

PENGURANGAN HAMBATAN (*DRAG REDUCTION*) ALIRAN DALAM PIPA DENGAN PENAMBAHAN SERAT NATADecOCO

Yanuar¹, Gunawan²

¹Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Kampus UI Depok 16424

²Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia, Kampus UI Depok 16424

Abstrak

Pengurangan pemakaian energi yang terjadi pada system 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 telah menjadi materi penelitian dalam komunitas dinamika fluida. Tujuan utama studi ini adalah mengetahui sifat aliran turbulen dengan penambahan serat natadecoco terhadap pengurangan penggunaan energi. Secara eksperimen telah diketahui bahwa pada konsentrasi kecil, dalam satuan ppm, larutan serat dapat mereduksi hambatan gesek dalam aliran turbulen sebesar 30% lebih rendah dibandingkan dengan pelarut murni/air.

Kata kunci: pipa, pengurangan energi, turbulen, serat natadecoco.

Pendahuluan

Fluida dapat mengalir di dalam pipa dengan kecepatan yang diinginkan bila gaya hambat yang terjadi di dalam pipa tersebut dapat diatasi. Kerugian energi yang di butuhkan untuk memindahkan fluida disebut kerugian tekanan. Kerugian jatuh tekanan yang membutuhkan energi dapat direduksi dengan pengurangan hambatan dalam aliran. Dengan demikian untuk mendorong fluida dalam sistem perpipaan dibutuhkan energi, yang sesuai dengan kapasitas aliran yang dibutuhkan. Pemakaian energi tersebut dapat dihemat dengan tidak mengurangi kapasitas aliran yang sudah ditentukan.

Pengurangan hambatan dapat didefinisikan dengan penurunan nilai koefisien gesek untuk aliran di dalam pipa atau pengurangan koefisien drag pada aliran luar. Koefisien gesek ditimbulkan oleh tegangan geser (*shear stress*) yang terjadi diantara setiap perbedaan lapisan kecepatan. Kecepatan pada dinding pipa nol (mendekati nol) kecepatan ini akan berangsur naik bila menjauhi dinding dan mencapai maksimum pada sumbu pipa. Pengurangan nilai koefisien gesek didapat dengan mengurangi kekuatan olakan yang terjadi pada aliran, semakin kuat olakan semakin besar kerugian jatuh tekanan [2].

Fluida dapat mengalir pada saluran tertutup (aliran dalam) maupun pada saluran terbuka (aliran luar). Baik aliran dalam maupun aliran luar, telah ada usaha-usaha dari peneliti yang berkaitan dengan pengurangan hambatan. Para peneliti telah memanfaatkan polimer untuk meningkatkan laju aliran dalam pipa Trans-Alaska. Penambahan polimer pada saluran Trans-Alaska membuktikan keberhasilan penggunaan polimer untuk mengurangi hambatan aliran pada skala besar. Program penelitian telah menghasilkan penggunaan polimer dalam Pipeline Trans-Alaska. Panjang pipa tersebut mencapai kurang lebih 2.000 km. Sebagai contoh aplikasi ini pada jaringan pipa Trans Alaska *Crude Oil*. Penambahan polimer untuk jaringan pipa minyak mentah ini dimulai pada tahun 1979. Keinginan mendapatkan 2 juta barrel per hari dapat dicapai tanpa menambah konstruksi stasiun pemompaan.

Toms [1] telah meneliti tentang pengaruh penambahan polimer pada air dan mendapatkan pengurangan hambatan gesek saat dialirkan dalam pipa. Dengan menambahkan polimer jenis PEO (Poly Ethylene Oxide) masing-masing sebesar 20 hingga 500 ppm dapat menurunkan hambatan gesek hingga 65%. Untuk aliran luar, dapat dilakukan dengan memodifikasi dari permukaan untuk mengurangi hambatan dapat dilakukan. 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.

