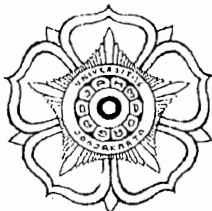


PROSIDING

Seminar Nasional PERKEMBANGAN RISET DAN TEKNOLOGI DI BIDANG INDUSTRI Jogjakarta, 8 Mei 2002

Editor :

Dr. Ir Indarto, DEA
Dr. Ir. Rochmadi, SU
Dr. Ir. Purnomo, MSME
Dr. Ir. Harry Sulisty, SU
Dr. Ir. Edia Rahayuningsih, MS
Dr. Ir. Suryo Purwono, MA Sc.
Dr. Ir. Panut Mulyono, M Eng
Dr. Ir. Harwin Saptoadi, MSE



Jurusan Teknik Kimia FT-UGM
Jurusan Teknik Mesin FT-UGM
Pusat Studi Ilmu Teknik UGM

Diterbitkan oleh :



Created with

 **nitro**PDF[®] professional

download the free trial online at nitropdf.com/professional

**Prosiding Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di
Bidang Industri: Jogjakarta , 8 Mei 2002**

Editor : Dr. Ir. Indarto, DEA
Dr. Ir. Rochmadi, SU
Dr. Ir. Purnomo, MSME
Dr. Ir. Harry Sulisty, SU
Dr. Ir. Edia Rahayuningsih, MS
Dr. Ir. Suryo Purwono, MA Sc
Dr. Ir. Panut Mulyono, M.Eng
Dr. Ir. Harwin Saptoadi, MSE

Desain sampul : Ahmad Daniyal

Penerbit : **Jogja Pustaka Mandiri**
Modinan RT 11 RW 22 No. 229 Banyuraden Gamping Sleman
Jogjakarta
HP : 0856 28 78 543

ISBN : 979-96890-0-7

Percetakan : **Jogja Pustaka Mandiri**
Modinan RT 11 RW 22 No. 229 Banyuraden Gamping Sleman
Jogjakarta.
HP : 0856 28 78 543

Cetakan pertama, 2002

Hak Cipta dilindungi Undang Undang .

*Dilarang mengutip, memperbanyak atau menerjemahkan
Sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa ijin dari penerbit*

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
BAGIAN I : APLIKASI HASIL RISET	1
1. Perhitungan Distribusi Suhu dan Konsentrasi pada "Fixed Bed Reactor" untuk Dehidrogenasi Etil Benzen	3-8
2. Sistem <i>Fluidized Bed Combustion</i> dengan Memanfaatkan Limbah Padat (<i>Sludge</i>) Industri Kertas Sebagai Bahan Bakar	9-14
3. Pengambilan Zat Warna Dari Biji Kesumba (<i>Bixa Orellana L</i>) Untuk Cat Dasar Kulit Tersamak	15-20
4. Rancangan Model Simulasi Pengolahan Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit Menggunakan Serbuk Kaca Bekas Dengan Sistem Daur Ulang.....	21-26
BAGIAN II : PENGEMBANGAN PROSES DI INDUSTRI	27
1. Pengendalian Konsentrasi Biuret saat Pabrik Urea Beroperasi di Bawah Kapasitas Desain	29-34
2. Pengaruh Konsentrasi HCHO terhadap Kualitas Produk Urea Prill (Studi Kasus: Urea berdebu)	35-40
3. Analisa Penyebab Kerusakan pada Waste Heat Boiler Pabrik Amoniak Kaltim-3	41-45
4. Modernisasi Reaktor Urea PT. Pupuk Kujang	46-50
BAGIAN III: PERPINDAHAN PANAS	51
1. Serial <i>Cooling System</i> sebagai Alternatif <i>Cooling System</i> Masa Depan	53-59
2. Simulasi Karakteristik Napthalene ($C_{10}H_8$) Sebagai Media Penyimpan Kalor Laten	60-66
3. Numerical Solution of Natural Convection in three Dimensional Cavity using Artificial Compressibility Method	67-72
4. Pengaruh Pembuatan Lubang pada Sirip Radial Berprofil Segi Empat Terhadap Laju Perpindahan Kalor Pada Silinder Bersirip	73-78
5. Kinerja Sistem Pengendalian Pencemaran Debu Semen dengan Jet-pulse Filter I-SPJF 1-06-33	79-83
6. Pengaruh Pemasangan Difuser-Nosel dengan Variasi Panjang Inlet Dilihat dari Kerugian Tekanan	84-89

