

BULETIN UTAMA TEKNIK

TERAKREDITASI NO. 55/DIKTI/KEP/2005

No. 2

DAFTAR ISI

| | Hal |
|---|---------|
| ↳ Analisis Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Partisipasi Kerja Wanita Yang Sudah Menikah dan Yang Belum Menikah di Kota Medan <i>Siti Rahmah Sibuea</i> | 62-71 |
| ↳ Aplikasi Metode Analysis Hierarchy Process (Ahp) dan Taguchi Untuk Perancangan Furan Pada Industri Pengecoran Logam <i>Abdurrozzaq Hasibuan</i> | 72-86 |
| ↳ Pengaruh Panjang Saluran dan Debit Fluida Terhadap Penurunan Tekanan Pada Aliran Dua Fase Garis Searah Vertikal <i>Syahrizal Siregar, Rumillah Hrp, Batu Mahadi Srg.</i> | 87-95 |
| ↳ Prediksi Perilaku Kekuatan Tanah Normal Consolidated (NCR) Dengan Model Elasto Plastis <i>Darlina Tanjung</i> | 96-103 |
| ↳ Penyaring Harmonik Dengan Penyaring Paralel Pada Jaringan Sistem Tenaga Listrik <i>Yusmartato</i> | 104-110 |
| ↳ Analisis Kesesuaian Antara Budaya Organisasi Hasil Pengukuran Dengan Yang Seharusnya <i>Ubuh Buchara Hidajat, Asep Dian Herdiansyah</i> | 111-117 |
| ↳ Analisa Statistik Sebagai Eksploitasi Pembangkit Listrik Tenaga Air Sigura-gura <i>Yusniati</i> | 118-125 |

4520



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SUMATERA UTARA



JURNAL ILMIAH
"BULETIN UTAMA TEKNIK"
FAKULTAS TEKNIK UISU

Jurnal Ilmiah :

"BULETIN UTAMA TEKNIK"

Diterbitkan oleh Fakultas Teknik
Universitas Islam Sumatera Utara sejak
September 1997. ISSN 1410-4520.

Telah Terakreditasi sebagai Jurnal
Ilmiah berdasarkan Surat Keputusan
Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi
Departemen Pendidikan Nasional R.I :

Nomor : 52/Dikti/Kep/2002
Tanggal : 12 Nopember 2002

Akreditasi Ulang dengan :
Nomor : 55/Dikti/Kep/2005
Tanggal : 17 Nopember 2005

Alamat Redaksi :

**Fakultas Teknik
Universitas Islam Sumatera Utara**

Jalan Sisingamangaraja Kampus UISU
Teladan Medan 20217
Telepon & Fax (061) 786 8049
E-mail : buletinteknik@uisu.ac.id

Pelindung :

Rektor Universitas Islam Sumatera Utara

Penanggungjawab :

Dekan Fakultas Teknik UISU

Pemimpin Redaksi :

Ir. M. Udin, MT

Redaksi Ahli :

Prof.Dr.Ir. Bustami Syam, MSME
Prof Dr.HA Rahim Matondang, MSE
Prof Ir. Priyo Suprobo, MS, PhD
Prof Dr.Abdul Muin Sibuea, MPd
Dr.Ir.H. Bachrian Lubis, MSc
Dr.Ir. Ubuh Buchara (ITB)
Dr. Muhammad Zarfis, M.Kom

Redaksi Pelaksana :

Ir. Batu Mahadi Siregar, MT
Ir. Raja Harahap, MT
Ir. Anisah Lukman
Ir. Tri Hernawati, Msi
Rahmad Widia Sembiring, SE

Editor :

Ir. Sudaryanto
Khairuddin Nasution, ST

Sekretariat :

Ir. Yusniati, MT
Syamsuddin Asm

Assalamu'alaikum

Syukur Alhamdulillah
Teknik FT-UISU
bidang science & technology
Populer yang diteliti

Kami menghargai
kualitas maupun kuantitas
melakukan kegiatan

Pada kesempatan
yang telah berpulang
Edisi Vol. 10 No. 2

Semoga FT-UISU

Wabillahi Taufiq Walikarim

Wassalamu'alaikum

Character Building
UNIVERSITY

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wb. Wb

Syukur Alhamdulillah dengan Rahmat dan Karunia Allah SWT telah terbit Buletin Utama Teknik FT-UISU Vol. 10 No. 2 Mei 2006, yang telah terakreditasi, baik menyangkut bidang science dan keteknikan/merupakan tulisan hasil penelitian maupun Karya Ilmiah Populer yang dilakukan oleh Staf Pengajar.

