

Pengurangan Hambatan Turbulen Dengan Aditif Polimer

Yanuar

Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Indonesia Depok 16424
E-mail: yanuar@eng.ui.ac.id

Abstrak

Sejak B A Tom's menemukan efek reduksi hambatan (*drag reduction*) yang terjadi dalam larutan polimer (1948), banyak penelitian yang dikembangkan sampai saat ini untuk mendapatkan penghematan energi. Pengurangan hambatan aliran fluida dari aplikasi hasil modifikasi aliran turbulen dapat dimanfaatkan dengan tepat pada rentang aliran turbulen tertentu. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui efek penambahan polimer guar gum (getah latex) kedalam air. Pengukuran kerugian tekanan pada pipa segi empat dan pipa bulat dilakukan menggunakan manometer dengan variasi larutan guar gum (ppm) dan variasi diameter pipa. Nilai koefisien gesek, λ fungsi dari generatif bilangan Reynolds, Re' dapat dijelaskan. Efek dari larutan guar gum menghasilkan koefisien gesek pada aliran laminar konstan, penundaan aliran transisi menuju turbulen dan penurunan koefisien gesek pada aliran turbulen.

Kata kunci : Aliran turbulen, pengurangan hambatan, larutan guar gum, koefisien gesek dan generatif bilangan Reynolds.

Abstract

Since B A Tom's found out the drag reduction phenomena, which occurs in polymer solutions in 1948, many studies, have been done for it because we can apply to the economizing energy system the phenomena. The drag reduction is the application of the turbulent modification of the flow, and we can apply it for the turbulent flow region. We measured the turbulent pressure loss in the square ducts and circular pipe flow of a guar gum solution by manometer, and found that the friction factor in the ducts flow were expressed by Re' . Pressure loss in ducts were measured for various concentrations of guar gum and various diameters of pipes in water to study the effect of the additive on drag reduction. It is found that guar gum acts like other drag reduction polymer additives because it constant the friction factor in laminar regime, modify the transition to turbulent flow, and reduces the friction factor the fully turbulent regime.

Key words: Drag reduction, turbulent flow, guar gum solution, friction factor and regenerative Reynolds number.

1. Pendahuluan

Ketika Tom's⁷⁾ (1948) menemukan bahwa dengan penambahan sedikit molekul polimer rantai panjang dapat mengurangi rugi tekanan (*pressure losses*) di dalam pipa aliran turbulen. Hal ini telah diketahui bahwa serat yang digunakan pada proses pembuatan kertas, ditunjukkan pengaruh dalam konsentrasi yang sama dapat mengurangi kerugian. Tom's menunjukkan bahwa penambahan sedikit 5 – 10 ppm tiap berat dari polimer dapat memiliki pengaruh yang begitu nyata. Dengan kata lain,

pengaruh reduksi hambatan menjadi kandidat yang menjanjikan untuk sebagian solusi dari problem pengurangan pemakaian energi.

Penemuan Tom's tidak hanya pada bidang ini saja. Sementara itu, hal ini diakui bahwa reduksi hambatan adalah fenomena yang membentang luas lebih dari 60 tahun lalu sampai sekarang masih tetap diteliti oleh para peneliti didunia. Juga ditemukan reduksi hambatan

oleh aditif jenis baru sama baiknya oleh berbagai macam manipulasi lain, demikian juga oleh bidang magnetik kuat atau kekasaran dinding khusus. Penemuan dari pengurangan rugi tekanan oleh konsentrasi yang kecil dari aditif harus dibarengi penjelasan manipulasi aliran yang cukup untuk diberikan dalam pemakaian.

