

## Pengaruh Obstraksi Berbentuk Cincin Melingkar $120^\circ$ , $240^\circ$ , dan $360^\circ$ terhadap Fenomena *Flooding* pada Saluran Vertikal

\***Tonny Yuniarto, \*\*Indarto dan Deendarlianto**

\*Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta

\*\*Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik

Universitas Gadjah Mada

E-mail : [tonnyyuniarto@yahoo.com](mailto:tonnyyuniarto@yahoo.com)

### Abstrak

*Fenomena flooding dapat terjadi pada peralatan-peralatan industri yang terdapat aliran dua fasa berlawanan arah, misalnya kondensor, evaporator, kolom destilasi, reaktor kimia gas cair, dan reaktor nuklir. Fenomena ini akan mempengaruhi kinerja peralatan tersebut yang akhirnya merugikan industri. Penelitian ini bertujuan mengamati pengaruh bentuk permukaan geometri obstraksi terhadap permulaan flooding aliran udara-air pada saluran vertikal. Model obstraksi yang dipakai dalam penelitian ini disesuaikan dengan aplikasi dalam industri berupa sambungan pipa maupun endapan kerak yang menonjol.*

*Penelitian dilakukan pada daerah pola aliran film, menggunakan pipa plexiglass berdiameter dalam 32 mm, panjang seksi uji 3000 mm, dengan inlet cairan berpori dan outlet tajam (sharp). Obstraksi berbentuk cincin berpenampang persegi yang ujung bagian tajam dichamfer, berdiameter dalam 28 mm, dengan variasi geometri melingkar  $120^\circ$ ,  $240^\circ$ , dan  $360^\circ$ .*

*Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar sudut melingkar obstraksi pada saluran uji maka mekanisme flooding semakin cepat. Mekanisme awal flooding terjadi di obstraksi pada obstraksi dengan sudut melingkar penuh ( $360^\circ$ ). Pada obstraksi melingkar  $240^\circ$ , mekanisme awal flooding dapat terjadi di obstraksi pada  $L/D = 78,125$ , dan mekanisme awal flooding terjadi di outlet cairan pada  $L/D = 15,625$ . Sedangkan pada obstraksi melingkar  $120^\circ$ , mekanisme awal flooding terjadi pada outlet cairan. Mekanisme flooding yang terjadi pada obstraksi ditandai dengan naiknya gradien tekanan pada obstraksi.*

*Kata kunci :* Flooding, obstraksi, sudut melingkar.

### 1. Pendahuluan

Fenomena *flooding* terjadi pada peralatan-peralatan industri seperti kondensor, evaporator, kolom destilasi, reaktor kimia gas cair, dan reaktor nuklir, dimana fenomena ini akan mempengaruhi kinerja peralatan tersebut. Peristiwa *flooding* akan sangat berbahaya bila terjadi pada reaktor nuklir. Bila inti reaktor menjadi kering sebagian atau keseluruhan, maka akan diusahakan pendinginan (pembasahan) dari atas menggunakan air dingin yang diinjeksikan dari *Emergency Core Cooling* (ECC). Air yang masuk ke inti reaktor akan mengalir ke bawah dilawan oleh uap yang mengalir ke atas akibat perpindahan panas (*flashing*), sehingga usaha pendinginan akan gagal. Keadaan ini disebut LOCA (*Lost of Cooling Accident*).

Mekanisme yang mengakibatkan *flooding* sampai saat ini belum dapat diketahui secara pasti. Hal ini disebabkan oleh banyaknya parameter yang mempengaruhi terjadinya *flooding*, diantaranya adalah sifat-sifat fisis fluida, kondisi lingkungan, dan faktor-faktor geometri. Sifat-sifat fisis fluida yang mempengaruhi terjadinya *flooding* antara lain kekentalan dan tegangan permukaan fluida. Kondisi lingkungan antara lain gaya-gaya gravitasi yang bekerja. Sedangkan faktor-faktor geometri yang mempengaruhi terjadinya *flooding* antara lain diameter dan panjang saluran, kekasaran dinding saluran, dan sistem *inlet* dan *outlet* saluran. Salah satu faktor geometri yang berpengaruh sangat signifikan adalah adanya obstraksi sepanjang saluran (Danang, 2004; Seno, 2005; Bramantyo, 2005; dan Mayana, 2005). Namun penelitian yang lebih mendalam tentang pengaruh obstraksi di dalam saluran terutama bentuk geometri dan jumlah obstraksi terhadap terjadinya *flooding* belum banyak dilakukan.

Penelitian ini mempelajari dan menganalisis inisiasi *flooding* pada saluran vertikal dengan variasi bentuk obstraksi melingkar  $120^\circ$ , melingkar  $240^\circ$ , dan melingkar penuh  $360^\circ$ . Alat uji yang digunakan adalah pipa *plexiglass* vertikal berdiameter dalam 32 mm sepanjang 3000 mm dengan *inlet* masukan berpori dan *outlet* keluaran tajam (*sharp*).

