

Karakteristik Aliran *Film* dan Kecepatan *Flooding* Dalam Aliran Berlawanan Arah Vertikal

Mahmuddin¹⁾, Samsul Kamal²⁾, Indarto³⁾, Purnomo⁴⁾

¹⁾ Mahasiswa Sekolah Pascasarjana Prodi Teknik Mesin UGM Yogyakarta
^{2,3,4)} Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik UGM Yogyakarta
Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta 55281. Fax (0274) 902180, 521673
e-mail: mahmuddin.umitek@yahoo.com

Abstrak

Studi karakteristik film dan kecepatan flooding pada daerah laminar ($1457 \geq Re_L \leq 3794$) dalam pipa vertikal. Gas diinjeksikan dari bawah secara aksial sedangkan cairan diinjeksikan dari atas melalui dinding berpori-pori. Pengukuran tebal film dengan metode konduktimetrik, yaitu dua elektroda terbuat dari platina diameter 1mm yang dipasang pada pipa uji non konduktor dengan jarak 10mm. Salah satu ujung elektroda dihubungkan dengan sumber tegangan, sedangkan ujung yang satu dihubungkan dengan resistor. Pada kedua ujung resistor tersebut dihubungkan dengan multimeter PM2525. Dengan memvariasikan debit cairan, maka tegangan listrik yang terbaca oleh multimeter juga berubah sebagai korespondensi tebal film. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa di bawah kecepatan flooding, aliran film berfluktuasi dan cenderung merata terhadap kenaikan kecepatan gas. Dengan aliran acak (*churn flow*) dan aliran sumbat (*slug flow*) yang muncul dari bawah saluran, bergerak ke atas mengakibatkan tebal film naik secara mendadak, tetapi saat mencapai kecepatan flooding besaran ini turun secara drastis. Fenomena lain yang telah diamati adalah dengan adanya gelombang tunggal bergerak ke atas oleh aliran gas sebagai konsekuensi permulaan flooding. Gelombang ini mempengaruhi tebal film dan struktur aliran. Kalibrasi dilakukan dengan mengukur tebal film yang terdapat diantara dua silinder co-aksial dan variasi tebal film diperoleh dengan mengganti silinder dalam pada ukuran yang berbeda.

Kata kunci : Kecepatan flooding, Tebal film, dan Aliran berlawanan arah.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Aliran gas cair berlawanan arah (*counter current flow*) banyak ditemui dalam aplikasi industri seperti aliran film vertikal dalam kondensor, evaporator, alat pemroses, sistem pendingin. Karakteristik aliran film sangat penting dalam menentukan perpindahan panas. Jika kecepatan gas mencapai kecepatan kritis *flooding* akan timbul gelombang pada permukaan film yang diawali aliran acak dekat injektor gas, aliran sumbat dan akhirnya terjadi *flooding* (Mahmuddin dkk, 2006). *Flooding* perlu dihindari karena akan mengurangi kinerja dari peralatan industri tersebut dan bahkan dapat mengakibatkan kerusakan fatal. Peneliti lainnya, Bentounes dan Jaffrin, 1998; Ali dkk., 2003; Paras dkk., 2001, permulaan *flooding* didalam saluran yang sempit, sebagai hasil interaksi anatara aliran gas ke atas dengan film cairan mengalir ke bawah berlawanan arah. Hal ini ketika sebagian dari cairan itu mengalir ke atas searah aliran gas ke atas melewati injektor cairan. Penelitian tentang *flooding* sudah banyak dilakukan, namun ketidakpastian yang tepat pada mekanisme *flooding* dan korelasi yang paling sesuai untuk aplikasi praktis. Beberapa kelompok riset mencoba memperbaiki teori peristiwa *flooding* seperti korelasi Wallis (1969) dengan memperhitungkan faktor tegangan geser. Sedangkan Fiedler dkk (2002), juga melaporkan bahwa belum ada suatu korelasi umum yang dapat meramalkan kecepatan *flooding* untuk semua ukuran, dan semua sifat fisis cairan. Solusi *flooding* yang berupa korelasi analitis dan empiris, tidak dapat digunakan secara umum, karena itu memperbanyak riset merupakan suatu alternatif yang mungkin dapat dilakukan.

