

STUDI KARAKTERISTIK ALIRAN FLUIDA NON NEWTONIAN (PASIR BESI)

Eflita Yohana

INTISARI

Tujuan dari penelitian ini untuk mempelajari karakteristik aliran fluida non Newtonian khususnya dilatan, yaitu campuran pasir besi dan air. Fluida dialirkan dalam pipa transparan berbentuk lurus dan elbow pada posisi horisontal berdiameter 38,1 cm, panjang 1,5 m untuk pipa lurus dan Jari-jari kelengkungan 0,96 m untuk pipa elbow. Variasi konsentrasi pasir, 4% sampai 13%, dan variasi debit aliran campuran mulai dari 0.2 l/det sampai 2.5 l/det. Hasil penelitian menunjukkan reologi fluida dilatan dipengaruhi oleh konsentrasi pasir besi, debit aliran dan bentuk pipa. Semakin tinggi konsentrasi maka tegangan geser dinding, viskositas, akan semakin besar. Tegangan geser dinding, viskositas nyata, dan koefisien gesekan akan lebih besar pada pipa elbow dari pada pipa lurus.
Kata kunci : Aliran fluida, Dilatan, Konsentrasi massa, Pasir besi.

ABSTRACT

This research investigated the characteristic of dilatant fluid flow of iron sand and water within a pipe. The fluid flow in a transparent pipe, a straight and an elbow pipe on horizontal position, with length 1.5 m for straight pipe and radius of curvature is 0.96 m for elbow pipe and 38 mm diameter. The variation of sand concentrations, were 4%, 6%, 9%, and 13%, for the elbow pipe and 4%, 5%, 7%, and 10%, for the straight pipe. The variation of flow rates within a range of 0.2 l/s to 2.5 l/s. The results show that rheology of dilatant fluid influenced by iron sand concentrations, flow rates and the forms of the pipe. Increasing the mass concentration will increase wall shear and fluid viscosity. The wall shear, the apparent viscosity and the friction coefficient on the elbow pipe are higher than straight pipe. At $c_m = 4\%$, $\tau_w = 3,069 \text{ N/m}^2$, $\eta_c = 0,012 \text{ N. s/m}^2$, $c_m = 13\%$, $\tau_w = 3,999 \text{ N/m}^2$, $\eta_c = 0,016 \text{ N. s/m}^2$, for elbow pipe, and $c_m = 4\%$, $\tau_w = 2,965 \text{ N/m}^2$, $\eta_c = 0,010 \text{ N. s/m}^2$, $c_m = 7\%$, $\tau_w = 2,755 \text{ N/m}^2$, $\eta_c = 0,009 \text{ N. s/m}^2$, for the straight pipe.
Key words : Fluid flow, Dilatant, Mass concentration, iron sand.

PENGANTAR

Fluida non Newtonian adalah fluida dimana tegangan geser tidak berbanding lurus dengan laju regangan, tetapi mengikuti hukum pangkat (*power law*). Fluida dilatan termasuk salah satu dari fluida non Newtonian, contoh fluida dilatan adalah campuran pasir besi dan air. Kajian penelitian ini tentang sifat-sifat aliran campuran pasir besi-air melalui saluran tertutup transparan. Hal-hal yang ingin diketahui adalah, viskositas nyata (*apparent viscosity*) dan visualisasi aliran.

Analisa karakteristik aliran dilakukan dengan menggunakan empat variasi konsentrasi massa dan dua jenis pipa transparan (lurus dan elbow), sehingga diharapkan akan didapat aliran homogen, aliran heterogen, aliran intermediate, aliran saltasi.

Soewono, A, (1991), meneliti tentang pengaruh konsentrasi padatan terhadap penurunan tekanan, pada pengangkutan batu-bara (CWM) dalam pipa. Pola aliran yang terjadi selama pengangkutan campuran padat-cair telah dilakukan penelitian oleh Darby dan Rogers (1980), Shah dan Lord (1991), Doron dan Barnea (1994), Rahman dan Brebbia (1996), reologi campuran padat-cair sangat dipengaruhi konsentrasi padatan dalam suspensi, temperatur pengujian, bentuk saluran, diteliti oleh Fam dkk (1989) dan Shah (1993).