Kami mengharapkan untuk terbitan bulan berikutnya Staf Pengajar dapat meningkatkan kualitas maupun mutu dari tulisan, sehingga memungkinkan sebagai bahan rujukan dalam melakukan kegiatan penelitian.

Pada kesempatan ini Redaksi mengucapkan terima kasih kepada Staf Pengajar/Dosen yang telah berpartisipasi menerbitkan Buletin Utama Teknik FT-UISU terutama pada Edisi Vol. 10 No. 2 Mei 2006.

Semoga FT-UISU sukses dan maju.

Wabillahi Taufiq Walhidayah

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Wassalam,

Redaksi

Pengaruh Panjang Saluran Dan Debit Fluida Terhadap Penurunan Tekanan Pada Aliran Dua Fase Garis Searah Vertikal

Syahrizal Siregar¹⁾, Rumilla Harahap²⁾, Batu Mahadi Siregar³⁾

Abstrak

Masalah umum yang dalam system pemipaan tersebut adalah adanya penurunan tekanan (pressure drops) yang terjadi sepanjang saluran pipa tersebut. Adanya penurunan tekanan ini sangat merugikan karena debit yang diinginkan pada bagian keluaran tidak sesuai dengan yang diharapkan. Dengan demikian terjadinya penurunan tekanan tersebut dapat menurunkan unjuk kerja dari sistem tersebut.

Pada penelitian ini akan dianalisis aliran dua fase dengan aliran satu fase vertikal dengan variasi pengaruh panjang pipa dan debit cairan, sedangkan debit gas berhubungan langsung dengan udara lingkungan. Hal ini dilakukan untuk menyesuaikan dengan kondisi yang sebenarnya di lapangan, dimana gas masuk ke dalam sistem secara tidak sengaja. Air dimasukkan ke dalam pipa dengan cara dipompakan sedangkan gas masuk satu arah dengan air melalui lubang gas yang berhubungan langsung dengan udara sekitar.

Kata-kata kunci: Aliran dua fase, Panjang Pipa, Debit air.

Abstract

General issue which in pipe system is the existence of degradation of pressure that happened as long as duct. Existence of degradation of this pressure very harming because the out of water which is wanted at part of output disagree with which is expected. There by the happening of degradation of the pressure can degrade flow work from system.

This research will be analysed by two phase stream with stream one vertical phase with long influence variation of dilution to environmental air. It is done to followed to the condition of which in fact in field, where gas come in system not intentionally. Water entered into pipe by pumping while gas enter one way with water through direct corresponding gas hole with air around.

Keywords : The flow two phase, Long to the pipe, Debit of water

1. Pendahuluan

Mekanika fluida adalah telaah tentang fluida yang bergerak maupun yang diam dan akibat yang ditimbulkannya oleh

fluida tersebut pada batasnya. Batas ini dapat berupa permukaan yang padat maupun fluida yang lainnya, pelajaran tentang mekanika fluida berintikan penarikan kompromi yang jitu antara teori

dan eksperimen, karena aliran fluida itu merupakan cabang mekanika, ia mengetahui seperangkat asas kekekalan yang telah dikenal dengan baik, sehingga penelaahan teoritisnya pun telah banyak dilakukan.

Banyak faktor yang mempengaruhi terjadinya penurunan tekanan tersebut, faktor-faktor tersebut dapat dikelompokkan dalam dua kelompok besar, yaitu; (1) faktor fisik dari fluida itu sendiri, dan (2) faktor geometri dan dimensi pipa yang dijadikan saluran fluida tersebut.