Karakteristik aliran film (*annular flow*) ke bawah telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya, tetapi pengaruh kecepatan gas ke atas tidak banyak dilakukan (Stainhorp dan Allen, 1965). Namun Biage (1989) juga melakukan pengamatan sifat-sifat aliran film ke bawah dengan menginjeksikan gas ke atas tetapi pengamatan dilakukan dalam saluran berpenampang segiempat. Penelitian karakteristik aliran film dengan aliran gas ke atas masih menarik untuk dikembangkan.

1.2. Tujuan penelitian

1. Mendapatkan karakteristik film dengan aliran gas ke atas
2. Menentukan korelasi kecepatan gas dan cairan saat *flooding*.

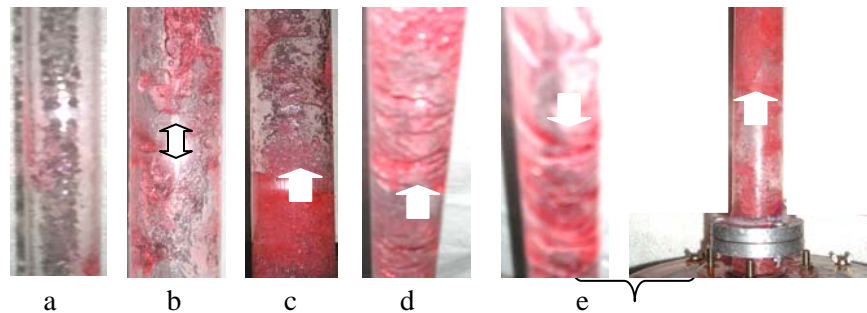
2. TINJUAAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan pustaka

Seorang pelukis Perancis, **Leonardo da Vinci** (1445) pertama membuat meriam **L'architonnerre** dengan memanfaatkan energi uap, dan bersama **Heron Alexander** dinobatkan sebagai penemu pertama aliran dua fase, dan kemudian dikembangkan oleh para peneliti dibidang ini. **Vassallo** (1999) mengemukakan bahwa jika kecepatan gas mencapai kecepatan *flooding*, maka akan timbul gelombang pada permukaan film cairan merupakan hasil interaksi antara film cairan dengan aliran gas, yang akhirnya menyebabkan terjadinya *flooding*. Mahmuddin dkk (2006) mengemukakan mendekati kecepatan *flooding* timbulnya aliran sumbat dan disertai adanya gelombang tunggal bergerak ke atas melewati injektor cairan. Saat *flooding* pola ini berubah menjadi aliran cincin dengan gelombang kecil mengalir ke bawah. Watson dan Hewit (1998) seperti yang dikemukakan Vijayan dkk (2001) bahwa pada diameter pipa kurang dari 30mm, *flooding* terjadi oleh adanya gerakan naik gelombang besar.

2.2. Landasan teori

Mahmuddin dkk (2006), *flooding* didefinisikan seperti dalam gbr.2.1. Jauh di bawah kecepatan *flooding* belum mempengaruhi aliran film (gbr.2.1a). Dengan peningkatan kecepatan gas, terjadi fluktuasi aliran dekar injektor gas dan aliran menjadi acak (gbr.2.1b). Bila kecepatan gas terus dinaikkan, maka nampak aliran sumbat (*slug flow*) bergerak ke atas mendekati injektor cairan (gbr.2.1c). Bila pola aliran ini tetap dipertahankan, dengan peningkatan kecepatan gas akan terjadi aliran sumbat yang disertai gelombang tunggal merambat ke atas (gbr.2.1d), fenomena ini disebut transisi ke *flooding*. Saat mencapai kecepatan *flooding* pola aliran tadi dapat melewati injektor cairan, dan kemudian berubah menjadi aliran cincin (*annular flow*) dengan gelombang tunggal mengalir ke bawah dan disebut *flooding*. Karakteristik film dapat pula dilihat pada gbr.2.2.



Gambar 2.1. Mekanisme *flooding* dalam pipa vertikal dengan sistem masukan dinding berpori.

Korelasi analisis digunakan untuk memprediksi terjadinya *flooding* dalam saluran vertikal. Seperti korelasi Wallis (1969) menurunkan persamaan empiris untuk memprediksi terjadinya *flooding*.