Disamping dampak yang besar dari pengaruh ini pada studi dasar turbulen juga mempunyai sebuah kontribusi yang menarik dalam memecahkan masalah lingkungan atau menjadikan operasional untuk proses industri menjadi lebih efektif. Sebagai contoh, pada sistem pemipaan yang mana, harus dibayar untuk pemasangan pompa, tekanan jatuh (*pressure drop*) adalah konstan, hasil reduksi hambatan ini meningkat pada output pipa. Jenis pemakaian ini dipakai di jaringan pipa Trans Alaska Oil, salah satu pemakaian yang sukses dari reduksi hambatan ini dicapai dengan penambahan polimer. Penambahan polimer untuk jaringan pipa minyak mentah dimulai pada tahun 1979. Keinginan mendapatkan 2 juta barrel per hari dapat dicapai tanpa menambah konstruksi stasiun pemompaan.

Drag Reduction yang besar dihasilkan oleh larutan polimer *viscoelastic* telah menjadi perhatian untuk pemakaian praktis dibanyak bidang teknik. Pemakaiannya telah ada dibidang aplikasi perminyakan dan eksperimen telah dilakukan untuk penggunaan pada angkatan laut uji coba prototipe perahu.

Data hasil penelitian-penelitian yang sedikit menguraikan kelanjutan dari eksperimen aliran didalam pipa yang mana menyelesaikan lebih luas pada daerah aliran angka Reynolds dengan pipa yang berlainan diameternya, menggunakan konsentrasi dari polimer stabil (*Guar gum*) yang bervariasi.

Eksperimen ini berusaha untuk memberikan pemahaman yang lebih baik mengenai *Drag Reduction* mulai dari sudut pandang secara fenomena logika dan untuk memberikan data bagi pemakaian praktis.

Tabel 1. Data berbagai macam efek reduksi hambatan. Sebagai contoh pemakaian yang umum digunakan untuk reduksi hambatan dengan menambahkan surfactance kedalam cairan untuk aliran tertutup dengan tingkat keberhasilannya $\pm 65\%$.

Tabel 1.
Reduksi Hambatan Dari Berbagai Efek[1].

No	Reduksi Hambatan Aktif	Keberhasilan
1.	Debu dalam gas	2.5%
2.	Suspensi pasir	2.5%
3.	Suspensi tanah liat	30%
4.	Injeksi gas (gelembung)	20%
5.	Serpihan, alga dan molekul-molekul biologi	15%
6.	Bubur kertas	15%
7.	Serat(asbestos), Fibre	55%
8.	Surfactance anionik	65%
9.	Surfactance kationik	65%
10.	Surfactance nonionik	65%
11.	Polimer encer molekul keras	50%
12.	Polimer encer molekul elastis	65%
13.	Heterogen benang kontinyu	65%
14.	Heterogen benang putus-putus	65%
15.	Kombinasi polimer, surfactance & serat	70%
16.	Manipulasi dengan injeksi	0%
17.	Bidang paralel MHD	20%
18.	Bidang melintang	35%
No	Reduksi Hambatan Pasif	Keberhasilan
1.	LEBU, Riblets, Kekasaran khusus, Lapisan Film.	2,5%

2. Eksperimental Set Up

Gambar 1. menunjukkan eksperimental set up, dimana alat uji terdiri dari pipa tembaga dengan diameter dalam 4x4, 6x6 dan 6 mm dan dengan tekanan-tapping sepanjang 40 cm. Panjang "entry length" cukup untuk menjaga aliran berkembang-penuh (*fully developed*). Untuk memperlambat degradasi fluida akibat geseran langsung dengan impeler, tekanan aliran tidak memakai pompa. Fluida mengalir dari tabung penampung fiberglass dengan tekanan air dari ketinggian (*head*) ditambahkan tekanan udara kompresor agar debit yang diinginkan tercapai. dan mengalir

dalam pipa dengan dilengkapi katup kontrol. Laju aliran diukur dengan mengumpulkan debit yang keluar dari pipa dalam periode waktu. Temperatur fluida dijaga konstan 27 °C. Debit aliran fluida diatur dengan pengaturan katup untuk mengatur nilai Re.

