

# EFEK BIOPOLIMER AIR TAPE KETAN TERHADAP PERUBAHAN PANJANG INLET ALIRAN BERKEMBANG PENUH (FULLY DEVELOPED FLOW)

Yanuar\*, Febry Rachmat dan Gunawan\*

\*Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Indonesia  
Kampus UI Depok 16424

Phone: +62-21-7270032, FAX: +62-21-7270033 E-mail: yanuar@eng.ui.ac.id

## ABSTRAK

*Penemuan dan realisasi secara gradual pada periode awal tahun 60-an mengenai larutan polimer encer yang mempunyai sifat hambatan gesek turbulen yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan pelarut murni air, telah menjadi objek penelitian dalam komunitas dinamika fluida. Dengan kemampuannya dalam mereduksi hambatan gesek (drag reduction), hasil tes larutan polimer telah menambahkan sebuah alat bantu lain dalam studi tentang dasar-dasar hidrodinamika. Ketepatan penggunaan formula turunan dari persamaan Navier-Stokes hanya dapat digunakan untuk aliran berkembang penuh. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui aliran berkembang penuh (fully developed flow) akibat efek penambahan biopolimer air tape ketan. Biopolimer hasil fermentasi beras ketan 50 ppm, 100 ppm dan 250 ppm dengan air murni disirkulasikan didalam sistem perpipaan. Pipa acrylic berdiameter 12 mm yang didalamnya dimasukkan pipa kecil yang dapat bergerak maju mundur digunakan dalam penelitian ini. Variasi panjang kedalaman pipa kecil masuk dan variasi konsentrasi larutan hingga mencapai kondisi aliran berkembang penuh dilakukan dalam penelitian. Pada pipa uji dipasang 4 buah pressure tap dengan jarak masing-masing tap 250 mm. Pada saat bilangan Reynolds dibuat konstan jarak panjang pipa kecil masuk ditarik keluar hingga mencapai nilai ketinggian tekanan manometer konstan aliran berkembang penuh telah dicapai. Hasil menunjukkan bahwa karakteristik panjang aliran berkembang penuh untuk fluida dengan campuran konsentrasi biopolimer didapatkan lebih panjang ( $L_{inlet} > 135^* \text{Diameter}$  untuk laminar dan  $L_{inlet} > 35^* \text{Diameter}$  untuk turbulen) dibandingkan dengan air murni, walaupun larutan biopolimer ini dapat mereduksi koefisien gesek dalam aliran turbulen.*

**Kata kunci:** biopolimer air tape ketan, fully Developed flow, panjang inlet.

## 1. Pendahuluan

Pipa merupakan sarana transportasi fluida yang banyak sekali digunakan. Pipa memiliki berbagai macam ukuran dan bentuk penampang. Ukuran pipa sangat bervariasi dari yang berukuran kecil sampai besar dan banyak digunakan baik dalam hal penelitian, pemakaian rumah tangga maupun pada bidang industri. Dari segi bentuk penampangnya, pipa dengan penampang lingkaran atau bulat adalah yang paling banyak digunakan. Material pipa bermacam-macam, seperti plastik, PVC, logam, acrylic, dan lain-lain.

Desain suatu alat yang efisien, murah, ringan dan baik sangat diinginkan untuk penghematan pemakaian energi. Pada alat penukar kalor (heat exchanger) untuk mendesain yang baik sangat tergantung kepada jenis material bahan yang dipakai, luas permukaan kontak dengan fluida, selisih temperatur dan arah/patern aliran yang terjadi didalam sistem tersebut. Panjang

hidrodinamik aliran masuk dalam pipa sangat berpengaruh untuk dapat menghasilkan/mengetahui nilai perpindahan panasnya pada kerugian tekanan yang terjadi didalam pipa maupun aliran diluar pipa. Hubungan antara hasil kalor yang dapat dilepas/diterima oleh alat penukar kalor tergantung dari kecepatan aliran atau penggunaan energi pompa, variasi dari kedua nilai itu sangat diinginkan oleh para desainer untuk mendapatkan titik optimasi.

