

Karakterisi Aliran Dua fase Cair-Gas Searah ke Atas dengan Fluida Cair Berviskositas Tinggi

Matheus M. Dwinanto *) dan Indarto **)

**) Jurusan Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

*) Jurusan Teknik Mesin, FST Universitas Nusa Cendana, Kupang

E-mail : theo67unc@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari tentang pola aliran, penurunan tekanan yang terjadi sepanjang pipa, mengukur fraksi hampa, dan kecepatan kantung gas serta panjang kantung gas sehingga diperoleh karakteristik aliran dua fase cair-gas searah ke atas pada pipa vertikal dengan fluida cair berviskositas tinggi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada kondisi aliran cairan konstan, penurunan tekanan akan berkurang dengan meningkatnya kecepatan superfisial gas. Pada aliran cairan konstan, fraksi hampa akan bertambah dengan meningkatnya kecepatan superfisial gas. Pola aliran yang terjadi adalah aliran gelembung homogen, aliran gelembung non homogen, aliran kantung kecil, dan aliran kantung besar. Kecepatan kantung akan meningkat dengan meningkatnya kecepatan superfisial cairan dan kecepatan superfisial gas. Panjang kantung akan bertambah dengan meningkatnya kecepatan superfisial cairan dan kecepatan superfisial gas. Namun dalam penelitian ini persamaan Nicklin untuk kecepatan kantung tidak berlaku.

Kata Kunci : Aliran Dua-Fase, Cairan Berviskositas Tinggi

Pendahuluan

Banyak situasi teknik dimana dua atau lebih zat yang berbeda fasenya mengalir secara serentak sebagai suatu campuran. Campuran itu mungkin merupakan kombinasi dari padat, cair, dan gas. Dalam hal demikian alirannya adalah multifase. Namun demikian sebagian besar kasus yang biasa terjadi pada aliran multifase adalah dimana hanya dua fase saja yang mengalir secara bersamaan. Ini yang dinamakan dengan aliran dua fase. Tipe-tipe yang mungkin terjadi pada aliran dua fase adalah campuran cair-gas, gas-padat, dan cair-padat.

Aliran dua fase cair-gas searah ke atas pada pipa vertikal merupakan kejadian yang paling banyak ditemui dalam bidang teknik, namun karakteristik aliran dua fase ini sepanjang pipa dimana fluida cairnya adalah cairan yang memiliki viskositas tinggi belum banyak literatur yang membahasnya, dan kebanyakan penelitian yang telah dilakukan selama ini menggunakan fluida cairnya adalah air, yang memiliki viskositas rendah. Gas yang mengalir cenderung bersifat fluida Newton, sedangkan cairan berviskositas tinggi cenderung bersifat fluida non-Newton. Aliran serentak kedua macam fluida ini menarik untuk diteliti, guna mempelajari karakteristik aliran yang terjadi sepanjang pipa dengan menggunakan pipa pleksiglas berdiameter dalam 50 mm dan panjang 2000 mm. Hal ini yang mendorong diadakan penelitian untuk menambah informasi tentang karakteristik aliran dua fase cair-gas searah ke atas sepanjang pipa yang menggunakan cairan berviskositas tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari tentang pola aliran, penurunan tekanan yang terjadi sepanjang pipa, mengukur fraksi hampa, dan kecepatan kantung gas sehingga diperoleh karakteristik aliran dua fase cair-gas searah ke atas pada pipa vertikal dengan fluida berviskositas tinggi. Penelitian ini bermanfaat sebagai bahan referensi tambahan dalam kasus aliran dua-fase yang terjadi pada pipa vertikal dengan cairan yang mengalir adalah cairan berviskositas tinggi.

Umumnya tiga dasar pola aliran, yaitu aliran gelembung (*bubble flow*), aliran kantung (*slug flow*), dan aliran anular (*annular flow*) dengan transisinya masing-masing, yang paling sering diamati pada aliran dua fase cair-gas ke atas (*upward*) pada saluran vertikal (Sobierska, dkk, 2004). Menurut Taitel, dkk (1980) aliran gelembung yang terbentuk, baik itu ukuran gelembung maupun gerakan dari gelembung sangat bergantung pada kecepatan cairan dan kecepatan gas. Sedangkan pada aliran kantung, dibutuhkan sebuah proses pengelompokan gelembung atau penggabungan dari gelembung, yang mana terjadi ketika fraksi hampanya cukup tinggi. Nasution dan Indarto (1998), dari penelitian

