Cockpit*, ISAA, Procedia Engineering, 2013.
10. Zhongsheng Wang, *Study of Evolution Mechanism on Aircraft Sudden Failure*, 2011.



## **PEMANFAATAN PESAWAT UDARA NIR AWAK (PUNA) ALAP-ALAP UNTUK PEMANTAUAN GUNUNG BERAPI**

### **THE ALAP-ALAP UNMANNED AERIAL SYSTEM FOR VOLCANIC MONITORING**

**Yomi Guno, Dewi H. Budiarti dan Dwi Raharjo**

Pusat Teknologi Industri Pertahanan dan Keamanan – BPPT  
Gd Hankam No. 256 Kawasan PUSPIPTEK - Serpong, Tangerang Selatan – 15314  
Telp. 021-75791262 (ext. 3523)  
e-mail : yomi.guno@bppt.go.id, dewi.habsari@bppt.go.id, dwi.raharjo@bppt.go.id

#### **Abstrak**

Wilayah Indonesia merupakan bagian dari Lingkaran Cincin Api Pasifik. Ditandai dengan banyaknya gunung berapi aktif yang menghiasi wilayah Indonesia dari timur ke barat. Berdasarkan sejarah, rangkaian gunung berapi ini terbukti memiliki peranan penting dalam mempengaruhi iklim dunia. Hal ini masih berlangsung sampai hari ini hingga waktu yang akan datang. Oleh karena itu, pengetahuan yang cukup mendalam mengenai keberadaan rangkaian gunung berapi ini sangatlah penting untuk keberlangsungan hidup masyarakat di sekitar wilayah Indonesia maupun dunia. Pemantauan rangkaian gunung berapi membutuhkan banyak tenaga dan fasilitas yang memakan biaya besar. Penggunaan Pesawat Udara Nir Awak (PUNA) menawarkan solusi alternatif untuk pemenuhan tugas ini. Efisiensi dalam melaksanakan pemantauan seperti misi video surveillance dan pengumpulan gambar orthopoto di area sekitar gunung berapi dapat dilakukan dengan biaya yang relatif sangat murah dibandingkan dengan menggunakan satelit. Selain itu penggunaan PUNA sangat fleksibel karena mudahnya mengatur jadwal pemantauan PUNA sesuai dengan kebutuhan.

**Kata Kunci** : PUNA, Gunung berapi, Surveillance, *Orthopoto*

#### **Abstract**

*The territory of Indonesia is part of the Pacific Ring of Fire. Characterized by the number of active volcanoes that adorn the territory of Indonesia from east to west. Historically, this series of volcanoes proved to have an important role in influencing the world's climate. This is still going on until this day. Therefore, a sufficiently deep knowledge of the existence of this series of volcanoes is very important for the survival of people around the territory of Indonesia and the world. Monitoring a series of volcanoes requires a lot of facilities that cost a lot. The use of Unmanned Aerial Vehicle (UAV/PUNA) offers an alternative solution for fulfilling this task. Efficiency in carrying out monitoring such as video surveillance missions and orthopoto image collection in the area around the volcano can be done at a relatively very low cost compared to using satellites. In addition UAV/PUNA is very flexible because it is easy to arrange monitoring schedule as needed.*

**Keyword** : PUNA, UAV, ring of fire, Volcanoes, Surveillance, *Orthopoto*

Diterima (received) : 15-10-2017 , Direvisi (revised) : 10-11-2017  
Disetujui (accepted) : 01-12-2017

## PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia merupakan bagian dari wilayah lingkaran cincin api Pasifik (*pacific ring of fire*)<sup>1)</sup>, sehingga banyak dipenuhi dengan gunung berapi. Pada setiap gunung berapi yang aktif maupun yang istirahat (*dormant*), Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG) dibawah kementerian ESDM, telah membangun tempat Pengawasan Gunung Api (PGA) untuk mengamati aktivitas masing-masing gunung berapi. Pengawasan gunung berapi ini dimaksudkan agar PVMBG dapat memperoleh data lapangan dalam melakukan analisa karakteristik gunung berapi, memprediksi dampak bencana letusan maupun menyampaikan informasi peringatan dini terjadinya bencana yang akan terjadi. Pada Gambar 1 ditampilkan peta rangkaian gunung berapi di Indonesia<sup>2)</sup> yaitu:



Gambar 1.  
Peta Gunung Berapi di Indonesia<sup>2)</sup>

Sedangkan pada Tabel 1 ditampilkan pemanfaatan aktivitas PGA dalam penanganan bencana letusan gunung berapi:

Tabel 1.  
Pemanfaatan PGA

No	Pengamatan	Pemanfaatan
		Data aktivitas gunung api
1	Pengamatan Visual	Karakteristik gunung api Peringatan dini bencana Prediksi aliran lava dan lahar
2	Pengamatan Data <i>Seismographs</i> dan lingkungan	Prediksi frekuensi waktu letusan dan Penunjukan jalur evakuasi bencana

Sumber Data: Kementerian ESDM Badan Geologi

Pengawasan gunung berapi tidaklah mudah, terutama dalam hal menempatkan pos PGA, akibat dari kondisi geografi wilayah Indonesia yang terbentang antar pulau. Beberapa gunung berapi terkadang terletak di tengah laut, sehingga menyebabkan penempatan pos PGA relatif jauh dari lokasi gunung tersebut. Kesulitan lainnya adalah PGA tidak mampu melihat kondisi kawah secara *real time* karena posisi pos PGA yang lebih rendah dari gunung berapi.

Citra satelit dapat dimanfaatkan dalam hal melihat aktivitas gunung berapi. Salah satu kelebihan citra satelit adalah memungkinkan untuk pemantauan area yang luas. Tetapi mempunyai beberapa kekurangan yaitu: orbit satelit yang hanya sewaktu dan citra yang dihasilkan terkadang kurang baik jika objek yang dipantau diselimuti oleh awan. Alternatif selain penggunaan satelit, sangat dimungkinkan untuk menggunakan teknologi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV)<sup>3)</sup> atau Pesawat Udara Nir Awak (PUNA) jika jarak radius gunung berapi yang akan diawasi oleh PGA maksimal 90 km *line of sight* (LOS)<sup>4)</sup>.

Dalam menjalankan misinya, PUNA dilengkapi dengan alat atau sistem pengendali terbang otomatis (*Auto Pilot* dan *Autonomous*) yang ditransmisikan melalui gelombang radio frekuensi *line of sight* (LOS)<sup>4)</sup>, peralatan navigasi yang sangat presisi dengan *Differential Global Positioning System* (DGPS) dan peralatan kamera beresolusi tinggi.

## METODOLOGI PENGAWASAN GUNUNG BERAPI

Dalam kegiatan pengawasan gunung berapi, ada beberapa aktivitas yang perlu diamati, antara lain<sup>5)</sup>:

- Mengukur perubahan kemiringan gunung berapi.
- Pengambilan gambar *thermal* atau gambar *orthophoto*.
- Pemetaan prediksi aliran lava dan lahar.

Peningkatan kemiringan gunung berapi yang tajam dapat mengindikasikan adanya peningkatan tekanan gas di dalam gunung berapi yang dapat menyebabkan terjadinya pembengkakan. Sedangkan gas yang keluar dari kaldera ataupun bukaan gunung berapi dapat digunakan untuk mengetahui aktivitas yang terjadi dibawah tanah. Perubahan konsentrasi gas belerang dan karbon dapat mengindikasikan adanya penambahan magma atau bebatuan cair.

Menurut PVMBG dalam aplikasi *Multiplatform Application for Geohazard Mitigation and Assessment in Indonesia (MAGMA)*<sup>6)</sup> terdapat 4 level bahaya aktivitas gunung berapi yaitu:

1. Aktif Normal (Level I)

Status aktif normal artinya pada gunung api yang diamati tidak ada perubahan aktivitas secara visual, seismik, dan kejadian vulkanik. Ini menunjukkan tidak ada letusan hingga kurun waktu tertentu.

2. Waspada (Level II)

Status waspada menunjukkan mulai meningkatnya aktivitas seismik dan mulai muncul kejadian vulkanik. Pada status ini juga mulai terlihat perubahan visual di sekitar kawah. Mulai terjadi gangguan magmatik, tektonik, atau hidrotermal, namun diperkirakan tidak terjadi erupsi dalam jangka waktu tertentu.

3. Siaga (Level III)

Pada status siaga ada peningkatan seismik yang didukung dengan pemantauan vulkanik lainnya, serta terlihat jelas perubahan baik secara visual maupun perubahan aktivitas kawah. Berdasarkan analisis data observasi, kondisi itu akan diikuti dengan letusan utama. Artinya, jika peningkatan kegiatan gunung api terus berlanjut, kemungkinan erupsi besar mungkin terjadi dalam kurun dua pekan.

4. Awas (Level IV)

Status awas adalah kondisi paling memungkinkan terjadinya erupsi. Status awas merujuk letusan utama yang dilanjutkan dengan letusan awal, diikuti semburan abu dan uap. Setelah itu akan diikuti dengan erupsi besar. Dalam kondisi ini, kemungkinan erupsi besar akan berlangsung dalam kurun 24 jam.

Untuk membantu PGA dalam mengawasi aktivitas gunung berapi, PUNA dapat digunakan dengan menerbangkan secara rutin ataupun pada saat-saat yang dibutuhkan. Penggunaan pesawat nir awak dalam hal ini lebih fleksibel dan tidak tergantung dengan operator satelit. Pengawasan dapat dilakukan lebih sering tanpa terkonsentrasi pada satu area tertentu. Selain itu, untuk mendapatkan hasil gambar yang baik, PUNA dapat terbang di bawah awan yang tidak bisa dilakukan oleh foto satelit.

Beberapa keuntungan dan keterbatasan penggunaan PUNA, antara lain:

- (1) Operasi dapat dilakukan dimana saja, dan dapat dilakukan secara berulang setiap saat untuk mendeteksi perubahan, sehingga dapat diperoleh gambar yang *real time*.
- (2) Mampu terbang rendah, sehingga dapat menghasilkan gambar dengan resolusi tinggi.
- (3) Biaya lebih rendah untuk pengolahan data gambar sehingga biaya operasionalnya lebih ekonomis.
- (4) Tanpa diperlukan pilot di dalam pesawat, sehingga relatif aman.

Akan tetapi PUNA juga memiliki keterbatasan, antara lain:

- (1) Biaya investasi awal relatif mahal (tergantung pada ukuran dan kompleksitas PUNA).
- (2) Persyaratan perizinan terbang, sertifikasi khusus untuk pilot serta penggunaan wilayah udara yang sangat ketat<sup>7)</sup>.
- (3) Pengolahan data gambar akan lebih sulit jika stabilitas pesawat rendah dan penggunaan sensor yang kurang berkualitas.

## PEMBAHASAN

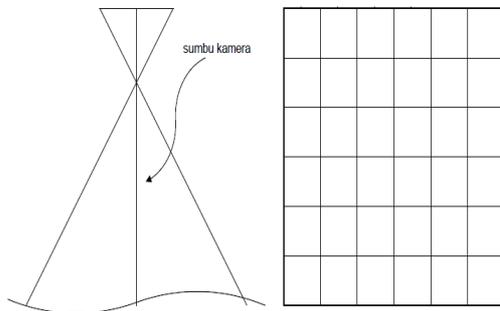
### FOTO UDARA BERBASIS *ORTHOPOTO*

PUNA dapat digunakan untuk mengambil data/gambar pada saat status gunung berapi berada pada tahap normal, waspada, siaga maupun awas. Hal ini dapat membantu PGA dalam mengawasi aktivitas gunung berapi. Data dukung yang diambil selain video, dibutuhkan juga data foto udara berupa *orthophoto* untuk melihat perkembangan aktivitas status gunung berapi.

