

## Pengaruh Kekasaran Permukaan (Ribblet) terhadap Pengurangan Hambatan Kapal

Gunawan, M. Baqi dan Yanuar

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia,

Kampus UI Depok, 16424, Indonesia

Email :gunawan\_kapal@eng.ui.ac.id

### Abstrak

Penggunaan energi pada alat transportasi menarik untuk diteliti dalam rangka efisiensi bahan bakar. Penelitian tentang pengurangan hambatan terus dilakukan untuk pengembangan aplikasi yang bermanfaat bagi umat manusia di masa depan. Kapal patroli merupakan jenis kapal cepat yang berfungsi untuk menjaga keamanan dan mencegah terjadinya penyelundupan lewat perairan. Pada umumnya kapal patroli memiliki hambatan yang sangat besar dikarenakan dioperasikan pada kecepatan tinggi. Penambahan kekasaran khusus (ribblet) merupakan suatu metode yang menarik diteliti agar dapat mengurangi hambatan gesek. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui efek dari penambahan kekasaran permukaan (ribblet) terhadap hambatan total kapal model. Kapal model dari tipe FPB 57 milik TNI AL dimensi  $L=2,5$  m,  $B=0,3$  m dan  $T=0,12$  m digunakan untuk pengujian pengaruh kekasaran permukaan khusus. Variasi bentuk ribblet berupa cekungan setengah lingkaran, cekungan kubikal dan cekungan segi tiga akan dibandingkan. Perbandingan model kapal dengan dan tanpa ribblet ditunjukkan pada grafik sebagai fungsi bilangan Froudes terhadap koefisien hambatan dan nilai pengurangan hambatan (drag reduction). Bentuk ribblet akan mempengaruhi besar hambatan kapal model yang terjadi. Dengan konfigurasi bentuk ribblet yang tepat, diharapkan terjadi pengurangan hambatan total kapal model pada range kecepatan atau bilangan Froudes tertentu.

**Kata kunci:** kekasaran khusus (ribblet), hambatan total kapal, kapal model FPB 57, bilangan Froudes, drag reduction.

### Pendahuluan

Penelitian tentang pengurangan hambatan kapal menjadi topik yang menarik. Dalam pengoperasiannya, semakin hemat bahan bakar yang dikeluarkan semakin untung pemilik kapal. Metode pengujian dengan kapal model yang dilakukan didalam tangki percobaan (towing tank) sangat baik dan umum dilakukan oleh para peneliti dunia karena penelitian kapal skala penuh tidak dimungkinkan. Pengujian model kapal dalam tangki percobaan bertujuan untuk dapat mengetahui hambatan total kapal dalam segala kondisi dan karakteristik sistem propulsinya. Teknik dasar yang dipakai pertama kali ditemukan oleh Froude pada akhir 1800-an. Model didorong dengan kecepatan  $V$  sehingga mendapatkan koefisien hambatan gelombang atau bilangan tidak berdimensi  $Froude = V/\sqrt{gL}$ , dimana  $L$  adalah panjang dan koefisien hambatan gesek atau bilangan tidak berdimensi  $Reynolds = \rho VL/\mu$  yang dapat dibandingkan dengan kapal skala penuh bila memenuhi hukum kesamaan tidak berdimensi (non-dimension law). Hambatan total kapal skala penuh akan dapat diperkirakan. Vogel dan Patterson [1] menyimpulkan bahwa efek reduksi drag dapat dihasilkan pada lambung kapal

dengan menyemprotkan larutan polimer kental dari lokasi dekat hidung kapal. Vogel dan Patterson menyemprotkan larutan poly (ethylene oxide) pada berbagai macam bobot molekul dan konsentrasi dari sebuah slot dekat hidung kapal yang berdiameter 5,08 cm dan panjangnya 41,3 cm. Mereka menemukan reduksi drag terukur dalam saluran air. Pengurangan hambatan terbesar terjadi dengan menyemprotkan larutan Polyox WSR-301 berkonsentrasi 500 ppm.

