

PENGURANGAN HAMBATAN (*DRAG REDUCTION*) ALIRAN DALAM PIPA

Yanuar

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik.
Universitas Indonesia, Depok 16424
Email: Yanuar@eng.ui.ac.id

Abstrak

Pengurangan pemakaian energi yang terjadi pada sistem transportasi dengan menggunakan jaringan pipa sangat penting diketahui. Jenis fluida, jenis pipa, ukuran, geometris, kecepatan, kekasaran permukaan, adalah sebagai fungsi dari nilai kerugian tekanan. Penemuan dan realisasi secara gradual mengenai larutan polimer encer yang mempunyai sifat hambatan gesek turbulen yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan pelarut murni dan pemakaian zat penolak air pada dinding pipa agar tidak bisa dibasahi oleh cairan telah menjadi materi penelitian dalam komunitas dinamika fluida. Tujuan utama studi referensi ini adalah mengetahui sifat aliran turbulen larutan biopolimer encer getah latex (guar gum) dan efek dinding yang tidak bisa dibasahi oleh cairan. Secara eksperimen telah diketahui bahwa pada konsentrasi kecil, dalam satuan ppm, larutan biopolimer dapat mereduksi hambatan gesek dalam aliran turbulen sebesar 60% lebih rendah dibandingkan dengan pelarut murni dan 15% lebih rendah pada aliran laminar untuk coating zat penolak air. Nilai derajat sifat aliran Non-Newtonian (Power law exponent), $n' = 0.6 - 0.65$ untuk konsentrasi 500 ppm guar gum.

Kata kunci : drag reduction, koefisien gesek, turbulen, laminar, biopolimer, zat penolak air, guar gum.

Pendahuluan

Tantangan dunia mengenai problem pemanasan global, perubahan iklim dan penghematan pemakaian energi sangat penting untuk terus diteliti oleh para ilmuwan didunia ini. Metode-metode baru terus diciptakan dan metode lama terus dikembangkan. Kerugian tekanan pada suatu sistem aliran fluida yang terjadi didalam pipa maupun diluar pipa sangat penting untuk diminimalkan dan dicari nilai dioptimasi pada sistem sesuai dengan kegunaanya. Pengurangan pemakaian energi dikenal dengan istilah *Drag Reduction (DR)* adalah pengurangan hambatan gesek terjadi akibat pergesekan diantara lapisan kekentalan fluida dan sistem aliran yang dibentuknya. Contoh volume/kecepatan fluida yang keluar dari sistem perpipaan akan bertambah besar pada gradient kerugian tekanan persatuhan panjang konstan. Dengan kata lain kapasitas aliran yang diinginkan dapat tercapai dengan menggunakan energi yang lebih kecil. Phenomena DR ini terjadi sulit dijelaskan dengan singkat karena banyak faktor yang saling berinteraksi dalam sistem. DR terjadi pada suatu sistem bila mempunyai nilai koefisien gesek (f) atau koefisien hambatan (C_d) yang lebih kecil untuk masing-masing pada aliran didalam pipa atau aliran luar pipa bila dibandingkan dengan standarnya. Dari data penelitian-penelitian terdahulu didapatkan nilai koefisien gesek (f) sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor misalnya geometris pipa, jenis fluida, diameter, panjang pipa, bilangan Reynolds, konsentrasi additive, getaran, dan aliran yang terjadi/dibentuk oleh sistem aliran itu sendiri yang terjadi didalam pipa. Untuk nilai koefisien hambatan (*Coefficient drag*) dipengaruhi oleh geometris penampang, kekasaran khusus permukaan, jenis fluida, bilangan Reynolds, lokasi titik pisah aliran (*separation point*), konsentrasi additive, dan wake aliran yang terjadi/dibentuk oleh sistem aliran itu sendiri disekitar benda. Sejauh ini mekanisme/analisa terjadinya DR sangat kompleks dan sulit untuk dijelaskan secara pasti oleh para peneliti karena keterbatasan metode pengukuran pusaran (*vortex*) pada aliran, juga akibat interaksi pola aliran yang disebabkan dari variasi pola aliran untuk masing-masing sistem sangat berbeda.