BAGIAN IV: ALIRAN FLUIDA	91
1. Visualisasi Aliran Couette pada Berbagai Viskositas Cairan	93-98
2. Pola Aliran dan Gradien Tekanan pada Aliran Gas-Cair Berlawanan Arah Vertikal dengan Cairan Viskositas Tinggi	99-104
3. Pemodelan Fluktuasi Tekanan pada Pipa Akibat Operasional Katup	105-109
4. Studi Fraksi Hampa Pada Aliran Dua Fase Melintasi Sederetan Pipa Bersirip Secara Melintang	110-115
5. Pengaruh Saluran Pengarah Pada Nosel Terhadap Kinerja Ejector Untuk Pompa Sentrifugal Dengan Head Hisap Tinggi	116-121
6. Distribusi Tekanan Aliran Searah Gas-Cair pada Belokan Mendatar	122-127
BAGIAN V: MATERIAL DAN GETARAN	129
1. Sifat Mampu Tarik Dalam (<i>Drawability</i>) pada Baja Karbon	131-137
2. Komposit Matriks Keramik dengan Penguatan <i>Whisker</i> Silikon Karbid	138-143
3. Perbandingan Kekuatan aus Pahat Bubut Produk Las Hardfacing dengan HSS.....	144-148
4. Identifikasi Model Armax Sistem Dinamik alat Uji Hidraulik dengan Metode Kesalahan Prediksi (Prediction Error Method)	149-154
5. Pengaruh Pelapisan dan Perlakuan Panas Elektroless Nickel Phosphorus pada permukaan AISI 304 terhadap Hasil Pelapisan	155-160
6. Karakteristik Implantasi Ion Gabungan Aluminium Dan Nitrogen Terhadap Kekerasan Dan Keausan Pada Permukaan Baja AISI 1045	161-167
7. Pengaturan Carbon Dan Silikon Untuk Perbaikan Karakteristik Mekanik Besi Tuang Nodular	168-173
8. The MRTD Technique Based on Haar Wavelet For Acoustic Wave Modelling.....	174-180
9. Penyelesaian Numeris Persamaan Akustik 3-Dimensi Dengan Metode Beda-Hingga Implisit Orde 4	181-187
10. Identifikasi Pola Aliran Dengan Pengukuran Getaran Dalam Aliran Dua Fasa Cair-Gas Pada Pipa Horizontal	188-193
11. Analisis Reverberation Time Ruang Auditorium Graha Sabha Pramana dengan Pemodelan Akustik Skala 1:20	194-199
12. Pemakaian "AFFA" Produksi PT. ASEAN Aceh Fertilizer Untuk "Coating" Urea Prill	200-206

BAGIAN VI : PENGEMBANGAN RISET	207
1. Teknologi Pembuatan Garam Dengan Proses Elektrodialisa Dan Kristalisasi Didalam Kolom Kristalisator	209-214
2. Teknologi Dan Proses Pengolahan Larutan Bitern Sisa Pembuatan Garam	215-220
3. Rancangan Unit Pengeringan Kayu Kapasitas 50 M ³ Menggunakan Proses "Heatpump" Dengan Energi Tambahan Dari Elemen Pemanas Listrik	221-225
4. Pengaruh Laju Pemadatan Terhadap Kemurnian Hasil Proses Melt Crystallization	226-231
5. Reaksi Hidrogenasi Isoprena dalam Reaktor Monolith	232-235
6. Model Matematis Kinetika Reaksi Pembentukan Silikon Melalui Reduksi SiO ₂ Di Tanah Diatome Dengan Reduktor Magnesium	236-241
7. Penerapan Riset dan Teknologi Lingkungan Hidup di PT Pupuk Kalimantan Timur	242-246
8. Penambahan CO ₂ Pada LPG Untuk Meningkatkan Unjuk Kerja Motor Gas Dan Mengurangi Emisi Gas Buang	247-252
9. Analisis Fasa Hasil Quenching Bahan Bakar Nuklir UMo (7% Mo) dengan Difraksi Sinar-X	253-258
10. Pengambilan Zat Warna Kunyit (<i>Curcuma Domestica</i>) Sebagai Cat Dasar Kulit Tersamak.....	259-264
11. Perpindahan Massa Gas-Cair dan Flooding dalam Kolom Berpenghalang Sungkup	265-269
12. Studi Kinetika Reaksi <i>Curing</i> Resin Epoksi dengan Heksametilendiamin	270-274
13. Peningkatan Kecepatan Transfer Massa Gas-Cair dengan Penambahan Fase Organik Cair Terdispersi dalam Tangki Berpengaduk	275-280
14. Pengendalian Proses di Stripper Urea Pusri – II Saat ada Problem Pada Internal Part Stripper	281-286
15. Perancangan Penukar Kalor Untuk Pendingin Ruang Panel	287-292
16. Aplikasi Bioteknologi Untuk "Oily Soil & Waste" dalam Industri Minyak Bumi	293-303
17. Memaksimumkan Hasil Riset Kimia di LIPI Untuk Menunjang Industri	304-314