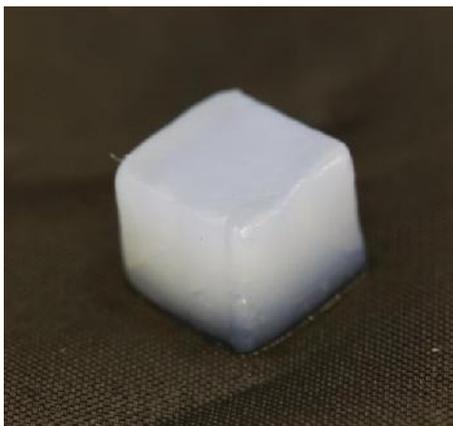
Secara umum pengurangan hambatan (*drag reduction*) dapat dibedakan atas aktif kontrol dan pasif kontrol. Pengurangan hambatan yang dihasilkan dari pemberian zat aditif dikenal dengan nama aktif kontrol, cara ini melibatkan pengurangan energi yang terjadi pada aliran turbulen. Pengurangan hambatan yang terjadi dengan

metode aktif kontrol sangat dipengaruhi oleh sifat/kondisi zat aditif yang digunakan, diantaranya kemampuan aditif larut, berat molekul dan konsentrasi aditif dalam larutan [3]

Metode pengurangan hambatan khususnya control aktif, memiliki kekurangan berupa degradasi dari zat aditif tersebut. Baik itu polimer maupun surfaktan, mengalami degradasi seiring berjalannya waktu percobaan. Namun, ada perbedaan antara polimer dan surfaktan dalam hal kecepatan terjadinya degradasi. Polimer cenderung cepat terdegradasi atau dengan kata lain, struktur campuran polimer akan mudah rusak sehingga setelah beberapa waktu tertentu, penambahan polimer tidak berpengaruh terhadap pengurangan hambatan aliran. Namun, surfaktan memiliki range waktu yang cukup lama hingga terjadi degradasi. Disamping itu, hal lain yang harus dipertimbangkan adalah tentang pengaruh terhadap lingkungan. Surfaktan maupun polimer memiliki sifat beracun sehingga penggunaan kedua zat tersebut tidak bisa bebas atau dibatasi pada aplikasi yang tidak dikonsumsi. Untuk itulah sangat penting untuk mencari alternatif lain yang tidak beracun atau ramah lingkungan. Penelitian ini sudah dimulai sejak 70 tahun lalu hingga kini para peneliti masih mencari aditif yang aman terhadap lingkungan dan makhluk hidup. Pilihan terbaik kemungkinan adalah pengembangan zat aditif berupa serat-serat alam (fiber) dimana tidak mencemari lingkungan dan mudah didapatkan. Penelitian lainnya yang sudah berjalan cukup lama yaitu menggunakan serat asbestos dan nylon [5,6,7]. Hasil penelitian mengemukakan bahwa penggunaan serat-serat tersebut memiliki dampak yang bagus terhadap pengurangan hambatan, tetapi penggunaan serat asbestos maupun nylon berpengaruh buruk terhadap lingkungan.