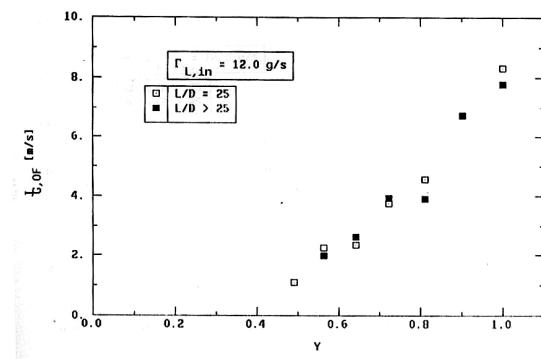
## 2. Studi Pustaka

### A. Tinjauan Pustaka

*Flooding* yang terjadi pada suatu aliran dalam pipa dapat dipengaruhi oleh banyak hal, seperti sifat-sifat fisis fluida yang dipakai, kondisi lingkungan, dan faktor-faktor geometri. Beberapa peneliti sebelumnya telah mengungkapkan fenomena terjadinya *flooding* dan penyebab yang mempengaruhinya terjadinya *flooding*.

Chung dkk (1980) melakukan pengujian pengaruh ukuran pipa pada pipa vertikal, kondisi masukan, tegangan permukaan, dan viskositas cairan terhadap *flooding*. Pengaruh ukuran pipa terhadap *flooding* akan nyata bila kondisi masukan dan keluaran aliran kurang halus. Jika ada dua sumber gangguan (masukan dan keluaran), *flooding* akan mulai terjadi pada tempat dengan sumber gangguan paling kuat. Pembentukan *flooding* pada dasarnya akan berkurang jika pengaruh masukan aliran diperkecil atau dihilangkan. Jika *flooding* disebabkan pada *film* cairan, pengaruh diameter pipa lebih nyata. Semakin besar diameter pipa, perbandingan densitas gangguan pada *film* cairan disekeliling masukan dan keluaran cairan akan berkurang. Sehingga aliran cairan pada pipa yang besar dapat menahan laju aliran udara yang tinggi. Dua sifat fisis cairan, yaitu tegangan permukaan dan viskositas cairan mempengaruhi terjadinya *flooding*. Untuk aliran cairan yang diberikan, kecepatan kritis gas pada dasarnya bertambah dengan bertambahnya tegangan permukaan tetapi akan berkurang jika viskositasnya bertambah besar.

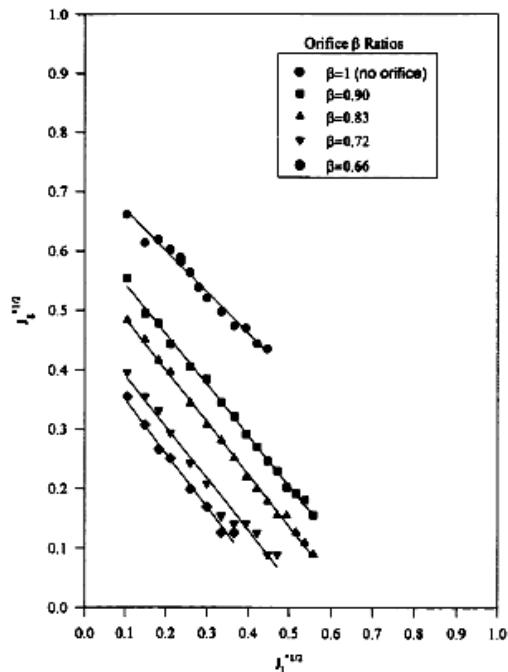
Celata dkk. (1990) melakukan penelitian eksperimen *flooding* pada saluran vertikal untuk mengetahui pengaruh panjang dan diameter saluran. Penelitian dilakukan dengan menggunakan saluran berdiameter dalam 8 mm, 11,3 mm, 16,2 mm, dan 20 mm serta panjang saluran antara 0,5 m sampai dengan 0,9 m. Pada saluran uji berdiameter dalam 20 mm dipasang obstraksi di tengah saluran. Hasil data eksperimen dititikberatkan pada perbandingan hasil panjang saluran, diameter saluran, serta pengaruh obstraksi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi masukan dan keluaran cairan yang halus, panjang saluran akan menjadi pengaruh sekunder terhadap fenomena *flooding* dan kestabilan aliran berlawanan arah dibatasi oleh kondisi geometrinya. Kecepatan gas pada saat *flooding* menurun seiring dengan pengecilan diameter obstraksi.