Pola Aliran dan Gradien Tekanan pada Aliran Gas-Cair Berlawanan Arah Vertikal dengan Cairan Viskositas Tinggi

Martubi* dan Indarto**

* Teknik Otomotif FT UNY, Kampus Karangmalang Yogyakarta 55281

** Teknik Mesin FT UGM, Peneliti Pusat Studi Ilmu Teknik UGM,
Jl. Grafika 2 Kampus UGM Yogyakarta 55281

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi tentang : macam pola aliran dan gradien tekanan pada aliran dua fase (gas-cair) berlawanan arah vertikal dengan fluida cair yang berviskositas tinggi.

Seksi uji terbuat dari plexyglass herpenampang lingkaran dengan diameter dalam 24 mm, fluida cairnya berupa larutan Carbonat Methyl Catalist (CMC) yang mempunyai viskositas 144,03 cst. (169 kali viskositas air), fluida gas berupa udara dari kompressor dengan tekanan $\pm 1 \text{ kg/cm}^2$ dan temperatur 25 - 30 °C.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa: Pola aliran yang terjadi meliputi aliran kantung udara, aliran acak, aliran cincin, aliran cincin kabut tetes, sampai terjadinya flooding. Gradien tekanan di bawah injektor cairan pada setiap debit cairan naik secara perlahan-lahan dengan bertambahnya kecepatan udara, namun sampai kecepatan udara tertentu kenaikan itu mengalami fluktuasi yang tidak menentu. Gradien tekanan di atas injektor cairan untuk setiap debit cairan sesudah flooding cenderung naik dengan bertambahnya kecepatan udara. Bila dibandingkan dengan hasil peneliti lain yang menggunakan air, maka dengan cairan viskositas tinggi lebih mudah terjadi flooding.

Pendahuluan

Aliran dua fase merupakan bagian aliran "multi-fase" yang banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam berbagai proses di industri. Karakterisasi aliran dua fase (khususnya cair-gas) sangat dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu faktor geometris saluran dan sifat-sifat fisis fluida yang mengalir (seperti viskositas, massa jenis, dan tegangan permukaan cairan).

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi tentang : macam pola aliran, dan gradien tekanan pada aliran dua fase (gas-cair) berlawanan arah dengan fluida cair yang berviskositas tinggi pada pipa vertikal.

Pola aliran yang umum berlaku pada aliran vertikal berlawanan arah, jika kecepatan gas secara perlahan-lahan naik dari nol meliputi: (a) aliran gelembung (*bubble flow*), (b) aliran kantung gas/sumbat cairan (*plug/slug flow*), (c) aliran acak (*churn flow*), (d) aliran cincin (*annular flow*) dan (e) aliran cincin kabut tetes cairan (*wispy-annular flow*). Selain kelima pola aliran itu ada satu lagi aliran yang dikenal dengan aliran *flooding*. Untuk debit cairan tertentu, aliran film berlawanan arah hanya dapat berlangsung bila kecepatan gas berada di bawah harga kritis, sedang di atas harga ini debit cairan yang mengalir ke bawah dalam bentuk film akan berkurang dengan cepat karena sebagian dari cairan itu ikut mengalir ke atas searah dengan aliran gas (udara), peristiwa inilah yang disebut dengan *flooding*.

Chung dkk. (1980) menemukan bahwa untuk aliran film dengan kecepatan dan tekanan sisi masuk yang sama, kenaikan viskositas cairan mengurangi tekanan di dalam film. Dengan demikian dapat terjadi perbedaan tekanan di sepanjang permukaan film. Peningkatan kekentalan cairan juga akan menyebabkan *flooding* terjadi pada kecepatan aliran udara yang lebih rendah.

Kenaikan viskositas dapat menimbulkan efek ketidakstabilan, sehingga pengaruh viskositas cairan menjadi kecil. Hewit (Delhay, 1980) telah membuktikan efek ketidakstabilan dari viskositas cairan ini dengan eksperimen minyak kayu putih dan air, dan didapatkan tiga tingkat perbedaan kecepatan *flooding* dari minyak kayu putih yang sangat kecil. Perbedaannya akan sangat nyata apabila perbedaan viskositas cairan itu berkelipatan 10 sampai 100.