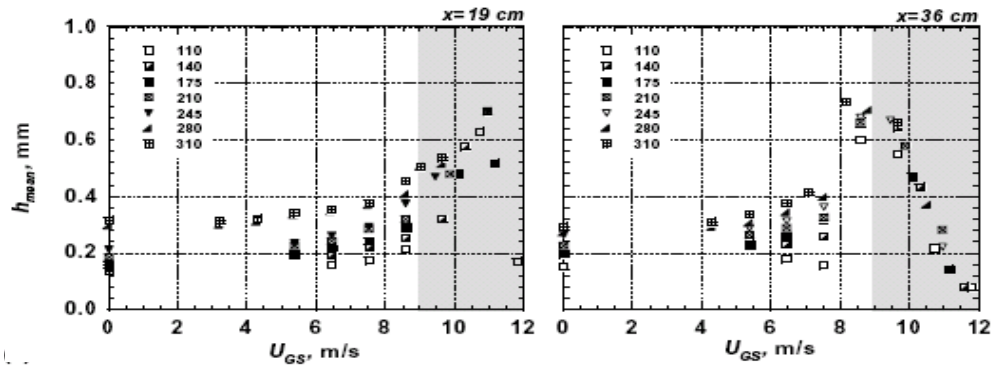
$$(jG^*)^{1/2} + m(jL^*)^{1/2} = C \quad (2.1)$$

$$j_k^* = j_k \left(\frac{\rho_k}{g \cdot D \cdot (\rho_L - \rho_G)} \right)^{1/2} \quad (2.2)$$

Dengan , konstanta m dan C ditentukan berdasarkan hasil penelitian. m antara 0.8-1.0 dan C antara 0.7-1.0. Sedangkan konstanta yang ditentukan oleh Wallis untuk pipa vertikal adalah m=1 dan C=0.725. Analisis aliran film laminar dari Nusselt yang memberikan hubungan antara besarnya laju kondensat yang bergerak ke bawah dengan tebal lapisan kondensat diberikan persamaan.

$$\delta = \left(\frac{3Q_L \mu_L}{g\pi D(\rho_L - \rho_G)} \right)^{1/3} \quad (2.3)$$

Karakteristik tebal film yang mengalir dalam celah yang sempit (gbr.2.2) dengan peningkatan kecepatan gas yang mengakibatkan kenaikan tebal film semakin besar dan mencapai maksimum kemudian turun ketika mencapai *flooding*, E.I.P. Drosos dkk (2005).



Gambar 2.2. Tebal film rata-rata dengan kecepatan gas berbagai Re_L (E.I.P. Drosos, S.V. Paras, A.J. Karabelas, 2005)

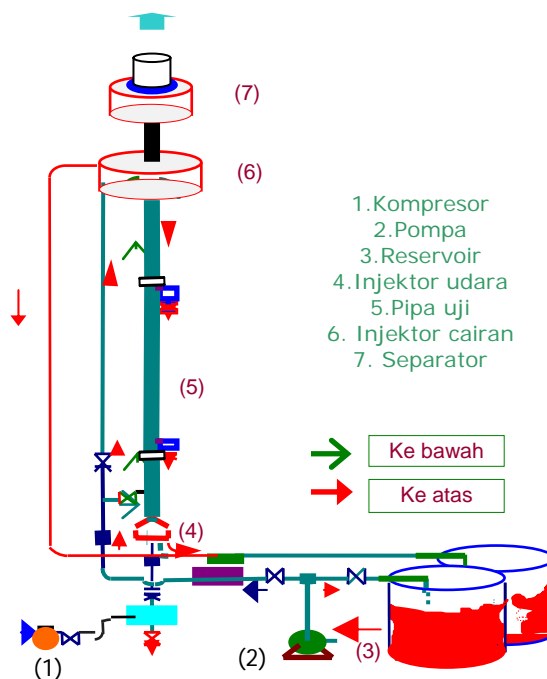
3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Bahan

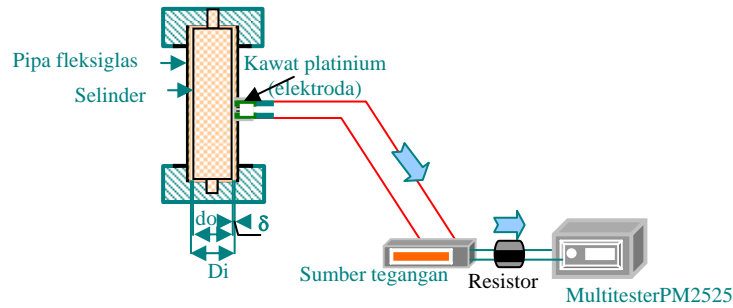
Bahan terdiri dari udara sebagai gas yang diambil dari kompresor, dan air PAM. Untuk melihat pola aliran dengan jelas, dengan menggunakan pipa uji dari fleksiglas dan air ditetesi dengan cairan pewarna.