Gambar1. Perbandingan antara rasio perforasi terhadap kecepatan superfisial awal *flooding* pada laju aliran massa 12 g/s dengan berbagai variasi perbandingan panjang dan diameter saluran (Celata, 1990)

Tye (1998) meneliti fenomena *flooding* aliran gas-cair berlawanan arah pada saluran vertikal dan saluran vertikal-horizontal. Saluran uji menggunakan pipa *plexiglass* berdiameter dalam 63,5 mm dengan *inlet* cairan berpori (800 lubang berdiameter 1 mm). Kedua eksperimen tersebut menggunakan obstraksi berbentuk cincin tebal 1,5 mm dengan variasi rasio perforasi ( $D_{\text{obstraksi}} / D_{\text{pipa}}$ ) adalah 0,9 ; 0,83 ; 0,72 ; dan 0,66. Hasil penelitian pada saluran vertikal menunjukkan bahwa semakin

kecil rasio perforasi obstraksi yang dipasang pada saluran uji maka kecepatan awal *flooding* juga akan lebih cepat terjadi, seperti terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Perbandingan kecepatan awal *flooding* dengan berbagai variasi rasio perforasi pada saluran uji. (Tye, 1998)

Danang (2004) meneliti pengaruh jarak obstraksi terhadap terjadinya *flooding* pada aliran vertikal berlawanan arah. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa dengan adanya obstraksi aliran *film*, *flooding* terjadi pada kecepatan gas yang lebih rendah. Semakin kecil diameter obstraksi, *flooding* lebih mudah terjadi. Untuk diameter obstraksi 30 mm permulaan *flooding* terjadi di daerah injektor udara, sedangkan pada diameter 26 mm permulaan *flooding* terjadi di daerah obstraksi. Posisi obstraksi aliran mempengaruhi awal terjadinya *flooding*, jarak yang dekat dengan injektor cairan, *flooding* lebih awal terjadi bila dibandingkan pada jarak yang sedikit lebih jauh dari injektor cairan.

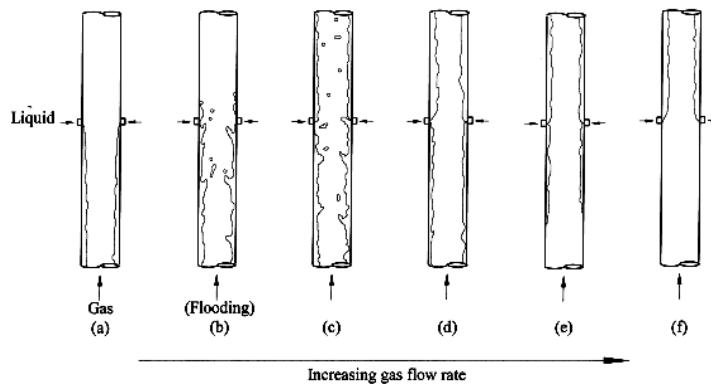
Seno (2005) meneliti pengaruh gangguan terhadap permulaan terjadinya *flooding* pada aliran berlawanan arah di dalam pipa vertikal dengan *inlet* dan *outlet bellmouth*. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa obstraksi pada aliran *film* dapat mempengaruhi terjadinya *flooding*. Semakin kecil diameter obstraksi, *flooding* lebih mudah terjadi. Posisi obstraksi aliran juga mempengaruhi terjadinya *flooding*, semakin dekat dengan *injektor cairan* *flooding* lebih mudah terjadi.

Bramantya (2005) melakukan penelitian menggunakan pipa berdiameter 24 mm dan panjang seksi uji 2500 mm. *Inlet* menggunakan media berpori dan *outlet* tajam. Variasi geometri obstraksi berupa cincin berpenampang persegi dan berpenampang setengah lingkaran. Sedangkan jumlah obstraksi divariasikan dari 1, 2, dan 3 buah obstraksi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh geometri dan jumlah obstraksi sangat signifikan terhadap *flooding*. Penggunaan geometri obstraksi berbentuk cincin berpenampang persegi akan lebih mempercepat *flooding* dibandingkan obstraksi cincin berpenampang setengah lingkaran. Penambahan jumlah obstraksi juga akan mempercepat *flooding*.

#### ***B. Dasar Teori***

Aliran dua fasa yang terdiri dari cair dan gas pada saluran vertikal dengan fluida cair mengalir ke bawah membentuk lapisan *film* pada dinding saluran dan fluida gas mengalir ke atas di tengah saluran merupakan kondisi aliran annular. Bila debit cairan atau gas melebihi harga kritisnya maka sebagian cairan akan terangkat ke atas searah dengan gas, fenomena ini disebut *flooding*.



Gambar 3. Fenomena Flooding (Zapke, A. and Kroeger, D.G., 2000)