Viskositas untuk fluida non Newtonian adalah viskositas nyata atau *apparent viscosity* (Jacobs, 1991).

Persamaan untuk fluida dilatan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\tau = k \left(-\frac{dv}{dy} \right)^n \quad (1)$$

dimana $\eta = -k \left| \frac{dv_x}{dy} \right|^{n-1}$. Deviasi n dari harga 1

menunjukkan derajat deviasi dari sifat newtonian. Densitas campuran homogen dirumuskan (Richard W.Hanks),

$$\frac{1}{\rho_{sl}} = \frac{c}{\rho_s} + \frac{1-c}{\rho_l} \quad (2)$$

Konsentrasi Fluida campuran dapat dihitung dengan persamaan :

$$c_m = \frac{w_s}{w_s + w_l}$$

Pada dinding pipa, (r=R),

$$\tau_{rz} = \tau_w = \frac{\Delta PR}{2L} = \frac{D\Delta P}{4L} \quad (3)$$

$$\tau_{rz} = \tau_w \frac{r}{R} \quad (4)$$

$$\tau_w = k' \left(\frac{8v_m}{D} \right)^{n'} \quad (5)$$

$$k' = k \left(\frac{3n+1}{4n} \right)^n \quad (6)$$

$n = n'$, nilai n dan k didapat dari regresi linear pada skala logaritmik dari pers (5), sehingga didapat persamaan viskositas nyata,

$$\eta_c = k \left(\frac{3n+1}{4n} \right)^n \left(\frac{8v_m}{D} \right)^{n-1} \quad (7)$$

Besarnya bilangan Reynold dengan basis konsep viskositas nyata dalam aliran laminar,

$$Re_g = \frac{\rho_{sl} v D}{\eta_c}, \text{ dan persamaan faktor gesekan,}$$

$$c_f = \frac{\tau_w}{\frac{1}{2}(\rho v^2)} \quad (8)$$

Untuk aliran turbulen

$$\frac{1}{\sqrt{c_f}} = \frac{4}{n^{0.75}} \log \left[Re(c_f)^{1-(n/2)} \right] - \frac{0.4}{n^{1.2}} \quad (9)$$

$$Re_g = \frac{D^n v_m^{2-n} \rho_{sl}}{8^{n-1} k'} \quad (10)$$

Kecepatan rata-rata aliran. $v_m = \frac{Q}{\pi R^2}$, Sehingga laju regangan didinding pipa adalah :

$$-\left(\frac{dv_z}{dr} \right)_{r=R} = \left(\frac{8v_m}{D} \right) \left(\frac{3n+1}{4n} \right) \quad (11)$$

Penurunan tekanan didefinisikan sebagai gradien tekanan $\frac{dP}{dz}$, yang diintegrasikan terhadap panjang pipa L

$$-\frac{dP}{dz} = \frac{4\tau}{D} + \rho g \sin \theta + G^2 \frac{d}{dz} \left(\frac{1}{\rho} \right) \quad (12)$$

Penelitian ini pipa berada pada posisi horisontal dan aliran dianggap homogen sehingga tidak terjadi perubahan densitas, penurunan tekanan adalah

$$\Delta P = \frac{\tau 4 L}{D}$$

CARA PENELITIAN

Susunan alat dan geometri pipa yang dipergunakan untuk menentukan karakteristik aliran fluida dilatan pada pipa horisontal dapat dilihat pada gambar 1.