yang dilakukan dengan menggunakan air dan udara menemukan bahwa pada aliran gelembung I, kecepatan aliran air 0,56–1,40 m/s dan kecepatan udara 0,114-0,557 m/s. Sedangkan gelembung II terjadi pada kecepatan air 0,84-1,40 m/s dan kecepatan udara 0,557-0,826 m/s. Transisi dari aliran gelembung-kantung, terjadi pada kecepatan air 0,14-1,40 m/s dan kecepatan udara 0,114-1,087 m/s. Aliran kantung terbentuk pada kecepatan air 0,14-1,4 m/s dan kecepatan udara 0,29-1,611 m/s. Untuk transisi kantung-anular, kecepatan air 0,14 m/s dan kecepatan udara 0,114-2,680 m/s.

Triplet, dkk (1999) melakukan penelitian pada pipa berukuran mikro dengan diameter dalam 1,097 mm mendapatkan bahwa aliran gelembung homogen terjadi pada $j_l = 3,021$ m/s dan $j_g = 0,083$ m/s. Sedangkan gelembung non homogen terjadi pada $j_l = 5,997$ m/s dan $j_g = 0,396$ m/s. Aliran kantung kecil terjadi pada $j_l = 0,213$ m/s dan $j_g = 0,154$ m/s, dan aliran kantung besar terjadi pada $j_l = 0,608$ m/s dan $j_g = 0,498$ m/s.

Teddy dan Indarto (2002) menggunakan model teknik katup menutup cepat untuk mengukur fraksi hampa dari aliran dua fase gas-cairan searah ke atas pada pipa vertikal, dan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan fraksi hampa karena peningkatan aliran gas. Juga ditemukan bahwa unjuk kerja katup menutup cepat mempunyai hasil-hasil yang berbeda untuk tiap model teoritis tergantung pada pola aliran, dan keterbatasan pengamatan (*visual restriction*) pada fraksi hampa rendah. Keakuratan dapat diperbaiki, terutama pada pengukuran fraksi hampa rendah, dengan mengurangi panjang bagian uji (ruang antara kedua katup) untuk mengurangi kompleksitas yang harus ditutup dan dengan menambahkan jumlah data-data pengukuran untuk memperoleh ketepatan yang lebih tinggi.

Dalam aliran dua fase, pengukuran penurunan tekanan menimbulkan kesulitan karena adanya kemungkinan sifat mendua dalam isi saluran yang menyambung ke titik ke sarana pengukuran. Masalah lain adalah penurunan tekanan yang cenderung agak besar dalam sistem dua fase. Nasution dan Indarto (1998) menyatakan bahwa pada kecepatan aliran udara konstan, penurunan tekanan akan meningkat dengan bertambahnya kecepatan aliran air. Sedangkan untuk kecepatan aliran air konstan, penurunan tekanan akan berkurang dengan bertambahnya kecepatan aliran udara. Dengan perubahan kecepatan aliran udara dan air, diperoleh pola aliran gelembung I, gelembung II, transisi antara aliran gelembung dan kantung udara, kantung udara serta aliran transisi antara aliran kantung udara dan aliran cincin. Sobierska, dkk (2004) yang telah melakukan penelitian pada pipa berukuran mikro, menyatakan bahwa penurunan tekanan dua fase pada pipa mikro terdiri dari, penurunan tekanan gesekan dan penurunan tekanan percepatan.

Indarto (1995) menyatakan bahwa pada pola aliran gelembung dan kantung, gesekan dinding bertambah secara perlahan dengan naiknya kecepatan gas sampai akhirnya aliran menuju ke daerah transisi yang ditandai dengan naiknya gesekan dinding secara tajam, dan menurun setelah alirannya *annular*, dan akhirnya pengaruh debit cairan hampir tidak ada. Menurut Indarto (1998) harga rata-rata gesekan dinding pada aliran kantung dapat berharga negatif, yang berarti aliran film ke bawah di sekeliling kantung gas dan pancaran di belakang kantung lebih dominan, hal ini disebabkan terdapat sebagian cairan yang bergerak berlawanan arah (ke bawah) terhadap aliran utama (ke atas). Persamaan Nicklin hanya berlaku untuk aliran kantung.