Ada beberapa model teori yang disampaikan berbagai peneliti untuk menganalisa peristiwa *flooding* ini, namun karena kondisi aliran dua fasa relatif tidak stabil, model empiris cenderung mengalami perkembangan lebih baik. Korelasi yang sering digunakan karena berlaku untuk kondisi yang cukup luas dimana disebutkan oleh Vijayan, M., dkk (2001), yaitu korelasi tipe Wallis (Wallis, 1961; Hewitt dan Wallis, 1963). Bentuk korelasi tersebut adalah :

$$(J_g^*)^{0.5} + m (J_l^*)^{0.5} = C_1 \quad (1)$$

Dengan :

$$J_g^* = \frac{J_g \rho_g^{0.5}}{[g.D.(\rho_l - \rho_g)]^{0.5}} \quad (2)$$

$$J_l^* = \frac{J_l \rho_l^{0.5}}{[g.D.(\rho_l - \rho_g)]^{0.5}} \quad (3)$$

$$J_g = \frac{4.Q_g}{\pi.D^2} \quad (4)$$

$$J_l = \frac{4.Q_l}{\pi.D^2} \quad (5)$$

Untuk kondisi aliran turbulen  $m$  berharga 1. Harga konstanta  $C_1$  ditentukan dari kondisi saluran dan bentuk ujung saluran dimana fase gas dan fase cair bercampur. Untuk ujung saluran dengan bagian tepi tajam harga  $C_1 = 0,725$ , sedangkan untuk yang sangat halus harga  $C_1$  berkisar 0,88 sampai 1.

Menurut Mc Quillan dan Whalley (1985), tebal lapisan *film* cairan yang mengalir pada dinding saluran uji dapat dihitung dengan persamaan :

$$\delta = \delta^* \left( \frac{\rho_l (\rho_l - \rho_g) g}{\mu_l^2} \right)^{-1/3} \quad (6)$$

Dengan :

$$\delta^* = 0,908 . Re_f^{1/3} \quad (7)$$

Untuk angka Reynold lapisan *film* cairan kurang dari 2064, dan

$$\delta^* = 0,304 . Re_f^{7/12} \quad (8)$$

Untuk angka Reynold lapisan *film* cairan lebih atau sama dengan 2064.

Angka Reynold lapisan *film* cairan dihitung dengan persamaan :

$$Re_f = \frac{\dot{m}_l}{P_w \mu_l} \quad (9)$$

Dengan  $P_w$  adalah lebar perimeter basah.

Zabaras (1985) menggunakan persamaan Nusselt untuk memprediksi tebal lapisan *film* cairan yang mengalir pada dinding saluran uji, yaitu :

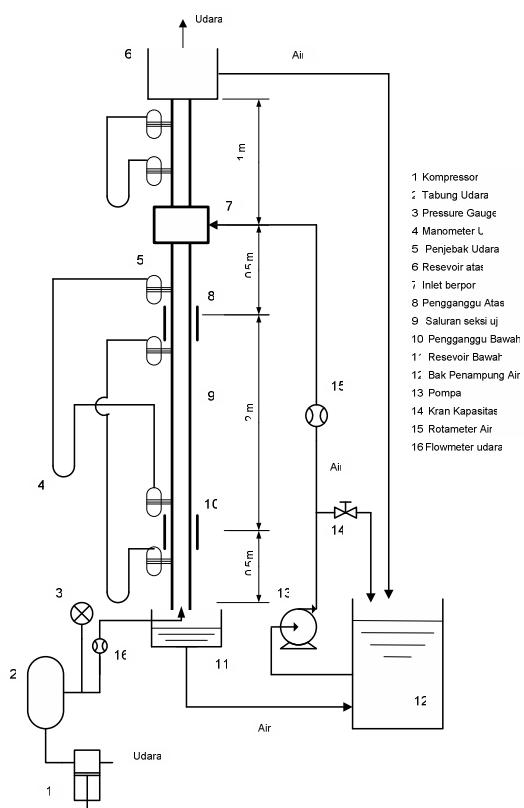
$$\delta = \left( \frac{3 \mu_l \dot{m}_l}{g \rho_l^2 \pi D} \right)^{1/3} \quad (10)$$

Belkin's (1959), dengan mengasumsikan faktor gesekan antara saluran uji dengan cairan sebesar 0,008 diperoleh persamaan untuk menghitung ketebalan lapisan film cairan yaitu :

$$\frac{\delta}{D} = 0,063 \cdot j_l^{2/3} \quad (11)$$

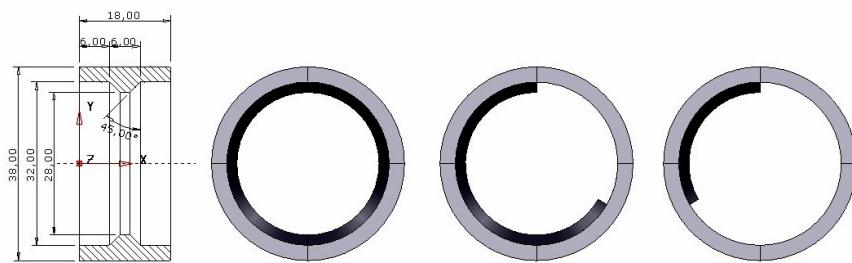
### 3. Metodologi Penelitian

#### A. Bahan dan Alat Penelitian



Gambar 4. Susunan alat penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini air (cairan) dan udara (gas). Susunan alat-alat penelitian dapat dilihat pada gambar 4. Obstraksi berbentuk cincin persegi yang ujung bagian tajam dichamfer dengan variasi geometri melingkar  $120^\circ$ ,  $240^\circ$ , dan melingkar penuh  $360^\circ$ . *Inlet* cairan menggunakan media saluran berpori, yaitu membuat lubang-lubang berdiameter 1 mm di dinding pipa tempat masuk cairan tersebar merata sebanyak 500 lubang.