Pengaruh faktor-faktor tersebut telah banyak diteliti akan tetapi masih berlaku secara khusus (kondisi tertentu) yang akan menyimpang bila diaplikasikan untuk kondisi yang berbeda. Selain itu umumnya pemakaian dari hasil penelitian tersebut hanya berlaku untuk jenis aliran satu fase (cair), tidak berlaku untuk aliran dua fase (misalnya; cair-gas). Padahal dalam kenyataannya, aliran fluida dalam saluran pemipaan tidak murni aliran satu fase akan tetapi dua fase mungkin pula aliran multi fase.

Dalam penelitian ini dilakukan dengan pengamatan dan pengukuran tekanan di bagian pemasukan (*inlet*) dan bagian pengeluaran (*outlet*) pada pipa dengan variasi panjang pipa dan debit fluida dengan kondisi faktor geometri dan dimensi serta phisis cairan lainnya dibuat tetap.

Fluida yang dipakai adalah air dan gas dengan anggapan homogen dan komposisi dipertahankan konstan serta dengan sistem aliran satu arah vertikal. Sedangkan hipotesis yang ingin diuji adalah bahwa kenaikan panjang saluran dan debit cairan berpengaruh terhadap

kenaikan dan penurunan tekanan pada aliran cair-gas searah vertikal.

Masalah dalam penelitian dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimanakah distribusi tekanan pada aliran dua fase cair-gas pada saluran searah vertikal dengan berbagai variasi panjang saluran dan debit fluida?
2. Bagaimanakah pengaruh panjang pipa terhadap penurunan tekanan dalam aliran dua fase cair-gas searah vertikal?
3. Bagaimanakah pengaruh debit fluida terhadap penurunan tekanan dalam aliran dua fase cair-gas searah vertikal?

2. Tinjauan Pustaka

Aliran dua fase banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam proses-proses industri. Dalam kehidupan sehari-hari dapat dilihat pada aliran di saluran pembuangan, aliran darah, aliran semen dan pasir di dalam pipa. Pada sistem pemipaan aliran dua fase ini perlu dihindari karena akan menimbulkan penurunan tekanan. Akan tetapi terjadinya aliran dua fase ini tidak bisa dihindari.

Karakteristik aliran dua fase dalam suatu saluran jauh berbeda bila dibandingkan dengan aliran satu fase, perbedaan ini menurut Poerodiprojo, dkk (1987), yaitu:

- (1) Perbandingan volume air-udara dapat mengalami perubahan terhadap lokasi dan kemungkinan kedua fase memiliki perbedaan kecepatan aksial (terjadinya slip), dan
- (2) Kehilangan tekanan karena gesekan (*friction*) dari kedua fase campuran bertambah dengan kenaikan kualitas atau fraksi uap maupun kenaikan fraksi hampa (*void fraction*).

Firdaus dan Daryanto (2000), dengan menggunakan pipa diameter 1 inci untuk aliran searah horizontal mendapatkan bahwa kelengkungan pipa dapat mempengaruhi penurunan tekanan secara signifikan.

Fauzan (1998), dengan menganalisis matematik lebih lanjut mendapatkan persamaaa matematik umum yang menghubungkan antara penurunan tekanan dengan sudut lengkung, diameter pipa, panjang lengkungan pipa dan debit aliran fluida untuk aliran dua fase sebagai:

$$\Delta P = f(\theta, d, l, Q).$$

Hasil penemuan menunjukkan adanya pengaruh langsung dari sudut lengkungan terhadap penurunan tekanan, akan tetapi tidak dapat dijelaskan bagaimana bentuk pengaruh tersebut.

Olson dan Wright (1993), memberikan gambaran pengaruh dari adanya belokan terhadap penurunan tekanan dengan memberikan tabel koefisien hambatan untuk pipa lengkung siku (*elbow*) pada berbagai diameter tertentu untuk aliran satu fase. Dalam hal ini penurunan tekanan, akibat disipasi energi yang terjadi di sebuah sambungan terutama disebabkan oleh aliran kedua yang tumpang tindih dengan aliran utama.