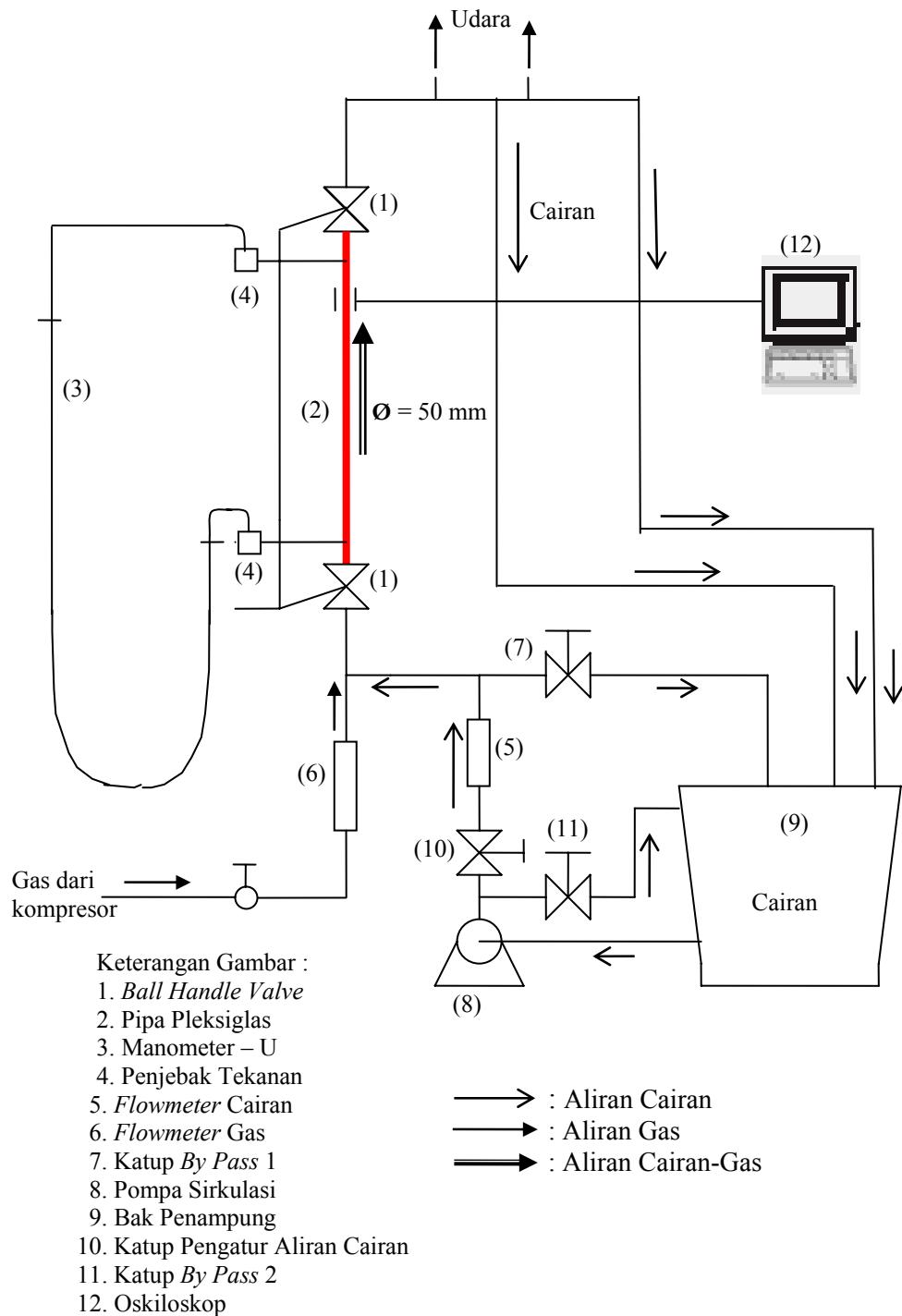
Metodologi

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- Fluida Cair : Cairan dengan sifat-sifat fisik : viskositas dinamik $\mu = 24,7 \times 10^{-3}$ kg/m.s, rapat massa $\rho = 898,15$ kg/m³, dan tegangan permukaan $\sigma = 0,031$ N/m.
- Fluida Gas : Udara bertekanan dari kompresor pada 1 kg/cm² dan T = 29 °C.