Aliran fluida di dalam pipa pada kenyataannya mengalami penurunan tekanan seiring dengan panjang pipa yang dilalui fluida tersebut. Menurut teori dalam mekanika fluida, hal ini dikarenakan fluida yang mengalir memiliki berbagai macam kerugian sepanjang aliran fluida seperti panjang pipa, besar kecilnya diameter pipa, kekasaran permukaan, koefisien gesek dan viskositas dari fluida tersebut. Penampang pipa dengan ukuran yang berbeda atau karena adanya



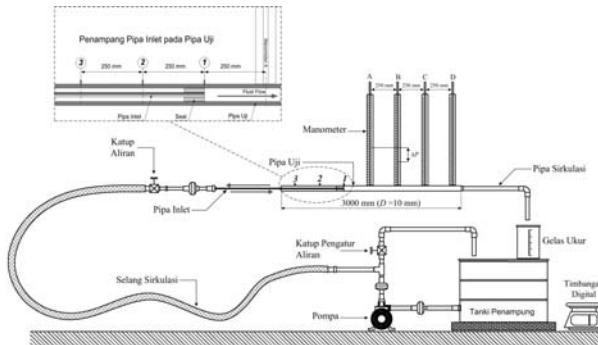
pembesaran atau pengecilan mendadak akan menimbulkan pola aliran fluida menjadi tidak beraturan dan kondisi ini merupakan suatu bentuk kerugian aliran dalam suatu sistem pemipaan. Secara teori panjang pipa masuk sangat berpengaruh pada timbulnya kerugian, kondisi ini dikarenakan aliran yang keluar mengalami turbulensi yang cepat sehingga aliran mengalami penurunan tekanan yang drastis. Kondisi ini umumnya terjadi pada saat aliran fluida melewati pipa dengan pembesaran yang mendadak (enlargement pipe)[1]. Biopolimer yang terbuat dari hasil fermentasi tape ketan, dapat mengurangi kerugian tekanan. Disamping itu, biopolymer tersebut juga dapat mempengaruhi panjang hidroninamik aliran berkembang penuh.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui aliran berkembang penuh (fully developed flow) akibat efek penambahan biopolimer air tape ketan. Variasi dari konsentrasi cairan yang terbuat hasil fermentasi beras ketan 50 ppm, 100 ppm dan 250 ppm dengan air murni disirkulasikan didalam sistem perpipaan. Pipa acrylic berdiameter 12 mm yang didalamnya dimasukkan pipa kecil yang dapat bergerak maju mundur digunakan dalam penelitian ini. Variasi panjang kedalaman pipa kecil masuk dan variasi konsentrasi larutan hingga mencapai kondisi aliran berkembang penuh dilakukan dalam penelitian. Pada penelitian ini variasi perubahan panjang pipa uji dilakukan dengan mengatur dan menjaga kecepatan rata-rata aliran dan bilangan Reynolds konstan, kemudian mengambil data dari penurunan tekanan ( $\Delta h$ ) sampai mencapai konstan terhadap perubahan rasio panjang masuk ( $L/D$ ). Pengambilan data dilakukan dengan menggeser pipa masuk (*inlet*) dari jarak terdekat letak pressure tap ( $L/D$  terkecil), hingga jarak tertentu untuk mendapatkan  $L/D$  pada kondisi dimana aliran sudah berkembang penuh (*fully developed flow*)[2]. Menentukan saat dimana aliran sudah berkembang penuh, apabila degradasi tekanan ( $\Delta p$ ) pada manometer sudah tidak berubah meskipun jarak geser ( $L/D$ ) diperbesar. Alat uji yang dibuat memiliki katup yang dapat dibuka dengan variasi volume alir sehingga variasi bilangan Reynolds dapat dilakukan dalam penelitian dengan mengatur debit aliran fluida yang dialirkan ke dalam pipa.