Sumbodo (2000) yang mempelajari pengaruh viskositas cairan pada berbagai saluran dengan kekasaran permukaan tertentu menginformasikan bahwa semakin besar viskositas cairan akan mempercepat terjadinya *flooding*. Meskipun penelitian dilakukan pada berbagai kekasaran saluran tetapi viskositas cairan lebih dominan pengaruhnya terhadap *flooding*.

Wallis (1969) menyebutkan bahwa untuk cairan *glycerol* dengan berbagai konsentrasi didapatkan hubungan bahwa semakin tinggi viskositas cairan, maka terjadinya *flooding* semakin mudah. Selanjutnya Wallis (1969) mengkorelasikan kecepatan gas (udara) dan cairan pada waktu *flooding* sebagai berikut :

$$(J_g^*)^{1/2} + m (J_l^*)^{1/2} = C \dots\dots\dots (1)$$

$$J_{g,l}^* = J_{g,l} \{ \rho_{g,l} / gD(\rho_l - \rho_g) \}^{1/2} \dots\dots\dots (2)$$

$$J_{g,l} = (4 Q_{g,l} / \pi D^2) \dots\dots\dots (3)$$

Secara umum penurunan tekanan total (Δp) satu fase atau dua fase dapat diartikan sebagai penurunan tekanan akibat gesekan (Δp_f), gravitasi (Δp_g) dan penurunan tekanan akibat percepatan (Δp_a), yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta p = \Delta p_f + \Delta p_g + \Delta p_a \dots\dots\dots (4)$$

$$\Delta p_f = \rho g h_f \dots\dots\dots (5)$$

$$\Delta p_g = \rho g h \dots\dots\dots (6)$$

Untuk aliran dua fase sebenarnya belum ada korelasi umum yang akurat untuk penurunan tekanan yang berlaku untuk semua bentuk pola aliran, maka untuk menghitung penurunan tekanan dapat dilakukan dengan pendekatan: seperti aliran dianggap homogen (*homogeneous flow*) atau aliran terpisah (*separated flow*).

Fasilitas dan Cara Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: Fluida Cair, berupa larutan CMC (*Carbonat Methyl Catalist*) dengan kadar ± 5 % berat air sehingga didapat fluida cair yang dapat disebut sebagai fluida berviskositas tinggi ($\nu = 144,03$ centistokes atau 169 kali viskositas air, ν air = 0,850 cst.); gas : berupa udara bertekanan, $P = \pm 1$ kg/cm² dan $t = 25$ °C – 30 °C, pipa transparan (*plexiglass*) berdiameter 25,4 mm (diameter dalam = 24 mm), pipa paralon (PVC) berdiameter: 0,5; 1 dan 1,5 inchi. Alat-alat yang diperlukan selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 1.

Pengambilan data eksperimen dilakukan dengan dua cara, yaitu pada debit cairan konstan udara berubah, dan debit udara konstan cairan berubah. Debit cairan maupun udara diatur dengan kran pengatur. Perbedaan tekanan aliran sebelum terjadinya *flooding* diukur dengan manometer kolom air di bawah injektor cairan, adapun perbedaan tekanan aliran pada waktu *flooding* diukur dengan manometer air di atas injektor cairan.

Data yang diperlukan dalam penelitian ini diambil dengan pengamatan langsung baik secara visual maupun melalui peralatan-peralatan yang sesuai.

Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pola Aliran

Dengan berbagai cara pengaturan pembukaan kran pipa uji maupun pengaturan debit cairan/udara ternyata hanya mampu diperoleh pola aliran mulai dari: aliran kantung gas (*plug/slug*), aliran acak (*churn*), aliran cincin (*annular*), aliran cincin kabut tetes likuid (*wispy annular*) sampai mekanisme terjadinya *flooding*. Aliran gelembung tidak dapat muncul meskipun sudah dilakukan pengaturan pembukaan saluran pipa uji sedemikian rupa. Hal ini mungkin disebabkan oleh fluida cair yang digunakan berviskositas tinggi, atau karena diameter lubang injektor udara kurang kecil.

Bentuk aliran kantung udara terdiri atas kepala kantung yang bulat dan badan kantung berbentuk silindris. Aliran ini hanya terjadi pada kecepatan superfisial aliran cairan : 0,074 sampai 0,442 m/s dan kecepatan udara: 0,071 m/s sd. 0,903 m/s.