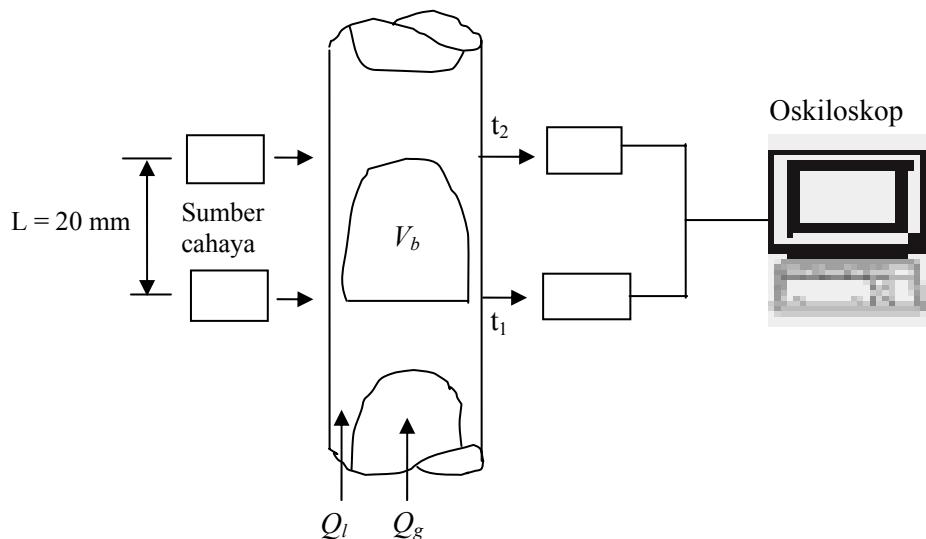
Cairan dialirkkan ke atas dengan menggunakan pompa sirkulasi dengan melewati katup pengatur debit aliran dan *flowmeter*. Udara bertekanan dari kompresor dialirkkan melalui regulator, katup pengatur debit aliran, *flowmeter*, dan kemudian diinjeksikan melalui injektor. Setelah alirannya menjadi dua fase, manometer-U akan menunjukkan besar penurunan tekanan gesekan sepanjang pipa uji. Setelah dicatat besar penurunan tekanan gesekan, kemudian dilakukan visualisasi pola aliran dengan menggunakan Sony digital handycam. Selanjutnya dilakukan pengukuran fraksi hampa dengan menggunakan metode katup menutup cepat, yaitu dengan menutup secara bersamaan katup 1, dimana

katup 1 telah dihubungkan dengan sebuah batang penghubung. Prosedur pengambilan data ini dilakukan untuk tiap besar variasi kecepatan aliran cairan dan aliran gas yang telah ditentukan.



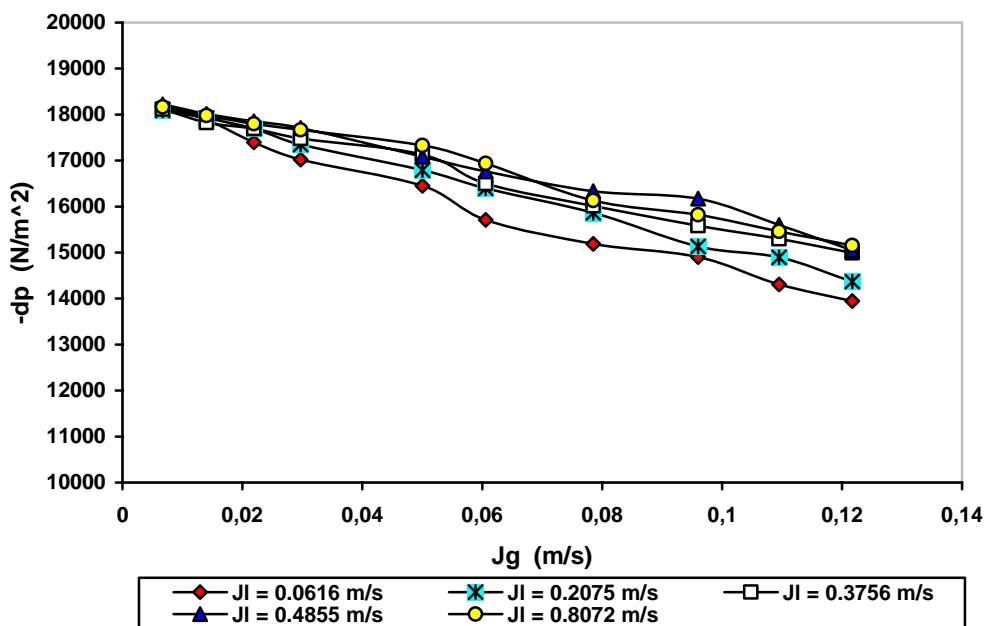
Gambar 1. Alat Penelitian Aliran Dua Fase Searah Ke Atas