Ujicoba pada kapal skala penuh dengan panjang 140 kaki, H.M.S. Highburton, dimana hasil uji coba tersebut dilaporkan oleh Canham [2]. Dengan menambahkan poly (ethylene oxide) sebesar 10 ppm, diperoleh reduksi drag yang signifikan yaitu sebesar 12,7%. Pengujian ini dilakukan pada permukaan kulit kapal yang telah dikasarkan. Pada konsentrasi lapisan batas yang sama, daya mesin yang diperlukan untuk menghasilkan kecepatan 9 knots berkurang sebesar 17%. Penggunaan polimer pereduksi drag pada kapal skala penuh menjanjikan metode penambahan kecepatan dan daya dorong kapal.

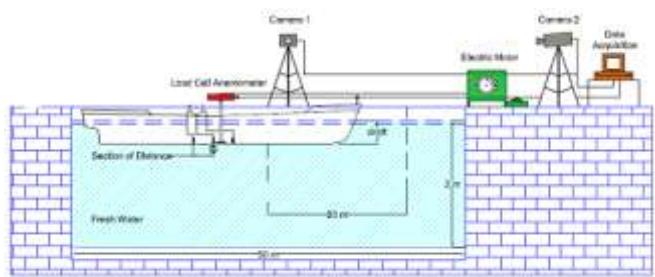
Modifikasi dari permukaan benda untuk mengatasi turbulensi dinamakan pasif kontrol. Hasil dari percobaan untuk mengurangi tingkat turbulensi yang terjadi pada batas padat permukaan menunjukkan pengurangan

hambatan sebesar 7 % terjadi untuk *riblets rib* memanjang alur-V tertentu. Pada permukaan bola golf yang di kasarkan menghasilkan arus ikut (*wake*) yang terbentuk di belakang aliran mengecil sehingga menghasilkan lintasan bola golf tersebut lebih jauh. Aktif kontrol merupakan metode yang paling efektif untuk mendapatkan pengurangan hambatan pada lambung kapal, kapal selam dan torpedo dengan aplikasi menggunakan cat jenis polimer untuk mengurangi hambatan gesek, sehingga laju kecepatan kapal akan meningkat. Penggunaan gelembung mikro menjadi salah satu hal yang menarik untuk diteliti. Pengaruh pengurangan hambatan menggunakan gelembung mikro menjadi salah satu metode yang menjanjikan sebagai bagian solusi dari masalah pengurangan pemakaian energy

Metode pengurangan hambatan dengan modifikasi kekasaran permukaan berdasarkan fenomena yang terjadi pada kulit ikan hiu telah diteliti oleh Brian Dean and Bharat Bhushan [3]. Ikan hiu dapat berenang dengan kecepatan tinggi dikarenakan pada permukaan kulit membentuk alur kekasaran tertentu (*ribblet*).

Penelitian sebelumnya pernah dilakukan oleh Yanuar, Gunawan dan kawan-kawan [4-9]. Penelitian sebelumnya merupakan penelitian tentang usaha mengurangi hambatan kapal menggunakan biopolimer lendir ikan dan penggunaan gelembung udara. Hasil penelitian tersebut menunjukkan hasil yang bagus yaitu terjadi pengurangan hambatan hingga 12%.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui efek dari penambahan kekasaran permukaan (*ribblet*) terhadap hambatan total kapal model. Kapal model dari tipe FPB 57 milik TNI AL dimensi  $L=2,5$  m,  $B=0,3$  m dan  $T=0,12$  m digunakan untuk pengujian pengaruh kekasaran permukaan khusus. Variasi bentuk *ribblet* berupa cekungan setengah lingkaran, cekungan kubikal dan cekungan segi tiga akan dibandingkan. Perbandingan model kapal dengan dan tanpa *ribblet* ditunjukkan pada grafik sebagai fungsi bilangan Froudes terhadap koefisien hambatan dan nilai pengurangan hambatan (drag reduction). Bentuk *ribblet* akan mempengaruhi besar hambatan kapal model yang terjadi. Dengan konfigurasi bentuk *ribblet* yang tepat, diharapkan terjadi pengurangan hambatan total kapal model pada range kecepatan atau bilangan Froudes tertentu.