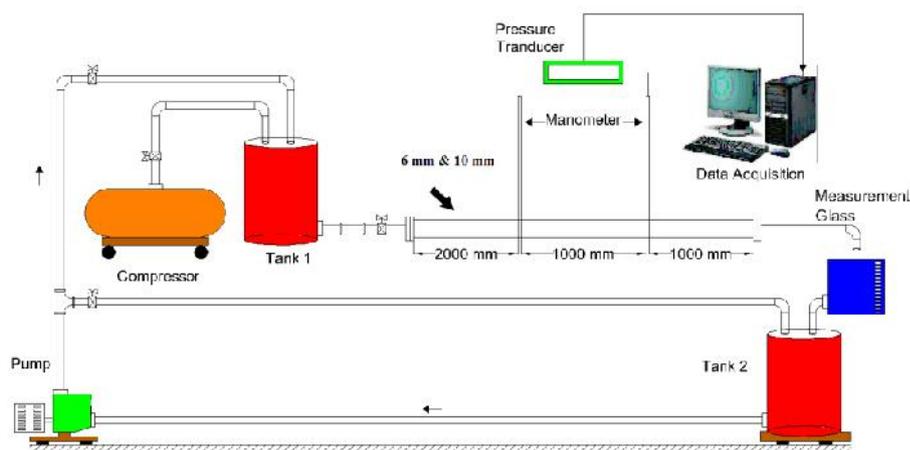
Metodologi Penelitian

Percobaan ini menggunakan pipa horizontal. Larutan serat nata decoco sebagai fluida kerja dalam penelitian ini. Konsentrasi yang digunakan yaitu, 12,5 ppm hingga 100 ppm. Nata decoco diambil dari nata decoco yang beredar di pasaran. Nata decoco tersebut dicuci hingga bersih dan direndam hingga 24 jam untuk menghilangkan kandungan gula seperti terlihat pada gambar 1 di bawah.



Gambar 1 Nata decoco

Setelah nata decoco tersebut direndam hingga 24 jam kemudian dipress hingga terpisah antara serat-seratnya dengan kandungan yang lain. Selanjutnya dikeringkan di dalam refrigerator untuk menghilangkan kandungan air. Tahap terakhir yaitu bender serat-serat nata decoco tersebut dengan mesin blender berkecepatan 11.000 rpm selama 10 menit. Pengujian dilakukan dengan berbagai variasi dan untuk mengetahui fenomena yang terjadi. Variasi kecepatan aliran, variasi konsentrasi ppm aditif, variasi shear stress digunakan untuk mengetahui karakteristik lebih jauh.



Gambar 2 Eksperimental setup

Gambar 2 adalah setup alat penelitian. Larutan serat nata decoco disimpan dalam tangki 1 kemudian disirkulasikan ke tangki 2 (tangki bertekanan) dengan bantuan pompa piston. Fluida kerja kemudian dialirkan menuju pipa uji dengan bantuan tekanan udara tekan, hal ini dimaksudkan agar tidak terjadi fluktuasi aliran. Jarak antara inlet pipa uji dengan transducer pertama adalah > 135 kali diameter pipa uji. Hal ini dimaksudkan agar aliran yang ditinjau merupakan aliran berkembang penuh (fully developed flow). Pada pipa uji dipasang dua buah pressure transducer untuk mengetahui nilai kerugian jatuh tekanan yang terjadi. Jarak antara transducer adalah 1000 mm. Transducer dihubungkan dengan data logger (DAQ) yang terinstall pada komputer sehingga data dapat terekam dengan baik. Tangki yang digunakan mampu menampung larutan hingga 40 liter. Debit diukur dengan menimbang fluida kerja pada volume tertentu persatuan waktu. Katup pengontrol aliran berfungsi sebagai pengatur debit untuk mendapatkan variasi data yang lebih banyak sehingga data yang didapatkan dapat divariasikan mulai Reynolds kecil hingga besar. Pengukuran dilakukan berulang-ulang untuk mendapatkan data yang baik. Sebelum pengambilan data dilakukan fluida yang terdapat di dalam bak penampung diaduk terlebih dahulu agar serat-serat dan air bercampur. Temperatur dijaga konstan pada temperatur lingkungan yaitu 27°C.

Analisis

Hubungan tegangan geser (τ) dengan gradient kecepatan (γ) menunjukkan hubungan yang proporsional, mengikuti model fluida Newtonia sebagai berikut:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \tag{1}$$

Dimana μ adalah sebuah konstanta yang kemudian kita sebut dengan viskositas. Viskositas fluida Newtonian hanya bergantung pada temperatur dan tekanan, tidak dipengaruhi oleh besarnya gradient kecepatan. Viskositas adalah rasio antara tegangan geser dengan gradient kecepatan. Beberapa fluida menunjukkan hubungan yang tidak linear antara tegangan geser dengan gradient kecepatannya sehingga mengikuti model Power law atau fluida non-Newtonian. Fluida non-Newtonian pun masih dapat dikelompokkan menjadi beberapa macam yaitu Bingham, pseudoplastis dan dilatant. Viskositas fluida non-Newtonian sangat unik karena dipengaruhi oleh banyak faktor, salah satu faktor yang mempengaruhi yaitu besarnya gradient kecepatan.