Prosedur pengoperasian alat adalah sebagai berikut :

1. Cek pompa apakah dapat mengalirkan fluida campuran ke sepanjang instalasi
2. Amati apakah masih ada kebocoran pada instalasi bila ada perbaikan.
3. Pipa uji yang dipasang terlebih dahulu adalah pipa uji elbow.
4. Isi bak penampungan dengan konsentrasi awal yang rendah.
5. Buka katup *bypass* dan katup *inlet*, hidupkan pompa sehingga selang-selang penghubung ke manometer U terisi penuh air.
6. Katup *bypass* ditutup perlahan hingga penuh sampai seluruh fluida melewati pipa uji, tunggu aliran hingga tunak atau *steady*.
7. Ambil data perbedaan tekanan antar *wall tap* dengan menghubungkan keempat sisi tap yang bersesuaian secara horisontal, selain itu ambil juga besarnya temperatur, dan debit aliran.
8. Buka katup *by pass*, untuk mencatat kembali besarnya debit aliran, penurunan tekanan dan temperatur, lakukan sampai debit aliran terkecil.
9. Ganti pipa uji dengan bentuk lurus, ulangi pengambilan data seperti pipa uji elbow.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dari gambar 2 sampai 9, terlihat grafik hubungan antara tegangan geser dinding dan laju regangan, tegangan geser dinding dan konsentrasi, viskositas nyata dan laju regangan, viskositas nyata dan konsentrasi, dimana nilai-nilai tersebut diperoleh dari hasil analisa dari rata-rata data pengukuran pada keempat sisi *wall tap*, pada pipa elbow dan lurus.

Perhatikan gambar 4 terlihat semakin tinggi konsentrasi maka tegangan geser akan semakin besar, dari dua pipa uji terlihat tegangan geser dinding pada pipa elbow lebih besar dibanding pipa lurus, dengan menggunakan rumus 3 pada laju regangan 211,81 1/det untuk konsentrasi 4% $\tau_w = 2,120 \text{ N/m}^2$, konsentrasi 10 % $\tau_w = 2,965 \text{ N/m}^2$, untuk pipa lurus, dan pada konsentrasi 4% $\tau_w = 3,069 \text{ N/m}^2$, konsentrasi 13% $\tau_w = 3,999 \text{ N/m}^2$, untuk pipa elbow. Hal ini disebabkan karena penurunan tekanan akan semakin besar dengan bertambahnya konsentrasi dan penurunan tekanan akan lebih besar terjadi pada pipa elbow dari pada pipa lurus

karena adanya aliran kedua (*secondary flow*) yang tumpang tindih dengan aliran utama.

Viskositas nyata, akan membesar dengan bertambahnya konsentrasi, dan viskositas nyata akan lebih besar pada pipa elbow dibanding pipa lurus. Hal ini terlihat pada gambar 7, dengan menggunakan rumus 7 untuk laju regangan 211,81 1/det pada konsentrasi 4% $\eta_c = 0,010 \text{ N. det/m}^2$, konsentrasi 7% $\eta_c = 0,009 \text{ N. det/m}^2$, pada pipa lurus, dan untuk konsentrasi 4% $\eta_c = 0,012 \text{ N. det/m}^2$, konsentrasi 13% $\eta_c = 0,016 \text{ N. det/m}^2$, pada pipa elbow. Ini disebabkan karena adanya gaya sentrifugal pada saat fluida melalui pipa elbow, maka partikel-partikel padat akan tercampur lebih merata sedangkan pada pipa lurus terjadi pemisahan partikel padat dan air.

Dari rumus 5 yang diregresi linier pada skala logaritmik untuk konsentrasi (c_m) = 4%, $n = 1,31$, $c_m = 6\%$, $n = 1,25$, $c_m = 9\%$, $n = 1,75$, $c_m = 13\%$, $n = 1,33$, pada pipa elbow dan (c_m) = 4%, $n = 1,61$, $c_m = 5\%$, $n = 1,98$, $c_m = 7\%$, $n = 2,18$, $c_m = 10\%$, $n = 1,54$, pada pipa lurus.

Dari rumus 5 untuk konsentrasi (c_m) = 4%, $k = 0,00618$, $c_m = 6\%$, $k = 0,00675$, $c_m = 9\%$, $k = 0,00346$, $c_m = 13\%$, $k = 0,00895$, pada pipa elbow. Konsentrasi (c_m) = 4%, $k = 0,0022$, $c_m = 5\%$, $k = 0,000618$, $c_m = 7\%$, $k = 0,0000444$, $c_m = 10\%$, $k = 0,00224$, pada pipa lurus.