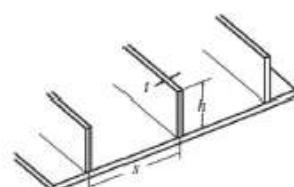
**Gambar 1.** Rancangan alat uji

Gambar 1 eksperimental set up yang terdiri dari motor listrik, load cell anemometer, kapal model, 2 buah kamera high speed, tali penarik dan data akusisi. Pengujian dilakukan di kolam percobaan dengan panjang 50 m, lebar 20 m, dan kedalaman air 2 m. Percobaan dilakukan untuk bilangan Froude sampai dengan 0,6. Model ini terhubung ke transduser load cell dengan kapasitas beban maksimum sebesar 5 kg pada satu titik di bagian tengah kapal dan vertikal di atas base line. Hal ini memungkinkan kapal model untuk bergerak bebas dalam bidang vertikal. Hambatan total diukur untuk masing-masing percobaan selama rentang bilangan Froude tertentu.

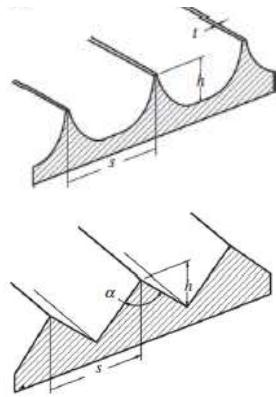
Pengukuran gaya komponen hambatan berdasarkan variasi kecepatan dan konfigurasi bentuk *ribblet*. Dalam hal ini termasuk mengamati hambatan kapal model tanpa dilakukan kekasaran khusus. Komponen hambatan, Komponen hambatan gelombang akan diperoleh dari hasil uji di towing tank. Sedangkan komponen hambatan gesek diperoleh melalui formulasi ITTC correlation line (Cf) bersama dengan faktor bentuk (1+k). Cf merupakan pendekatan gaya gesekan terhadap bidang datar sedangkan faktor bentuk (form factor) digunakan untuk memperhitungkan 3-dimensi bentuk lambung kapal, termasuk efek bentuk lambung kapal atas pertambahan lapisan batas dan juga komponen hambatan viskos (kekentalan). Total hambatan lambung kapal diukur dengan load cell transducer.



**Gambar 2.** Peletakan ribblet di kapal model



## Ekperimental Set-up



### a. Variasi bentuk ribblet

**Gambar 3.** Penampang bentuk ribblet dan peletakannya di kapal model

Gambar di atas adalah konfigurasi bentuk ribblet pada kapal model. Tidak semua badan kapal ditambahkan kekasaran khusus, melainkan hanya daerah tertentu dari haluan kapal. Bentuk ribblet yang digunakan divariasikan menjadi 2 macam, yaitu bentuk penampang setengah lingkaran bentuk penampang kubikal atau kotak dan segitiga.

### Analisis

Hambatan total kapal adalah:

$$R_T = R_f + R_r \quad (1)$$

Dimana  $R_T$  adalah hambatan total kapal,  $R_f$  adalah hambatan gesek dan  $R_r$  adalah hambatan sisa.

Hambatan total kapal didapatkan dari persamaan:

$$R_T = \frac{1}{2} C_T \rho V^2 S \quad (2)$$

Dimana  $C_T$  adalah koefisien hambatan total kapal,  $\rho$  adalah massa jenis air and  $S$  adalah luas bidang basah kapal.

$R_T$  didapatkan dari pembacaan hasil uji tarik dengan load cell transducer.