Hubungan antara tegangan geser dan gradient kecepatan dapat digambarkan dengan pengukuran kerugian jatuh tekanan dengan pengukuran debit aliran pada pipa bulat, hubungan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{D \Delta P}{4L} = \mu \frac{8u}{D} \tag{2}$$

Dimana D adalah diameter dalam pipa, ΔP adalah kerugian jatuh tekanan, L adalah panjang pipa antar pressure tap and u adalah kecepatan rata-rata aliran.

Nilai koefisien gesek dapat dihitung menggunakan persamaan Darcy:

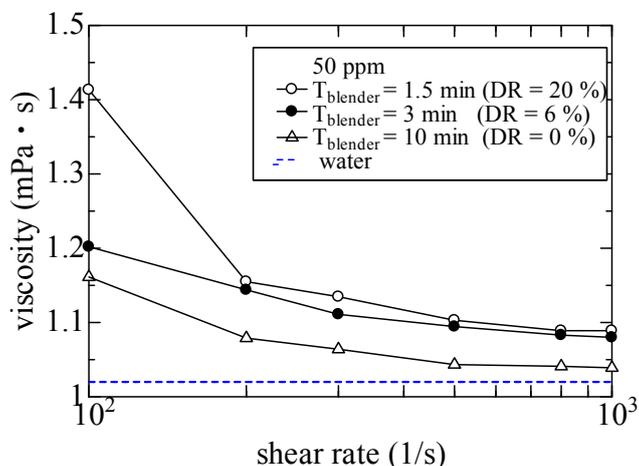
$$f = \left(\frac{D}{L}\right) \left(\frac{2g}{u^2}\right) \Delta h \tag{3}$$

Dimana f adalah koefisien gesek, Δh adalah perbedaan ketinggian manometer, dan g adalah percepatan gravitasi.

Rasio pengurangan hambatan (DR : drag reduction) dihitung menggunakan rumus:

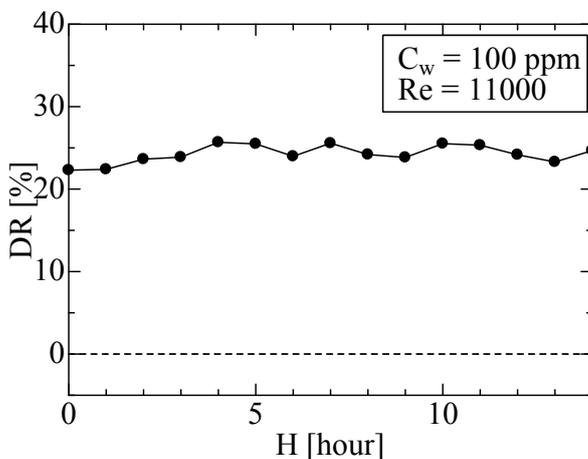
$$DR = \left| \frac{f - f_{fiber}}{f} \right| \times 100\% \tag{4}$$

Hasil dan Diskusi



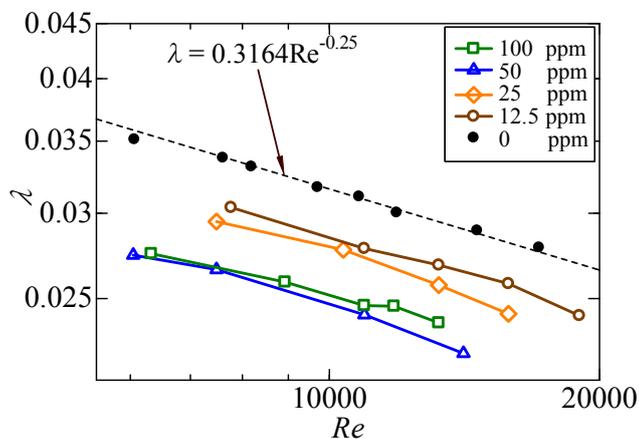
Gambar 3 Hubungan viskositas sesaat dengan gradien kecepatan