Analisa penurunan persamaan untuk aliran lambat (*laminar*) banyak dilakukan untuk bermacam geometris pipa dengan pertolongan formula dari Navier-Stokes dengan asumsi kecepatan yang terjadi pada batas padat (dinding) adalah nol (*exact solution*). Namun untuk aliran kritis (*transition*) dan aliran acak (*turbulent*) dapat dilakukan dengan analisa permodelan aliran atau didapat dari data hasil percobaan sebagai dasar menganalisa persamaannya.

Dalam proses pemindahan fluida terjadi kerugian yang menyebabkan adanya energi atau tekanan yang hilang akibat pergesekan diantara lapisan kekentalan (*viscosity*) dalam fluida nyata adanya tegangan geser dimana efek batas padat dinding akan memperlambat gerakan aliran fluida. Kecepatan

maximum terjadi pada sumbu saluran untuk aliran didalam pipa dan terjadi diluar lapisan batas (*boundary layer*) pada aliran luar.

Metzner (1961) mengklasifikasikan fluida ke dalam 4 model golongan : *Newtonian*, *Bingham*, *Pseudoplastic*, dan *Dilatant* yang masing-masing golongan mempunyai sifat yang berbeda. Karakteristik Aliran fluida *Non-Newtonian* dijelaskan dengan :

Shear Thinning, *shear thickening viscosity*, *viscoplasticity*, *thixotropy*, *rheopetic* dan *viscoelasticity*. (*time-dependent* dan *shear-dependent flow characteristics*).

Karakteristik kurva aliran fluida *Non-Newtonian* dikembangkan didalam ilmu *rheology* yang mempelajari ilmu deformasi yang terjadi didalam aliran fluida. Perubahan viskositas dalam sistem aliran fluida sangat penting untuk diketahui terhadap perubahan gradient kecepatan (shear rate) dan hubungan shear stress dengan shear rate yang tidak proportional. Informasi kurva aliran ini sangat diperlukan untuk digunakan dalam memilih tipe pompa/kompresor yang tepat sesuai dengan jenis fluidanya agar penghematan energi (DR) akan didapatkan dan kerusakan jenis fluida tertentu akibat terkena langsung pergesekan mekanik dari impeller dapat dihindari.

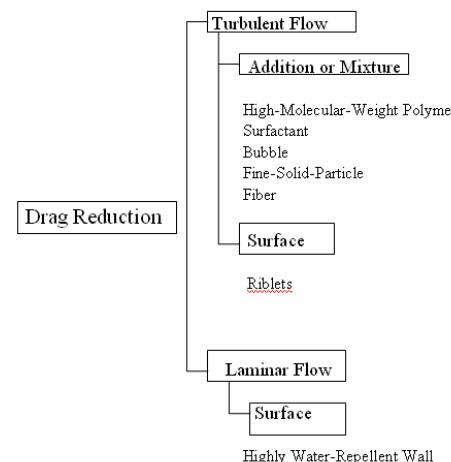
Drag reduction dan pencapaiananya untuk aliran dalam pipa terdiri dari :

1. Aliran Turbulen dihasilkan berbagai cara antara lain dengan penambahan sedikit zat polimer, surfactance, fibre, partikel gelembung udara, partikel padat ke dalam zat pelarut, melapisi permukaan dengan polimer dan variasi kekasaran geometri permukaan (*Riblet*, *parallel grooves*).
2. Aliran Laminer ialah melapisi dinding permukaannya dengan bahan zat penolak air (*highly water repellent wall*) agar $u_{dinding} \neq 0$ terjadi slip pada permukaan dinding dan mempertahankan stabilitas aliran laminer (*suction*, *injection*, dan *heating*).

Tujuan studi referensi ini adalah mereview sifat aliran turbulen larutan biopolimer encer getah latex (*guar gum*) dan efek dinding yang tidak bisa dibasahi oleh cairan. Penambahan additive biopolimer *guar gum* (getah latex) kedalam air dengan variasi konsentrasi (ppm) berikut kurva alirannya, efek permukaan pipa yang dicoating dengan zat penolak air (*highly water repellent wall*) dimana fluida tidak dapat menempel pada dinding telah diteliti. Pengukuran viskositas sesaat (*apparent viscosity*) larutan getah latex dengan variasi diameter pipa kapiler didapatkan jenis model fluida plastik semu (*pseudoplastics*) dimana viskositas akan menurun pada kenaikan gradient kecepatan (*shear rate*).