Gambar 5. Bentuk geometri Obstraksi : melingkar  $360^\circ$ ,  $240^\circ$ , dan  $120^\circ$ .

#### B. Langkah-langkah Penelitian.

Alat penelitian yang akan digunakan dipersiapkan untuk memastikan semua komponen dalam keadaan baik. Cairan diinjeksikan ke dalam saluran uji mulai dari debit minimum sampai debit maksimum sehingga membentuk pola aliran *annular*. Pada percobaan ini pola aliran *annular* terbentuk mulai dari debit 1 LPM hingga 7 LPM, sehingga variasi debit yang digunakan adalah 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 7 LPM. Pada setiap variasi debit air, udara dari kompresor di injeksikan ke bawah saluran uji melalui *flowmeter* udara. Variasi debit udara yang diinjeksikan mulai dari  $0,2775 \cdot 10^{-3}$  m/s hingga  $2,22 \cdot 10^{-3}$  m/s pada tekanan 1 kg/cm<sup>2</sup>. Setiap variasi debit udara, beda tekanan di atas dan di bawah *inlet* cairan dicatat. Fenomena aliran dalam saluran uji juga diamati. Jika terjadi *flooding*, maka debit air yang naik ke atas seksi uji juga diukur dan dicatat. Langkah-langkah tersebut di atas dilakukan pada setiap model obstraksi yang dipasang.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Mekanisme Flooding

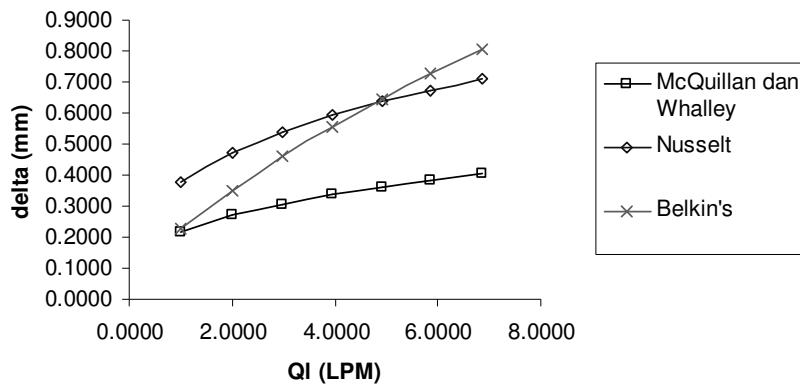
Saluran uji menggunakan *inlet* berpori dan *outlet* tajam agar dapat memperkecil gangguan pada bagian masukan dan keluaran cairan. Cairan mengalir ke bawah membentuk lapisan *film* sepanjang dinding saluran uji.

Tabel I. Lokasi permulaan *flooding* pada berbagai geometri obstraksi.

GEOMETRI OBSTRAKSI	POSISI	L/D	PERMULAAN FLOODING
Tanpa Obstraksi			Sekitar injektor udara
Cincin Melingkar $120^\circ$	1	15,625	Sekitar injektor udara
	2	78,125	Sekitar injektor udara
Cincin Melingkar $240^\circ$	1	15,625	Sekitar injektor udara
	2	78,125	Sekitar obstraksi
Cincin Melingkar $360^\circ$	1	15,625	Sekitar obstraksi
	2	78,125	Sekitar obstraksi

Permulaan *flooding* selalu diawali dengan ketidakstabilan permukaan *film* cairan akibat gesekan dengan aliran udara yang mengalir secara berlawanan. Ketidakstabilan permukaan *film* cairan ini akan berlanjut dengan timbulnya riak atau gelombang di permukaan seiring dengan debit gas yang semakin besar. Gelombang besar ini cenderung menjalar ke atas saluran uji. Pada suatu debit gas tertentu hingga mencapai kecepatan kritis, gelombang besar yang timbul di atas permukaan cairan ini akan menyebabkan sumbatan pada saluran uji. Akibatnya tekanan gas di bawah sumbatan akan semakin besar sehingga akan mendorong cairan terangkat ke atas saluran uji dan meluap di resevoir atas.

## 2. Tebal Lapisan Film Cairan



Gambar 6. Tebal lapisan *film* cairan untuk berbagai variasi debit cairan.

Cairan dialirkan dari *inlet* berpori menuju ke dalam saluran uji dan keluar pada *outlet* tajam (*sharp*) di bawah. Tebal lapisan *film* cairan ditentukan oleh debit aliran yang masuk dalam saluran uji seperti terlihat pada gambar 6. Empat persamaan digunakan untuk memprediksi tebal lapisan *film* cairan. Dari gambar 6 menunjukkan bahwa ketebalan cairan masih lebih kecil dari pada ketebalan cincin obstraksi yaitu 2 mm. Hal ini menunjukkan bahwa obstraksi berperan dominan menimbulkan *flooding* pada saluran uji.