Gambara 3 menunjukkan hubungan antara viskositas sesaat dengan gradien kecepatan larutan serat nata decoco pada kondisi konsentrasi 50 ppm. Terlihat bahwa nilai viskositas larutan nata decoco mengalami penurunan seiring bertambahnya gradien kecepatan. Hal ini mengindikasikan bahwa larutan nata decoco merupakan fluida non-Newtonian jenis pseudoplastis. Viskositas larutan juga dipengaruhi oleh lamanya waktu blender. Semakin lama serat nata decoco dihaluskan dengan blender akan menghasilkan viskositas yang semakin kecil.



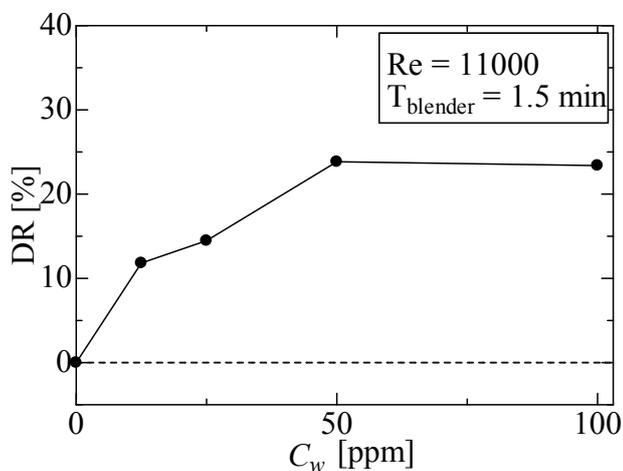
Gambar 4 Dgradasi Pengurangan Hambatan

Gambar 4 menunjukkan hasil drag reduction dalam waktu pengujian yang cukup lama. Sumbu X adalah waktu pengujian sedangkan sumbu Y adalah besarnya drag reduction yang terjadi. Nilai drag reduction berhasil bertahan konstan hingga 14 jam pengujian. Selama 14 jam pengujian ini, larutan nata decoco disirkulasikan terus menerus melewati pompa hingga 10000 kali. Hal ini menunjukkan bahwa larutan nata decoco mampu mengatasi degradasi mekanikal hingga waktu yang cukup lama. Hal ini dikarenakan larutan nata decoco membentuk aliran yang cenderung stabil.



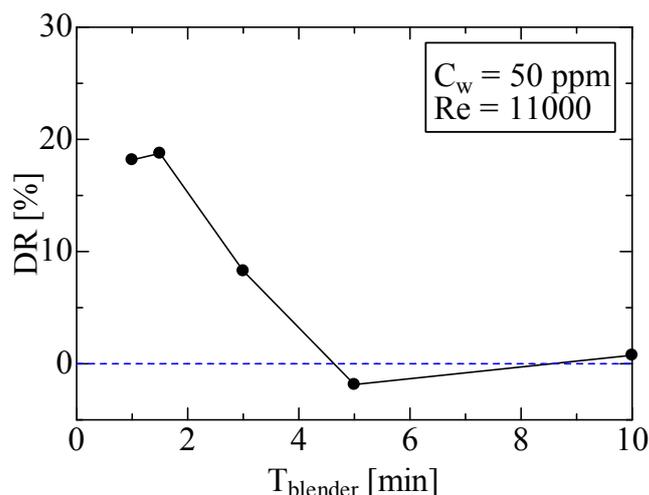
Gambar 5 Koefisien gesek larutan nata decoco

Gambar 5 menunjukkan hubungan koefisien gesek dengan bilangan Reynolds. Garis putus-putus adalah persamaan Blasius sebagai pembanding untuk aliran turbulen. Terlihat bahwa larutan nata decoco memiliki nilai koefisien gesek lebih rendah dibanding data air. Data air yaitu ditunjukkan oleh lingkaran hitam. Terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi (ppm) larutan nata decoco akan menghasilkan nilai koefisien gesek semakin rendah. Perbedaan jarak (slope) data larutan nata decoco berupa paralel dengan data air maupun persamaan Blasius.