Drag Reduction

Salah satu kontribusi pertama untuk identifikasi kemampuan reduksi drag dengan *Polyethylene oxide* (*PEO*) oleh Dr.A.G. Fabula, sebagai material paling efektif untuk reduksi drag. Hanya dibutuhkan beberapa ppm larutan poly untuk menurunkan koefisien gesekan. *Polyethylene oxide* telah menjadi material standar untuk studi pengurangan turbulensi. Sampai saat ini, paper tentang efek reduksi drag telah hadir dalam jurnal untuk *rheologist*, ahli kimia, teknologi permifyakan, dan fenomena ini hadir dalam literatur hidrodinamika (perkapalan).

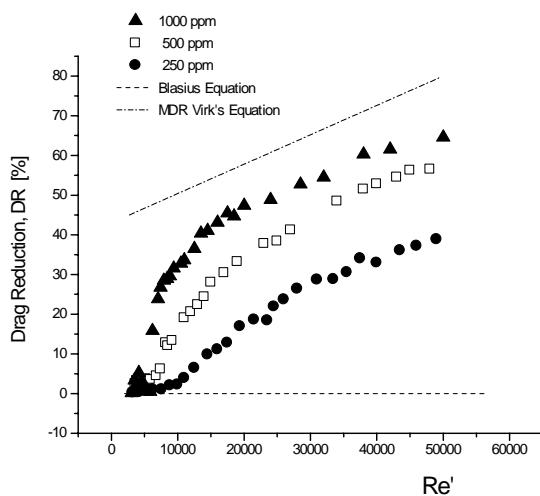


Gambar 1 Klasifikasi Drag Reduction

Gambar 1 menunjukkan klasifikasi cara mendapatkan pengurangan hambatan menurut tipe fluida, daerah aliran, dan jenis permukaan pipa. Studi pengurangan hambatan dibagi dua yaitu : 1. Perolehan dengan modifikasi zat cair yang mengalir. 2. Perolehan dengan bentuk atau lapisan pada permukaan pipa. Interaksi sifat fluida, sifat fisik, dan struktur micro permukaan pipa dapat menghasilkan pengurangan koefisien gesek aliran. Penambahan sedikit zat polimer, surfactance, pencampuran partikel gelembung udara, pencampuran pertikel padat, kombinasi fiber dengan polimer dapat menghasilkan pengurangan koefisien gesek dimulai dari penundaan masuk daerah transisi sampai turbulen. Kekasarahan khusus pada alur memanjang (riblet), kulit kerang, permukaan bola golf, celah alur melingkar (fine grooves) dapat mengurangi hambatan gesek. Khusus pada aliran laminar dengan melapisi dinding agar tidak dapat dibasahi akan menyebabkan slip pada dinding akan menghasilkan penambahan debit aliran. Mekanisme terjadi drag reduction sangat kompleks untuk diketahui dengan jelas dan berlaku umum. Persoalan yang menarik untuk terus diteliti adalah penggunaan additive yang aman untuk dapat langsung digunakan dan tidak beracun. Material coating permukaan dengan zat penolak air yang tahan terhadap temperature tinggi dan melekat kuat masih terus dilakukan penelitiannya terutama dalam proses perpindahan panas. Jenis material coating yang dipakai dalam penelitian ini adalah *fluorine alkane* dari pabrik cat kansai Jepang yang dapat membuat sudut kontak dengan fluida air $140^{\circ} - 150^{\circ}$.

Biopolimer *guar gum* (getah latex)

Hasil drag reduction yang disebabkan oleh penambahan biopolimer *guar gum* telah dipublikasikan oleh Yanuar dan teman [8][9][11]. Dengan memakai pipa bulat dan segi empat variasi konsentrasi larutan (ppm) yang dialirkan menghasilkan penurunan koefisien gesek dan penundaan masuk aliran kritis (*transition flow*). Pelarut yang telah dipakai dalam penelitian terdahulu adalah minyak mentah (*crude oil*) dan air murni (*water*). Degradasi akibat geseran mekanik dari pompa terhadap larutan *guar gum* dapat bertahan sekitar 1 jam percobaan, dan harus diganti dengan larutan baru. Aliran dengan menggunakan tekanan ketinggian atau dorongan tekanan kompressor dapat bertahan sekitar 3 jam percobaan sebelum degradasi kekentalan untuk kembali ke fluida *Newtonian*.