Pengambilan data kecepatan kantung dilakukan dengan membandingkan dua sinyal yang terekam pada dua sensor yang berurutan sehingga akan diperoleh lama waktu yang diperlukan oleh sebuah kantung udara untuk melintasi jarak antara kedua sensor tersebut (jarak kedua sinyal 20 mm). Pembacaan oleh sensor akan digambarkan pada oskiloskop, dimana grafik yang tergambar menunjukkan waktu untuk kecepatan kantung.



Gambar 2. Pengukuran kecepatan kantung dan panjang gas

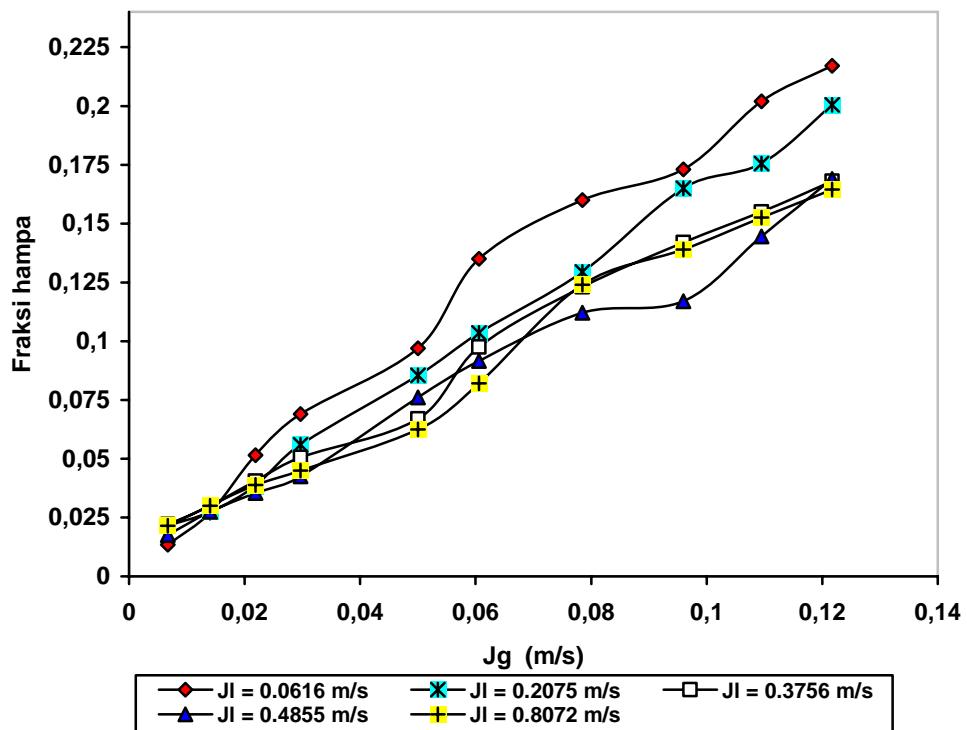
Hasil dan Pembahasan



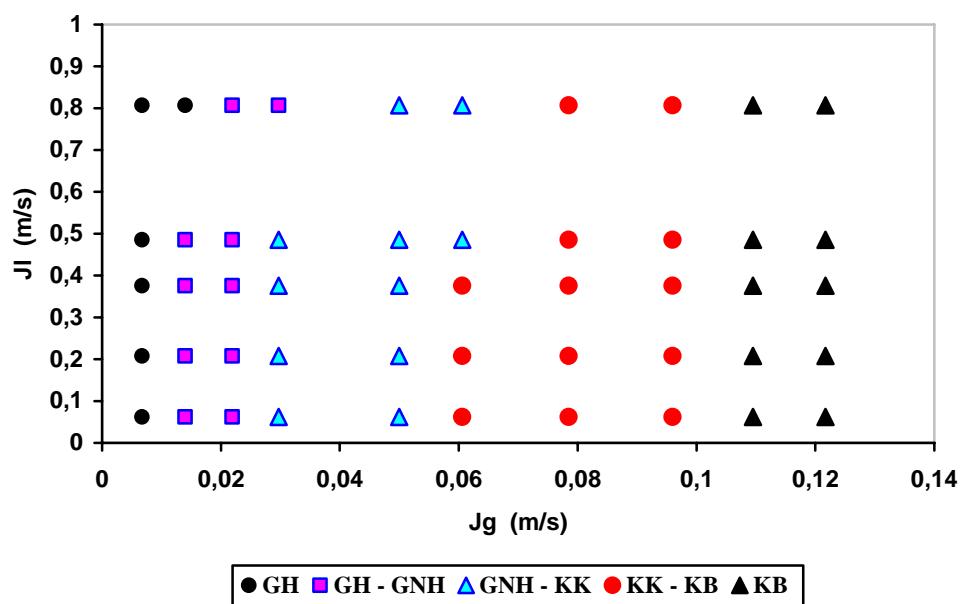
Gambar 3. Penurunan tekanan hasil pengukuran pada aliran cairan konstan