Koefisien hamtan total adalah:

$$C_T = C_r + (1+k)C_f \quad (3)$$

Dimana  $C_T$  adalah koefisien hambatan total,  $C_r$  adalah koefisien hambatan sisa,  $C_f$  adalah koefisien hambatan gesek dan  $(1+k)$  adalah faktor bentuk kapal.

Formulasi Reynolds number :

$$Re = \frac{VL}{v} \quad (4)$$

Dimana  $V$  adalah kecepatan kapal,  $L$  adalah panjang kapal,  $v$  adalah viskositas kinematik air.

Froudes number :

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (5)$$

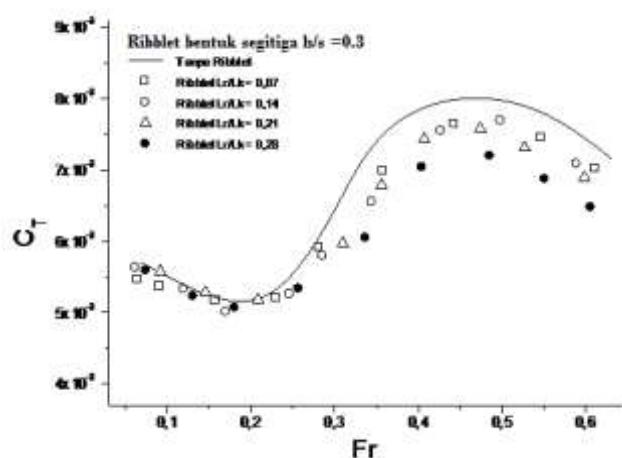
Dimana  $g$  adalah percepatan gravitasi.

Drag reduction pada kapal didefinisikan sebagai berikut:

$$DR(\%) = \left| \frac{C_T - C_{TO}}{C_{TO}} \right| \times 100\% \quad (7)$$

$C_{TO}$  adalah koefisien hambatan total tanpa ribblet.

### Hasil dan Pembahasan



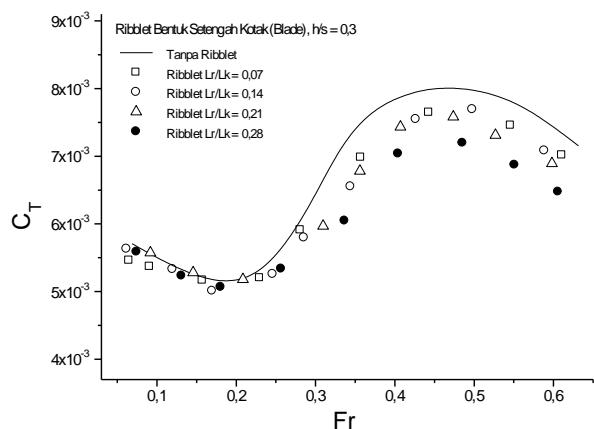
**Gambar 4.** Hubungan koefisien hambatan total dengan bilangan Froude

Gambar 4 memperlihatkan hubungan koefisien hambatan total dengan bilangan Froude. Kapal model yang diuji yaitu kapal patroli FPB 57. Pengujian dilakukan pada rentang bilangan Froude 0,05 hingga 0,65. Pengujian dilakukan mulai pada kecepatan rendah (bilangan froude kecil) hingga kecepatan tinggi dimaksudkan untuk melihat karakteristik koefisien hambatan total yang terjadi. Data kapal tanpa ribblet digunakan sebagai pembanding. Variasi konsentrasi ribblet dinyatakan dalam rasio luas penampang ribblet dengan luas bidang basah kapal model. Rasio luas divariasikan menjadi 4 bagian yaitu 0,07; 0,14; 0,21 dan 0,28. Variasi ini dimaksudkan untuk mengetahui sampai sejauh mana pengaruh penambahan ribblet hingga mendekati 30% dari luas total luas bidang basah lambung kapal. Gambar 4 tersebut merupakan data koefisien hambatan total dengan penambahan ribblet

bentuk segi tiga dengan nilai rasio tinggi per lebar ribblet adalah 0,3. Terlihat bahwa data koefisien hambatan total untuk rentang bilangan Froude rendah yaitu dari 0,05 hingga 0,25 tidak menunjukkan adanya perbedaan yang berarti. Penambahan ribblet pada lambung kapal pada berbagai konsentrasi rasio luas tidak mengalami perbedaan pada nilai koefisien hambatan total. Dengan kata lain tidak ada perubahan yang berarti penambahan ribblet bentuk scalloped pada kecepatan rendah ( $Fr < 0,25$ ).