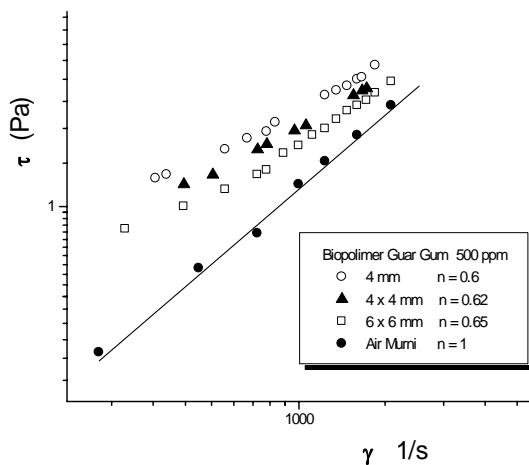
Gambar 2 *Rasio Drag Reduction* terhadap generatif Re' dan efek konsentrasi *guar gum*

Gambar 2 menunjukkan hasil pengujian DR dari efek biopolymer *guar gum* terhadap generatif bilangan Reynolds. Koefisien gesek pada daerah turbulen mengecil pada pertambahan Re' . Kenaikan konsentrasi *guar gum* dalam larutan menghasilkan kenaikan rasio pengurangan hambatan (DR). Efek biopolymer tidak berarti pada aliran lambat (*laminar flow*) tapi dapat memperlambat masuk aliran kritis $Re' > 2300$. Data terletak diantara batas *maximum drag reduction asymptote* (MDR) dari persamaan Virk's dengan persamaan dari Blasius.

Rasio pengurangan hambatan (*Drag Reduction*) dihitung dengan persamaan:

$$DR = \left| \frac{f(\text{air}) - f(\text{gg})}{f(\text{air})} \right| \times 100(\%) \quad (1)$$

Dimana $f(\text{gg})$ adalah koefisien gesek larutan guar gum dan $f(\text{air})$ adalah koefisien gesek untuk air murni. Hasil penelitian menunjukkan drag reduction terjadi mencapai 60% untuk larutan guar gum 1000 ppm.



Gambar 3 Variasi nilai eksponen Power Law n' pipa kapiler pada logaritmik rheologi diagram

Pada gambar 3, menunjukkan data kurva aliran pada hasil percobaan larutan guar gum 500 ppm dengan air murni dimana garis lurus adalah fluida *Newtonian* juga biasa digunakan sebagai standar pelarut. Disini menunjukkan nilai kekentalan fluida air tidak ada perubahan (konstan) walaupun ada kenaikan gradien kecepatan. Untuk larutan polimer *guar gum* dengan 500 ppm dengan alat pipa kapiler viscometer terlihat agak sedikit diatas standart air murni. Dari bentuk kurva aliran (*flow curve*) tersebut diatas untuk variasi diameter pipa didapatkan nilai derajat sifat aliran (Power Law exponent) yang bervariasi. Terlihat dengan adanya kenaikan luas penampang pipa atau diameter pipa nilai n' ikut membesar. Gambar menunjukkan logaritmik garfik log-log plot tegangan geser dengan gradient kecepatan membentuk sudut garis singgung kemiringan untuk menentukan nilai eksponen *Power Law*, n' . Dari grafik dan persamaan 3, didapat nilai n' adalah 0.6, 0.62 dan 0.65 untuk masing-masing dimensi pipa 4 mm, 4 mm x 4 mm dan 6 mm x 6 mm. Nilai $n' < 1$ adalah model pseudoplastik fluida atau *shear thinning*. Nilai kekentalan sesaat (*apparent viscosity*) akan menurun dan nilai tegangan geser (*shear stress*) akan membesar pada kenaikan nilai gradient kecepatan (*Shear strain*) [10].

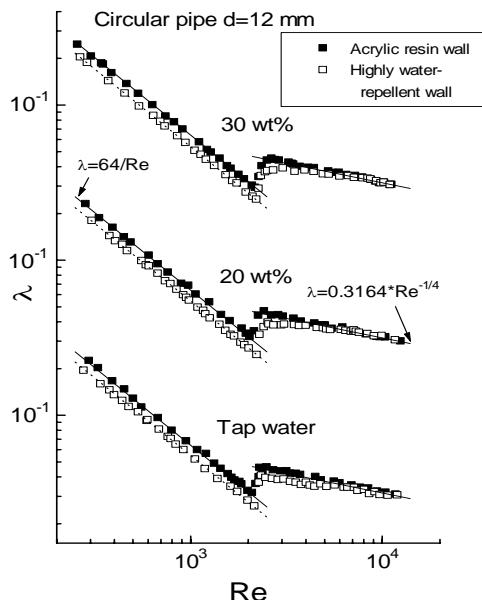
Hubungan *shear stress* dengan *shear rate* didapatkan dari *Power Law* :

$$(\tau_{yz})_{r=R} = \tau_{w=0} = \frac{D \Delta P}{4L} = K' \left(\frac{8V}{D} \right)^{n'} \quad (2)$$