## 2. Eksperimental Setup

Rangkaian pipa yang di desain untuk mensirkulasikan fluida dari tanki penampungan dengan bantuan pompa sentrifugal, debit aliran diatur oleh katup pengatur aliran (*gate valve*). Pada gambar 1 ditunjukkan sistem rangkaian pipa uji yang terdiri dari pipa uji diameter dalam 12 mm, panjang pipa 3000 mm. 4 buah lubang manometer (pressure tap) diletakkan mulai dari ujung pipa uji masing-masing pada jarak 250 mm. Fleksibel selang yang menghubungkan pompa dengan pipa inlet. Pipa inlet dengan diameter dalam 6 mm dan diameter luar 8 mm dimasukkan kedalam pipa uji. Jarak

kedalaman pipa inlet masuk dapat diatur dengan menarik/mendorong pipa menjauh/mendekati lubang manometer terdepan A. Pada ujung pipa inlet dilengkapi dengan seal terbuat dari karet agar tidak bocor.



Gambar 1 Eksperimental Set Up

Penelitian dimulai dengan bukaan katup kecil (aliran kecepatan rendah), ujung pipa inlet diletakkan pada titik 1 didalam pipa uji. Debit air yang keluar langsung dimasukkan kedalam gelas ukur/ditimbang pada periode hitungan waktu untuk mengitung kecepatan rata-rata air yang mengalir dalam pipa uji. Pada saat itu dicatat perubahan ketinggian air dari setiap manometer. Selanjutnya, pada keadaan debit aliran konstan, letak jarak pipa inlet terhadap titik manometer A ditarik menjauh atau merubah variasi kenaikan rasio  $L/D$ , juga dilakukan pengukuran perubahan ketinggian setiap manometer. Dengan cara yang sama, debit aliran dirubah dari mulai kecepatan rendah ke tinggi dengan variasi perubahan rasio  $L/D$ . Temperatur air dijaga konstan 27 °C. Pada kondisi debit aliran konstan atau bilangan Reynolds konstan, rasio  $L/D$  dinaikkan perlahan diikuti dengan perubahan nilai ketinggian air didalam manometer, dimana kenaikan rasio  $L/D$  diikuti dengan pengurangan selisih ketinggian air ( $\Delta P$ ) dalam manometer yang dinamakan aliran sedang berkembang (*developed flow*). Pada saat  $\Delta P$  tidak berubah walaupun rasio  $L/D$  dinaikkan dinamakan aliran sudah berkembang penuh (*fully developed flow*).

## 3. Landasan Teori

Fluida air digolongkan atas aliran fluida Newtonian seperti di bawah ini [3]:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1)$$

Perbedaan mendasar antara aliran laminar dan turbulen adalah nilai tegangan geser suatu aliran adalah fungsi dari nilai perubahan kecepatan (gradient velocity) dimana nilai kekentalan air (viscosity) konstan kecuali ada perubahan temperatur. Penurunan tekanan  $\Delta p$  atau  $\Delta h$  untuk aliran tak mampu mampat di dalam pipa dihitung dengan menggunakan persamaan Darcy-



Weisbach yang diturunkan dari persamaan Navier-Stokes:

$$\Delta h = \lambda \frac{L}{D} \frac{U^2}{2g} \quad (2)$$

di mana,  $\lambda$  = nilai koefisien gesek.

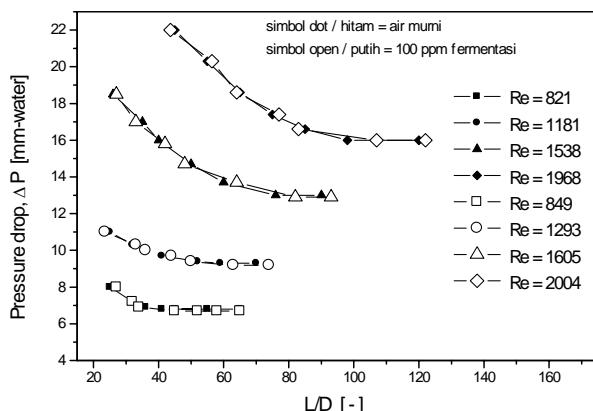
Juga, nilai koefisien gesek didalam pipa bulat untuk aliran laminar pada kondisi berkembang penuh dapat dihitung dari persamaan Hagen Poiseulle :