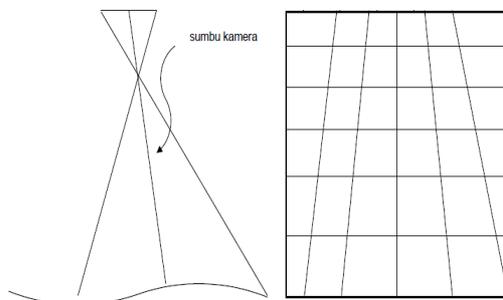
Teknik *orthophoto* merupakan sebuah foto udara yang telah dikoreksi geometris (*orthorectified*) sedemikian rupa sehingga skala foto itu adalah seragam, yang berarti bahwa foto dapat dianggap setara dengan peta<sup>8)</sup>.

Foto udara sesuai dengan pengelompokan sumbu kameranya, dibedakan atas 3 macam yaitu: foto udara tegak (*vertical*), foto udara condong (*tilted*) dan foto udara condong sekali (*oblique*)<sup>8)</sup>. Foto udara tegak (*vertical*) meliputi foto udara tegak sempurna (sumbu kamera tegak lurus atau  $\pm 3^\circ$  dengan permukaan bumi). Sedangkan foto udara dalam keadaan condong (*tilted*) dengan kondisi  $> \pm 3^\circ$  tetapi kurang dari  $\pm 30^\circ$ . Kemudian foto udara

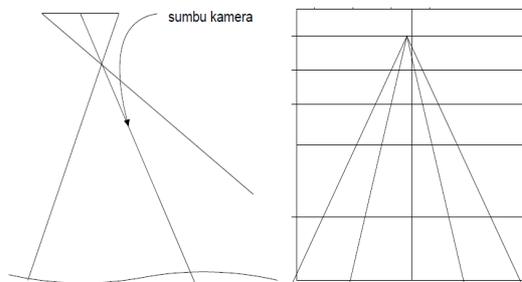
condong sekali (*oblique*) antara  $35^\circ$  sampai  $55^\circ$  dengan permukaan bumi<sup>8)</sup>.



Gambar 2.  
Posisi sumbu kamera *vertical*<sup>8)</sup>



Gambar 3.  
Posisi sumbu kamera condong<sup>8)</sup>



Gambar 4.  
Posisi sumbu kamera sangat condong<sup>8)</sup>

Beberapa kelebihan foto udara tegak (*vertical*) dibandingkan dengan foto udara condong yaitu:

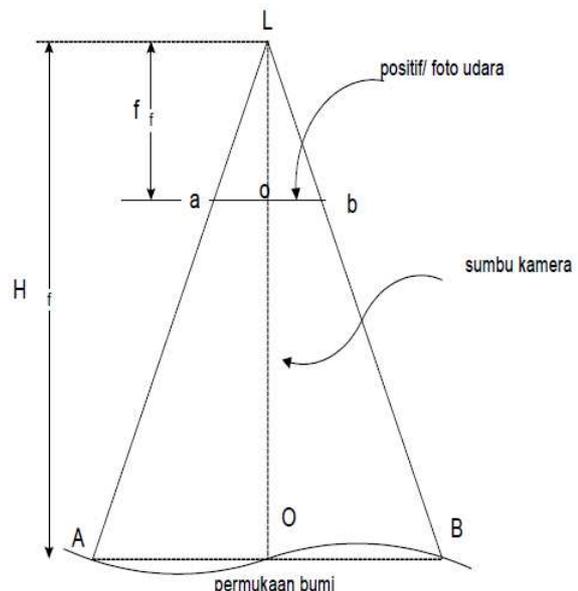
- Skala pada tiap bagian foto lebih seragam.
- Penentuan arah pada foto udara vertikal lebih mudah. Perkiraan arah dapat ditentukan seperti penentuan arah pada peta.
- Dalam batas tertentu, foto udara vertikal dapat dipakai sebagai substitusi peta.
- Foto udara vertikal lebih mudah diinterpretasi, karena disamping skalanya lebih seragam, juga tidak banyak objek yang terlindung oleh objek lainnya.

Foto udara yang diambil dengan sudut condong juga mempunyai kelebihan bila dibandingkan foto udara dengan sumbu tegak (*vertical*), antara lain:

- Luas area yang difoto lebih besar karena sudut pengambilan tidak tegak lurus.
- Untuk daerah yang sering tertutup oleh awan, masih ada kemungkinan menembus celah-celah awan bila dilakukan pemotretan condong.
- Gambaran yang disajikan lebih mirip dengan yang dilihat sehari-hari dari tempat yang relatif tinggi.

Berdasarkan masing-masing kelebihan tersebut maka foto udara vertikal lebih menguntungkan karena ukuran geometrinya lebih teliti dan cara pengukurannya lebih mudah. Foto udara vertikal pada umumnya juga tidak benar-benar vertikal, melainkan sedikit condong. Bila condongnya tidak melebihi dari  $3^\circ$ , maka foto tersebut masih dianggap sebagai foto yang vertikal.

Sifat dasar dari sebuah foto udara adalah bahwa setiap bayangan yang di foto sesuai dengan titik tunggal dari objek yang di foto. Hubungan geometrik muncul antara posisi spasial relatif dari bayangan dua dimensi di atas foto dan posisi yang sebenarnya dalam tiga dimensi dari objek sehingga penentuan skala foto sangat penting dalam hal menentukan keakuratan hasil foto yang sudah diolah.



Gambar 5.  
Skala Foto Udara dengan Permukaan Bumi<sup>9)</sup>

Skala dinyatakan dengan<sup>9)</sup>:

$$S = ab/AB = f/H \quad (1)$$

Keterangan:

- L : Titik pemotretan
- f : Panjang fokus kamera
- H : Tinggi terbang pesawat
- ab : Jarak di bidang foto udara
- AB : Jarak di permukaan bumi

Pada gambar 5, merupakan gambaran dua dimensi foto udara tegak yang dibuat di atas bidang/medan yang datar. Dengan prinsip kesebangunan antar segitiga **Lab** dengan segitiga **LAB**, maka skala dapat ditentukan dengan melakukan perbandingan jarak di atas bidang foto dengan jarak di lapangan yang mengacu kepada perbandingan panjang fokus kamera dengan tinggi terbang pesawat. Apabila tinggi pesawat dijadikan parameter maka semakin tinggi pesawat skala akan semakin kecil dengan kata lain skala berbanding terbalik dengan tinggi terbang<sup>9)</sup>.

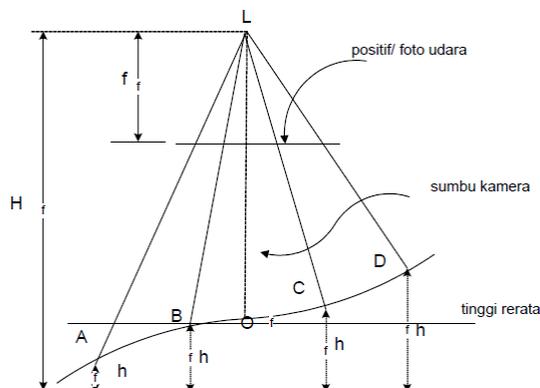
Misi pengawasan gunung berapi akan berada pada daerah yang tidak datar sehingga persamaan (1) dapat diuraikan lagi sebagai berikut<sup>9)</sup>:

$$S = f/(H-h) \quad (2)$$

Keterangan:

- S : Skala Foto
- f : Panjang Fokus Lensa
- H : Tinggi terbang pesawat diatas datum
- h : Tinggi Objek

Apabila masing-masing objek/titik A,B,C dan D mempunyai ketinggian di atas datum sebesar ha, hb, hc dan hd maka skala pada titik yang bersangkutan dapat dijelaskan seperti gambar di bawah ini<sup>9)</sup>:



Gambar 6.  
Foto Udara pada Permukaan yang tidak datar<sup>9)</sup>

Dari gambar terlihat bahwa skala pada tiap titik dapat dinyatakan dengan<sup>9)</sup>:

$$Sa = f/(H-ha) \quad (3)$$

$$Sb = f/(H-hb) \quad (4)$$

$$Sc = f/(H-hc) \quad (5)$$

$$Sd = f/(H-hd) \quad (6)$$

Dikarenakan pada daerah berbukit skala foto udara akan berbeda untuk tiap-tiap titik maka untuk menghitung skala digunakan skala foto rata-rata. Skala foto rata-rata atau rerata didasarkan pada ketinggian rerata daerah yang terporet dinyatakan dengan persamaan berikut<sup>9)</sup>:

$$Sr = f/(H-hr) \quad (7)$$

dengan Sr adalah skala foto udara rerata dan hr adalah tinggi rerata.

### PESAWAT UDARA NIR AWAK (PUNA) ALAP-ALAP UNTUK PENGAWASAN GUNUNG AGUNG

Gunung Agung merupakan salah satu gunung berapi yang masuk dalam kategori awas<sup>10)</sup>. Lokasi administrasi Gunung Agung berada di Kabupaten Karangasem, Pulau Bali dengan koordinat: Latitude: -8.338333° dan Longitude: 115.505000°. Ketinggian Gunung Agung adalah 3014 meter di atas muka laut dan pernah meletus pada tahun 1963<sup>10)</sup>.

Sedangkan PGA Gunung Agung berada di tiga lokasi yaitu<sup>10)</sup>:

1. Desa Rendang dengan koordinat Latitude: -8.425000° dan Longitude: 115.433333°. Berada di ketinggian 560 meter dari permukaan laut dan berjarak 13 kilometer kearah Gunung Agung.
2. Budakeling dengan koordinat Latitude: -8.391667° dan Longitude: 115.433333°. Berada di ketinggian 741 meter dari permukaan laut dan berjarak 10 kilometer kearah Gunung Agung.
3. Batulompeh dengan koordinat Latitude: -8.250000° dan Longitude: 115.489417°. Berada di ketinggian 211 meter dari permukaan laut dan berjarak 10 kilometer kearah Gunung Agung.



Gambar 7.  
Gunung Agung dan Posisi PGA<sup>11)</sup>

PUNA Alap-Alap BPPT 06C merupakan pesawat dengan konfigurasi *double boom-inverted V tail*. Pada saat lepas landas, digunakan landasan minimal 50 meter untuk *take off* dan 100 meter untuk *landing*. Pesawat didesain untuk terbang hingga ketinggian 10,000 kaki dengan berat maksimum 30 kg.

Berikut adalah spesifikasi PUNA BPPT 06C ALAP-ALAP DOUBLE BOOM<sup>12)</sup>:

Wingspan	: 3 m
Max Altitude	: 10,000 ft / 3048 m
MTOW	: 30 Kg
Payload	: Gimbal
Camera	
Range	: 90 Km (LOS)
Flight Endurance	: 8 Hours



Gambar 8.  
PUNA Alap-Alap 06C<sup>12)</sup>

Terkait dengan misi pengawasan Gunung Agung, *Ground Control Station* (GCS) PUNA akan ditempatkan di Stadion

Lempuyang dengan koordinat Latitude: - 8.441864° dan Longitude: 115.591225° yang berjarak 14 kilometer LOS dari Gunung Agung (garis kuning) pada gambar 9.