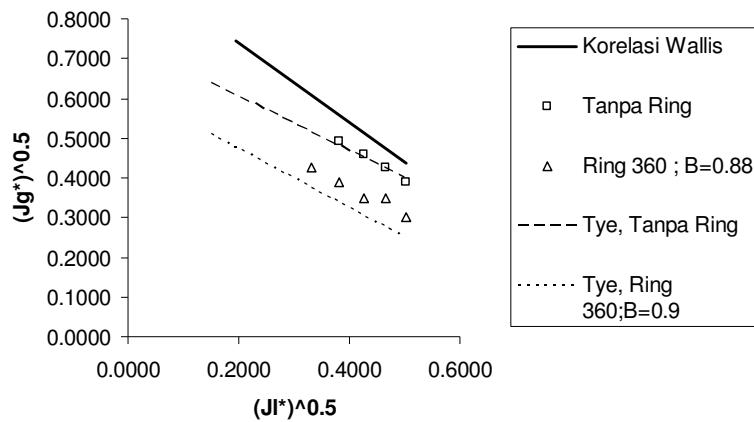
## 3. Fenomena Flooding Tanpa Obstraksi

Pada saluran uji tanpa obstraksi, awal *flooding* selalu dimulai dari bawah dekat dengan *injektor* gas. Pada awalnya cairan diinjeksikan ke saluran uji dengan melalui *inlet* berpori sehingga akan membentuk lapisan *film* yang halus dan merata sepanjang dinding saluran uji. Ketika gas dialirkan melalui *injektor*, terjadi interaksi pada lapisan *film* permukaan cairan. Ketika debit gas ditambah, lapisan *film* permukaan cairan menjadi tidak stabil dan mulai timbul gangguan (gelombang). Semakin ke bawah mendekati injektor gas, gangguan yang timbul pada lapisan permukaan *film* cairan semakin besar. Pada debit gas tertentu (kritis), gelombang yang besar tersebut akan membentuk sumbatan pada saluran uji. Karena tekanan gas dari bawah lebih besar, maka cairan dan gas akan terangkat ke atas sampai melewati *inlet* cairan. Fenomena ini disebut *flooding*.

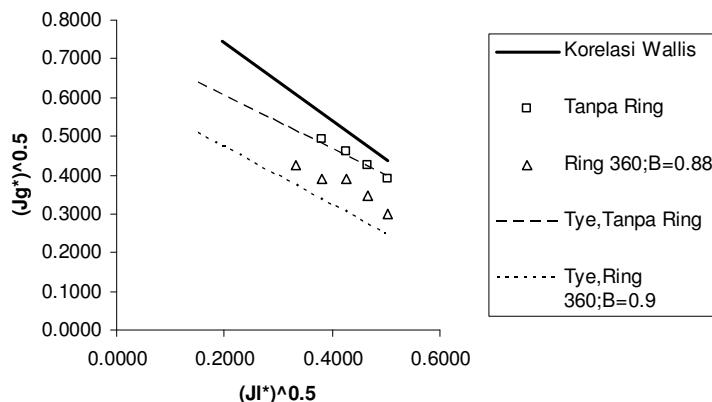
Dari penelitian Danang (2004) juga menyebutkan bahwa pada saluran uji 30 mm, permulaan *flooding* terjadi di sekitar *outlet* cairan. Pada penelitian ini, permulaan *flooding* dimulai dari sekitar *injektor* gas atau sekitar *outlet* cairan.

#### 4. Fenomena Flooding dengan Obstraksi

Pada saluran uji dipasang beberapa jenis obstraksi berbentuk cincin melingkar  $120^\circ$ ,  $240^\circ$ , dan  $360^\circ$ .



Gambar 7. Perbandingan hasil penelitian pada posisi 1 terhadap hasil penelitian Tye (1998).



Gambar 8. Perbandingan hasil penelitian pada posisi 2 terhadap hasil penelitian Tye (1998).

Hasil penelitian ini pada saluran uji tanpa obstraksi dan menggunakan obstraksi berbentuk cincin melingkar penuh ( $360^\circ$ ) dibandingkan dengan hasil penelitian Tye (1998) terlihat pada gambar 7 dan gambar 8.