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (3)$$

Nilai koefisien gesek didalam pipa mulus bulat untuk aliran turbulen pada kondisi berkembang penuh dapat dihitung dari hasil penelitian Blasius :

$$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{1/4}} \quad (4)$$

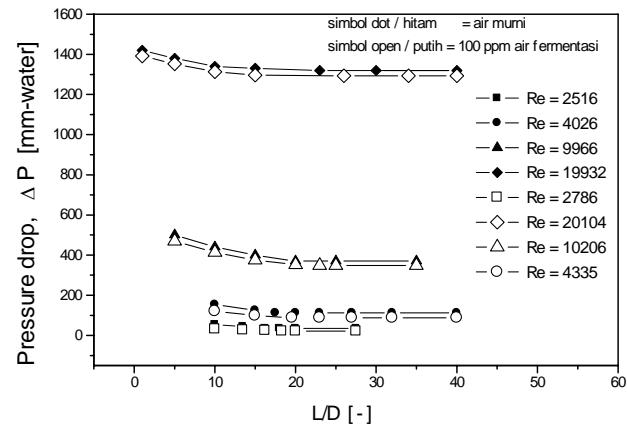
#### 4. Hasil dan Diskusi



Gambar 2. Panjang hidrodinamik aliran masuk untuk aliran laminar

Gambar 2 menunjukkan hidrodinamik panjang aliran masuk dengan perubahan tekanan persatuan perubahan panjang. Delapan buah data grafik masing-masing pada kondisi bilangan Reynolds konstan dalam range aliran laminar. Empat buah data merupakan data air murni, sedangkan empat buah lainnya merupakan data larutan biopolimer fermentasi tape ketan 100 ppm. Penurunan kerugian tekanan ditunjukkan dengan garis lurus menurun pada kenaikan rasio  $L/D$ , dan penurunan garis lurus akan berubah menjadi horizontal atau tidak terlihat lagi pengurangan kerugian tekanan pada pertambahan rasio  $L/D$ . Pada saat nilai penurunan

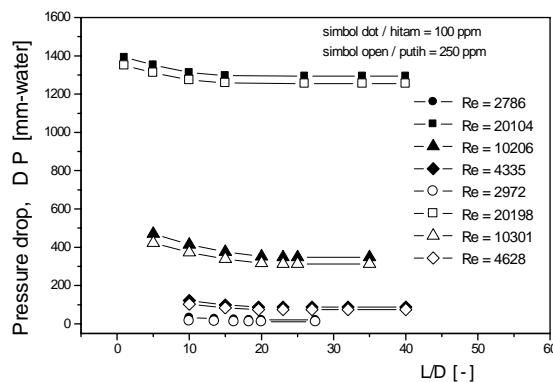
tekanan ( $\Delta p$ ) sudah tidak berubah (konstan) walaupun panjang pipa masuk terus dinaikkan, kondisi ini dinamakan kondisi sudah berkembang penuh (*fully developed flow*). Dari grafik di atas terlihat juga bahwa untuk aliran laminar, pengaruh penambahan biopolimer fermentasi tape ketan tidak signifikan dalam hal pressure drop. Atau dengan kata lain, penambahan biopolimer tersebut tidak mempengaruhi pressure drop yang terjadi. Namun, penambahan biopolimer tersebut ternyata berpengaruh terhadap hidrodinamik panjang aliran masuk. Terlihat bahwa dengan penambahan biopolimer tersebut, hidrodinamik panjang aliran masuk mengalami peningkatan. Disamping itu, pengaruh bilangan Reynolds juga terjadi. Semakin tinggi nilai bilangan Reynolds nya, maka hidrodinamik panjang aliran masuk juga semakin besar. Dengan kata lain, semakin tinggi bilangan Reynolds, maka semakin membutuhkan jarak yang panjang untuk mencapai kondisi aliran berkembang penuh.