3.2. Alat

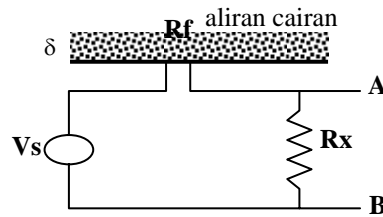
Instalasi penelitian seperti gbr3.1 yang terdiri: Kompresor, pompa, flowmeter uadar dan cairan, regulator tekanan, ruang injektor udara dan cairan, dan separator.



Gambar 3.1. Instalasi penelitian



D_i = Diameter dalam fleksiglas, mm
 d_o = Diameter luar selinder, mm
 δ = Tebal film cairan $(D_i - d_o)/2$, mm

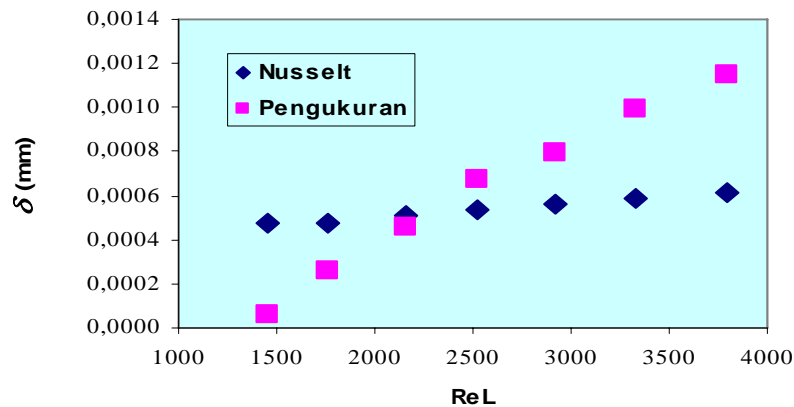


Gambar 3.2. Seperangkat kalibrasi tebal film

Kalibrasi tebal film dilakukan dengan mengganti silinder dalam dengan diameter yang berbeda (gbr3.2). Tegangan antara A dan B (V_{AB}) diukur dengan menggunakan multimeter. Perubahan V_{AB} merupakan koresponden dari tebal film. Hasil pengukuran diperoleh korelasi tebal film δ dengan tegangan V_{AB} diperoleh persamaan.

$$\delta = 5.10^{-8} \cdot V_{AB}^{12,238} \quad (3.1)$$

Dengan menggunakan persamaan (3.1), hasil pengukuran tebal film yang mengalir tanpa aliran gas ($jG=0$) dan membandingkan tebal film menurut Nusselt dituangkan dalam gbr3.3.



Gambar3.3. Tebal film hasil pengukuran ($jG=0$) dan tebal film menurut Nusselt

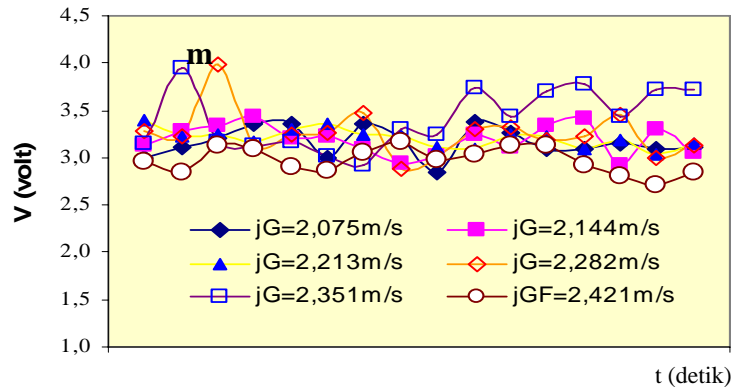
3.3. Cara penelitian

Pengukuran tebal film dilakukan pada angka Re_L 1457 sampai 3794. Untuk mengetahui karakteristik film dilakukan perubahan debit cairan dengan menggunakan katup dan gas diinjeksikan secara aksial dari kecepatan rendah sampai kecepatan *flooding*. Untuk mendapatkan aliran film yang halus, maka cairan diinjeksikan melalui dinding berpori (*porous well*) di dalam ruang injektor. Debit cairan dan gas diukur dengan menggunakan *flowmeter*. Pengukuran tebal film dengan metode konduktimetri. Dalam metode ini tebal film diukur berdasarkan nilai tegangan V_{AB} yang merupakan respon dari tahanan aliran film R_f yang terletak di antara 2 elektroda.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik aliran film

Dalam gbr.4.1, menunjukkan fluktuasi aliran film lokal sesaat pada $Re_L 2161$ dengan kecepatan gas $jG=2,075\text{m/s}$ sampai kecepatan *flooding* ($jGF=2,421\text{m/s}$).