Eka Daryanto (1999), pengukuran gradien tekanan dilakukan untuk memprediksi kapan terjadinya *flooding*. Sebelum terjadinya *flooding*, gradien tekanan tidak dipengaruhi oleh kenaikan kecepatan gas yang berlaku untuk semua debit cairan. Rendahnya harga gradien tekanan ini disebabkan oleh aliran di atas injektor masih satu fase. Sedangkan pada saat terjadinya *flooding* harga dari gradien naik secara mendadak, karena aliran di atas injektor telah berubah menjadi dua fase. Untuk viskositas cairan yang sama

fenomena kenaikan gradien tekanan ini berlaku pada bentuk penampang pipa dan sinter yang berbeda. Perbedaan yang terdapat pada berbagai parameter tersebut terletak pada besarnya gradien tekanan itu, perbedaan besarnya, gradien tekanan itu menunjukkan dimana *flooding* terjadi lebih lambat atau lebih cepat.

Mirmanto (1999), *pressure drop* di atas tabung *inlet* pada saat sebelum *flooding* dan sesudahnya menunjukkan bahwa sebelum terjadi *flooding* gradien tekanan dapat diabaikan, Kecilnya gradien tekanan tersebut dikarenakan aliran di atas tabung *inlet* masih satu fase (gas).

Sedangkan Aloysius Eddy L. (1999), mengamati penurunan tekanan pada aliran searah vertikal, didapatkan beberapa penemuan yaitu untuk model aliran homogen penurunan tekanan akan berkurang secara perlahan-lahan dengan meningkatnya kecepatan aliran air dan udara.

Tetapi pada kecepatan aliran air $U_1 = 0,590$ m/s dan kecepatan aliran udara $U_2 = 0,796$ m/s, penurunan tekanan akan bertambah secara bertahap dengan meningkatnya kecepatan aliran air dan udara.

Aliran homogen adalah aliran khusus dalam aliran dua fase. Dalam model ini aliran diasumsikan bahwa kedua fase tercampur dengan merata dan mengalir dengan kecepatan yang sama. Dari persamaan kontinuitas diperoleh kesetimbangan massa untuk tiap fase berikut:

$$AG_g = AG_l = \rho_g u_g A_g = \rho_l u_l \alpha A \dots\dots (1)$$

$$AG_g = AC(1-x) = \rho_g u_g A = \rho_l u_l (1-\alpha) A \dots\dots (2)$$

Dari persamaan (1) dan (2) didapat fraksi hampa:

$$\alpha = \frac{1}{1 + \left(\frac{u_g (1-x) \rho_g}{u_l x \rho_l} \right)} \dots\dots (3)$$

Untuk aliran homogen dimana kecepatan tiap fase sama, $u_g = u_l$

$$\alpha = \frac{1}{1 + \left(\frac{(1-x) \rho_g}{x \rho_l} \right)} \dots\dots (4)$$

Penurunan tekanan didefinisikan sebagai gradien tekanan, dp/dz yang diintegrasikan sepanjang tube L.

$$\Delta p = \int_0^L \frac{dp}{dz} dz \dots\dots (5)$$

Jadi untuk memprediksi penurunan tekanan dalam sistem harus dicari dulu gradien tekanan.

3. Metode Penelitian

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah air dan gas. Pipa PVC berdiameter 0,75 inchi dengan variasi panjang dari: 1 meter, 1,5 meter, 2 meter, 2,5 meter dan 3 meter.

Metode

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan rancangan $5 \times 5 = 25$ perlakuan. Untuk setiap perlakuan direncanakan masing-masing 3 kali pengukuran, sehingga total perlakuan sebanyak $3 \times 25 = 75$ kali pengukuran.