Data koefisien hambatan total setelah melewati  $Fr = 0,25$  menunjukkan adanya perbedaan dibanding dengan kapal tanpa ribblet. Terlihat nilai koefisien hambatan total kapal dengan ribblet lebih rendah dibanding kapal tanpa ribblet. Data terrendah terjadi pada ribblet dengan konsentrasi luas 0,28. Semakin besar bilangan Froude akan semakin besar pula gap antara koefisien hambatan total kapal tanpa ribblet dibandingkan kapal dengan ribblet. Kecepatan kapal patroli pada umumnya sekitar 22 – 25 knot sehingga tinjauan kita berapa pada rentang bilangan Froude 0,45 – 0,65. Mekanisme pengurangan hambatan dengan modifikasi kekeasaran khusus (ribblet) pada permukaan bidang yaitu untuk membuat turbulensi yang teratur. Aliran fluida melewati sebuah permukaan akan menyebabkan boundary layer tertentu. Pada lapisan viskos layer, umumnya terjadi turbulensi yang acak membentuk sumbu banyak sehingga tidak beraturan. Turbulensi yang terbentuk pada zona viskos layer tersebut akan mempengaruhi daerah buffer layer sehingga hambatan benda yang melewati fluida tersebut akan semakin berat. Kekasaran dengan pola-pola tertentu akan membentuk turbulensi yang teratur dalam sumbu yang beraturan sehingga akan mengurangi besarnya tegangan geser. Tegangan geser yang kecil akan memperkecil pula hambatan aliran.

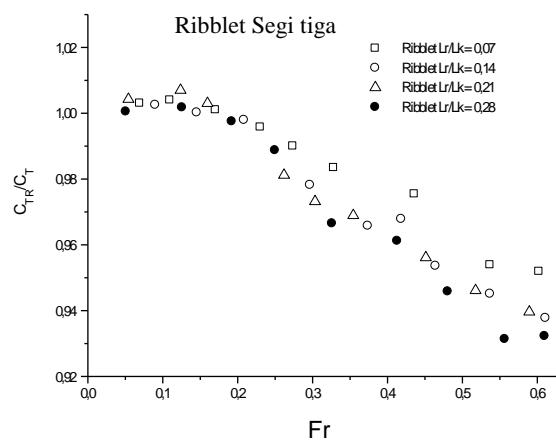
Modifikasi kekasaran permukaan sebenarnya sudah dilakukan dan masih dikembangkan secara terus menerus. Masih banyak celah ide-ide baru yang memungkinkan untuk memperkaya hasil penelitian tentang pengurangan hambatan aliran dengan modifikasi kekasaran. Ukuran ribblet, bentuk ribblet, rasio-rasio ukuran tertentu merupakan hal-hal yang masih dapat terus diteliti untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.