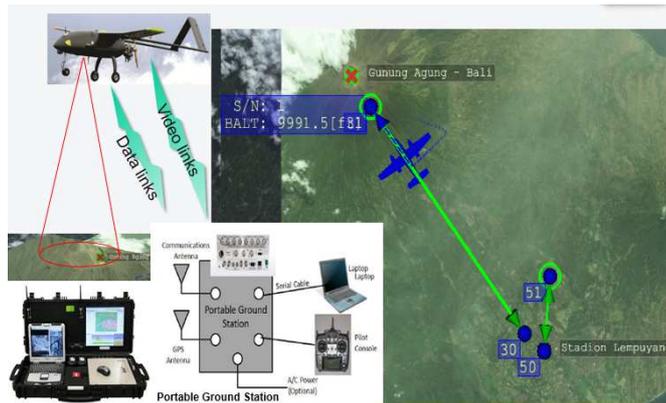
Pemilihan tempat di area Stadion Lempuyang dikarenakan mencari jarak terdekat dari Gunung Agung sehingga dapat dimaksimalkan penggunaan bahan bakar PUNA.



Gambar 9.  
Posisi GCS PUNA<sup>11)</sup>

Misi operasi yang mampu dilakukan oleh PUNA Alap-Alap adalah misi *surveillance* dan foto udara (*mapping*). Misi *surveillance* menggunakan *payload gimbal camera PTZ TASE200* yang ditransmisikan secara *real time* ke GCS<sup>13)</sup>. Sedangkan misi *mapping* menggunakan *payload kamera Sony α6000* dengan lensa 20 mm yang tidak ditransmisikan fotonya tetapi disimpan di *memory card* kamera<sup>14)</sup>. Setelah PUNA *landing* data-data foto baru bisa diolah.

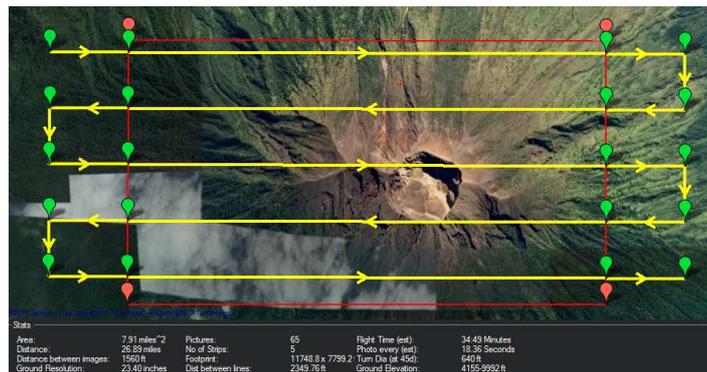
Pada gambar 10, PUNA menggunakan sistem GCS yang *portable* atau *Portable Ground Station* (PGS). Ketika PUNA Alap-Alap *take off* dari Stadion Lempuyang, pesawat akan *loiter* terlebih dahulu di *waypoint* 51 dengan koordinat Latitude: - 8.414420° dan Longitude: 115.594002° sampai mencapai ketinggian 10,000 ft/3048 m dari permukaan laut. Setelah ketinggian tercapai, pesawat akan menuju titik tujuan di *waypoint* 31 dengan koordinat Latitude: - 8.352521° dan Longitude: 115.515464°, kemudian kembali melakukan *loiter* di area tersebut untuk melihat kondisi kawah Gunung Agung secara *real time*. Pengawasan kondisi kawah menggunakan gimbal PTZ yang mampu untuk *locking target*<sup>13)</sup>.



Gambar 10.  
Misi PUNA *Surveillance*<sup>13)</sup>

Data pengawasan menggunakan video *surveillance* akan dikirim secara langsung ke *Ground Control Station* dan ditransmisikan juga ke PGA yang terdekat. Dari hasil video tersebut, petugas dapat mengamati aktivitas Gunung Agung dan membuat peta prediksi aliran lava dan lahar jika terjadi letusan.

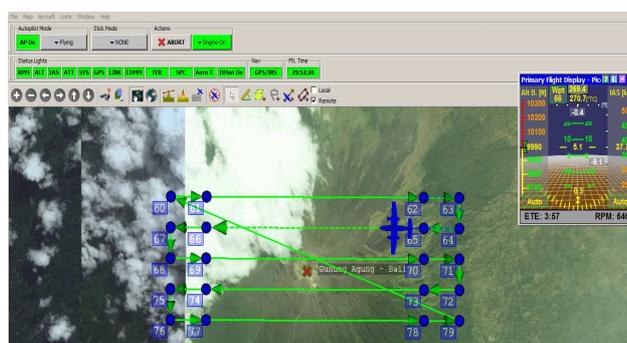
Selain misi *surveillance*, misi *mapping* perlu dilakukan untuk tambahan data dukung dalam pengawasan gunung berapi. Pada gambar 10 ditampilkan *waypoint* pengambilan foto udara Gunung Agung menggunakan PUNA Alap-Alap. Penentuan *waypoint* sangat penting sekali terhadap kualitas foto yang dihasilkan.



Gambar 11.  
*Waypoint Mapping Gunung Agung*<sup>15)</sup>

*Software* yang digunakan untuk menentukan *waypoint mapping* menggunakan *open source mission planner*<sup>15)</sup>. Kemudian sebelum PUNA Alap-

Alap diterbangkan, *waypoint* yang sudah ditentukan tadi divalidasi dengan *software in loop* (SIL) simulasi terbang PUNA Alap-Alap seperti pada gambar 11 di bawah ini<sup>16)</sup>:



Gambar 12.  
*Waypoint Mapping Gunung Agung*<sup>16)</sup>

Gambar yang dihasilkan dapat dibandingkan dengan hasil pengambilan gambar sebelumnya untuk melihat perkembangan aktivitas gunung berapi. Sehingga kegiatan PUNA Alap-Alap dalam menjalankan misi *surveillance* dan *mapping* dapat membantu dalam melakukan pengawasan gunung berapi.

## SIMPULAN

Pesawat Udara Nir Awak (PUNA) merupakan piranti yang sangat berguna untuk berbagai aplikasi pengawasan terutama pengawasan gunung berapi, walaupun masih banyak kekurangannya. Kemudahan dalam pengoperasiannya serta fleksibilitas waktu dan mudah dalam melakukan misi *mapping* atau *surveillance* dianggap sebagai salah satu kelebihan dari penggunaan PUNA jika dibandingkan menggunakan foto satelit. Selain itu penggunaan PUNA juga minim risiko karena tidak adanya pilot di dalam pesawat. Pesawat akan dikendalikan secara *Auto Pilot* dan *Autonomous* dari *Ground Control Station*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pegawai PTIPK yang telah berkenan memberi arahan dan masukan dalam penulisan makalah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Bethany D., Rinard Hinga, *Ring of Fire An Encyclopedia of the Pacific Rim's Earthquakes, Tsunamis, and Volcanoes*, ISBN: 978-1-61069-296-0, 2015.
2. PVMBG, Peta Gunung Berapi di Indonesia, <https://magma.vsi.esdm.go.id>, diakses 11 Desember 2017.
3. Reg Austin, *UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS UAVS DESIGN, DEVELOPMENT AND DEPLOYMENT*, ISBN 9780470058190, 2010.
4. PUNA BPPT, HARKITNAS 2017, <https://www.bppt.go.id/teknologi-hankam-transportasi-manufakturing/2894-harkitnas-2017-bppt-sukses-uji-drone-alap-alap-berhasil-terbang-non-stop-7-jam>, diakses 12 Desember 2017.
5. Dimas Jarot Bayu, 2016, <http://nasional.kompas.com/read/2016/10/06/14363381/.drone.bantu.bnpb.atasi.bencana.alam.di.indonesia>, diakses 12 Desember 2017.
6. PVMBG, Level Gunung Berapi, <https://magma.vsi.esdm.go.id/press/>, diakses 13 Desember 2017.
7. Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No 180 Tahun 2015.
8. Drone Mapper, Photogrammetry, [https://dronemapper.com/uas\\_photogrammetry\\_processing](https://dronemapper.com/uas_photogrammetry_processing), diakses 14 Desember 2017.
9. Paul R. Wolf, Ph.D., *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS*, ISBN: 978-0-07-176111-6, 2014.
10. PVMBG, Gunung Agung, <http://www.vsi.esdm.go.id/index.php/gunungapi/data-dasar-gunungapi/468-g-agung>, diakses 15 Desember 2017.
11. Google Earth, <https://www.google.com/earth/desktop/>, diakses 16 Desember 2017.
12. PUNA PUNA BPPT 06C ALAP-ALAP DOUBLE BOOM, <http://ptipk.bppt.go.id/produk/program-dipa/puna/>, diakses 16 Desember 2017.
13. Gimbal Camera PTZ TASE200, <http://www.cloudcaptech.com/products/detail/tase-200>, diakses 17 Desember 2017.
14. Kamera Sony α6000, <https://www.sony.com/electronics/interchangeable-lens-cameras/ilce-6000-body-kit/specifications>, diakses 17 Desember 2017.
15. Waypoint Mission Planner, <http://ardupilot.org/copter/docs/common-planning-a-mission-with-waypoints-and-events.html>, diakses 17 Desember 2017.
16. Mark Zantmiller, *Piccolo Software-in-Loop (SiL) Setup Guide*, 2013

## **KAJIAN KAPAL CEPAT RUDAL (KCR) 60M TERHADAP KONDISI SEASTATE PERAIRAN KAWASAN BARAT DAN TIMUR INDONESIA**

### **STUDY ON THE FAST MISSILE CRAFT (KCR) OF 60 M AT THE SEASTATE CONDITION OF THE WEST AND EASTERN INDONESIAN**

**Soegeng Hardjono**

Pusat Teknologi Rekayasa Industri Maritim - BPPT  
Gedung Tek. 2, Lt 3, PUSPITEK, Serpong, 15314, Tel. (021)-75875943; Fax. (021)-75791280  
E-mail: soegenghardjono@yahoo.com

#### **Abstrak**

Saat ini, Angkatan Laut Indonesia sedang memperkuat armada kapal perang dengan pembangunan jenis kapal Cepat Rudal (KCR) 60M. Kemampuan operasional KCR 60M tergantung pada ketinggian gelombang perairan Indonesia. Untuk itu perlu dilakukan kajian penentuan tinggi gelombang maksimum yang bisa dilalui oleh kapal KCR 60M dan penentuan panjang kapal KCR 60M minimum untuk mengatasi gelombang ekstrim tertinggi dengan metode statistik dan formula pendekatan. Hasil analisa menunjukkan bahwa Kapal KCR 60M dapat beroperasi pada tinggi gelombang hingga maksimum 4,73m. Secara umum tinggi gelombang perairan Indonesia rata2 dibawah 4,73 m, sehigga kapal KCR 60M dapat beroperasi di sepanjang tahun terkecuali pada bulan Desember dan Januari di wilayah utara berbatasan dengan Laut Cina Selatan karena pengaruh angin moonsun Asia. Walaupun demikian, keberadaan tinggi gelombang ekstrim > 4,73m menyebabkan KCR 60M tidak dapat beroperasi baik di wilayah Utara maupun Selatan Equator serta perairan Antar-Pulau disebabkan oleh angin *Moonsun Asia*. KCR 60M tidak dapat juga beroperasi di seluruh wilayah Pangkalan Utama Angkatan Laut (Lantamal) mulai dari Lantamal I (Medan) hingga Lantamal XIV (Sorong). Berdasarkan hasil analisa tinggi gelombang ekstrim rata2 5,1m, dapat ditentukan bahwa KCR 60M yang mampu beroperasi mempunyai panjang minimum sekitar 70 m.