Sifat propertis apparent viscosity dari larutan guar gum didapat dari kurva aliran. Gambar 2, Menunjukkan kurva aliran fluida serta hubungan viskositas sesaat η (apparent viscosity) terhadap perubahan gradien kecepatan. Degradasi fluida akan kembali ke Newtonian. Viskositas larutan polimer menunjukkan hampir sama dengan viskositas air yang dipakai pada temperatur sama. Pengambilan data dilakuka secara berulang dan hasil diplot dalam grafik logaritmik $\lambda - Re'$.

3. Diskusi dan Hasil

Sepanjang gradien tekanan setiap pipa diukur untuk larutan air dan guar gum dalam variasi konsentrasi. Larutan yang telah diuji tidak dipakai lagi dan dibuat campuran baru untuk digunakan pengukuran berikutnya. Degradasi mengakibatkan nilai gradien tekanan akan meningkat fluida sudah kembali ke Newtonian..

Gambar 3. Menunjukkan hasil pengukuran koefisien gesek dengan generatif Re di plot dalam diagram Moody. Disini terlihat variasi larutan sangat terlihat jelas dimana penambahan ppm guar gum diikuti dengan penurunan koefisien gesek pada aliran turbulen. Pada aliran laminer tidak terlihat adanya efek penambahan guar gum. Bila dibandingkan dengan air murni terlihat adanya penundaan masuk ke dalam aliran transisi. Dimana diilustrasikan pengurangan pada koefisien gesek fluida disebabkan oleh penambahan larutan polimer kenaikan ppm diikuti dengan penurunan koefisien gesek. Hal yang sama telah ditemukan oleh penyelidik-penyelidik lain dengan menggunakan konsentrasi larutan jenis polimer lain yang dapat mengurangi koefisien gesek.

Gambar 4. Menunjukkan pengaruh diameter pipa terhadap koefisien gesek pada konsentrasi konstan. Dimana terlihat pengaruh efek dari diameter pipa terlihat jelas dimana koefisien gesek pada diameter kecil menghasilkan koefisien gesek yang lebih kecil. Diameter pipa berpengaruh besar pada *Drag Reduction*, reduksi menjadi lebih besar dengan ukuran pipa yang

lebih kecil, untuk konsentrasi polimer dan bilangan Reynolds yang sama.

Dapat kita lihat dari hasil-hasil itu bahwa *Drag Reduction* untuk konsentrasi polimer yang diberikan hanya terdapat di atas aliran transisi dimana tergantung pada ukuran pipa. Di bawah nilai transisi ini fluida memperlihatkan kelakuan normal aliran Newtonian, meskipun untuk pipa-pipa berdiameter sangat kecil, aliran transisi tidak konstan pada angka Reynolds kurang dari 3000. Studi untuk grafik-grafik faktor koefisien gesek seperti gambar 3 dan 4 menunjukkan bahwa setiap konsentrasi polimer yang diberikan, terlihat bahwa bilangan Reynolds berhubungan dengan sebuah nilai mutlak tegangan geser dinding, τ_w . Persamaan Power Law;

$$(\tau_w) = K \left(-\frac{du}{dy} \right)^n \quad (1)$$

Re' adalah generatif bilangan Reynolds ditentukan dari persamaan⁽³⁾

$$Re' = \frac{8n^n \rho d^n U^{2-n}}{2^n (3n+1)^n K} \quad (2)$$

Rasio pengurangan hambatan dihitung dari gambar 3 dan 4 dengan persamaan;

$$DR = \left| \frac{\lambda_g - \lambda_c}{\lambda_c} \right| \times 100(\%) \quad (3)$$

dimana λ_g adalah koefisien gesek larutan guar gum dan λ_c adalah koefisien gesek untuk air murni.