Untuk mendapatkan data-data maka perlu dilakukan pengujian dan pengukuran terhadap variasi kondisi dan untuk

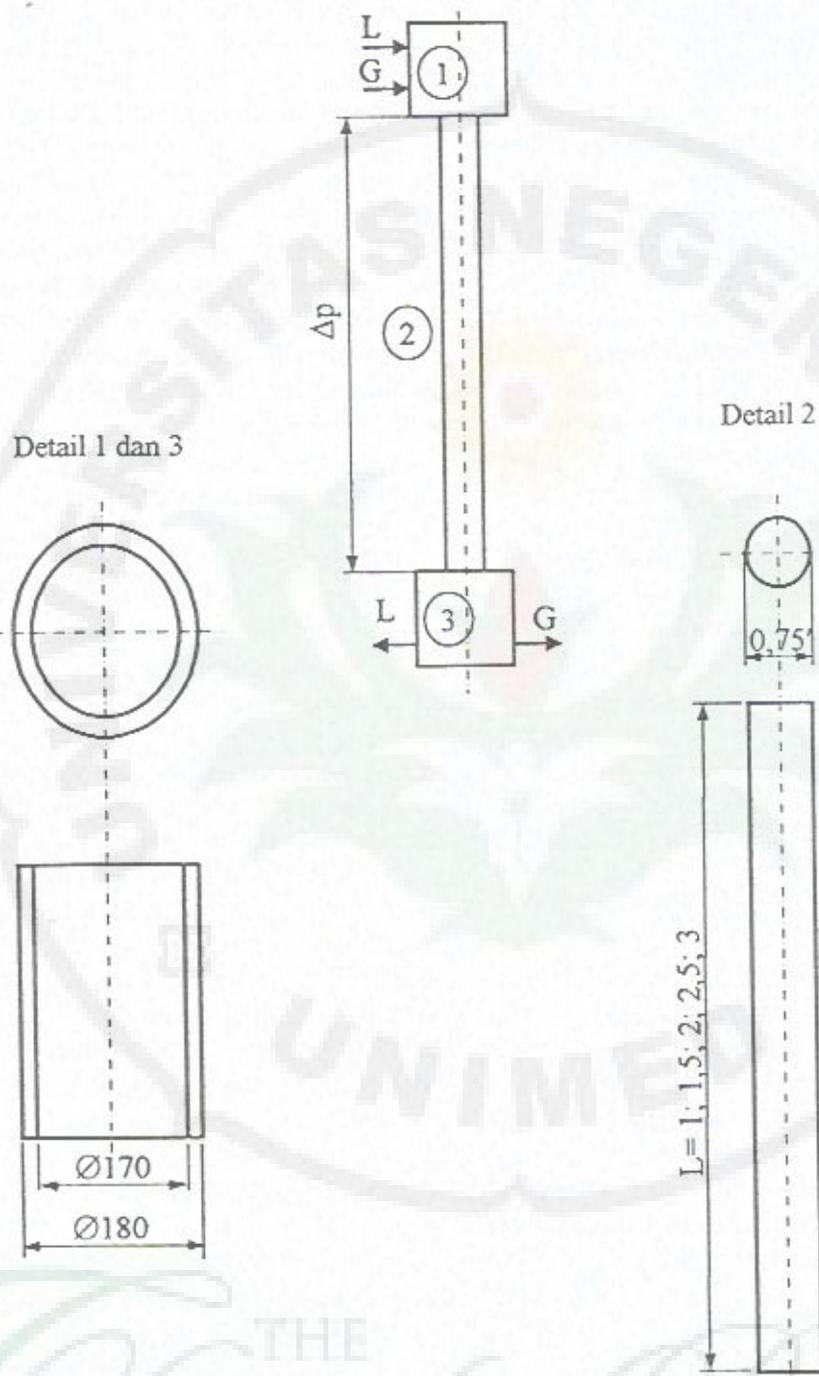
memudahkan pengeplotan data dipergunakan rancangan dengan sistem pentabulasian data

Data-data dalam penelitian ini dilakukan atas dasar perlakuan dan pengukuran dengan beberapa tahapan, yaitu;

1. Air dialirkan ke dalam pipa seksi uji dengan debit tertentu, pada saat yang sama gas dari udara luar dengan debit tertentu dimasukkan pada pipa seksi uji secara alami kemudian dilakukan pengukuran tekanan pada saat masuk seksi uji dan pada saat keluar. Pada saat yang sama pengambilan data untuk debit fluida dan panjang saluran.
2. Dengan cara yang sama selanjutnya dilakukan pengukuran tekanan pada saat masuk dan pada saat keluar seksi uji masing-masing untuk panjang saluran dan debit cairan yang berbeda. Dengan demikian semua data-data yang diperlukan dapat dikumpulkan.
3. Selama dalam saluran air dan udara dianggap mempunyai temperatur konstan sehingga proses penelitian dapat dianggap berlangsung secara adiabatik.