**Kata kunci:** KCR 60M, Perairan Indonesia, Tinggi gelombang, Moonsun, Lantamal.

#### **Abstract**

*Recently, Indonesian Navy is developing warship fleet by constructing Fast Missile Craft (KCR) 60M. The performance of KCR 60M depends on the wave height of Indonesian waters. It needs to perform research on the maximum wave height for the ship length of KCR 60M and the minimum ship length of KCR 60M to cope with the highest extrem waves by statistical methods and empirical formula. The analysis result shows that KCR 60M can operate at a maximum wave height of 4,73m. Since the wave height of Indonesian water is less than 4,73m, then KCR 60M can operate throughout the year, except in Desember and January in the North areas of Indonesia near the South China Sea border due to the moonsun Asia. However, the existency of the extrem wave height >4,3m cause KCR 60M unable to operate whether in the North or South Equators as well as Inter-island waters. KCR 60M also unable to operate in the whole Naval Main Base (Lantamal) from Lantamal I (Medan) up to*

*Lantamal XIV (Sorong). Based on the average extreme wave height of 5,1m, it can be determined that KCR 60M capable of operating has a minimum ship length of about 70m.*

**Keywords:** KCR 60M, Indonesian waters, Wave height, Moonsun, Naval Main Base.

Diterima (received) : 15 Oktober 2017, Direvisi (revised) : 10 November 2017, Disetujui (accepted) : 01 Desember 2017

## PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara maritim terus mengembangkan dan memperkuat armada lautnya dengan berbagai penambahan baik jumlah maupun jenis armada tempur maupun armada pendukungnya. Hal ini dipertegas melalui Undang-undang Nomor 34 tahun 2004 tentang peran dan tugas TNI Angkatan Laut dalam Pasal 9 bahwa TNI mempunyai tugas dan tanggung jawab untuk membangun dan mengembangkan kekuatan matra laut yang bertujuan untuk menegakkan hukum dan menjaga keamanan serta kedaulatan wilayah laut sesuai dengan hukum nasional dan hukum internasional yang telah diratifikasi.

Kekuatan armada laut dalam sistem pertahanan nasional diperkuat oleh sekitar 150 armada tempur (KRI) berbagai jenis mulai dari jenis Fregat, Corvette, Kapal Patroli Cepat hingga kapal Selam. Sebaran kekuatan armada KRI tersebut terbagi dalam 2 (dua) Komando Kawasan yaitu Komando Armada Indonesia Kawasan Barat disebut dengan Koarmabar dan Komando Kawasan Armada Indonesia Timur disebut dengan Koarmatim. Saat ini Pemerintah Indonesia sedang memperkuat armada lautnya melalui pengadaan kapal jenis *Fast Missile Craft* atau *Fast Attack Craft* yang dinamakan sebagai Kapal Cepat Rudal (KCR). Kapal Cepat ini merupakan pengembangan dari kapal Patroli Cepat FPB 57 yang dibuat sebelumnya di galangan kapal dalam negeri PT.PAL Surabaya dengan lisensi dari galangan Kapal Leursen Bremen-Vegesack, Jerman. Saat ini jenis Kapal Cepat Rudal ini telah mencapai jumlah 15 buah dari berbagai ukuran mulai dari panjang 40 m (8 buah), 50 m (4 buah), dan 60 m (3 buah). Khusus untuk KCR 50M merupakan produk buatan galangan kapal Tacoma *Ship Yard*, Korea Selatan, sedangkan selebihnya jenis KCR 40M adalah produk galangan kapal dalam negeri PT.Palindo, Batam begitu pula dengan jenis KCR 60M adalah produk galangan kapal PT.PAL Surabaya. Produk KCR dalam negeri ini telah mencapai 11 buah yang dibangun sejak tahun 2011 dan akan terus diperbanyak hingga mencapai jumlah keseluruhannya menjadi 32 buah pada tahun tahun 2024. Jumlah tersebut merupakan target dari Kemenhan hingga

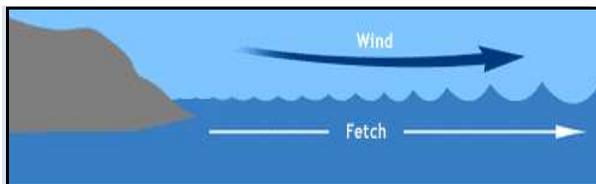
tahun 2024 sesuai dengan kebijakan pembangunan kekuatan yang diarahkan pada perwujudan kekuatan TNI AL menuju Kekuatan Pokok Minimum (*Minimum Essential Force/MEF*), yaitu struktur kekuatan yang disusun berdasarkan kemampuan yang diperlukan (*capability design*) untuk menghadapi segala bentuk ancaman dalam rangka menegakkan kedaulatan dan menjaga keutuhan NKRI. Untuk tercapainya Kekuatan Pokok Minimum (MEF) tersebut Kemenhan telah merealisasikannya melalui pemesanan 16 buah KRC 40M dan 16 buah KRC 60M di dua galangan kapal dalam negeri antara lain PT.Palindo Batam dan PT.PAL Surabaya. KCR 60M mempunyai ukuran panjang relatif lebih besar dibandingkan KCR 40M dengan tujuan untuk memperoleh kinerja yang lebih optimal dalam menjalankan misi operasionalnya di perairan dengan karakteristik gelombang yang lebih tinggi. Kondisi tinggi gelombang merupakan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kinerja dan keselamatan kapal. Untuk membuktikan sejauh mana armada KCR 60M dapat menjalankan misi operasionalnya dengan aman, maka perlu dilakukan analisa tinggi gelombang maksimum yang dapat dilalui oleh armada KCR 60M mengingat tinggi gelombang perairan Indonesia yang variatif tergantung pada faktor lokasi apakah di wilayah bagian utara atau selatan equator serta faktor musim apakah terjadi dimusim *moonsun Asia*, *moonsun Australia*, atau di musim peralihan yaitu suatu musim yang berada diantara *moonsun Asia* dan *moonsun Australia*. Disamping itu, kajian ini bertujuan pula untuk mengetahui ukuran panjang kapal minimum (*minimum ship's length*) yang sesuai dengan kondisi gelombang perairan Indonesia. Hasil kajian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi TNI AL sebagai operator untuk menentukan waktu dan tempat yang tepat untuk penjadwalan misi pengoperasian armada KCR.

## BAHAN DAN METODE

### A. Gelombang Perairan Indonesia

Perairan Indonesia mempunyai karakteristik gelombang dengan ketinggian yang bervariasi sepanjang tahun. Menurut hasil penelitian Yen

Yi Loo (2016)<sup>1)</sup> dalam makalahnya yang berjudul “*Effect of climate change on seasonal monsoon in Asia and its impact on the variability of monsoon rainfall in Southeast Asia*” bahwa wilayah Indonesia merupakan wilayah moonsunal yang ditandai oleh sistem angin musim yang secara periodik berbalik arah enam bulan sekali tergantung dari kekuatan angin permukaan sesuai pola angin musiman yang sedang berlangsung. Kondisi tinggi gelombang ini sangat dipengaruhi oleh tiga faktor penyebab utama diantaranya adalah kecepatan angin, lamanya angin berhembus (*duration*), dan jarak dari tiupan angin pada perairan terbuka (*fetch*). Sedangkan panjang *Fetch* adalah jarak tempuh perjalanan gelombang dari awal tempat pembangkitannya (Gb.3) *Fetch* ini dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Menurut Tom Ainsworth, (2015)<sup>2)</sup> dari NOAA/National Weather Service Forecast Office (WFO)(2015) menyebutkan bahwa semakin panjang jarak *fetch*nya semakin besar gelombang yang terjadi.



**Gambar 1.**  
Fetch

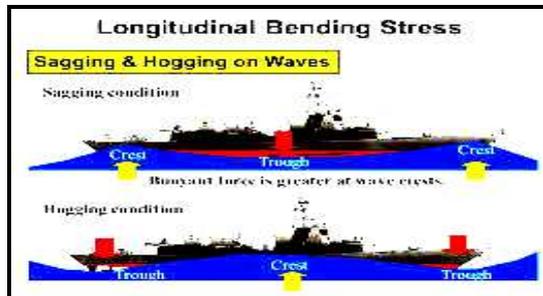
Berdasarkan arah dan kecepatan angin, Indonesia mempunyai dua macam angin musim utama yaitu angin musim Barat (*moonsun Asia*) yang terjadi pada periode bulan Desember, Januari, Februari dan musim Timur (*moonsun Australia*) yang terjadi pada periode bulan Juni, Juli, Agustus. Dalam penelitian Bayong (2008)<sup>3)</sup> dari BMKG, Jakarta menjelaskan bahwa angin moonsun adalah sistem sirkulasi regional yang mempunyai variasi musiman. *Moonsun* dimaknai sebagai sistem angin musiman yang ditandai oleh berbaliknya arah angin utama sebagai akibat perubahan tekanan angin permukaan oleh perubahan cuaca dari musim panas (*summer*) dan musim dingin (*winter*). Di wilayah Indonesia berhembus sirkulasi angin tetap untuk satu periode tertentu yaitu 3 (tiga) bulanan dengan sifat arah anginnya hampir berlawanan. Sedangkan pada musim peralihan/transisi antar kedua *moonsun* terjadi pada periode Maret-April-Mei (MAM) dan September-Oktober-Nopember (SON), dimana arah dan kecepatan angin bertiup tidak menentu. Arah angin permukaan pada *moonsun Asia* dalam periode bulan Desember, Januari, dan Pebruari berhembus dari belahan utara equator menuju belahan selatan equator. Sedangkan *moonsun Australia* dalam periode bulan Juni, Juli dan Agustus angin permukaan berhembus dari arah

sebaliknya yaitu dari belahan selatan equator menuju belahan utara equator. Periode lainnya adalah dua periode yang disebut sebagai periode peralihan yang terjadi diantara periode moonsun Asia dan *moonsun Australia* yaitu bulan Maret, April, Mei (MAM) dan September, Oktober, Nopember (SON). Menurut kajian yang dilakukan oleh Roni Kurniawan (2011)<sup>4)</sup> dalam makalah penelitiannya yang berjudul “Variasi Bulanan Gelombang Laut Indonesia mengidentifikasi bahwa gelombang tinggi sering terjadi pada periode *moonsun Asia* sekitar bulan Januari dan *moonsun Australia* sekitar bulan Juli. Walaupun demikian, ketinggian gelombang di wilayah perairan terbuka lebih tinggi bila dibandingkan dengan perairan Antar-Pulau. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan panjang *fetch* yang terbentuk di wilayah perairan tersebut.