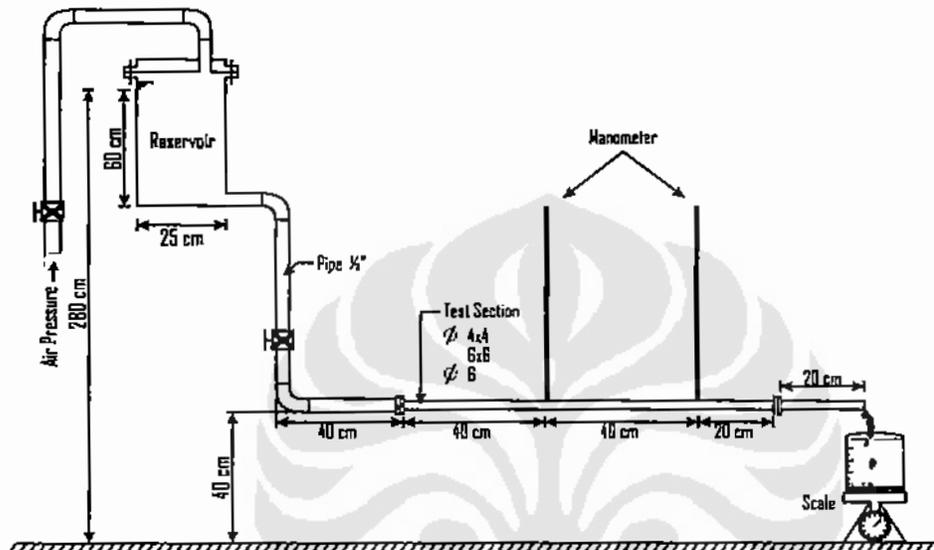
Virk's⁽⁹⁾ (1975) menemukan hukum secara empiris dari distribusi kecepatan dimana sistem larutan polimer mempunyai pembatasan perilaku asimtot yang dikenal dengan Virk's MDR (maximum drag reduction) asymptote.

$$\frac{1}{\lambda^2} = 19 \log_{10}(Re' \lambda^{1/2}) - 32.4 \quad (4)$$

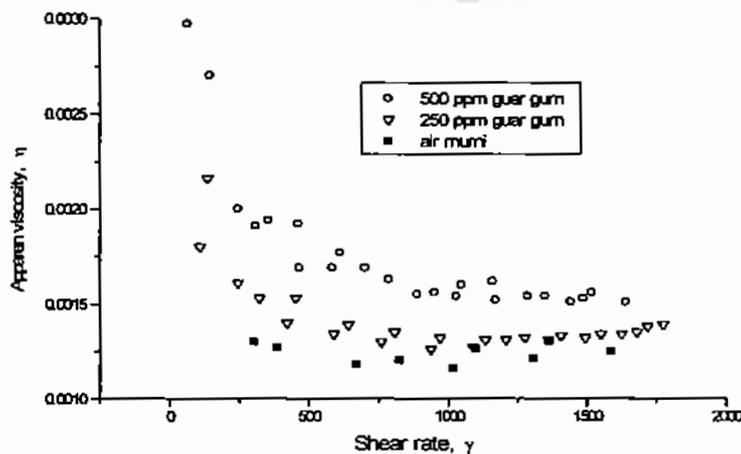
Gambar 5. Menunjukkan variasi pengukuran kecepatan aliran fluida atau debit aliran terhadap kerugian tekanan (pressure loss) dimana nilai $Q/\Delta P$ besar menunjukkan terjadi drag reduction (pengurangan tekanan).

Apparatus dapat beroperasi untuk periode mendekati 1 jam sebelum sesuatu degradasi yang serius terjadi pada fluida, yang mana menunjukkan bahwa guar gum adalah stabil dengan harapan untuk geseran mekanis