Gambar 8 memperlihatkan pola aliran fluida dilatan dilihat secara visualisasi, pada debit 2,49-2,83 m/det, terlihat fluida mengalir secara homogen dimana kecepatan butir-butir pasir lebih besar dari kecepatan pengendapan butir-butir pasir tersebut, pada debit 1,24-1,59 m/det, karena butir-butir pasir tidak sama ukurannya maka terlihat adanya pemisahan antara butir-butir pasir, aliran dikatakan heterogen. Pada debit 0,79-1,19 m/det terlihat butir-butir pasir yang berukuran lebih besar kecepataannya lebih kecil dari pada butir-butir pasir yang berukuran lebih kecil sehingga, terlihat pasir yang ukurannya kecil akan meloncat, aliran dikatakan intermediate. Pada debit 0,45-0,68 m/det terlihat butiran-butiran pasir mengumpul, setelah terjadi geseran, mengelinding dan meloncat, aliran ini disebut saltasi. Visualisasi ini menyerupai hasil penelitian Jacobs (1991)

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian secara eksperimen dapat disimpulkan karakteristik dari aliran fluida campuran pasir besi dan air dalam pipa lurus dan pipa elbow dengan empat variasi konsentrasi pada masing-masing pipa adalah sebagai berikut :

1. Dengan bertambahnya konsentrasi, maka semakin banyak butir-butir padatan yang bergeser dengan dinding pipa, penurunan tekanan akan akan naik, sehingga tegangan geser dinding akan membesar, dari kedua pipa uji yang ada, penurunan yang paling besar terjadi pada pipa uji elbow, hal ini disebabkan karena adanya aliran

kedua (*secondary flow*) yang tumpang tindih dengan aliran utama.

2. Viskositas nyata akan semakin besar dengan bertambahnya konsentrasi, dari kedua pipa uji, viskositas nyata pipa uji elbow lebih besar bila dibandingkan dengan pipa uji lurus, Ini disebabkan karena adanya gaya sentrifugal pada saat fluida melalui pipa elbow, maka partikel-partikel padat akan tercampur lebih merata.

DAFTAR PUSTAKA

1. Benedict, R.P., 1980, *Fundamental of Pipe Flow*, John Wiley and sons, New York.
2. Bird, B. R., Stewart, W. E., Lightfoot, E. N., 1960, *Transport Phenomena*, pp.10-11, Dept. of Chem. Eng., University of Wisconsin, Madison, Wisconsin.
3. Breusers, H.N.C. and Raudkivi, A.J., 1991, *Scouring*, pp. 11, A.A. Balkema, Rotterdam.
4. Darby, R., Rogers, B.A., 1980, *Non-Newtonian Viscous Properties of Methacoal Suspensions*, *AICHE Journal*, 26, 310-312.
5. Doron, P., and Barnea, D., 1995, *Pressure Drop and Limit Deposit Velocity for Solid-liquid Flow in Pipes*, *Chem. Eng. Sci.*, 50, 1596-1603.
6. Fam, D., Dodds, J.A., Leclerc, D., and Scrivener, O., 1989, *Rheological Characterization and Pipe Flow of Phosphate Muds*, *Int. Chem. Eng.*, 29, 455-462.
7. Fan, L.S., 1989, *Gas - Liquid - Solid Fluidization Engineering*, pp 310, Butterworths, Boston.
8. Jacobs, B.E.A., 1991, *Slurry Transport Systems*, pp. 38-55, Elsevier Applied Science Pub. Ltd, London.
9. Koestoer, R. A. dan Proborini, S., 1994, *Aliran Dua Fase dan Fluks Kalor Kritis*, h.35-39, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
10. Perri, R. H. and Chilton, C. H., 1974, *Chemical Engineers, Handbook*, pp. 5-39, 5-46, Mc Graw-Hill, Ltd, Tokyo, Japan.
11. Rahman, M. and Brebbia, C. A., 1996, *Advance in Fluid Mechanics*, pp. 317-323, Computational Mechanics Publications, Southampton.
12. Raswari, 1990, *Teknologi dan Perencanaan Sistem Perpipaan*, 101, UI Press, Jakarta.
13. Shah, S. N. and Lord, D., 1991, *Critical Velocity Correlations for Slurry Transport with Non-Newtonian Fluids*, *AICHE Journal*, 869.
14. Shah, S. N., 1993, *Rheological Properties of Hydroxypropyl Guar (HGP) Slurries*, *AICHE Journal*, 39, 207-214.
15. Wallis, G. B., 1969, *One-dimensional Two-phase Flow*, pp.3-4, McGraw-Hill Companies, Inc, New York.
16. Wilkinson, W.L., 1960, *Non-Newtonian Fluid*, pp.30-68, Pergamon Press, Ltd, London.
17. Zandi, I., 1971, *Advances in Solid-Liquid Flow in Pipes and its Application*, pp.1-23, Pergamon Press, Inc. New York.