## B. Hubungan Tinggi Gelombang dan Panjang Kapal

Didalam tahapan proses desain kapal, khususnya pada tahap awal penentuan *design requirement*, kondisi tinggi gelombang perairan di wilayah rute operasional kapal yang akan dilalui menjadi pertimbangan penting khususnya berkaitan dengan pertimbangan kekuatan struktur konstruksi kapal yang digunakan, khususnya berhubungan dengan elemen-elemen struktur kekuatan konstruksi memanjang yang tergantung dari dimensi panjang kapal. Prinsip dasar pendekatan dalam perhitungan desain kekuatan struktur konstruksi kapal adalah melalui pertimbangan bahwa badan kapal sebagai sebuah balok memanjang yang berada diatas tumpuan media fluida dalam hal ini gelombang laut yang mempunyai tekanan (*fluid pressure*) dan gaya dinamis (*dynamic forces*). Sehingga kekuatan struktur konstruksi berdasarkan hasil perhitungan dari peraturan standar yang berlaku mampu menahan beban resultant berupa beban lengkung (*bending moment*), beban geser (*shear forces*), dan beban puntir (*torsion*) yang ditimbulkan oleh distribusi tekanan fluida dari tinggi gelombang sepanjang kapal dan distribusi muatan dan berat kapal. Saat ini, *The International Association of Classification Societies (IACS)* telah mengeluarkan rekomendasi tentang data standard tinggi gelombang dalam menentukan desain kriteria kapal melalui *IACS Recommendation 34, Standard Wave Data, p.2. tahun 2010*<sup>5)</sup>. Data IACS tentang tinggi gelombang yang direkomendasi menunjukkan bahwa sebagian besar gelombang laut (88%) berada pada ketinggian gelombang *significant* antara 1 m sampai dengan 17 m dan hanya 0,2% berada pada ketinggian antara 11 m sampai dengan 17 m. Claude Daley (2013)<sup>6)</sup>

dalam bukunya yang berjudul “*Wave Bending Moments & Longitudinal Strength*” menerangkan bahwa ketika kapal berada diatas gelombang akan mengalami beban *hogging moment* terburuk apabila posisi tengah badan kapal berada di atas puncak gelombang (*wave crest*),



**Gambar 2.**  
*Sagging and Hogging Moment*

sedangkan haluan dan buritan berada di lembah gelombang (*wave trough*).

Disisi lain, kapal akan mengalami beban *sagging momet* terburuk apabila posisi tengah badan kapal berada di bawah lembah gelombang (*wave trough*) sedangkan haluan dan buritan berada di atas puncak gelombang (*wave crest*) seperti terlihat pada gambar 2.

Lebih dari itu, baik beban *sagging* maupun *hogging* akan terjadi lebih besar dan lebih berbahaya apabila panjang gelombang/*wave length* ( $L_w$ ) setara dengan panjang kapal ( $L_{bp}$ ) atau  $L_w = L_{bp}$ . Walaupun demikian, apabila panjang gelombang lebih pendek atau lebih panjang dari panjang kapal, maka nilai bending moment akan lebih kecil dibandingkan bila panjang gelombang ( $L_w$ ) sama dengan panjang kapal ( $L_{bp}$ ). Lebih dari itu, sifat gelombang laut cenderung berbentuk *trochoidal* dari pada sinusoidal dimana puncak gelombang cenderung curam dengan bentuk lembah yang relatif landai.

Menurut Craig B.Smith (2007)<sup>7)</sup> dalam penelitiannya berjudul “*Extreme Waves and Ship Design*”, bahwa dalam proses desain kapal sangat penting untuk mempertimbangkan kondisi perairan khususnya tinggi gelombang yang akan dilalui. Dengan mempertimbangkan pada kondisi terburuk untuk kekuatan struktur memanjang kapal bila panjang gelombang ( $L_w$ ) sama dengan panjang kapal ( $L_{bp}$ ) maka penentuan tinggi gelombang ( $H_w$ ) berdasarkan panjang kapal ( $L_{bp}$ ) pada gelombang *trochoidal* dirumuskan sebagai  $H_w = 1.1(L)^{0.5}$  dimana  $H_w$  dan  $L_{bp}$  dalam satuan feet dan  $H_w = 0.61(L)^{0.5}$  dimana  $H_w$  dan  $L_{bp}$  dalam satuan meter.

## BAHAN DAN METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi metode pengumpulan data dan metode

pegolahan data. Metode pengumpulan data tentang tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) dan maksimum ( $H_{maks}$ ) diseluruh wilayah perairan Indonesia dilakukan melalui perolehan data dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Jakarta periode bulanan antara 2010 s/d 2015, Jakarta dan studi literatur beberapa penelitian tentang karakteristik gelombang perairan Indonesia. Perolehan metode dan formula matematis yang sering digunakan ditahap *preliminary ship design* untuk penentuan korelasi antara tinggi gelombang ( $H_w$ ) dan panjang kapal ( $L_{bp}$ ). Sedangkan metode pengolahan data yang digunakan adalah metode *statistical analysis* untuk menentukan kurva tinggi gelombang maksimum rata2 dan gelombang ekstrim rata2 perbulan dan pertahun disetiap wilayah perairan Indonesia. Hasil ketinggian gelombang ini kemudian akan disesuaikan dengan tinggi gelombang maksimum yang diijinkan untuk kapal KCR 60M dengan panjang 60 m sehingga dapat diidentifikasi kapan dan di wilayah mana saja kapal KCR 60 dapat dioperasikan dengan aman didalam batas wilayah perairan Indonesia. Demikian pula dapat diprediksi panjang kapal minimal yang aman untuk kondisi tinggi gelombang ekstrim tertinggi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Data Spesifikasi Teknis Kapal KCR 60M

Saat ini, jumlah 3 (tiga) buah kapal KCR 60M produksi galangan kapal nasional PT.PAL Surabaya masuk dalam jajaran armada KRI dengan nama KRI Sampari 628, KRI Tombak 629, dan KRI Halasan 630 mempunyai spesifikasi sebagai berikut :



**Gambar 3.**  
Kapal Cepat Rudal (KCR) 60M

#### 1. Ukuran Utama :

- Panjang keseluruhan (LOA) : 60 M
- Panjang garis air (LWL) : 55.25 M
- Lebar (B) : 8.10 M
- Tinggi pada tengah kapal (T):4.85M

- Sarat muatan penuh (Dd) : 2.60 M
  - Berat muatan penuh (*Displacement*) : 60 Ton
- 2. Mobilitas**  
Kecepatan kapal pada Skala *Beaufort* 2 dan *Sea State* 1 :
- Kecepatan Maksimum (Half Load Cond): 28knot
  - Kecepatan Jelajah ( *Crusing*) : 20 knot
  - Kecepatan Ekonomis : 15 knot
- 3. Sistem Persenjataan**
- a. Meriam Utama 57 mm (satu unit)
  - b. *Auxiliary Gun* 20 mm (dua unit)
  - c. Peluncur Peluru Kendali /SSM (dua unit)
  - d. *Decoy Launcher*
- 4. Olah Gerak**  
KCR 60M mempunyai kemampuan olah gerak yang tinggi, lincah dalam posisi tembak dan mampu melaksanakan penghindaran dari serangan balasan lawan.
- 5. Ketahanan Berlayar**
- a. Ketahanan dilaut : 5 hari
  - b. Jarak jelajah : 2.400 nm pada kecepatan 20 knot
  - c. Akomodasi : 55 orang
- 6. Kelaikan Kapal**  
KCR 60M dirancang dengan kriteria kelaikan laut sbb :
1. Tugas patroli hingga *Sea State* 3
  2. Kemampuan pengoperasian senjata hingga *Sea State* 4.

**B. Prediksi Tinggi Gelombang Maksimum Untuk KCR 60M**

Tinggi gelombang maksimum yang aman dilalui oleh kapal KCR 60M dapat diprediksi melalui formula dari Craig B.Smith dengan pertimbangan bahwa baik beban *sagging* maupun *hogging* akan terjadi lebih besar dan lebih berbahaya terhadap kekuatan struktur memanjang kapal apabila panjang gelombang/*wave length* ( $L_w$ ) setara dengan panjang kapal ( $L_{bp}$ ) atau  $L_w = L_{bp}$ . Dengan mempertimbangkan kondisi terburuk untuk kekuatan struktur memanjang kapal tersebut maka digunakan formula  $H_w = 0.61(L)^{0.5}$  dimana  $H_w$  dan  $L_{bp}$  dalam satuan meter. Dengan panjang kapal KCR 60M sebesar 60m maka tinggi gelombang  $H_w$  dapat ditentukan sebesar

**Tabel 1.**  
Data *Sea State* dan *Wave Hight*

<b>WMO Sea State Code</b>	<b>Wave height</b>	<b>Characteristics</b>
0	0 metres (0 ft)	<i>Calm (glassy)</i>
1	0 to 0.1 metres (0.00 to 0.33 ft)	<i>Calm (rippled)</i>

2	0.1 to 0.5 metres (3.9 in to 1 ft 7.7 in)	<i>Smooth (wavelets)</i>
3	0.5 to 1.25 metres (1 ft 8 in to 4 ft 1 in)	<i>Slight</i>
4	1.25 to 2.5 metres (4 ft 1 in to 8 ft 2 in)	<i>Moderate</i>
5	2.5 to 4 metres (8 ft 2 in to 13 ft 1 in)	<i>Rough</i>
6	4 to 6 metres (13 to 20 ft)	<i>Very rough</i>
7	6 to 9 metres (20 to 30 ft)	<i>High</i>
8	9 to 14 metres (30 to 46 ft)	<i>Very high</i>
9	Over 14 metres (46 ft)	<i>Phenomenal</i>

Sumber: WMO,UK.2012

kurang lebih 4,73 m. Menurut *standard of the Sea State and the swell of the sea* yang dikeluarkan WMO UK (*Weather Meteorological Office*)<sup>8)</sup> 24 Sept 2012 terlihat dalam Tabel 8, maka ketinggian gelombang 4,73 m berada dalam *Sea State* 6 dan kondisi *Very rough* seperti terlihat dalam Tabel 8. Hal ini berarti kapal *SeaState* 6 ini karena nilai ketinggian gelombang antara 4 s/d 6 m. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kapal KCR 60M masih dalam batas aman dari segi kekuatan dan operasional bila beroperasi dalam *Sea State* 5 atau lebih kecil dari *Sea State* 6.

**C. Wilayah Homebase dan Operasional KCR 60M**

Saat ini sistem pertahanan laut Indonesia diperkuat oleh armada laut meliputi 154 armada Kapal Perang RI (KRI) dan armada 209 Kapal Angkatan Laut (KAL) yang bertugas melaksanakan patroli dan dukungan keamanan Pangkalan TNI AL (Lanal)<sup>9)</sup>. Kekuatan KRI tersebut meliputi KRI sebagai kekuatan pemukul (*striking force*) yang memiliki persenjataan strategis termasuk KCR, KRI sebagai kekuatan patroli (*patrolling force*) dan KRI sebagai kekuatan pendukung (*supporting force*). Seluruh kekuatan armada KRI maupun KAL tersebut tersebar di beberapa Pangkalan Utama Angkatan Laut (Lantamal) yang berada di bawah dua komando utama armada yaitu: Komando Armada RI Kawasan Barat (Koarmabar) dan Komando Armada RI Kawasan Timur(Koarmatim).