Dari gambar 3. terlihat bahwa besar penurunan tekanan hasil pengukuran akan berkurang dengan meningkatnya kecepatan superfisial. Ini sama seperti pada model aliran homogen dan model aliran terpisah, namun besar penurunan tekanan gesekan hasil pengukuran memiliki nilai yang bervariasi terhadap nilai penurunan tekanan gesekan model aliran homogen dan penurunan tekanan model aliran terpisah.

Dari gambar 4. terlihat bahwa dengan meningkatnya kecepatan superfisial gas maka fraksi hampa hasil pengukuran akan bertambah besar. Terdapatnya garis-garis yang berpotongan diakibatkan pada saat pengukuran fraksi hampa dengan menggunakan metode katup menutup cepat terjadi perubahan pola aliran, yang berdampak pada kuantitas gas yang terjebak saat pengukuran.



Gambar 4. Fraksi hampa pengukuran pada aliran cairan konstan



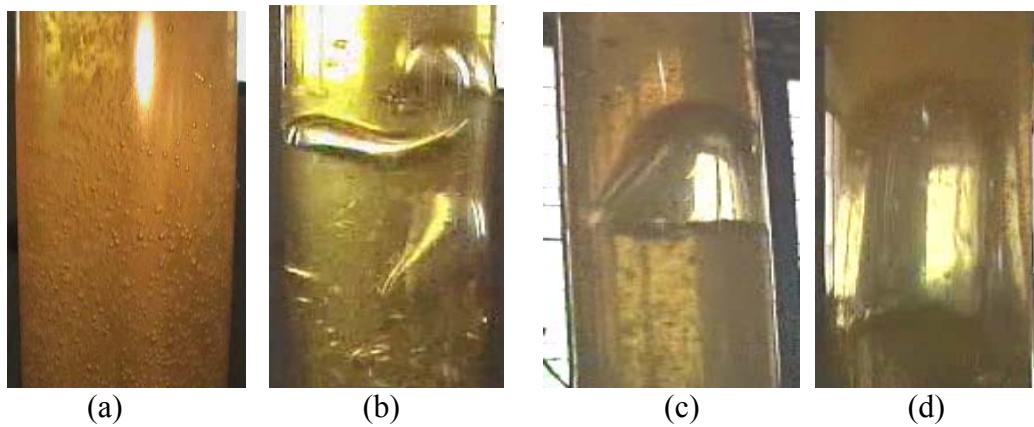
Gambar 5. Peta pola aliran dengan representasi kecepatan superfisial

Aliran gelembung homogen

Pada aliran gelembung homogen, gelembung-gelembung yang berada di tengah saluran bergerak lebih cepat ke atas, dibandingkan dengan gelembung-gelembung yang berada dekat dengan dinding pipa. Gelembung-gelembung yang berada dekat dengan dinding pipa mempunyai pergerakan yang tidak menentu, ada yang bergerak pelan ke atas dan ada yang bergerak ke bawah. Gelembung-gelembung homogen yang terbentuk dalam penelitian ini berbentuk busa atau buih.

Aliran gelembung non homogen

Pada aliran gelembung non homogen, gelembung-gelembung yang bentuknya lebih besar bergerak lebih cepat ke atas dibandingkan dengan gelembung-gelembung kecil. Gelembung-gelembung kecil bergerak lebih lambat, bahkan ada yang cenderung bergerak ke bawah. Dari gambar terlihat bahwa gelembung-gelembung non homogen mempunyai bentuk yang tidak beraturan. Hal ini sangat bergantung dari kecepatan superfisial gas dan cairan, dan sangat bergantung pula pada proses penggabungan dari gelembung-gelembung yang lebih kecil.