NOMENKLATUR

Huruf Roman

A	Luas, m ² .
a	Panjang busur, m.
b	Sudut kelengkungan, derajat
c _f	Koefisien gesekan.
c _m	Konsentrasi campuran, %.
D	Diameter dalam pipa, m.
D	Diamerer lubang tap, mm.
dp/dz	Gradien tekanan. N/m ³
F	Gaya dorong yang diberikan pada bidang, N.
G	Fluks massa, Kg/m ² det
g	Percepatan grafitasi, m/det ² .
K	Koefisien kerugian pipa elbow.
k	Konstanta fluida power law
k'	Konsistensi indek power law, N/det ⁿ /m ²
L	Jarak antar tap, m.
L	Panjang lubang tap, mm
l	Liquid.
n	Power indek.
P	Tekanan, N/m ² .
Q	Debit aliran fluida campuran, m ³ /det.
R	Radius kelengkungan pipa elbow, m.
R	Radius kelengkungan lubang tap, mm
s	Padatan
v	Kecepatan aktual, m/det.
v _m	Kecepatan rata-rata fluida campuran, m/det.
v _z	Kecepatan aliran yang telah berkembang penuh, m/det.
w _s	Massa pasir besi, Kg.

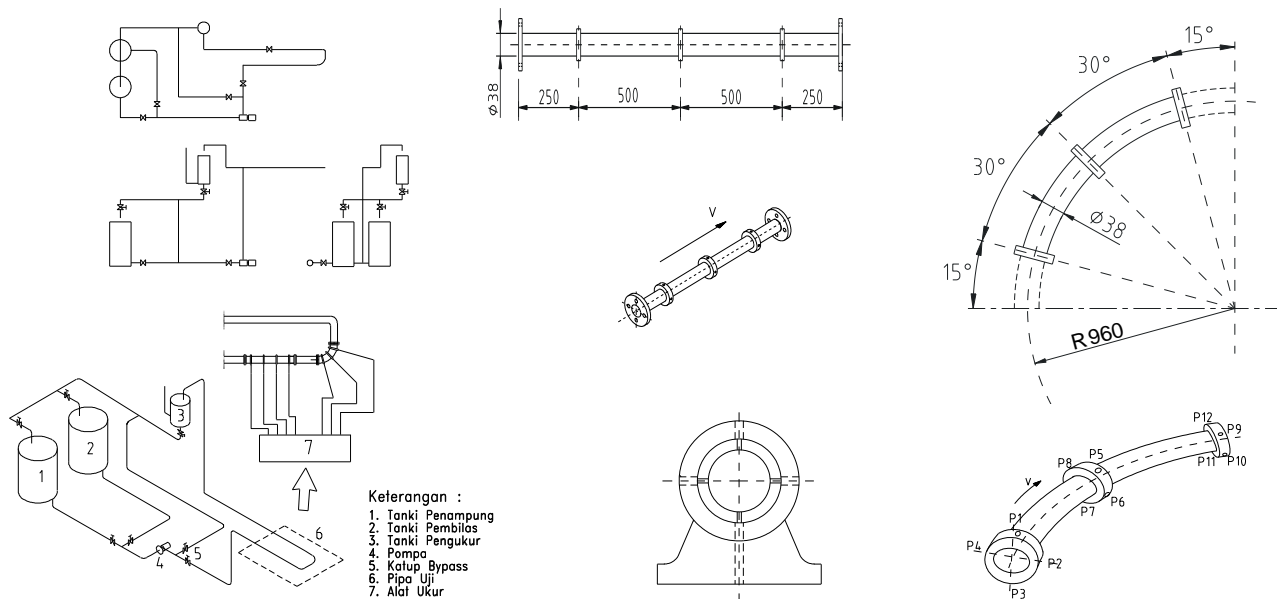
w _l	Massa air, kg.
Z	Titik ukur.
ΔP	Perbedaan tekanan, N/m ² .