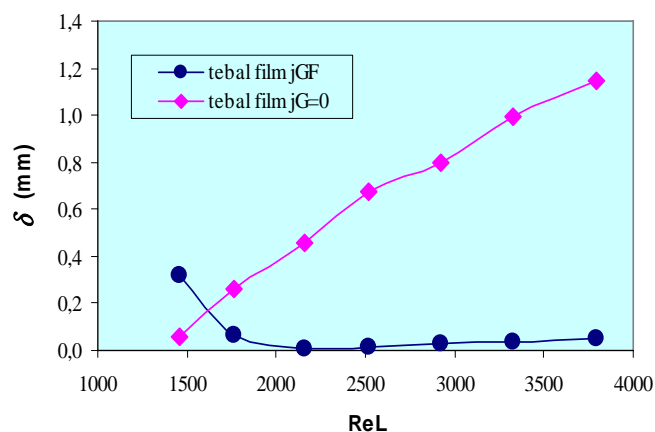


Gambar 4.1. Karakteristik aliran film pada $Re_L 2161$ dengan kecepatan gas meningkat

Pada kecepatan gas konstan terjadi fluktuasi tebal film dengan kecepatan gas meningkat, karena aliran film mengalir ke bawah dalam bentuk gelombang. Tegangan yang terukur menunjukkan tebal film lokal sesaat, kenaikan tegangan tersebut sebanding dengan kenaikan tebal film. Titik m dalam gbr.4.1 di atas menunjukkan tebal film maksimum pada kecepatan gas $2,351\text{m/s}$, besaran ini dapat diindikasikan sebagai tinggi gelombang atau terjadinya aliran sumbat (*slug flow*). Bila kecepatan gas dinaikkan sampai kecepatan *flooding* (jGF) $2,421\text{m/s}$ tidak menunjukkan adanya fluktuasi aliran film yang signifikan dan tebal film semakin kecil. Karakteristik aliran film seperti ini dapat terjadi berbagai Re_L .

4.2. Tebal film lokal

Hasil pengukuran tebal film dituangkan dalam gbr.4.2, bahwa tebal film tanpa aliran gas semakin besar dengan bertambahnya Re_L . Sedangkan tebal film saat *flooding*, menunjukkan bahwa kenaikan Re_L 1457 menjadi Re_L 2161 tebal film turun secara drastis. Pada Re_L 1457 saat *flooding* pola aliran sumbat dengan gelombang bergerak ke atas, sehingga tebal film merata lokal tetap besar, pola aliran ini dipertahankan sampai Re_L 1759. Namun pada Re_L 2161, besaran ini turun perlahan-lahan dan berangsur-angsur pola aliran berubah menjadi aliran cincin dengan tebal film semakin tipis disertai dengan gelombang tunggal kebawah. Tetapi kenaikan Re_L dari 2519, saat *flooding* tebal film mengalami kenaikan secara perlahan-lahan dan cenderung konstan sampai Re_L 3794, daerah ini terjadi pola aliran film dengan gelombang yang kecil mengalir ke bawah.