Untuk memudahkan dalam pengerjaan dan pengamatan data, maka dilakukan pembuatan sketsa seksi uji yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan Set-up dari alat uji yang diperlihatkan pada Gambar 2.

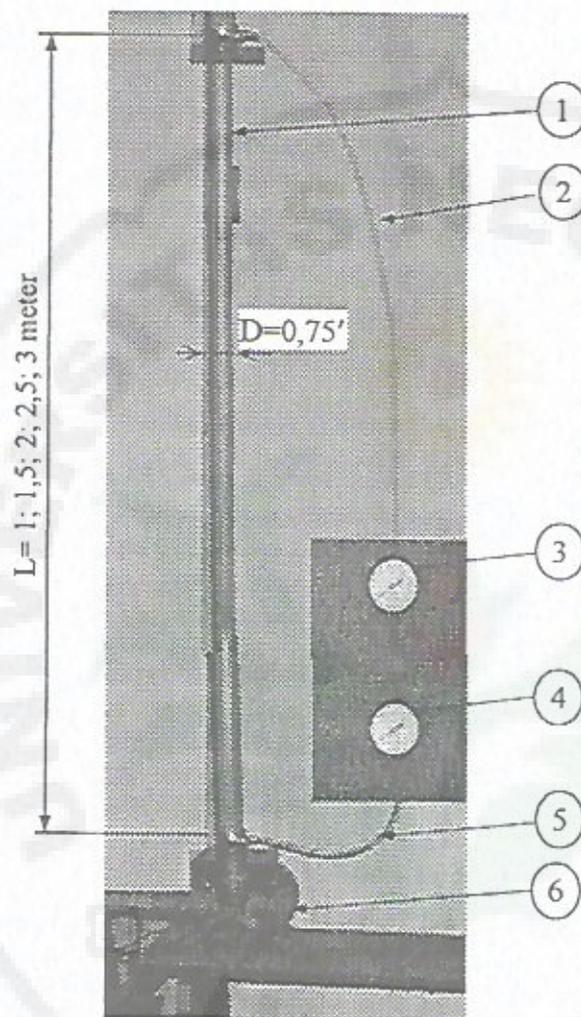
Pengaruh Panjang Saluran dan Debit Fluida Terhadap Penurunan Tekanan pada Aliran Dua Fase Garis Searah Vertikal



Gambar 1. Sketsa seksi uji

Keterangan gambar

1. Pipa PVC
2. Slang pengukur
3. Manometer
4. Pressure gauge
5. Slang pengukur
6. Pompa Sentrifugal



Gambar 2. Set-up alat uji

Keterangan gambar:

1. Pipa PVC $\varnothing 0,75'$
2. Slang pengukur ke manometer
3. Manometer tekanan
4. Pressure gauge
5. Slang pengukur ke pressure gauge
6. Pompa Sentrifugal

Tabel 1. Gradien tekanan pada berbagai panjang saluran

| Perlakuan | | Penurunan tekanan (dp/dz) | | | | |
|-----------------|-----------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | | $2,36 \cdot 10^{-5}$ (m^3/dt) | $3,33 \cdot 10^{-5}$ (m^3/dt) | $5,00 \cdot 10^{-5}$ (m^3/dt) | $6,67 \cdot 10^{-5}$ (m^3/dt) | $8,33 \cdot 10^{-5}$ (m^3/dt) |
| Panjang Saluran | 1 meter | 1,10 mm | 1,80 mm | 6,15 mm | 8,00 mm | 13,15 mm |
| | 1,5 meter | 1,85 mm | 3,75 mm | 6,90 mm | 8,55 mm | 14,65 mm |
| | 2 meter | 2,55 mm | 4,35 mm | 7,65 mm | 9,25 mm | 15,35 mm |
| | 2,5 meter | 3,25 mm | 5,15 mm | 8,45 mm | 10,10 mm | 16,05 mm |
| | 3 meter | 4,00 mm | 6,00 mm | 9,35 mm | 10,85 mm | 16,80 mm |