Pola aliran acak diperoleh ketika pada aliran kantung udara kemudian kecepatan udara dinaikkan lagi sampai harga tertentu. Dengan naiknya kecepatan gas tampak bahwa alirannya semakin terganggu, dan juga gradien tekanan pada seksi uji menjadi lebih besar. Sebagian cairan sudah ada yang mulai terdorong ke atas tetapi belum menunjukkan adanya stabilitas aliran, artinya ada beberapa bagian cairan yang gerakannya belum menentu, kadang ikut terbawa ke atas, kadang juga jatuh lagi ke bawah. Aliran acak terjadi pada kecepatan udara 0,071 m/s sampai 1,113 m/s dan kecepatan cairan : 0,368 m/s sampai 0,662 m/s.

Pola aliran cincin (*annular*) pada penelitian ini tampak cukup jelas, yaitu aliran dalam bentuk film cairan yang menempel pada dinding pipa uji. Pada pola aliran ini apabila kecepatan udara dinaikkan secara bertahap

maka alirannya menjadi agak terganggu. Pola aliran cincin berlangsung pada kecepatan cairan : 0,442 m/s sampai 0,810 m/s dan kecepatan udara : 0,071 m/s sampai 1,319 m/s. Selanjutnya apabila kecepatan udara terus dinaikkan, maka sebagian film cairan yang menempel pada dinding pipa terlepas ke tengah saluran, dan sebagian diantaranya ada yang tergantung kembali ke bawah. Fenomena ini merupakan transisi ke pola aliran berikutnya, yaitu cincin kabut tetes (*wispy annular*).

Pada pola aliran cincin kabut tetes (*wispy annular*) tampak bahwa aliran berbentuk lapisan film tipis yang menempel pada dinding pipa uji bersama dengan sebagian besar cairan yang berada di tengah saluran di antara udara. Cairan dalam film bercampur dengan gelembung udara sehingga terlihat seperti butir-butir cairan yang besar dan terkonsentrasi dalam gumpalan panjang namun tidak teratur. Jika kecepatan udara terus ditambah lagi, maka konsentrasi tetesan cairan dalam udara juga terus bertambah dan akhirnya bergabung membentuk gumpalan-gumpalan yang mulai bergerak ke atas. Peristiwa tersebut merupakan awal dari proses terjadinya aliran balik yang sering disebut dengan *flooding*. Pola aliran cincin kabut tetes berlangsung pada kecepatan cairan : 0,074 m/s sampai 0,368 m/s dan kecepatan udara : 1,113 m/s sampai 1,743 m/s.

Flooding

Sebagaimana telah disebutkan bahwa *flooding* merupakan peristiwa pembalikan arah aliran fluida cair yang semula ke bawah menjadi ke atas searah dengan aliran udara. Peristiwa *flooding* dapat dideteksi dengan adanya beda tekanan di atas injektor cairan. *Flooding* dengan cairan yang berviskositas tinggi terjadi lebih awal untuk setiap debit cairan dibanding *flooding* pada aliran serupa dengan cairan berviskositas jauh lebih rendah (air).

Dari hasil pengukuran diperoleh korelasi kecepatan udara dan cairan pada saat *flooding* yang dinyatakan dengan parameter tak berdimensi berdasarkan persamaan (2) untuk beberapa debit aliran. Selanjutnya apabila dikorelasikan maka akan diperoleh persamaan : $J_g \cdot^{1/2} + 0,1490 \cdot J_l \cdot^{1/2} = 0,4383$. Korelasi tersebut ternyata agak berbeda dengan korelasi Wallis dengan $C = 1$, yaitu $(J_g^*)^{1/2} + m (J_l^*)^{1/2} = 1$.

Berdasarkan korelasi tersebut dapat dijelaskan bahwa untuk nilai C yang semakin kecil, jika kecepatan udara meningkat dan laju aliran cairan tetap maka *flooding* dapat terjadi lebih awal. Pada kecepatan cairan yang lebih besar *flooding* terjadi lebih awal, karena aliran sumbat cair terjadi lebih cepat dan mengakibatkan pembalikan arah aliran cairanpun terjadi lebih mudah.

Jika hasil penelitian ini dibandingkan dengan hasil-hasil penelitian sebelumnya seperti Mahmudin (1998) dan Wallis (1961) ternyata kecepatan kritis aliran udara saat *flooding* pada penelitian ini lebih rendah dibanding kecepatan kritis penelitian sejenis dengan fluida cair yang berviskositas jauh lebih rendah (Gambar 2).

Gradien Tekanan di Bawah Injektor Cairan

Gradien tekanan aliran dua fase di bawah injektor cairan, ditunjukkan pada Gambar 3. Dari Gambar 3 tersebut terlihat jelas bahwa untuk setiap debit cairan, gradien tekanan naik secara perlahan-lahan dengan bertambahnya kecepatan aliran udara, namun sampai kecepatan udara tertentu kenaikan itu mengalami fluktuasi yang tidak menentu tetapi kecenderungannya menurun. Hal ini sesuai dengan hasil pengamatan peneliti lain (Indarto, 1995) berdasarkan pengukuran gesekan dinding dengan metode polarographi.