Gambar 3. Panjang hidrodinamik aliran masuk untuk aliran turbulen

Gambar 3. menunjukkan hidrodinamik panjang aliran masuk pada variasi bilangan Reynolds konstan pada aliran turbulen. Nilai kerugian tekanan,  $dP/dL$  atau  $\Delta P$  akan menurun secara linear bila kenaikan rasio  $L/D$  pada setiap kecepatan konstan ( $Re = \text{konstan}$ ). Berbeda dengan aliran laminar, pada aliran turbulen pengaruh penambahan biopolimer sebesar 100 ppm berpengaruh terhadap pressure drop yang terjadi maupun terhadap hidrodinamik panjang aliran. Penambahan biopolimer dapat mengurangi pressure drop yang terjadi. Disamping itu, penambahan biopolimer juga berpengaruh terhadap hidrodinamik panjang aliran. Hidrodinamik panjang aliran yang dibutuhkan akan semakin besar. Kemungkinan akan terjadi drag reduction pada aliran turbulen, mengingat pada aliran turbulen terjadi penurunan nilai pressure drop.





Gambar 4. Panjang hidrodinamik aliran masuk untuk aliran turbulen pada larutan biopolimer 100 ppm dan 250 ppm.

Gambar di atas memperlihatkan pengaruh konsentrasi biopolimer tape ketan terhadap pressure drop maupun hidrodinamik panjang aliran. Tampak semakin besar konsentrasi biopolimer yang digunakan, semakin besar pula penurunan pressure drop yang terjadi. Namun, konsentrasi biopolimer tidak berpengaruh terhadap hidrodinamik panjang aliran yang terjadi. Keadaan ini hanya berlaku untuk aliran turbulen.

## 5. Kesimpulan

Panjang minimum hidrodinamik aliran masuk untuk aliran laminar berkembang penuh pada setiap bilangan Reynolds dapat diketahui melalui pendekatan hubungan rasio panjang masuk terhadap besarnya bilangan Reynolds.  $L/D = \pm 0,05 * Re$ . Semakin tinggi kecepatan aliran fluida atau makin besar nilai bilangan Reynolds maka jarak minimum hidrodinamik aliran masuk semakin besar. Biopolimer hasil fermentasi tape ketan, dapat mempengaruhi pressure drop maupun hidrodinamik panjang aliran. Untuk aliran laminar, pengaruh biopolimer tersebut hanya pada hidrodinamik panjang aliran, tetapi tidak mempengaruhi besarnya

pressure drop yang terjadi. Namun untuk aliran turbulen, biopolimer tersebut berpengaruh terhadap hidrodinamik panjang maupun nilai pressure drop.

Panjang hidrodinamik aliran masuk untuk aliran turbulen dipengaruhi banyak faktor misalnya: stabilitas aliran turbulen, kekasaran permukaan pipa, dll. Hasil didapat hubungan antara rasio panjang masuk terhadap besarnya bilangan Reynolds untuk aliran turbulen yaitu mendekati persamaan  $L/D = 4,4 * Re^{1/6}$ . Persamaan Darcy Weisbach turunan dari persamaan Navier-Stokes hanya dapat digunakan bila aliran sudah berkembang penuh (*fully developed flow*).

## Referensi

- [1]. T S Lungren., Pressure Drop Due to the Entrance Region in Ducts of Arbitrary Cross Section. Transactions of the ASME Journal of Basic Engineering. September 1964. pp. 620-626.
- [2]. R K Shah., A Correlation for Laminar Hydrodynamic Entry Length Solutions for Circular and Noncircular Ducts. Journal of Fluids Engineering. June 1978. Vol. 100. pp 177-179.
- [3]. A H P Skelland. "Non-Newtonian Flow and Heat Transfer" John Wiley & Sons. Inc 1967. pp. 37 – 47.
- [4]. L S Han., Hydrodynamic Entrance Lengths for Incompressible Laminar Flow in Rectangular Ducts. Transactions of the ASME Journal of Applied Mechanics. September 1960. pp.403-409.
- [5]. Yanuar dan Iwan. Efek panjang aliran hidrodinamika (inlet) untuk menentukan aliran berkembang penuh. Proceeding seminar nasional teknik mesin 3, 30 April 2008. Univ Kristen Petra Surabaya.