### 1. Komando Armada Indonesia Kawasan Barat (Koarmabar)

Koarmabar membawahi (5) lima Pangkalan Utama Angkatan Laut (Lantamal) yang meliputi:

1. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut I (Lantamal I) di Medan, Sumatera Utara,
2. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut II (Lantamal II) di Padang.
3. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut III (Lantamal III) di Jakarta.
4. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut IV (Lantamal IV) di Tanjung Pinang.
5. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut XII (Lantamal XII) di Pontianak.

### 2. Komando Armada Indonesia Kawasan Timur (Koarmatim)

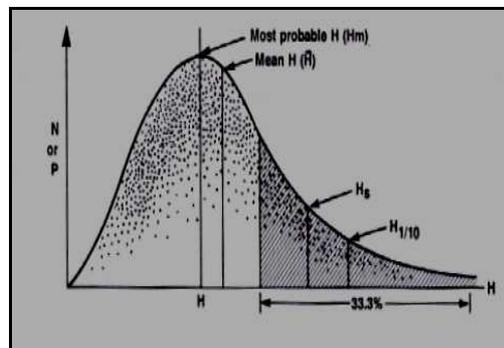
Koarmatim membawahi tujuh Pangkalan Utama Angkatan Laut (Lantamal) dan 2 Gugus (Guskamla dan Gupurla) yang meliputi:

1. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut V (Lantamal V) di Surabaya
2. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut VI (Lantamal VI) di Makassar
3. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut VII (Lantamal VII) di Kupang
4. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut VIII (Lantamal VIII) di Manado
5. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut IX (Lantamal IX) di Ambon
6. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut X (Lantamal X) di Jayapura
7. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut XI (Lantamal XI) di Merauke
8. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut XIII (Lantamal XIII) di Tarakan
9. Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut XIV (Lantamal XIV) di Sorong.

### D. Tinggi Gelombang Perairan Indonesia.

Karakteristik gelombang di perairan Indonesia mempunyai pola yang berkaitan erat dengan siklus angin moonsunal. Puncak gelombang tertinggi terjadi pada periode *moonsun Asia* (Desember, Januari dan Pebruari) dan *moonsun Australia* (Juni, Juli dan Agustus). Sedangkan pada *moonsun* peralihan kondisi gelombang umumnya tidak tinggi. Daerah yang rawan gelombang tinggi umumnya terjadi pada wilayah perairan terbuka seperti wilayah perairan sebelah utara dan selatan equator yang berhadapan langsung dengan samudera Pasific, Samudera Hindia, dan Laut Cina Selatan. Hal ini telah dikaji oleh Kurniawan (2012)<sup>10)</sup> dalam penelitiannya tentang *Daerah Rawan Gelombang Tinggi Di Perairan Indonesia*. Untuk mengetahui sejauh mana tinggi gelombang yang terjadi di wilayah utara dan selatan equator, serta daerah Antar-Pulau maka dibawah ini dilakukan pemetaan data yang berhasil diperoleh dari BMKG tentang tinggi gelombang

signifikan ( $H_s$ ) dan maksimum ( $H_{maks}$ ). Tinggi gelombang *significant* ( $H_s$ ) menurut NOAA adalah tinggi gelombang hasil prediksi NOAA berdasarkan laporan dari pencatatan di atas kapal dan *buoys*. Sedangkan tinggi gelombang *significant* ( $H_s$ ) didefinisikan sebagai tinggi rata2



**Gambar 4.**

*The statistical distribution of wave heights*

dari sepertiga tinggi gelombang tertinggi dalam wave spektrum<sup>11)</sup>. Sedangkan tinggi  $H(\text{mean}) = 0,64(H_s)$ , dan tinggi gelombang maksimum ( $H_{maks}$ ) sekitar 1,5 s/d  $2x(H_s)$  dan tinggi gelombang ekstrim ( $H_{eks}$ ) didefinisikan dalam formula matematik sebagai  $H_{eks} = 2,3x(H_s)$ .

### 1. Data Gelombang Wilayah Penelitian

Data gelombang yang berhasil dikumpulkan dipetakan berdasarkan wilayah penelitian yaitu : wilayah Utara quator (U-Eq), Selatan equator (S-Eq) dan wilayah Antar-Pulau (AP). Jenis data gelombang adalah gelombang Ekstrim dan gelombang maksimum. Gelombang ekstrim dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar gelombang tertinggi yang terjadi. Gelombang ekstrim dan gelombang maksimum rata-rata untuk setiap wilayah penelitian perbulan dan pertahun. Wilayah-wilayah penelitian yang ditetapkan sesuai dan sedekat mungkin dengan wilayah operasional kapal KCR 60M baik di Utara Equator, Selatan Equator maupun Antar-Pulau. Wilayah penelitian Utara Equator meliputi: wilayah Laut Cina Selatan, Samudra Pasifik, Samudra Pasifik Utara, Samudra Hindia bagian Barat Sumatera, Laut Sulawesi dan Laut Maluku. Sedangkan wilayah Selatan Equator meliputi: Laut Arafuru, Samudera Hindia-Selatan Selat Sunda, Samudera Hindia-Selatan Laut Jawa, dan Laut Timor. Wilayah Antar-Pulau meliputi: Selat Karimata, Selat Makassar, Laut Jawa, Laut Banda, Laut Flores, dan Laut Sawu.

### 2. Data Gelombang (H.eks) & (H.maks)-rata2 Utara Equator.

Didaerah belahan Utara-Equator, ketinggian gelombang ekstrim di atas 4,73 m yang merupakan batas tertinggi gelombang yang bisa dilalui KCR 60M khususnya di perairan Laut

Cina Selatan (6,1 s/d 7,2 m) dan Samudera Pasific (4,8 s/d 5,2 m) di *moonsun Asia* serta Barat Sumatra Utara (4,8 m) di bulan Agustus.

**Tabel 2.**  
Gelombang (H.eks) Utara-Equator (perbulan).

Bln	Laut Cina Sel.	Smd. Pasific	Barat Sumut	Utara Papua	Laut Sula wesi	Laut Maluku
1	7,2	4,8	2,9	3,4	3,5	3,6
2	6,1	4,8	2,8	3,0	3,2	3,5

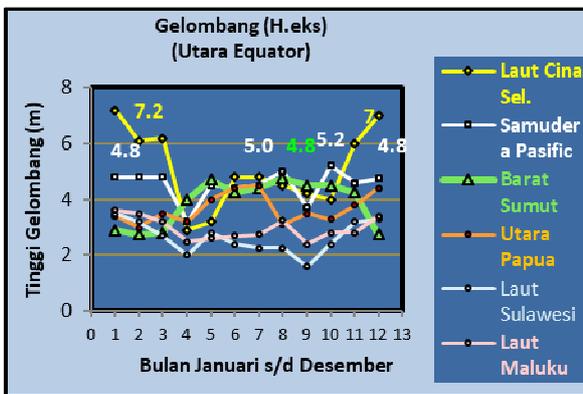
3	6,2	4,8	2,8	3,5	2,7	3,2
4	2,9	3,2	4,0	3,2	2	2,5
5	3,2	4,5	4,7	4,0	2,8	2,6
6	4,8	4,4	4,3	4,4	2,4	2,7
7	4,8	4,5	4,4	4,5	2,25	2,75
8	4,5	5,0	4,8	3,1	2,25	3,25
9	4,2	3,7	4,5	3,5	1,6	2,4
10	4	5,2	4,5	3,3	2,4	2,8
11	6	4,6	4,3	3,8	3,2	2,8
12	7	4,8	2,8	4,4	3,3	3,4

Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian



**Gambar 5.**

Peta Wilayah Pangkalan TNI-AL Koarmabar dan Koarmatim



**Gambar 6.**

Kurva Tinggi Gelombang H(eks) Utara-Equator (perbulan)

Hal ini berarti kapal KCR 60M tidak bisa dioperasikan pada bulan Agustus (4,8 m) di akhir *moonsun Australia* di daerah Lantamal II (Barat Sumatera Utara) karena berada di sekitar wilayah Barat Sumatera Utara. Begitu pula pada bulan Desember, Januari, Pebruari (6,1 s/d 7,2 m) periode *moonsun Asia* KCR 60M tidak bisa beroperasi di daerah Lantamal IV (Tanjung Pinang) dan Lantamal XII (Pontianak) khususnya yang berhadapan dengan Laut Cina Selatan hingga Maret (4,8 m) di awal *moonsun* Peralihan

dan Oktober (5,2 m) di pertengahan *moonsun* Peralihan di atas kawasan Lantamal XIV (Sorong) dan Lantamal X (Jayapura) berhadapan dengan perairan Samudera Pasific. Walaupun demikian KCR 60M secara umum aman dapat dioperasikan di wilayah Utara Equator dengan kondisi gelombang maksimum hampir sepanjang tahun terkecuali pada bulan Desember dan Januari karena gelombang maksimum di Laut Cina Selatan masih mencapai 5,5 s/d 5,8 m. Sementara kawasan Laut Sulawesi, dan Laut Maluku (1,6 s/d 3,6 m) atau dibawah <3,6 m masih aman untuk dilalui KCR 60M sepanjang Tahun.

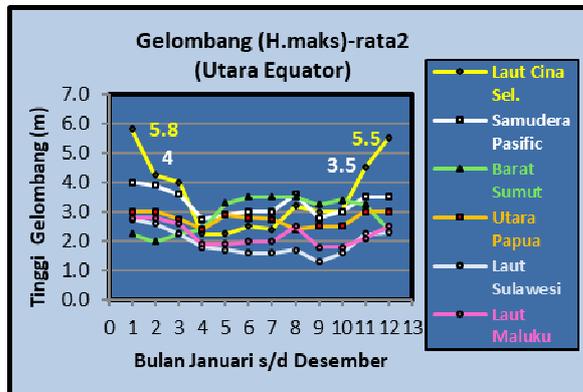
**Tabel 3.**

Gelombang (H.maks)-rata2 Utara-Equator (perbulan)

Bln	Laut Cina Sel.	Smd. Pasific	Barat Sumut	Utara Papua	Laut Sula wesi	Laut Maluku
1	5,8	4	2,3	3	2,75	2,8
2	4,3	3,9	2,0	3	2,6	2,8
3	4,0	3,6	2,3	2,75	2,25	2,6
4	2,3	2,75	2,4	2,4	1,8	1,9
5	2,3	2,9	3,3	2,9	1,7	1,9
6	2,5	3	3,5	2,8	1,6	2
7	2,4	3	3,5	2,75	1,6	2
8	3,2	3,6	3,5	2,4	1,7	2,5
9	3,0	2,8	3,3	2,5	1,3	1,8

10	3,0	3	3,4	2,5	1,6	1,8
11	4,5	3,5	3,3	3	2,25	2,1
12	5,5	3,5	2,4	3	2,3	2,5

Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian



**Gambar 7.**

Kurva Tinggi Gelombang Maks-rata2 Utara-Equator (perbulan)

### 3. Data Gelombang (H.eks) & (Hmaks)-rata2 Selatan-Equator.

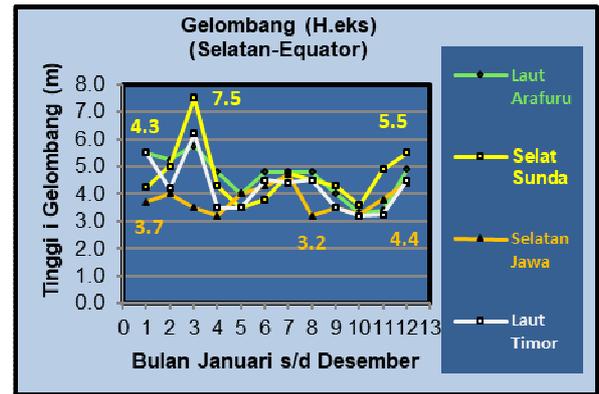
Tinggi gelombang ekstrim Utara Equator berada antara 4,8 s/d 5,5 m khususnya di wilayah Laut Arafuru pada bulan Desember, Januari, Pebruari (*moonsun Asia*) dan bulan Juni, Juli, dan Agustus (*moonsun Australia*), serta bulan Maret dan April dalam *moonsun* Peralihan. Tinggi gelombang ekstrim 4,8 s/d 7,5 m terjadi pula di Selat Sunda dan Laut Timor pada bulan Nopember, Desember, dan Januari (*moonsun Asia*) dan bulan Maret dalam *moonsun* Peralihan. Selat Sunda juga terpengaruh oleh *moonsun Australia* di bulan Juli (4,8 m) dan *moonsun* Peralihan di bulan Nopember (4,9 m). Laut Jawa relatif lebih rendah di bawah 4,8 m yaitu 3,2 hingga 4,7 m.