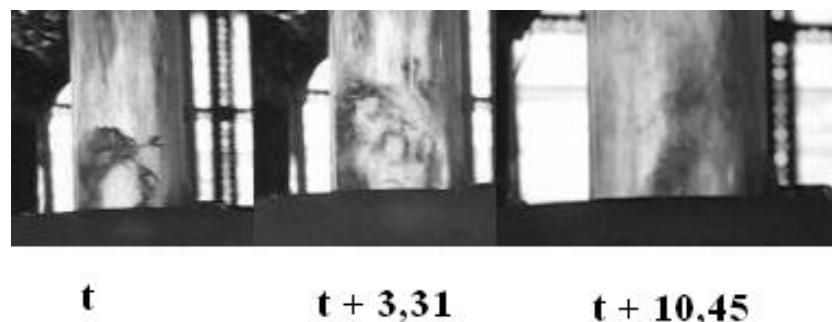
Pada saluran uji tanpa obstraksi terlihat hasil penelitian yang dilakukan sudah sesuai dengan hasil penelitian pembanding yang menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan superfisial cairan maka kecepatan superfisial gas yang diperlukan untuk mengawali terjadinya *flooding* akan semakin kecil.

Obstraksi yang dipasang pada saluran uji pada penelitian ini berbentuk cincin memiliki rasio perforasi  $\beta = 0,88$ , sedangkan pada penelitian pembanding memiliki rasio perforasi 0,9. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa hasil penelitian ini masih sesuai.

#### 5. Flooding dengan Obstraksi Cincin Melingkar.

Pemasangan obstraksi berbentuk cincin melingkar  $120^\circ$ ,  $240^\circ$ , dan  $360^\circ$  pada saluran uji berpengaruh terhadap mekanisme *flooding*. Adanya tonjolan pada permukaan saluran uji menyebabkan aliran *film* yang terbentuk secara halus dari bawah *injektor* cairan menjadi terganggu. Tonjolan tersebut akan menimbulkan gelombang pada permukaan lapisan *film* cairan. Semakin besar debit cairan yang mengalir maka riak atau gelombang yang disebabkan oleh tonjolan tersebut juga akan semakin besar. Begitu juga semakin besar area melingkarnya cincin obstraksi, maka lebar area

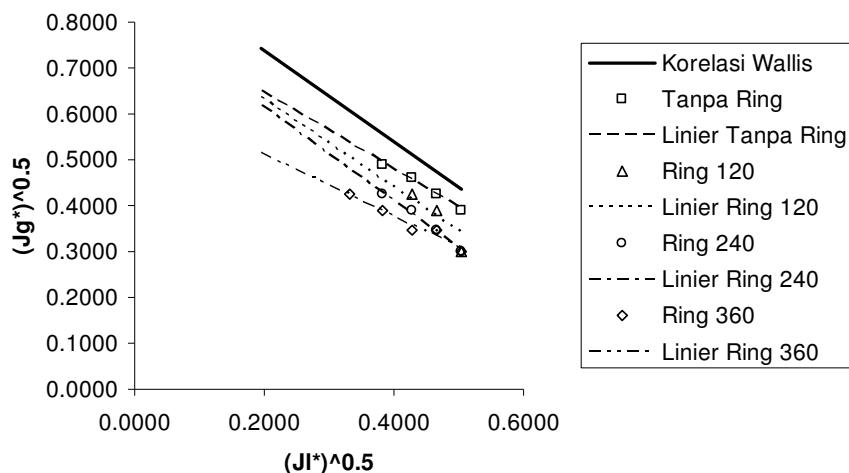
tonjolan juga semakin lebar. Hal ini berarti berarti lebar area bagian permukaan lapisan *film* cairan yang terganggu juga semakin besar, sehingga aliran di bawah obstraksi semakin tidak stabil. Selanjutnya, adanya aliran gas dari bawah saluran uji akan menimbulkan gesekan pada permukaan lapisan *film* cairan. Akibatnya gelombang yang terbentuk di atas permukaan lapisan *film* cairan di bawah *inlet* akan bertambah besar, apalagi jika debit aliran gas semakin ditambah besar. Pada saat debit gas mencapai harga kritis, gelombang yang terbentuk di atas permukaan lapisan *film* cairan akan menutup saluran uji di sekitar *injektor* gas. Akibatnya, tekanan gas di bawah obstraksi menjadi besar sehingga gas dan cairan akan terangkat ke atas saluran uji, fenomena ini yang disebut *flooding*.



Gambar 9. Fenomena *flooding* yang terjadi pada obstraksi berbentuk Ring melingkar penuh ( $360^\circ$ ) dalam satuan waktu detik.

Pada obstraksi berbentuk cincin melingkar penuh ( $360^\circ$ ), sumbatan terjadi pada daerah sekitar obstraksi. Hal ini disebabkan seluruh aliran lapisan *film* cairan harus melewati tonjolan obstraksi, sehingga gelombang yang terbentuk akan melingkupi saluran uji. Pada saat debit gas dari bawah saluran uji dialirkan dari bawah, gesekan gas terhadap gelombang cairan yang berada di atas obstraksi akan semakin besar sehingga menutup saluran uji, akibatnya tekanan gas di bawah obstraksi akan semakin besar dan akan mengangkat cairan ke atas. Awal *flooding* pada obstraksi berbentuk cincin melingkar penuh ( $360^\circ$ ) terjadi di sekitar obstraksi.