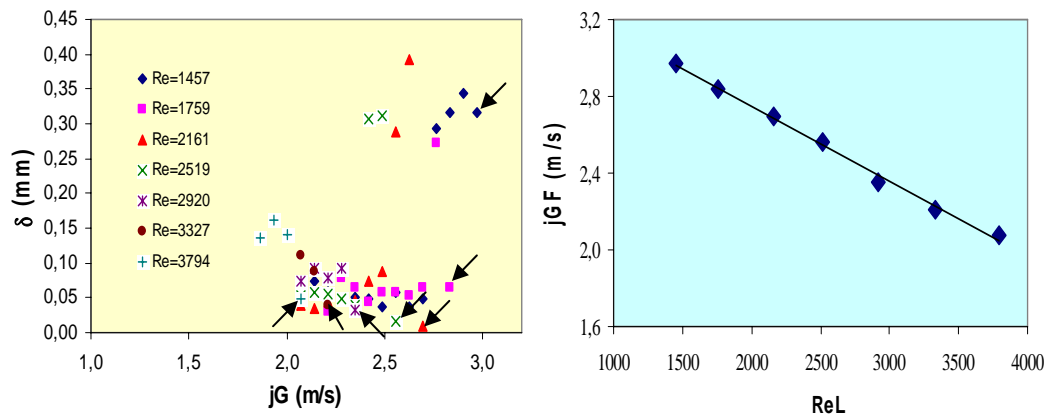
Gambar.4.2. Tebal film saat jGF dan $jG=0$ dengan berbagai angka Re_L

4.3. Kecepatan *flooding*

Gambar 4.3a menunjukkan bahwa jauh dari kecepatan *flooding* tidak terlalu berpengaruh terhadap tebal film dengan peningkatan kecepatan gas. Fluktuasi tebal film dapat dilihat pada Re_L 3794 dengan kecepatan gas dinaikkan dari 1,867m/s sampai 2,075m/s dengan timbulnya gelombang tunggal bergerak ke atas dan tebal film berfluktuasi dan cenderung meningkat. Pada kecepatan gas 1,936m/s tebal film maksimum dan titi bergerak naik turun. Ketika kecepatan gas 2,001m/s tebal film turun, hal ini menunjukkan sebagian cairan terbawa dengan aliran gas ke atas, tetapi belum mampu mendukung terjadinya *flooding*. Tepat kecepatan *flooding* jGF 2,075m/s tebal film turun secara drastis dari 0,161mm menjadi 0,048mm berarti debit cairan mengalir berkurang dan tebal film menipis. Fenomena lain yang diamati adalah pada Re_L 2161 dengan peningkatan kecepatan gas jG 2,075 sampai jG 2,489m/s dengan tebal film cenderung konstan dari $\delta=0,039$ mm sampai 0,088mm. Transisi aliran tampak pada kecepatan gas 2,697m/s dengan tebal film 0,392mm, yaitu sebagian cairan mengalir searah aliran gas ke atas. Artinya sudah ada sebagian cairan mengalir ke atas, tetapi aliran gas belum mampu mendukung sepenuhnya terjadinya *flooding* secara sempurna. Fenomena ini dinamakan *flooding* sebagian dengan adanya *droplet* di atas injektor cairan. Tepat kecepatan *flooding* jGF=2,697m/s tebal film turun secara drastis, hal ini menunjukkan bahwa sebagian cairan mengalir ke atas searah dengan aliran gas dan tebal film turun dari 0,392mm sampai 0,089mm. Mekanisme seperti ini dapat terjadi pada angka Re_L 1759 sampai Re_L 2519.

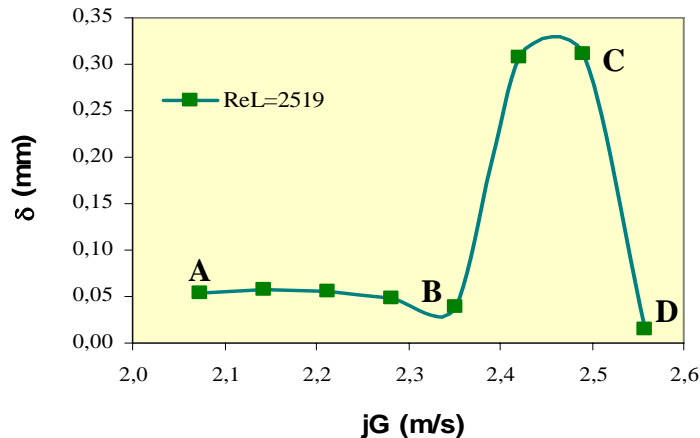
Pada Re_L 1457 adanya fenomena lain dibandingkan dengan Re_L yang lebih tinggi (gbr4.3a). Tepat saat *flooding* tebal film tidak menunjukkan penurunan secara drastis. Hal ini terjadi karena pada Re_L 1457 pada kecepatan gas 2,075m/s-2,697m/s tebal film masih konstan, dengan peningkatan kecepatan gas 2,766m/s tebal film naik secara linear sampai 0,345mm pada kecepatan gas 2,905m/s. Tepat kecepatan *flooding* jGF 2,974m/s tebal film turun sampai 0,316mm. Penurunan ini tidak signifikan karena masih ada aliran acak dekat injektor gas dan aliran sumbat sepanjang aliran yang berbentuk gelombang yang mengalir ke atas.