**Tabel 4.**

Gelombang (H.eks) Selatan-Equator (perbulan).

Bln	Laut Arafuru	Selat Sunda	Selatan Jawa	Laut Timor
1	5,5	4,3	3,7	5,5
2	5,3	5,0	4	4,2
3	5,8	7,5	3,5	6,2
4	4,8	4,3	3,2	3,5
5	4,0	3,5	4	3,5
6	4,8	3,8	4,3	4,5
7	4,8	4,8	4,7	4,4
8	4,8	4,5	3,2	4,5
9	4,0	4,3	3,5	3,5
10	3,3	3,6	3,25	3,2
11	3,4	4,9	3,8	3,3
12	4,9	5,5	4,4	4,5

Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian



**Gambar 8.**

Kurva Tinggi Gelombang (H.eks)-rata2 Selatan-Equator (perbulan)

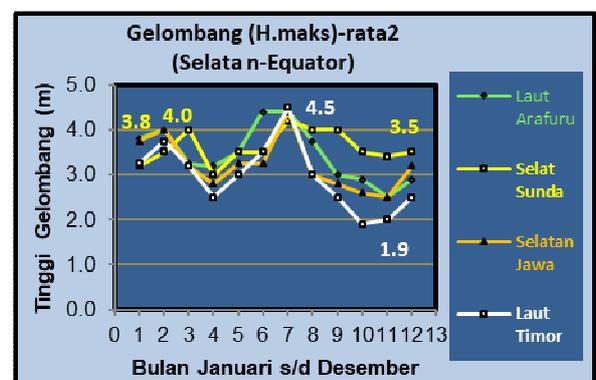
Hal ini dapat disimpulkan bahwa Kapal KCR 60M tidak dapat dioperasikan didaerah sekitar Laut Arafuru baik untuk bulan Nopember, Desember, Januari, Pebruari (*moonsun Asia*) dan bulan Juni, Juli, Agustus (*moonsun Australia*). Tapi hanya dapat dioperasikan pada *moonsun* Peralihan (September, Oktober dan Nopember). Begitu pula KCR 60M dapat beroperasi sepanjang tahun di Selatan Jawa.

**Tabel 5.**

Gelombang (H.maks)-rata2 Selatan-Equator (perbulan).

Bln	Laut Arafuru	Selat Sunda	Selatan Jawa	Laut Timor
1	3,8	3,2	3,8	3,3
2	4,0	3,5	4,0	3,8
3	3,3	4,0	3,2	3,2
4	3,2	3,0	2,8	2,5
5	3,5	3,5	3,3	3,0
6	4,4	3,5	3,3	3,5
7	4,4	4,2	4,4	4,5
8	3,8	4,0	3,0	3,0
9	3,0	4,0	2,8	2,5
10	2,9	3,5	2,6	1,9
11	2,5	3,4	2,5	2,0
12	2,9	3,5	3,2	2,5

Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian



**Gambar 9.**

Kurva Tinggi Gelombang Maks-rata2 Selatan-Equator (perbulan)

Berdasarkan uraian di atas, kurva tinggi gelombang ekstrim rata2 (3,2 s/d 7,5 m) dan gelombang maksimum rata2 (1,9 s/d 4,5 m), maka kapal KCR 60M tidak dapat dioperasikan di beberapa daerah Lantamal sekitar Laut Arafuru (4,8 s/d 5,8 m) di antaranya adalah Lantamal IX (Ambon), Lantamal VII (Kupang), dan Lantamal XI (Merauke).

**4. Data Gelombang (H.eks)& (Hmaks)-rata2 Antar-Pulau perbulan.**

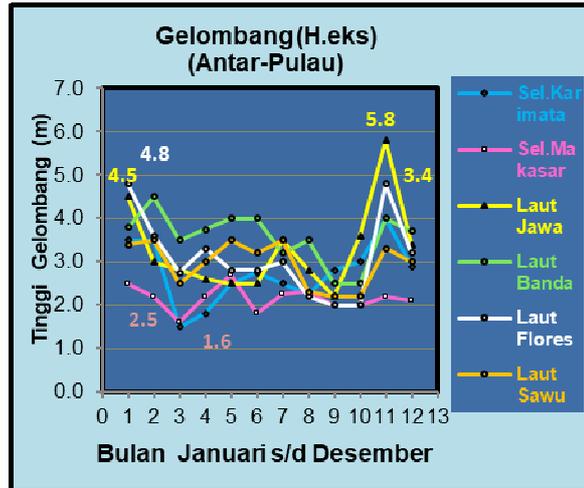
Berdasarkan Tinggi gelombang ekstrim rata2 perbulan (1,6 s/d 5,8 m) dan tinggi gelombang maksimum rata2 perbulan di wilayah Antar-Pulau perbulan seperti tertera dalam Tabel 6, maka dapat disimpulkan bahwa kapal KCR 60M dapat beroperasi di 4 (empat) dari 6 (enam) wilayah yaitu Selat Karimata, Selat Makasar, Laut Banda dan Laut Sawu. Namun KCR 60M tidak dapat beroperasi di Laut Flores (4,75 s/d 4,8) pada bulan Desember, Januari, dan Pebruari (*moosun Asia*) dan di wilayah Laut Jawa (5,8 m) pada bulan Desember (dalam *moosun Asia*).

**Tabel 6.**

Gelombang (H.eks) Antar-Pulau (perbulan).

Bln	Sel. Kari mata	Sel. Makasar	Laut Jawa	Laut Banda	Laut Flores	Laut Sawu
1	4,3	2	4,5	4,8	4,75	3,75
2	3,5	2,5	4,5	3,8	4,8	3,4
3	3,5	2,2	3,0	4,5	3,6	3,5
4	1,5	1,6	2,8	3,5	2,75	2,5
5	1,8	2,2	2,6	3,8	3,3	3
6	2,5	2,7	2,5	4,0	2,8	3,5
7	2,8	1,8	2,5	4,0	2,8	3,2
8	2,5	2,25	3,5	3,2	3	3,5
9	2,3	2,3	2,8	3,5	2,2	2,3
10	2,8	2	2,2	2,5	2	2,2
11	3,0	2	3,6	2,5	2	2,2
12	4,0	2,2	5,8	4,0	4,8	3,3

Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian



**Gambar 10.**

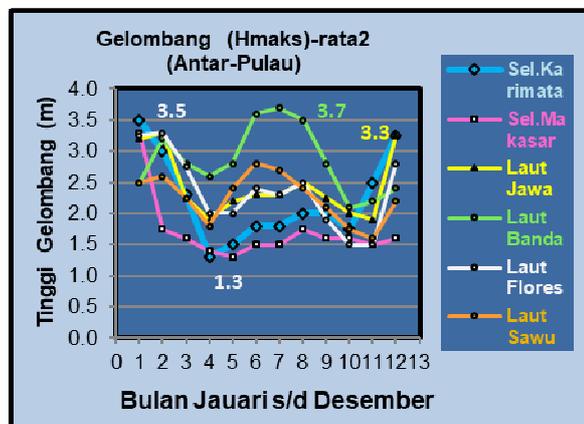
Kurva Tinggi Gelombang (H.eks)-rata2 Antar-Pulau (perbulan)

**Tabel 7.**

Gelombang (H.maks)-rata2 Antar-Pulau (perbulan).

Bln	Sel. Kari mata	Sel. Makasar	Laut Jawa	Laut Banda	Laut Flores	Laut Sawu
1	3,5	3,3	3,2	2,5	3,3	2,5
2	3,0	1,8	3,3	3,2	3,3	2,6
3	2,3	1,6	2,3	2,8	2,8	2,3
4	1,3	1,4	1,9	2,6	2,0	1,8
5	1,5	1,3	2,2	2,8	2,0	2,4
6	1,8	1,5	2,3	3,6	2,4	2,8
7	1,8	1,5	2,3	3,7	2,3	2,7
8	2,0	1,8	2,5	3,5	2,5	2,4
9	2,0	1,6	2,3	2,8	1,9	2,1
10	1,8	1,6	2,0	2,1	1,5	1,8
11	2,5	1,5	1,9	2,2	1,5	1,6
12	3,3	1,6	3,3	2,4	2,8	2,2

Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian



**Gambar 11.**

Kurva Tinggi Gelombang (H.maks)-rata2 Antar-Pulau (perbulan)

Namun secara umum berdasarkan ketinggian gelombang maksimum Antar-Pulau (1,3 s/d 3,7 m), kapal KCR 60M dapat beroperasi sepanjang tahun di 6 (enam) wilayah tersebut. Berdasarkan analisa tinggi gelombang ekstrim dan maksimum perairan Antar-Pulau, dapat disimpulkan bahwa kapal KCR 60M tidak dapat beroperasi di wilayah Lantamal yang berada di sekitar Laut Jawa (5,8 m) pada bulan Desember, Laut Banda (4,8) bulan Januari dan Laut Flores (4,75 s/d 4,8 m) bulan Desember, Januari dan Pebruari (*moonsun Asia*) diantaranya adalah Lantamal III (Jakarta), Lantamal V (Surabaya), Lantamal VI (Makasar) dan Lantamal IX (Ambon)

**5. Data Gelombang (H.eks)-rata2 Utara-Equator, Selatan-Equator serta Antar-Pulau pertahun.**

Tinggi gelombang ekstrim rata2 pertahun untuk wilayah-wilayah perairan yang ada di ke 3 (tiga) wilayah penelitian antara lain di Utara-Equator, Selatan-Equator dan Antar-Pulau dilakukan untuk mengetahui seberapa besar rata-rata ketinggian

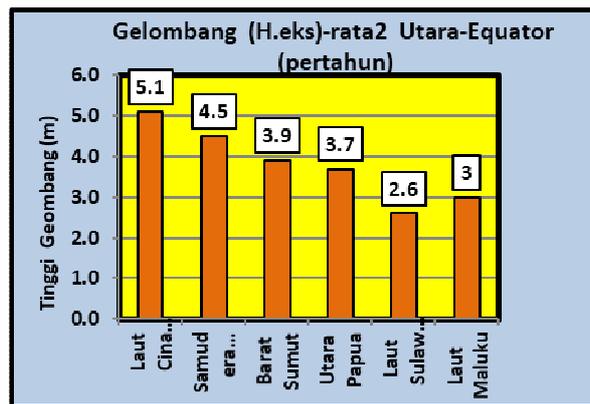
**Tabel 8.**

Gelombang (H.eks)-rata2 Utara Equator, Selatan-Equator dan Antar-Pulau (pertahun).