Gambar 6. Hasil visualisasi pola aliran

(a). Gelembung homogen, (b). Gelembung non homogen, (c). Kantung kecil, (d). Kantung besar.

Aliran kantung kecil

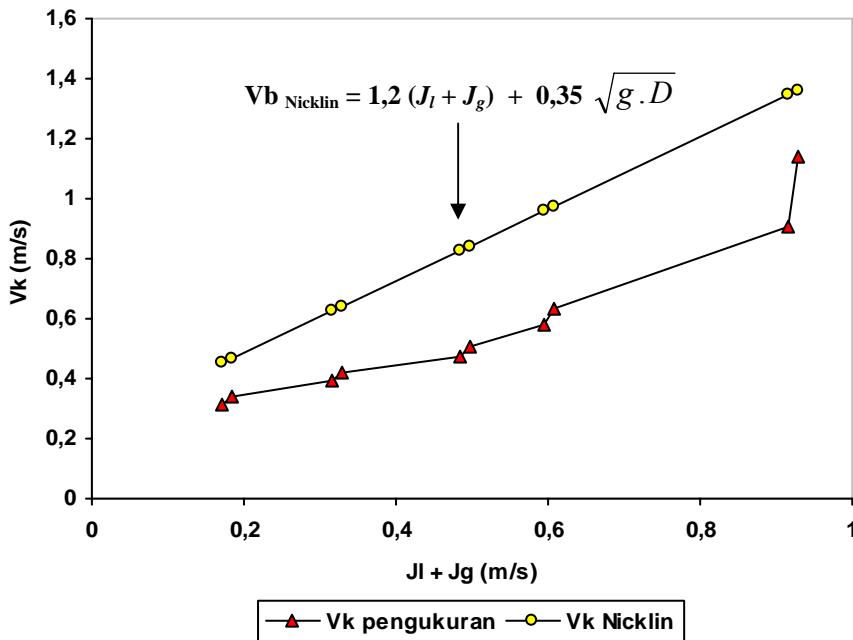
Bentuk dari aliran ini menyerupai topi, ada yang berbentuk setengah lingkaran, berbentuk lonjong dan oval. Terbentuknya pola aliran ini sangat bergantung dari kecepatan penggabungan dari gelembung-gelembung non homogen. Bila penggabungan gelembung-gelembung non homogen berlangsung lambat maka kantung yang terbentuk menyerupai topi atau setengah lingkaran. Sedangkan bila penggabungannya berlangsung cepat, maka kantungnya berbentuk lonjong atau oval. Pada aliran kantung kecil masih terdapat gelembung-gelembung kecil baik itu seperti buih atau yang tidak beraturan. Kantung mempunyai pergerakan yang cepat ke atas sedangkan gelembung-gelembung yang berbentuk buih dan tidak beraturan bergerak pelan bahkan ada yang membentuk pancaran di belakang kantung.

Aliran kantung besar

Aliran ini terbentuk sebagai akibat dari penggabungan dari aliran kantung-kantung kecil yang bergerak cepat ke atas dan bergabung satu sama lain. Hal ini tentunya diakibatkan oleh meningkatnya kecepatan superfisial gas sehingga kantung-kantung kecil bergerak cepat. Pada aliran kantung besar ini timbul lapisan berbentuk film di dinding pipa. Saat kantung gas bergerak ke atas, lapisan film ini cenderung bergerak ke bawah dan mengakibatkan golakkan yang menyerupai pancaran di belakang kantung gas. Dalam aliran kantung besar ini juga masih terdapat gelembung-gelembung yang berbentuk buih yang juga cenderung bergerak ke bawah, bahkan ada yang terperangkap dalam lapisan film. Hal ini terlihat jelas pada hasil visualisasi di bawah ini.

Kecepatan kantung gas

Dari gambar 7. terlihat bahwa hasil pengukuran kecepatan kantung gas dengan menggunakan oskiloskop jauh dari hasil yang diberikan bila menggunakan persamaan Nicklin, oleh karena itu dalam penelitian ini persamaan Nicklin tidak berlaku, karena bila digunakan persamaan Nicklin maka hubungan kecepatan kantung gas dengan penjumlahan kecepatan superfisial cairan dan gas akan membentuk sebuah garis linier. Sedangkan dari hasil pengukuran maka hubungan antara kecepatan kantung dengan kecepatan superfisial cairan dan gas membentuk sebuah garis yang tidak linier.