Tanda panah pada gbr.4.3a. tepat kecepatan *flooding* dan tebal film saat *flooding* berbagai angka Re_L . Sedangkan gbr.4.3b. hanya menunjukkan peningkatan kecepatan *flooding* dengan menurunnya Re_L , berarti pada Re_L rendah dibutuhkan kecepatan gas yang tinggi untuk mendukung pembalikan arah aliran, cairan ke atas searah dengan aliran gas.



Gambar 4.3. a. Tebal film berbagai kecepatan gas, b. Kecepatan *flooding* berbagai Re_L

Dalam gbr4.4 pada Re_L 2519, dibawah kecepatan *flooding* tebal film cenderung konstan dengan peningkatan kecepatan gas, karena interaksi antara gas dan cairan masih lemah (garis ab). Saat peralihan aliran dari aliran acak menjadi aliran sumbat (*slug flow*), tebal film naik secara mendadak sampai $\delta=0,312$ mm, hal ini disebabkan aliran gas ke atas yang menghambat cairan kebawah (garis bc). Karena penyempitan penampang aliran sesaat dan kecepatan permukaan meningkat. Interaksi antara gas dan cairan semakin kuat, akan memudahkan terjadinya *flooding*. Pada saat *flooding* tebal film turun secara drastis sampai $\delta=0,0151$ mm. Penurunan tebal film disebabkan oleh aliran gas yang mampu mendukung pembalikan arah aliran cairan keatas, dan pola aliran menjadi aliran cincin (*annular flow*) dengan gelombang tunggal bergerak ke bawah dan tebal film menipis (garis cd).



Gambar 4.4. Daerah pola aliran pada $Re_L=2519$ kecepatan superficial gas meningkat

Kesimpulan.

Dibawah kecepatan *flooding* tebal film tidak berpengaruh terhadap kenaikan kecepatan gas. Mendekati kecepatan *flooding* tebal film bertambah besar dengan kenaikan kecepatan gas, saat *flooding* turun dengan drastis. Hal tersebut terjadi karena sebagian cairan ikut mengalir ke atas searah dengan aliran gas sehingga debit cairan berkurang, mengakibatkan aliran film semakin tipis. Pada Re_L tinggi, *flooding* semakin cepat terjadi dengan timbulnya ketidakstabilan aliran film yang merambat ke atas, terjadi penyumbatan saluran dekat injektor cairan sehingga kecepatan *flooding* rendah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Kepala Lab. HMT PAU UGM yang memberikan izin penggunaan fasilitas laboratorium, juga kepada staf Lab. HMT atas bantuan dan kepercayaan yang diberikan.

NOTASI

D	diameter dalam pipa	[m]
J	kecepatan fluida	[m/det]
J^*	kecepatan fluida tak berdimensi	-
ρ	massa jenis fluida	[m ³ /kg]

INDEKS

G	fase gas
F	<i>flooding</i>
f	cairan
L	fase cairan

REFERENSI

- Drosos, E.I.P., Paras, S.V., Karabelas, A.J., 2003., Counter Current Gas Liquid flow in Vertical narrow Channel film Karakteristik and Flooding Phenomena., Chemical Engineering Conference for Colaborative research in Easten aMediterranean., France.
- E.I.P Drosos, S.V. Paras, A.J.Karabelas., (2005)., Counter current gas-liquid flow in a vertical narrow channel-Liquid film characteristics and flooding phenomena., International Journal of Multiphase Flow.
- Indarto dan Samiadji H., 1992., Metode Konduktimetri Pada Aliran Dua Fase Berlawanan Arah., Media Teknik No.2. Tahun ke XIV.
- Mahmuddin, dkk (2006)., Pengaruh Diameter Pipa Terhadap Kecepatan Flooding Dalam Aliran *Annular* Berlawanan Arah Vertikal, Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Material dan Proses ke 2 dan Industri ke 12. UGM Yogyakarta
- Samsul Kamal, 1992., The Effect Of Drainage In The From Of A Sheet On Heat Transfer On Horizontal Tube., Seminar Analisis dan Aplikasi Perpindahan Panas dan Massa Menuju Era Industrialisasi, PAU UGM Yogyakarta.