Huruf Yunani

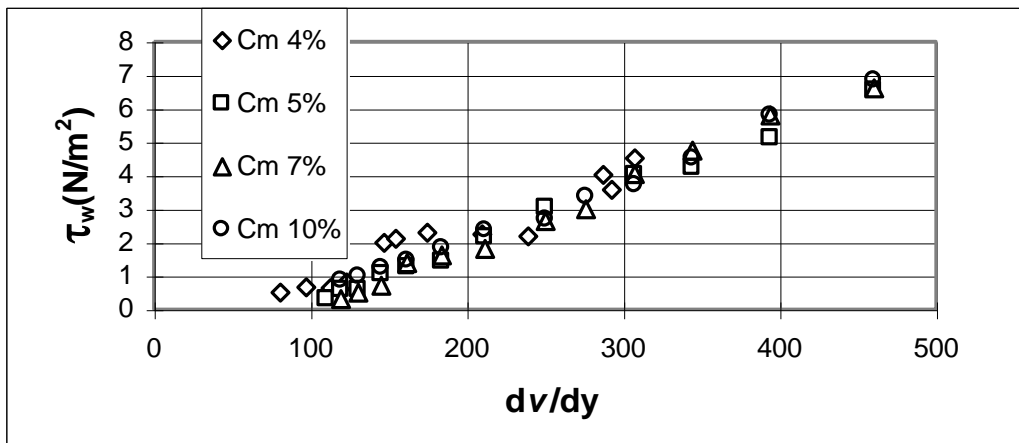
δ	Panjang elemen
φ ²	Pengali dua fasa.
γ atau dv/dy	Laju regangan, 1/det
η	Viskositas newtonian, N.det/m ² .
η _c	Viskositas nyata atau apparent viscosity, N.det/m ² .
η _∞	Limit viskositas
λ	Koefisien penurunan tekanan.
θ	Sudut kemiringan pipa.
ρ _l	Densitas air, Kg/m ³ .
ρ _m	Densitas fluida pengukur, Kg/m ³ .
ρ _s	Densitas pasir besi, Kg/m ³ .
ρ _{sl}	Densitas campuran pasir besi dan air, Kg/m ³ .
τ ₀	Yield stress, N/m ²
τ _p atau τ _w	Tegangan geser pada dinding pipa, N/m ² .
τ _{rz}	Tegangan geser pada jarak r, N/m ² .
τ _{yx}	Tegangan geser, N/m ²

Bilangan tak berdimensi

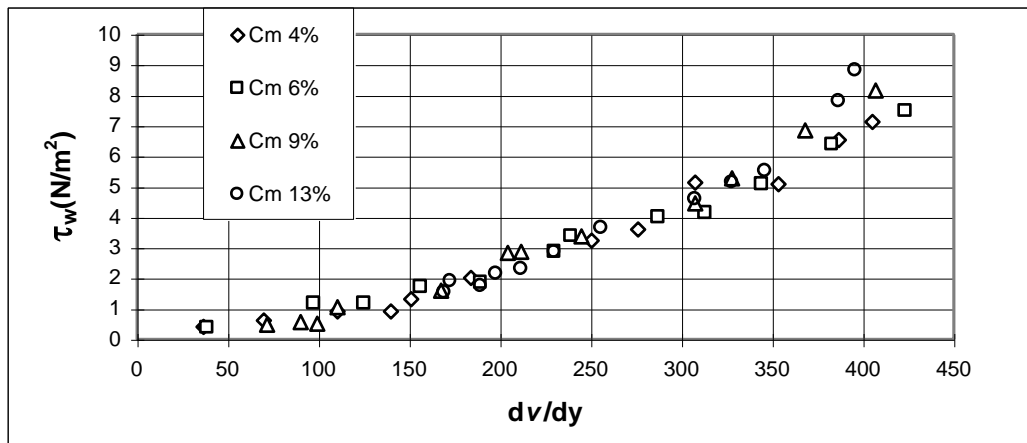
Re	Bilangan Reynold.
Re _g	Bilangan Reynold yang digeneralisasi.