Nilai derajat sifat aliran (*Power Law exponent*) :

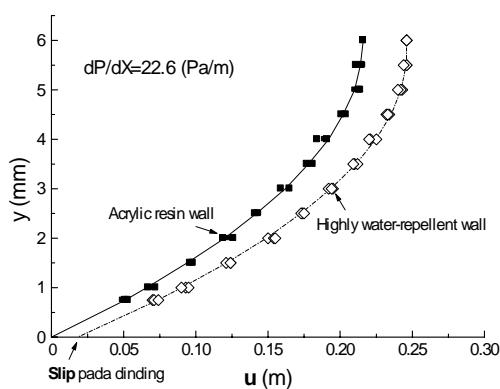
$$n' = \frac{d \ln(D \Delta P / 4L)}{d \ln(8V / D)} \quad (3)$$

Zat penolak air (*highly water repellent wall*)



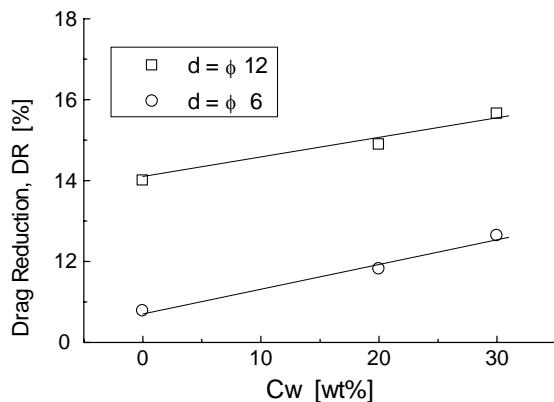
Gambar 4 Koefisien gesek pada *highly water-repellent wall* terhadap perubahan viskositas

Gambar 4 menunjukkan data dari percobaan pelapisan permukaan dengan zat penolak air dimana pada grafik terlihat perbandingan antara dinding halus dengan zat penolak air (*highly water repellent wall*). Air, larutan 20% dan 30% glycerin sebagai pengental untuk melihat efek dari kekentalan terhadap kemampuan membuat slip pada dinding diuji untuk mendapatkan hubungan koefisien gesek dengan bilangan Reynolds pada pipa dengan diameter 12 mm. Hasil menunjukkan pengurangan hambatan (DR) terjadi pada aliran laminar, dan sedikit terjadi penundaan masuk kedalam aliran kritis. Pada daerah turbulen efek permukaan tidak terlihat jelas, dimungkinkan slip pada dinding tidak dapat meredam olakan turbulensi dalam aliran itu sendiri [1][2].



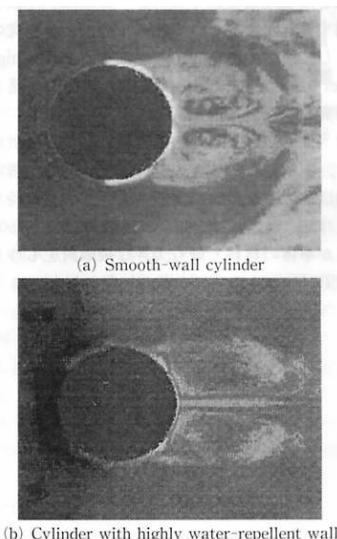
Gambar 5 Distribusi kecepatan pada gradient tekanan konstan

Gambar 5 menunjukkan hasil pengukuran distribusi kecepatan dengan menggunakan hot film, dimana dengan gradient tekanan persatuannya panjang konstan, menghasilkan luas kurva distribusi kecepatan yang berbeda. Kurva yang dihasilkan oleh zat penolak air lebih luas lengkungannya, dapat diartikan sebagai penambahan debit aliran. Pada dinding terlihat adanya nilai kecepatan slip yang menyebabkan luas kurva distribusi kecepatan bertambah besar. Drag reduction terjadi pada aliran laminar.