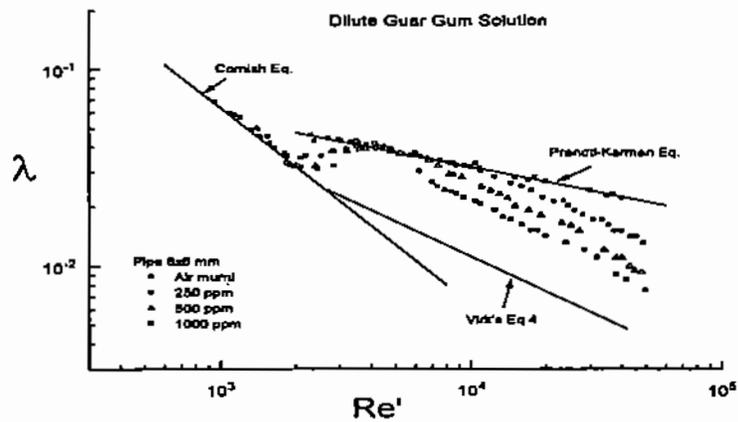
(*mechanical shear*). Seringkali, degradasi terjadi sangat cepat. Penyebab dari degradasi adalah fluida Non-Newtonian meskipun mungkin harus diberikan zat kimia tertentu. Sebelum digunakannya tabung fiberglass harus dibersihkan supaya tidak cepat terjadi endapan seperti jelly.



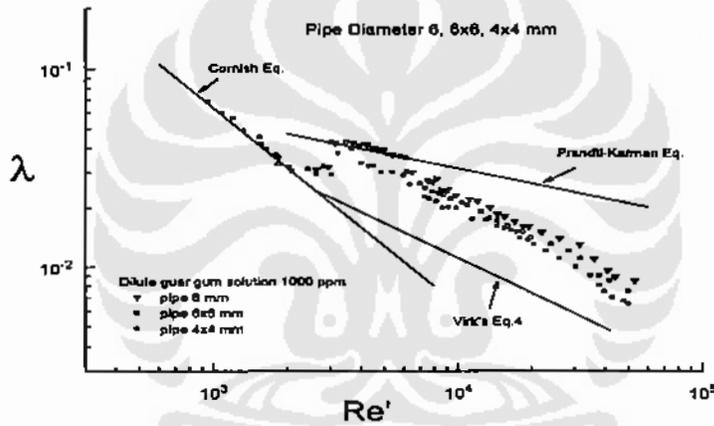
Gambar 1.
Experimental Set up



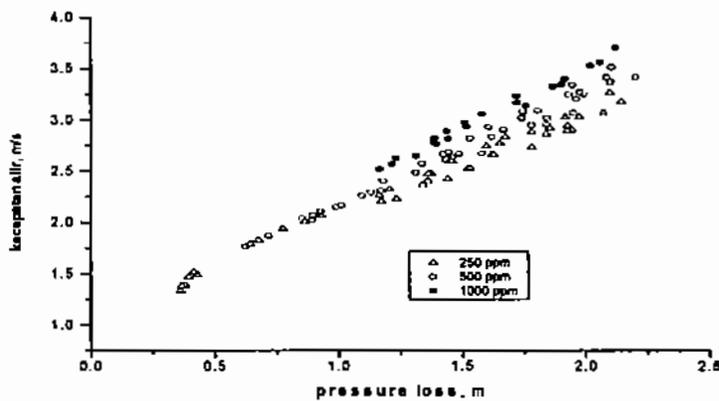
Gambar 2.
Apparent Viscosity, η vs Shear r Rate, γ



Gambar 3.
Koefisien Gesek, λ vs Generatif Re' Pada Variasi Concentrasi Larutan Guar Gum



Gambar 4.
Koefisien Gesek, λ vs Generatif Re' Pada Variasi Diameter Pipa



Gambar 5.
Hubungan Kecepatan Aliran vs Kerugian Tekanan Pada Variasi Larutan

4. Kesimpulan

Pengujian efek penambahan larutan guar gum kedalam air dari hasil pengujian aliran laminar sampai turbulen dapat disimpulkan:

1. Penambahan guar gum (getah latex) kedalam air dapat menurunkan data koefisien gesek pada aliran turbulen terletak dibawah persamaan Blasius dan di atas persamaan Virk's untuk maximum drag reduction. Kenaikan nilai ppm dari guar gum diikuti dengan penurunan nilai koefisien gesek yang menunjukkan adanya fenomena drag reduction:
2. Koefisien gesek pada aliran laminar sesuai dengan persamaan Cornish²⁾ tidak terlihat adanya efek larutan guar gum.
3. Efek larutan guar gum terlihat penundaan menuju aliran transisi dan turbulen.
4. Diameter pipa kecil menghasilkan koefisien gesek kecil pada konsentrasi larutan konstan.