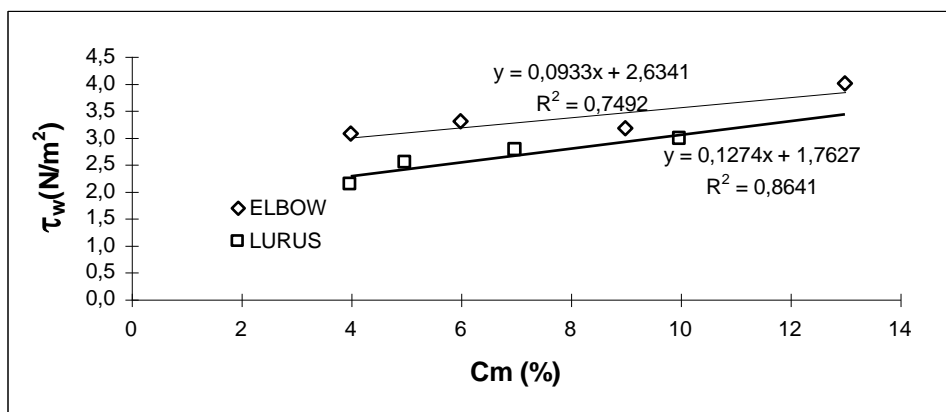
Gb.1. Instalasi Penelitian dan geometri pipa uji



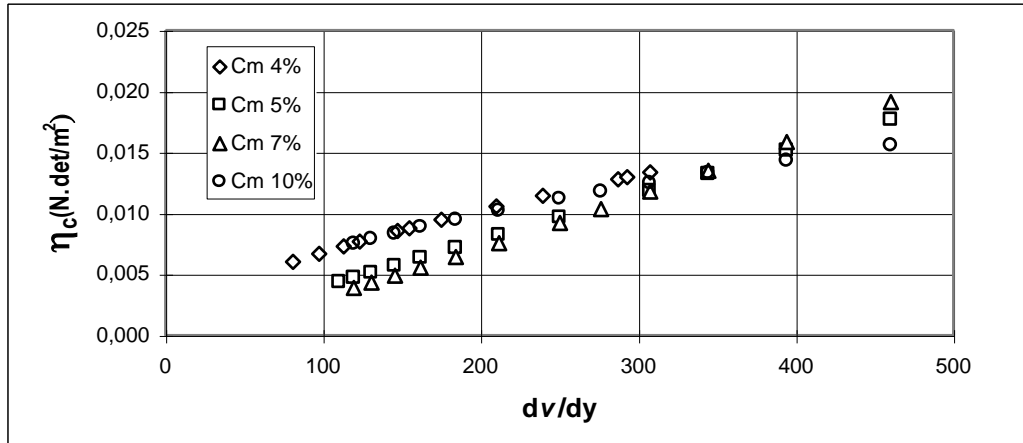
Gb.2. Tegangan Geser Dinding vs Laju Regangan, Pada Pipa Lurus