Gambar 6 Rasio Drag Reduction terhadap perubahan diameter dan viskositas

Gambar 6 menunjukkan nilai rasio drag reduction dengan variasi konsentrasi kekentalan dan variasi diameter pipa. Kenaikan diameter dan kenaikan nilai kekentalan fluida diikuti dengan kenaikan pengurangan hambatan (DR). Dimana pipa dengan diameter 12 mm dan konsentrasi 30 wt% menghasilkan DR maximum pada 15%. [3]



Gambar 7 Aliran dibelakang silinder dinding halus dan dilapis zat penolak air pada $Re=50$ [6]

Gambar 7 menunjukkan *wake* yang terjadi dibelakang silinder akibat zat penolak air pada dinding silinder menghasilkan lebar yang lebih kecil, titik pisah aliran pada permukaan terjadi lebih kebelakang bila dibandingkan permukaan halus. Phenomena ini terjadi karena slip pada dinding, transisi, turbulensi sempurna dengan cepat terjadi agak kedepan permukaan silinder menyebabkan titik pisah aliran agak kebelakang, *wake* menjadi kecil. Dengan kata lain pengurangan hambatan terjadi pada aliran luar karena *vortex* yang terjadi lebih kecil dari dinding mulus.

Kesimpulan

1. Terjadi pengurangan hambatan (DR) dapat dibuktikan dengan biopolimer guar gum.
2. Nilai eksponen Power Law n' dipengaruhi oleh geometrik dan diameter pipa kapiler.
3. Slip pada dinding menghasilkan pengurangan hambatan (DR) pada aliran laminer.

Daftar Notasi

K = Koefisien power-law, Pa s^n

n' = power-law exponent

dP/dX = Gradien tekanan pertambahan panjang
 ΔP = Kerugian tekanan, Pa
 Re' = Generatif bilangan Reynolds
 D = Diameter, m
 L = Panjang, m
 V = Kecepatan rata-rata, m/s
 λ = Koefisien gesek
 τ_w = Shear stress, Pa
 $du/dr = \gamma$ = Shear rate, 1/s

Daftar Referensi

1. Watanabe, K., Yanuar., K Okido, and H Mizunuma, "Drag Reduction in Flow Through Square and Rectangular Ducts with Highly Water-Repellent Walls." JSME Int. J. Ser. B. 62. p. 3330. 1996.
2. Watanabe, K., Yanuar, Mizunuma, H., 1998. "Slip of Newtonian Fluids at Solid Boundary", JSME International Journal., Series B. Vol.41., No.3, pp. 525-529.
3. Watanabe, K., Yanuar., and H Udagawa, "Drag Reduction of Newtonian fluid in a Circular Pipe with Highly Water-Repellent Wall." Journal of Fluid Mech., p. 225. 1999.
4. Watanabe, K., Yanuar, Ohkido, K., Mizunuma, H., 1996-7., "Drag Reduction in Flow through Square and Rectangular Ducts with Highly water-repellent Walls". Proc. of the Fluids Engineering Division Summer Meeting, ASME. San Diego. Turbulence Modification and Drag Reduction., Vol. 2, pp.115-119.
5. 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., pp.157-162.
6. Watanabe, et al, 1999-9., "Drag Reduction of Flow Past a Circular Cylinder with Highly Water-Repellent Walls". Proc. of the 11th European Drag Reduction Working Meeting. Prague, Czech republic. pp.81-83.
7. Yanuar and Watanabe K. "Drag reduction for pressure loss due to slip at rectangular ducts." The 12th international symposium on transport phenomena. Istanbul Turkey. Elsevier 2000. P.127 – 132.
8. Yanuar and Watanabe K. "Drag reduction of guar gum in crude oil." The 13th international symposium on transport phenomena. Victoria Canada. Elsevier 2002. P.833 – 836.
9. Yanuar and Watanabe K. "Toms effect of guar gum additive for crude oil in flow through square ducts." The 14th international symposium on transport phenomena. Bali Indonesia. Elsevier 2004. P.599 – 603.
10. Yanuar. "Kurva Aliran Dengan Pipa Kapiler" Proceeding Seminar Nasional ke 13, KPTU FT UGM. Juni 2007. p. 4 – 55.
11. Yanuar. "Pengurangan Hambatan Turbulen Dengan Aditif Polimer" Jurnal Teknologi, Edisi No.1. Tahun XXI, Maret 2007, P. 32 – 38.