**Gambar 5. Hubungan koefisien hambatan total dengan bilangan Froude**

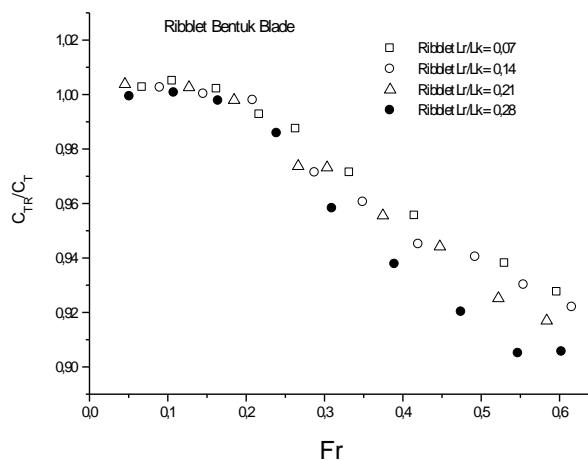
Gambar 5 memperlihatkan hubungan koefisien hambatan total dengan bilangan Froude pada kapal dengan ribblet bentuk kotak (blade). Kapal model yang diuji yaitu kapal patroli FPB 57. Pengujian dilakukan pada rentang bilangan Froude 0,05 hingga 0,65. Trend grafik yang dihasilkan hampir sama dengan ribblet bentuk scalloped. Terlihat bahwa data koefisien hambatan total untuk rentang bilangan Froude rendah yaitu dari 0,05 hingga 0,25 tidak menunjukkan adanya perbedaan yang berarti. Penambahan ribblet pada lambung kapal pada berbagai konsentrasi rasio luas tidak mengalami perbedaan pada nilai koefisien hambatan total. Dengan kata lain tidak ada perubahan yang berarti penambahan ribblet bentuk scalloped pada kecepatan rendah ( $Fr < 0,25$ ).

Data koefisien hambatan total setelah melewati  $Fr = 0,25$  menunjukkan adanya perbedaan dibanding dengan kapal tanpa ribblet. Terlihat nilai koefisien hambatan total kapal dengan ribblet lebih rendah dibanding kapal tanpa ribblet. Data terrendah terjadi pada ribblet dengan konsentrasi luas 0,28. Perbedaan terlihat pada penggunaan ribblet bentuk blade. Nilai koefisien hambatan total lebih rendah dibanding ribblet bentuk segi tiga. Hal ini dimungkinkan bahwa pada ribblet bentuk blade akan membentuk turbulensi teratur yang lebih sempurna dibanding pada ribblet bentuk segi tiga. Hal ini beresuaian dengan aplikasi hambatan aliran dalam pipa. Dimana nilai kerugian aliran dalam pipa bulat akan lebih besar dibanding pipa kotak. Ribblet bentuk blade akan lebih mampu mengurangi terjadinya turbulensi acak sehingga turbulensi yang terjadi akan lebih teratur dibanding ribblet segi tiga.



**Gambar 6.** Rasio Koefisien Hambatan Total Kapal Model dengan Ribblet dan Tanpa Ribblet

Gambar 6 menunjukkan rasio koefisien hambatan total kapal model dengan penambahan ribblet dan tanpa ribblet. Gambar ini menunjukkan besarnya pengurangan hambatan yang terjadi. Pengurangan hambatan mulai terjadi pada bilangan Froude 0,25. Pada bilangan Froude tersebut kecepatan kapal berada pada kisaran 12 knot. Namun, pengurangan hambatan pada bilangan Froude 0,25 masih sangat kecil hanya sekitar 3,5%. Disamping itu, kapal patroli tidak lazim dioperasikan pada kecepatan tersebut. Pada kecepatan servis yaitu sekitar 24 knot berada pada bilangan Froude 0,55. Hasil menunjukkan bahwa terjadi pengurangan hambatan pada kapal dengan ribblet bentuk scalloped mencapai 8% pada bilangan Froude 0,55. Setelah melewati bilangan Froude 0,55, nilai drag reduction cenderung konstan atau tidak mengalami penambahan lagi. Hal ini dimungkinkan karena kecepatan aliran sudah sangat tinggi sehingga faktor penambahan ribblet sudah tidak memberikan keuntungan lebih banyak.