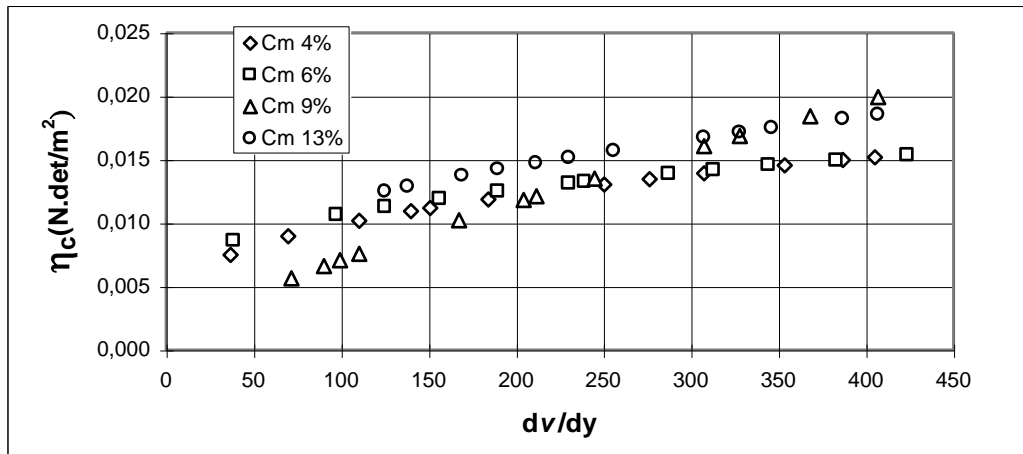
Gb.3. Kurva Tegangan Geser Dinding vs Laju Regangan, Untuk Pipa Elbow



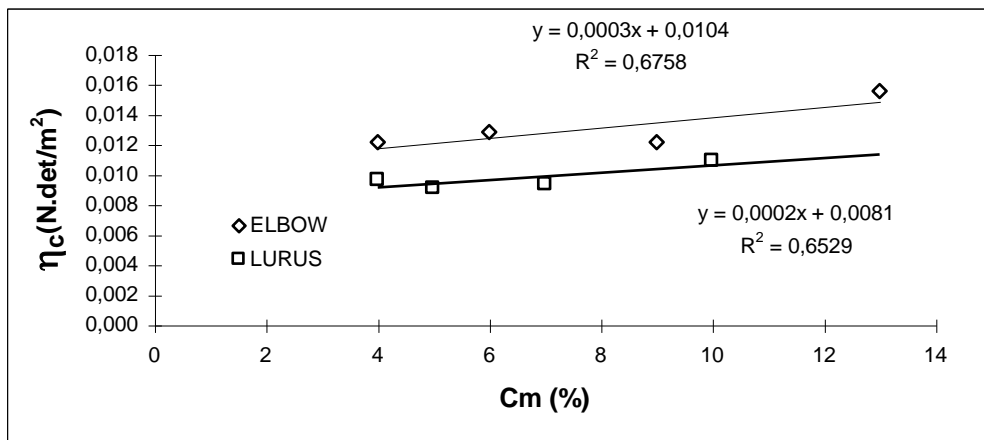
Gb.4. Kurva Tegangan Geser Dinding vs Laju Regangan,



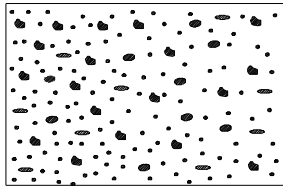
Gb. 5. Kurva Viskositas Nyata vs Laju Regangan, Pipa Lurus



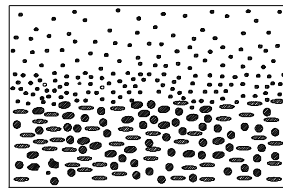
Gb. 6. Kurva Viskositas Nyata vs Laju Regangan, Untuk Pipa Elbow



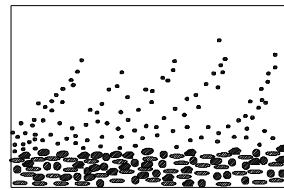
Gb.7. Viskositas Nyata vs Konsentrasi.



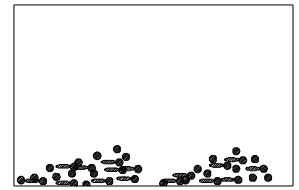
Aliran Homogen
2,49 – 2,83 m/det



Aliran Heterogen
1,24 - 1,59 m/det



Aliran Intermediate
0,75 - 1,19 m/det



Aliran Saltasi
0,45 - 0,68 m/det

Gb. 8. Visualisasi Aliran Dalam Pipa.