Data-data yang berupa distribusi tekanan pada bagian masuk dan keluar seksi uji kemudian digunakan untuk mencari penurunan tekanan pada seksi uji tersebut dengan membaca pada alat ukur tekanan yang dipasangkan pada seksi uji. Kemudian data penurunan tekanan ini ditabelkan dan diploting dalam bentuk grafik, sehingga dapat dianalisis kecenderungan yang terjadi secara kualitatif dan kuantitatif.

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil perhitungan penurunan tekanan didasarkan perhitungan gradien tekanan (dp/dz) berdasarkan hasil pengukuran head tekanan (Δh), dituangkan dalam Tabel 1. dan Tabel 2. masing-masing untuk panjang saluran yang berbeda dan debit fluida yang berbeda.

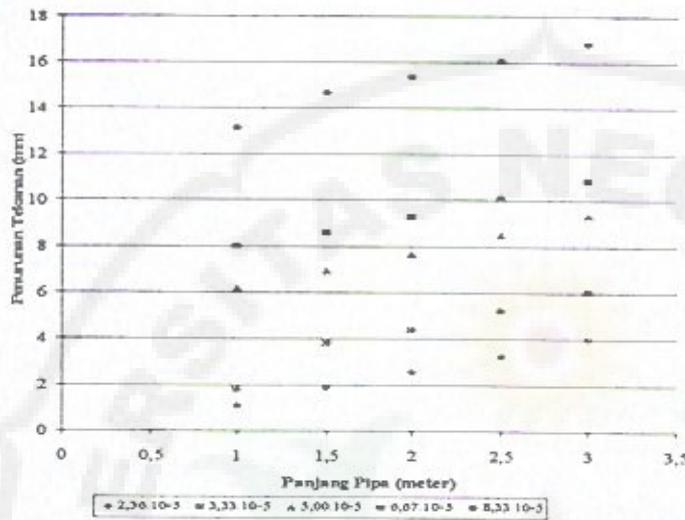
Tabel 2. Gradien tekanan pada berbagai debit fluida

| | | Penurunan tekanan (dp/dz) | | | | |
|--------------|-------|-------------------------------|-----------|---------|-----------|---------|
| | | 1 meter | 1,5 meter | 2 meter | 2,5 meter | 3 meter |
| Debit fluida | 2 lpm | 1,50 | 2,50 | 3,45 | 5,10 | 6,60 |
| | 3 lpm | 5,00 | 6,75 | 7,85 | 9,20 | 10,75 |
| | 4 lpm | 7,25 | 8,85 | 9,75 | 11,35 | 13,25 |
| | 5 lpm | 10,35 | 12,25 | 13,15 | 15,25 | 17,45 |
| | 6 lpm | 15,15 | 16,00 | 17,55 | 19,65 | 21,40 |

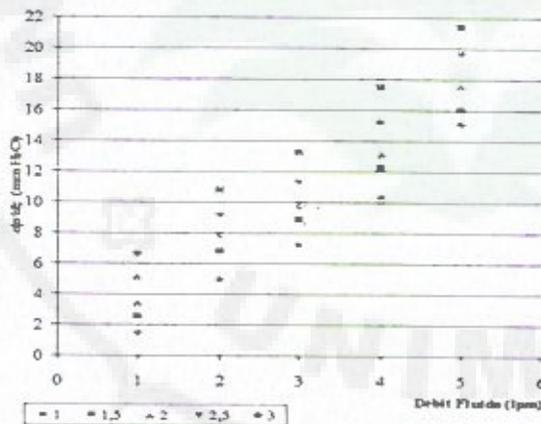
Selanjutnya untuk memudahkan dalam menganalisa kecenderungan yang terjadi

dalam pembahasan, data-data tersebut dituangkan dalam Gambar 3 dan Gambar

masing-masing untuk distribusi saluran yang berbeda dan debit fluida penurunan tekanan (dp/dz) pada panjang yang berbeda.