Gradien Tekanan di Atas Injektor Cairan

Pengambilan data gradien tekanan di atas injektor cairan diperlukan dalam rangka mendeteksi dimulainya fenomena *flooding*. Hasil pengukuran gradien tekanan di atas injektor cairan baik sebelum maupun sesudah terjadinya *flooding* ditunjukkan pada Gambar 4.

Dari Gambar 4 dapat dijelaskan bahwa untuk semua debit cairan ternyata gradien tekanan di atas injektor cairan mula-mula sangat kecil, kemudian membesar secara mendadak, ini disebabkan oleh tahapan aliran yang mula-mula hanya aliran satu fase (udara saja) baru kemudian diikuti oleh aliran cairan yang terbawa ke atas.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasannya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam eksperimen ini pola aliran yang terjadi hanya meliputi: aliran kantung udara, aliran acak, aliran cincin, aliran cincin kabut tetes, sampai terjadinya *flooding*. Aliran gelembung udara tidak dapat muncul, mungkin disebabkan oleh fluida cair yang digunakan berviskositas tinggi atau karena lubang injektor udara kurang kecil.
2. Gradien tekanan di bawah injektor cairan pada setiap debit cairan konstan naik secara perlahan-lahan dengan bertambahnya kecepatan udara, namun sampai kecepatan udara tertentu kenaikan itu mengalami fluktuasi yang tidak menentu. Sedangkan pada kecepatan udara konstan dan debit cairan bertambah gradien tekanan selalu mengalami fluktuasi.

3. Gradien tekanan di atas injektor cairan sesudah *flooding* mengalami kenaikan, bersamaan dengan gradien tekanan di bawah injektor cairan yang menunjukkan harga yang hampir konstan atau bahkan cenderung menurun.
4. Kecepatan kritis aliran udara saat terjadinya *flooding* rata-rata lebih rendah dibanding kecepatan kritis pada sistem aliran serupa dengan fluida cair yang berviskositas jauh lebih rendah (air).

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktur Pusat Studi Ilmu Teknik UGM, Kepala Laboratorium HMT PAU-IT UGM dan para teknisinya (Sdr. Sangudi dan Suwarto), serta semua pihak yang telah banyak memberikan bantuan dalam pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Chung, K.S., Liu, C.P., Tien, C.L., 1980, "Flooding in Two Phase Counter Current Flow-II", *Physico Chemical Hydrodynamics*, Vol. 1, 209-220.
- Delhaye, J.M., Giot, M., Rietmuller, M.L., 1980, *Thermodynamics of Two-Phase System for Industrial Design and Nuclear Engineering*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Indarto, 1995, "Pengukuran Gradien Tekanan Terhadap Kecepatan Gas Pada Fenomena Flooding" *Media Teknik*, Nomor I Tahun XV.
- Mahmudin, 1998, "Karakteristik Aliran Dua Fase (Gas-Cair) Berlawanan Arah Vertikal Dalam Saluran Berdiameter Kecil", *Tesis*, Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta.
- Sumbodo, 2000, "Studi Eksperimental *Flooding* Pada Saluran Vertikal Dengan *Sharp Inlet-Outlet*: Variasi Kekasaran Permukaan Saluran dan Sifat Fisis Cairan", *Tesis*, Program Pascasarjana UGM Yogyakarta.
- Wallis, G. B., 1961, "Flooding Velocity For Air and Water in Vertical Tubes", *UKAEA Reactor Group, AEEW - R 123*.
- Wallis, G. B., 1969, *One Dimensional Two-Phase Flow*, McGraw-Hill, New York.

Daftar Lambang dan Artinya :

Huruf Roman :

- D : diameter saluran (m)
 dp/dz : gradien tekanan (kN/m³)
 g : percepatan gravitasi (m/s²)
 h : tinggi (m), penurunan head tekanan (m)
 J : kecepatan superfisial fluida (m/s)
 Δp : penurunan tekanan (kN/m²)
 Q : debit fluida (m³/s)

Indeks :