Gambar 7. Perbandingan kecepatan kantung udara hasil pengukuran dengan persamaan Nicklin.

Kesimpulan

1. Pada kondisi aliran cairan konstan, penurunan tekanan yang terjadi akan berkurang dengan meningkatnya kecepatan superfisial gas.
2. Pada kondisi aliran cairan konstan, fraksi hampa akan bertambah dengan meningkatnya kecepatan superfisial gas.
3. Pola aliran yang terjadi pada penelitian ini adalah pola aliran gelembung homogen, pola aliran gelembung non homogen, pola aliran kantung kecil, dan pola aliran kantung besar.
4. Kecepatan kantung gas akan meningkat dengan meningkatnya kecepatan superfisial cairan dan kecepatan superfisial gas.
5. Kecepatan kantung gas dengan menggunakan persamaan Nicklin dalam penelitian ini tidak berlaku, karena akan menghasilkan nilai yang jauh lebih besar dari nilai kecepatan kantung gas hasil pengukuran.

Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan ini kami sampaikan terima kasih kepada Dr. Ing., Ir. Harwin Saptoadi, MSE selaku Kepala Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa, PAU - Ilmu Teknik UGM beserta staf, atas fasilitas dan bantuan selama berlangsung penelitian.

Daftar Pustaka

- Hestroni, G., 1982, "Handbook of Multiphase System", McGraw-Hill Book Com., New York.
- Indarto, 1992, "Aliran Dua Fase Cair-Gas Dalam Saluran Tegak", Kursus Singkat Analisis Proses Perpindahan Panas, PAU-Ilmu Teknik, UGM, Yogyakarta.
- Indarto, 1995, "Pengukuran Gradien Kecepatan Di Dinding Dengan Metode Elektrokimia", *Forum Teknik*, Jilid 19, No.1, 87-100.
- Indarto, 1998, "Study of Slug Flow Pattern Identification in a Vertical Tube", *Media Teknik* No.1, Tahun XX, 60 – 63.
- Koestoer, R.A., 1994, "Aliran Dua Fase dan Fluks Kalor Kritis", Cetakan Pertama, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Mishima, K. and Ishii, M., 1984, "Flow Regime Transition Criteria for Upward Two-Phase Flow in Vertical Tubes", *J. Heat Mass Transfer*, Vol. 27, No. 5, 723 – 736.

- Nasution, H. dan Indarto, 1998, "Karakteristik Aliran Dua Fase(Cair-Gas) Searah Ke Atas Dalam Saluran Berdiameter Satu Inci", *Forum Teknik*, Jilid 22, No. 1, 81–90.
- Sobierska, E., Shuai, J., Mertz., Kulenovic, R. and Groll, M., 2004, "Visualisation and Flow Pattern Map for Flow Boiling of Water in a Vertical Micro Channel", *Proceeding Int. Conf. on Microchannels and Minichannels*, Rochester, New York.
- Sobierska, E., Shuai, J., Kulenovic, R., Mertz, R. and Groll, M., 2004, "Friction Factor and Presure Drop Oscillations during Flow Boiling of Water in a Vertical Micro Channel", *Proceeding Int. Conf. on Microchannels and Minichannels*, Rochester, New York.
- Taitel, Y., Bornea, D. and Dukler, A. E., 1980, "Modelling Flow Pattern Transitions for Steady Upward Gas-Liquid Flow in Vertical Tubes, *AICHE Journal*, Vol. 26, No. 3, 345 – 354.
- Teddy dan Indarto, 2002, "The Comparison of Theoretical Models and Hand Operated Quick Closing Valves Technique for Void Fraction Measurement of Gas-Liquid Two-Phase Flow", *Media Teknik* No.1 Tahun XXIV, 71-76.
- Wallis, G.B., 1969, "One-dimensional Two-phase Flow", McGraw-Hill Book Company, New York.

Data Pribadi Penyaji

Nama : Matheus M. Dwinanto, ST., MT
Tempat dan tanggal lahir : Kupang, 18 April 1973
Instansi tempat kerja : Universitas Nusa Cendana Kupang
Alamat Kantor : Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik
Universitas Nusa Cendana
Jl. Adi Sucipto, Penfui, Kupang, NTT.