Daftar Notasi

K = Koefisien power-law, Pa sⁿ
 n = power-law exponent
 ΔP = Kerugian tekanan, Pa
 Re = Generatif bilangan Reynolds
 Q = debit m³/menit
 λ = Koefisien gesek
 μ = viskositas, Pa s
 ρ = berat jenis, kg/m³
 τ_w = shear stress, Pa
 η = apparent viscosity, Pa s
 γ = shear rate, 1/s

Daftar Acuan

- [1]. A Gry. H W Bewersdorff " Drag Reduction of Turbulent Flow by Additives. Fluid Mechanics and Its Applications 32. Kluwer Academic Publishers 1995.
- [2]. Cornish, R. J., 1928, "Flow in a Pipe of Rectangular Cross Section," Proc. Roy. Soc. London. Ser. A, 120. pp.691-700
- [3]. Hoyt, J. W., 1972., "The Effect of Additives on Fluid Friction", J. of Basic Engineering., Trans. ASME. Series D, Vol. 94., pp.258-285.
- [4]. Kawaguchi, Y., et al. June 1996. "Active Control of Turbulent Drag reduction in Surfactant Solutions by Wall Heating", Proceedings of the ASME Fluids Engineering Division, FED-Vol. 237, pp. 47-52.
- [5]. Oldroyd, J. C., Eirich, F. R., 1956, "In Rheology," Academic Press., New York, Vol.1., pp.663-664.
- [6]. R.W Paterson, Abernathy FH, Turbulent Flow Drag reduction and Degradation with Dilute Polymer Solution, Journal of Fluid Mechanic, vol. 43, part 4, 1970, pp 680-710
- [7]. Tom's, B. A., 1948, "Some Observations on the Flow of Linear Polymer Solution Through Straight Tubes at Large Reynolds Numbers", Proc. Int. Conger. Rheol. P. 135, 1948. Scheveningen, Holland.
- [8]. Usui, H., Itho, T., and Saeki, T., June 1996. "Drag Reduction Pipe Flow of Surfactant Solution", Proceedings of The ASME Fluids Engineering Division, FED-Vol. 237, p. 159-163.
- [9]. Virk, P. S., 1970, "The Ultimate Asymptote and Mean Flow Structure in Toms Phenomenon", Transactions of the ASME June 1970 p.488.
- [10]. 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.
- [11]. Watanabe, K., Yanuar., and H Mizunuma, "Slip on Newtonian Fluid at Solid Boundary." JSME Int. J. Ser. B. 41. p. 525. 1998.
- [12]. 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.
- [13]. Watanabe, K., H Udagawa. "Drag Reduction of Non-Newtonian Fluids in a circular pipe with a Highly Water Repellent Wall" AIChE

- Journal. Vol 47, No2 February 2001. pp 256.
- [14]. White A, "Turbulent drag reduction with Polimer Additives," Journal Mechanical Engineering Science, Vol 8. No. 4, 1966
- [15]. Yanuar and Watanabe K. "Drag reduction for pressure loss due to slip at rectangular ducts." The 12th international symposium on transport phenomena. Istambul Turkey. Elsevier 2000. P.127 – 132.
- [16]. 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.
- [17]. 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.
- [18]. Yanuar. "Efek Penambahan Zat aditif terhadap Gesekan Fluida" SNTTM III. Univ. Hasanuddin. 6-7 Desember 2004.