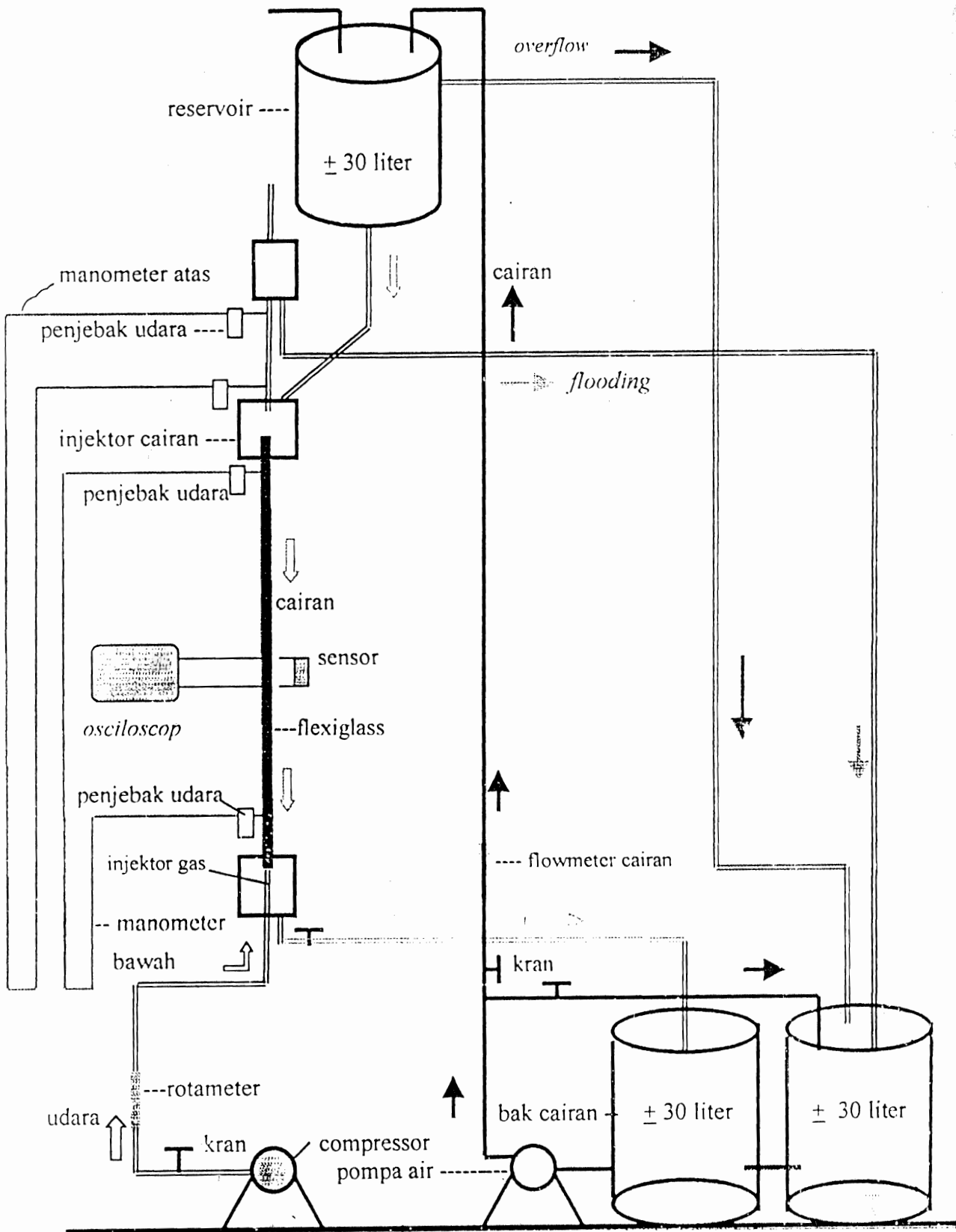
- a : akselerasi (percepatan)
 f : faktor gesekan cairan
 g : gravitasi / gas
 l : cairan

Huruf Yunani :

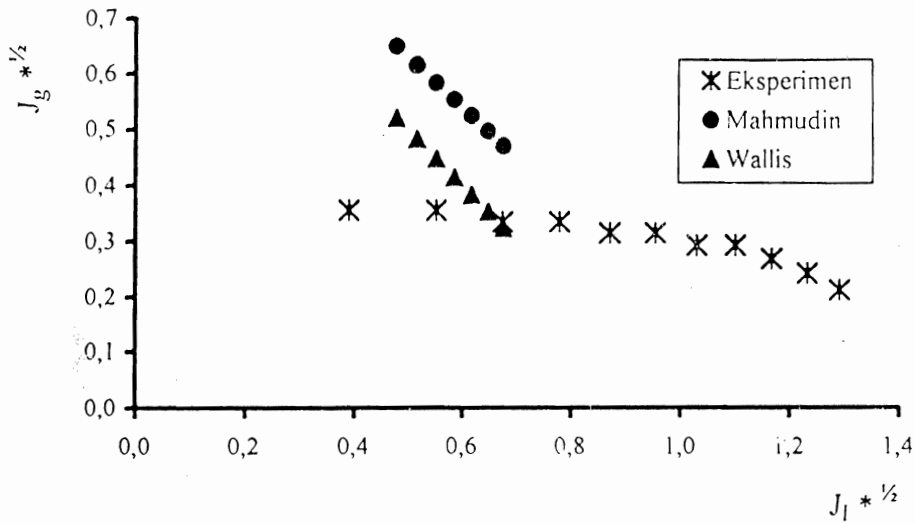
- ρ : densitas / massa jenis (kg/m³)