**Gambar 7.** Rasio Koefisien Hambatan Total Kapal Model dengan Ribblet dan Tanpa Ribblet  
Gambar 7 menunjukkan rasio koefisien hambatan

total kapal model dengan penambahan ribblet dan tanpa ribblet. Gambar ini menunjukkan besarnya pengurangan hambatan yang terjadi. Pengurangan hambatan mulai terjadi pada bilangan Froude 0,25. Trend drag reduction untuk ribblet bentuk blade memiliki kesamaan dengan ribblet bentuk scalloped. Namun, ketajaman kurva sedikit berbeda. Dimana untuk data drag reduction ribblet bentuk blade lebih tajam dibanding bentuk scalloped. Pada bilangan Froude 0,55 ribblet bentuk blade ini mampu menghasilkan drag reduction sebesar 10% atau 2% lebih besar daripada bentuk scalloped.

## Kesimpulan

Modifikasi bentuk permukaan benda mampu menghasilkan pengurangan hambatan aliran. Modifikasi permukaan benda dengan kekasaran khusus disebut dengan istilah ribblet. Bentuk ribblet mempengaruhi besarnya pengurangan hambatan. Nilai koefisien hambatan total kapal dengan ribblet bentuk kotak (blade) lebih rendah dibanding ribblet bentuk segi tiga. Hal ini dimungkinkan bahwa pada ribblet bentuk blade akan membentuk turbulensi teratur yang lebih sempurna dibanding pada ribblet bentuk scalloped. Hal ini bersesuaian dengan aplikasi hambatan aliran dalam pipa. Dimana nilai kerugian aliran dalam pipa bulat akan lebih besar dibanding pipa kotak. Ribblet bentuk blade akan lebih mampu mengurangi terjadinya turbulensi akhir sehingga turbulensi yang terjadi akan lebih teratur dibanding ribblet segi tiga.

## Ucapan Terima kasih

Riset ini didanai oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Universitas Indonesia melalui skema Riset Awal UI 2013.

## Referensi

1. Vogel, M.M., and Patterson.A.M., "An Experimental Investigation of The Effects of Additives Injected into The Boundary Layer of An Underwater Body." Proc. 5<sup>th</sup> Symposium on Naval Hydrodynamics. Bergen, ONR – ACR – 112, 1964. P. 975.
2. Canham, H.J.S., Cathchpole, J.P., and Long, R.F., "Boundary Layer Additives to Reduces Ship Resistance."
3. Brian Dean and Bharat Bhushan, "Shark-skin surfaces for fluid-drag reduction in turbulent flow: a review", *Phil. Trans. R. Soc. A* 2010 368, 4775-4806, doi: 10.1098/rsta.2010.0201.
4. Yanuar, Gunawan, and M. Baqi "Characteristics of Drag Reduction by Guar Gum in Spiral Pipe".

- Journal of Technology. University  
Technology Malaysia. Volume 58. Page:  
95-99. 2012
5. Yanuar, N. Putra, Gunawan, M. Baqi. "Flow  
and Convective Heat Transfer  
Characteristics of Spiral Pipe For  
NanoFluids" . IJRRAS. Arpapress.Vol 7  
Issue 3 page 236 – 248. 2011
  6. Watanabe, K., Yanuar, Udagawa, H., 1997-5.,  
"Drag Reduction of Newtonian Fluids in a  
Circular Pipe with Highly Water-Repellent  
Walls". The 3rd International Symposium on  
Performance Enhancement for Marine  
Applications. Newport, Rhode Island,  
p.157-162.
  7. Yanuar and Watanabe K. July 2004. "Toms  
effect of guar gum additive for crude oil in  
flow through square ducts." The 14<sup>th</sup>  
international symposium on transport  
phenomena. Bali Indonesia. Elsevier. P.599 –  
603.
  8. Yanuar, Budiarso, Gunawan, M.Baqi.  
"Velocity Distribution of Mud Slurry in  
Curved Spiral Pipes" . International Journal  
of Fluid Mechanics Research, Begell  
House.Vol 38 Issue 3. page 259 – 271. 2011
  9. Yanuar, Gunawan, Sunaryo and A.  
Jamluddin "Micro-bubble Drag Reduction on  
a High Speed Vessel Model". Journal of  
Marine and Science Application. (2012) 11:  
pp. 301-304