Gambar 3. Distribusi penurunan tekanan (dp/dz) pada variasi panjang pipa



Gambar 4. Distribusi penurunan tekanan (dp/dz) pada variasi debit fluida

ari hasil perhitungan yang dituangkan dalam bentuk tabulasi dan gambar grafik, memberikan informasi kepada kita bahwa secara kuantitatif untuk debit gas yang sama dengan pertambahan panjang pipa

menyebabkan kenaikan gradien tekanan begitupun dengan kenaikan debit cairan untuk panjang pipa yang tetap dengan debit fluida yang berbeda dapat menyebabkan kenaikan gradien tekanan.

Secara kualitatif gradien tekanan tersebut untuk debit gas konstan naik dengan bertambahnya panjang pipa, hal ini disebabkan karena pada panjang saluran yang lebih panjang, debit fluida yang terjadi besar sehingga gesekan antara fase gas dan cair lebih kuat dibandingkan dengan pada debit cairan yang kecil, dimana interaksi antara gas dan cair akan berkurang apabila debit gas konstan sedangkan debit cairan dinaikkan.

Selain itu kenaikan gradien tekanan pada kondisi tersebut disebabkan pula karena adanya gesekan antara cairan dengan dinding pipa, dimana kenaikan debit cairan akan menyebabkan kenaikan gesekan antara cairan dengan dinding pipa (bidang gesekan lebih panjang), sehingga menyebabkan kenaikan gradien tekanan.

Peningkatan kenaikan gradien tekanan dengan adanya penambahan panjang pipa dan debit fluida dapat menyebabkan pula kenaikan gesekan fluida. Kerugian gesekan ini dapat dijelaskan dengan konsep gesekan cairan dengan dinding pipa seperti dijelaskan pada bab sebelumnya. Dengan demikian jika dibandingkan dengan hasil penelitian terdahulu, hasil penelitian ini dapat mendukung hasil penelitian terdahulu, dimana variabel-variabel yang diamati dalam penelitian ini dapat mempengaruhi penurunan tekanan.

5. Kesimpulan

Dari seluruh rangkaian hasil penelitian diambil kesimpulan, yaitu untuk panjang konstan kenaikan debit cairan dapat meningkatkan gradien tekanan. Hal ini disebabkan kenaikan debit cairan dapat memperbesar gesekan dengan penambahan panjang bidang gesekan, yaitu gesekan antara fase dan gesekan dengan dinding pipa. Dan untuk debit cairan konstan kenaikan panjang pipa

dapat meningkatkan gradien tekanan. Hal ini disebabkan penambahan panjang pipa dapat memperbesar kerugian gesekan antara cairan dengan dinding pipa.

6. Daftar Kepustakaan

- Daryanto, E., dan Firdaus, 2001, *Pengaruh Debit Cairan dan Diameter Saluran Terhadap Penurunan Tekanan pada Aliran Dua Fase Gas-Cair*, Laporan Penelitian SPP DPP Fak. Teknik UNIMED.
- Fauzan, 1998, *The Influence of Bend Angle, Bends Length, Pipe Diameter, And Fluid Flow Rate to the Pressure Drops on Bends for Two Phase Flow*, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- Firdaus dan Daryanto, E., 2000, *Analisa Penurunan Tekanan pada Variasi Lengkungan Pipa untuk Aliran Dua Fase pada Aliran Searah Horizontal*, Laporan Penelitian SPP DPP Fak. Teknik UNIMED.
- Indarto, 1995, *Pengukuran Gradien Tekanan di Dinding Saluran dengan Metode Elektrokimia*, Forum Teknik, Jilid 19, No.1, dan XV, hal. 87-100.
- Olson, R.M., dan Wright, S.J., 1993, *Dasar-Dasar Mekanika Fluida Teknik*, terjemahan Alex T. Kantjono Widodo, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, Hal. 326-374.
- Poerodiprojo, S., 1987, *Aliran Dua Fase, Kursus Singkat Perpindahan Panas dengan Perubahan Fase*, PAU-IT UGM, Yogyakarta.