Bilangan Tak Berdimensi :

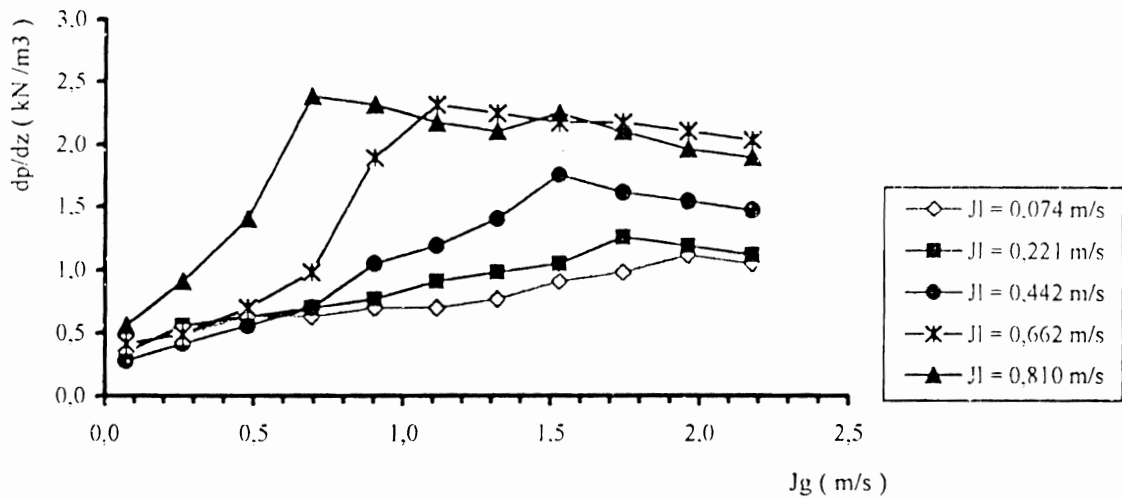
- C, m : konstanta
 D* : diameter tak berdimensi
 J* : kecepatan superfisial gas (cairan) tak berdimensi



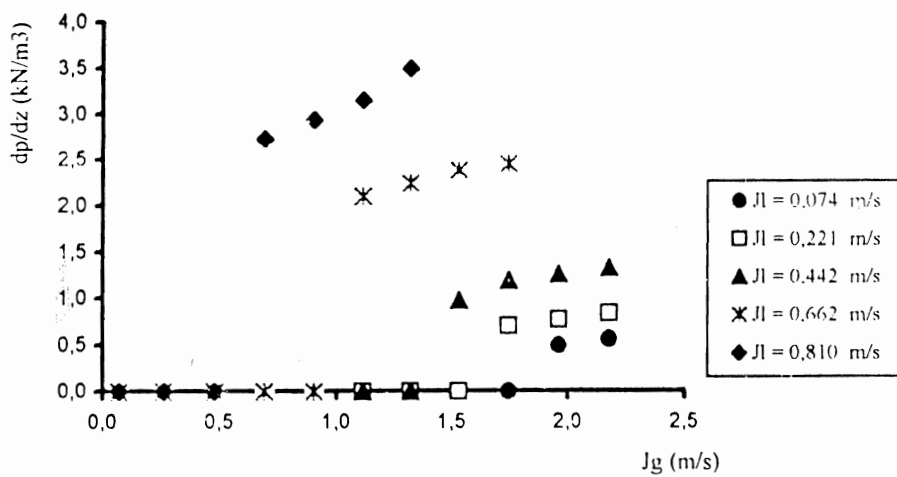
Gambar 1. Instalasi Percobaan Aliran Dua Fase Berlawanan Arah Vertikal



Gambar 2. Kecepatan Permukaan Tak Berdimensi Saat Flooding.



Gambar 3. Gradien Tekanan Aliran Dua Fase di Bawah Injektor Cairan



Gambar 4. Gradien Tekanan Aliran Dua Fase di Atas Injektor Cairan