Utara-Eq (Eks-perthn)	Rata2	Antar-Pulau (Eks-perthn)	Rata2	Sel-Eq (Ekst-perthn)	Rata2
Laut Cina Sel.	5,1	Sel.Kari mata	2,9	Laut Arafuru	4,6
Samud. Pasific	4,5	Sel. Makassar	2,1	Selat Sunda	4,7
Barat Sumut	3,9	Laut Jawa	3,4	Selatan Jawa	3,8
Utara Papua	3,7	Laut Banda	3,7	Laut Timor	4,2
Laut Sulawesi	2,6	Laut Flores	3,2	—	—
Laut Maluku	3	Laut Sawu	3,0	—	—

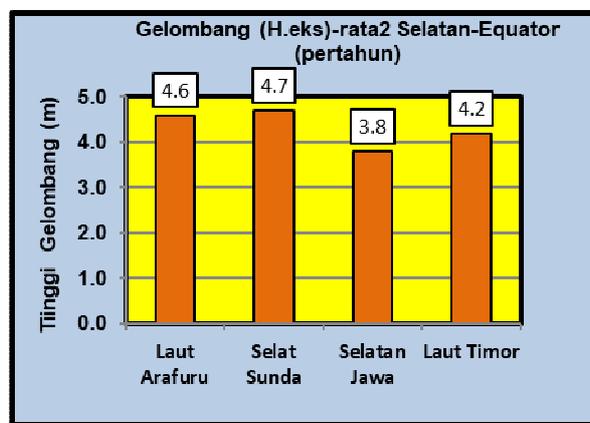
Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian

gelombang ekstrim sebagai dasar nilai yang aman dan tidak menyebabkan *over design* bagi kelas *Fast Patrol Boat*, karena lebih panjang dari kelas *Fast Patrol Boat* (50-500Ton) dengan panjang (30-70m) sudah tergolong kelas kapal *Corvette* (500-3000Ton) dengan panjang (60-128m).



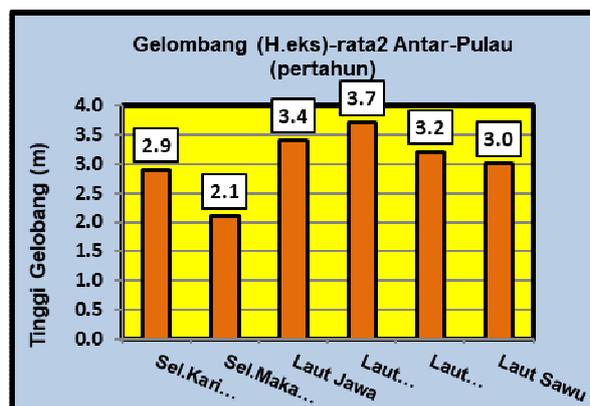
**Gambar 12.**

Tinggi Gelombang (H.eks)-rata2 Utara-Equator (pertahun)



**Gambar 13.**

Tinggi Gelombang (H.eks)-rata2 Selatan-Equator (pertahun)



**Gambar 14.**

Tinggi Gelombang (H.eks)-rata-2 Antar-Pulau (pertahun)

Sebagai pembandingan dari kapal KCR 60M kategori kapal patroli cepat (*class of patrol boats*) adalah kapal HMAS *Armidale* milik angkatan laut Australia (*Royal Australian Navy/RAN*) yang ditugaskan terutama untuk menjaga dan melindungi garis perbatasan. Kapal ini dioperasikan oleh *Australian Patrol Boat Group*, dan berbasis di pelabuhan Cairns and Darwin. Kapal HMAS *Armidale* dibuat oleh galangan kapal

Austal, Henderson, Western Australia dan diserahkan ke *Royal Australian Navy/ RAN* Juni 2005 sebanyak 2 (dua) buah<sup>12)</sup>, 2006 sebanyak 6 (enam) buah, dan 2007 sebanyak 5 (lima) buah. Kapal HMAS Armidale kelas *Fast Patrol Boat* ini mempunyai spesifikasi hampir sama dengan KCR 60M dengan panjang kapal sekitar 56,8 m seperti terlihat dalam Tabel 9.

**Tabel 9.**

Dimensi Utama HMAS Armidale dan KCR 60M

Spesifikasi Teknis	HMAS Armidale	KCR 60M
Panjang (m)	56,80	59,80
Lebar (m)	9,50	8,10
Sarat max.(m)	2,70	2,60
Displacement (Ton)	305	460
Kecepatan (Knots)	25	28
Kemampuan kinerja senjata	Sea State 4	Sea State 4
Kemampuan Navigasi & patroli	Sea State 5	Sea State 6

Sumber : [www.navy.gov.au/hmas-armidale-i](http://www.navy.gov.au/hmas-armidale-i) dan [www.navy.recognition.com/](http://www.navy.recognition.com/)



**Gambar 15.**

Kapal HMAS Armidale *Royal Australian Navy*.

Kapal HMAS Armidale dirancang untuk memenuhi *specific requirements* dari *Royal Australian Navy* dimana kapal harus mampu melakukan operasi boarding operations sampai *Sea State 4*, dan mampu melakukan operasi navigasi dan patroli hingga *Sea State 5*.<sup>13)</sup> Berdasarkan informasi tersebut di atas, dapat disimpulkan bahwa kapal KCR 60M seperti halnya HMAS Armidale juga mampu melakukan penggunaan senjata pada *Sea State 4* dan melakukan operasi Navigasi serta patroli hingga *Sea State 6* yang nampak sedikit lebih baik dari kapal HMAS Armidale.

#### E. Prediksi Panjang Kapal KCR minimal.

Untuk memprediksi seberapa besar panjang kapal KCR ideal yang aman dan mempunyai kemampuan beroperasi di gelombang ekstrim

tertinggi, maka terlebih dahulu dilakukan asumsi melalui pengambilan data gelombang ekstrim tertinggi di ke 3 (tiga) wilayah (Utara-Equator, Selatan-Equator, dan Antara-Pulau). Penentuan gelombang ekstrim tertinggi dilakukan dengan penentuan tinggi gelombang ekstrim rata2 pertahun disetiap perairan yang berada di ke 3 (tiga) wilayah yaitu Utara-Equator, Selatan-Equator, dan Antara-Pulau. Seperti yang terlihat pada Gb.12, Gb.13 dan Gb.14. Berdasarkan ke 3 (tiga) kurva tersebut gelombang ekstrim tertinggi rata2 adalah 5.1 m. Dengan menggunakan formula  $H_w = 0.61(L)^{0.5}$ , dimana  $H_w = 5,1$  m, maka panjang kapal KCR yang sesuai untuk melewati tinggi gelombang 5,1 m harus mempunyai panjang minimal  $69,90m \approx 70m$  atau  $\geq 70m$ .

#### SIMPULAN

Hasil perhitungan prediksi tinggi gelombang maksimum yang dapat dilalui oleh kapal KCR 60M adalah 4,73 m. Sedangkan hasil analisa tinggi gelombang di wilayah perairan Indonesia di atas 4,73 m adalah terjadi di Utara-Equator antara 4,8 hingga 7,2 m yaitu di Laut Cina Selatan, Samudera Pasific dan Barat Sumatera Utara meliputi Lantamal II (Padang), Lantamal IV (Tanjung Pinang) dan Lantamal XII (Pontianak) dalam periode *moonsun Asia*, Lantamal XIV (Sorong), dan Lantamal X (Jayapura) di *moonsun* peralihan. Sedangkan di Selatan-Equator tinggi gelombang antara 4,8 hingga 7,5 m terjadi di Laut Arafuru, Selat Sunda dan Laut Timor meliputi Lantamal IX (Ambon), Lantamal VII (Kupang), dan Lantamal XI (Merauke) dalam 2 (dua) periode *moonsum Asia* dan Australia serta Lantamal III pada pertengahan *moonsun Australia* (Agustus). Sedangkan gelombang di perairan Antar-Pulau antara 4,75 hingga 5,8m yaitu di Laut Jawa, Laut Banda, dan Laut Flores meliputi Lantamal III (Jakarta), Lantamal V (Surabaya), Lantamal VI (Makasar), dan Lantamal IX (Ambon) khususnya pada periode *moonsun Asia*. Berdasarkan kurva gelombang ekstrim dapat diprediksi tinggi gelombang ekstrim rata2 adalah sebesar 5,1m. Sehingga dapat diprediksi pula panjang minimum kapal KCR 60M yang aman melampaui tinggi gelombang 5,1m adalah 70m ditinjau dari sisi kekuatan memanjang akibat beban momen lengkung yang menyebabkan beban Hogging maupun Sagging.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan puji syukur kepada yang Maha Esa pada akhirnya telah terselesaikan Karya Tulis Ilmiah ini dengan baik. Tak lupa rasa terima kasih kepada teman-teman dari Direktorat Pusat Teknologi

Industri Pertahanan dan Keamanan-BPPT satu team kapal KCR atas info dan kerjasamanya serta terimakasih pula atas bantuan informasi dari BMKG yang sangat berguna dalam penelitian ini. Semoga informasi penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang berkepentingan.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Yen Yi Loo, et al.. *Effect of climate change on seasonal monsoon in Asia and its impact on the variability of monsoon rainfall in Southeast Asia*, China University of Geosciences, Beijing, 2016.
2. Tom Ainsworth, *Significant Wave Height*, National Weather Service (NWS) of NOAA, Juneau, Alaska, January 6, 2015.
3. Bayong, Tj.H.K.. *Sains atmosfer*, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta, 2008.
4. Roni Kurniawan, M. Najib Habibie, Suratno, *Variasi Bulanan Gelombang Laut Indonesia*, Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG, Jakarta, 2011.
5. The International Association of Classification Societies (IACS), 2010, *Recommendation No. 34, Standard Wave Data*, IACS, [www.iacs.org.uk](http://www.iacs.org.uk).
6. Claude Daley, *Longitudinal Strength & Wave Bending Moments*, Ship Structures, Faculty of Engineering and Applied Science, Memorial University, Canada, 2013, p.60-65.
7. Craig B. Smith, *Extreme Waves and Ship Design*, 10th International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures, Texas, USA, 2009.
8. WMO., *The SeaState and The Swell of The Sea*, Weather Meteorological Office Fact Sheet 6, accessed 24 Sept 2012.
9. David Raja Marpaung, *Analisis Kekuatan Angkatan Laut Indonesia*, 2016, <https://indonesiadefenseanalysis.blogspot.co.id/2016/05/analisis-kekuatan-angkatan-laut.html>
10. Roni Kurniawan, M. Najib Habibie dan Donald S.Permanaat. *Kajian Daerah Rawan Gelombang Tinggi Di Perairan Indonesia*, Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG, Jakarta, 2012.
11. NOAA. *The Statistical Distribution Of Wave Heights*, National Weather Service Forecast Office, Juneau, AK, 2016.
12. Saunders, *IHS Jane's Fighting Ships 2012–2013*, p. 33
13. Heron, Wesley and Powell, *Welcome to the Armidale Class*. Papers in Australian Maritime Issues, 2006, p. 130.