Gambar 6 Drag reduction pada berbagai variasi ppm

Gambar 6 menunjukkan pengaruh konsentrasi (ppm) larutan nata decoco pada kondisi bilangan Reynolds 11.000 dan waktu blender (T_{blende}) = 1,5 menit. Terlihat bahwa nilai drag reduction meningkat seiring bertambahnya konsentrasi (ppm). Peningkatan drag reduction pada konsentrasi 50 ppm mengasilkan hingga 25% lebih tinggi dibandingkan kondisi awal tanpa campuran serat nata decoco. Namun, penambahan konsentrasi di atas 50 ppm drag reduction yang terjadi cenderung konstan.



Gambar 7 Pengaruh lamanya waktu blender terhadap nilai DR

Gambar 7 menunjukkan pengaruh lamanya waktu blender terhadap nilai DR yang terjadi. Terlihat bahwa lamanya waktu blender sangat mempengaruhi DR yang dihasilkan. Rentang waktu yang digunakan yaitu antara 1 hingga 10 menit. Terlihat bahwa lama waktu blender yang optimal untuk menghasilkan DR tertinggi yaitu sekitar 1,5 menit. Semakin lama $T_{blender}$ akan menghasilkan penurunan DR.

Kesimpulan

Pengujian hingga tahapan ini yaitu menyelidiki fenomena drag reduction dan Rheology larutan serat nata decoco menggunakan pipa. Hasil pengujian sebagai berikut:

1. Larutan nata decoco mampu menghasilkan drag reduction dan tahan terhadap degradasi mekanik.
2. Drag reduction hingga mencapai 25% untuk 50 ppm. Penambahan konsentrasi setelah 50 ppm tidak lagi menambah drag reduction.
3. Nilai drag reduction dipengaruhi oleh pembentukan gumpalan serat membentuk jaringan serat memanjang.

Daftar Pustaka

- A.A. Robertson and S.G. Mason, (1957), "The characteristics of dilute fiber suspensions", TAPPI, vol. 40, pp. 326-334,
- Fabula, A.G. (1971). "Fire-fighting Benefits of Polymeric Drag Reduction". J. Basic Eng. Trans. ASME, 93(4), 453-455.
- P.S. Virk and R.H. Chen, "Type B drag reduction by aqueous and saline solutions of two biopolymers at high Reynolds number", in Proceedings of the 2nd International Symposium on Seawater Drag Reduction, pp. 545-558,
- Satoshi Ogata, Tetsuya Numakawa and Takuya Kubo. (2011), "Drag reduction of bacterial cellulose suspensions. Advanced in Mechanical Engineering. Pp 1-6.
- Toms, B.A., (1949), "Some Observation on The Flow of Linear Polymer Solutions Trough Straight Tubes at Large Reynolds Number", Proc. Int'l Congress on Rheology (North Holland, Amsterdam), part II, pp. 135-141.
- Watanabe, K., Yanuar, Udagawa, H., (1997)., "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.
- W. Mih and J. Parker, (1967), "Velocity profile measurements and phenomenological description of turbulent fiber suspension pipe flow", TAPPI, vol. 50, pp. 237-246,.

Watanabe K., Ogata S., Sept. (2006), "*Drag reduction of a Malted Rice Solution*", Mechanical Engineering Congress, The Japan Society of Mechanical Engineers. Japan (MECJ-06) p.65

Yanuar and Watanabe K. July (2002). "*Drag reduction of guar gum in crude oil*". The 13th international symposium on transport phenomena. Victoria Canada. Elsevier. P.833 – 836.

Yanuar and Watanabe K. July (2004). "*Toms effect of guar gum additive for crude oil in flow through square ducts*", The 14th international symposium on transport phenomena. Bali Indonesia. Elsevier. P.599 – 603.