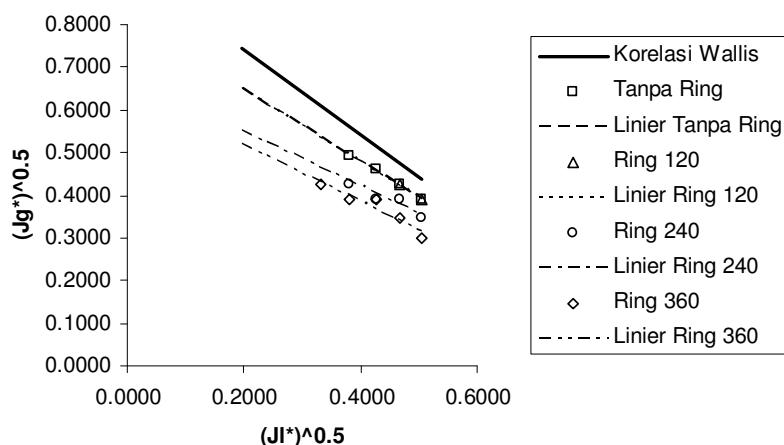
Pada obstraksi cincin melingkar  $240^\circ$ , awal *flooding* dimulai di sekitar obstraksi jika obstraksi dipasang pada posisi 2 dengan jarak obstraksi terhadap *inlet* cairan sejauh 2500 mm ( $L/D = 78,125$ ). Hal ini disebabkan obstraksi berdekatan dengan *outlet* cairan yang berbentuk tajam (*sharp*) dimana sumber gangguan terbesar dari saluran uji terjadi di sini. Sedangkan pada obstraksi dipasang pada posisi 1 dengan jarak penganggu terhadap *inlet* cairan sejauh 500 mm ( $L/D = 15,625$ ), mekanisme awal *flooding* dimulai dari *outlet* cairan. Hal ini disebabkan aliran lapisan *film* cairan setelah melewati obstraksi di posisi 1 akan terkacaukan atau tidak halus lagi. Adanya aliran gas dari bawah saluran uji yang bergesekan dengan permukaan lapisan *film* cairan di bawah obstraksi akan semakin menimbulkan gelombang (riak) besar dan merambat ke atas menuju ke obstraksi. Namun gelombang besar ini tidak cukup untuk membentuk sumbatan pada obstraksi. Gelombang yang besar dari aliran lapisan *film* cairan muncul pada *outlet* cairan dimana di sini adalah sumber gangguan terbesar, akibat jarak *outlet* cairan dengan obstraksi relatif jauh. Akibatnya sumbatan gelombang besar aliran lapisan *film* cairan terjadi di sekitar *outlet* cairan, berakibat cairan akan terangkat ke atas bersama aliran gas. Pada obstraksi cincin melingkar  $240^\circ$  di posisi 1, mekanisme awal *flooding* dimulai dari sekitar *outlet* cairan.



Gambar 10. Hubungan kecepatan aliran air dan gas pada saat awal *flooding* dengan variasi geometri obstraksi cincin tunggal pada posisi 1.

Pada obstraksi berbentuk cincin melingkar  $120^\circ$ , mekanisme awal *flooding* selalu dimulai sekitar *outlet* cairan. Hal ini disebabkan gelombang yang ditimbulkan oleh obstraksi pada aliran lapisan film cairan tidak cukup besar untuk sampai menyumbat saluran uji di obstraksi. Gelombang yang timbul pada aliran lapisan film cairan di bawah obstraksi akan semakin kacau mendekati *outlet* cairan, sehingga berpotensi menutup saluran uji di sekitar *outlet* cairan. Akibatnya pada obstraksi berbentuk cincin melingkar  $120^\circ$ , mekanisme awal *flooding* selalu dimulai sekitar *outlet* cairan.

Dilihat dari gambar 10 dan gambar 11 dapat diketahui bahwa dari bentuk-bentuk geometri obstraksi yang dipasang pada saluran uji, berpengaruh pada kecepatan kritis awal terjadinya *flooding*. Semakin besar area melingkarnya cincin obstraksi, terlihat kecepatan kritis gas semakin kecil untuk mengawali mekanisme *flooding*.

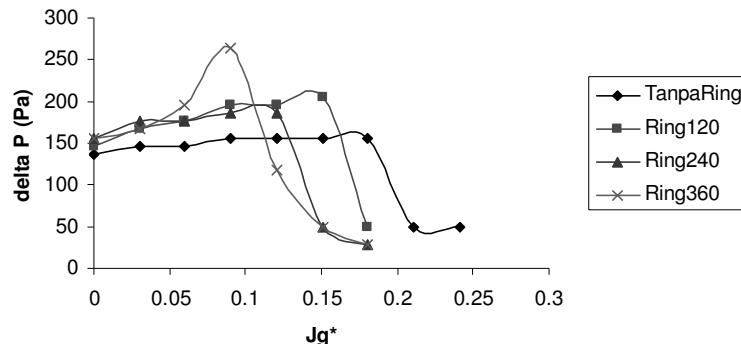


Gambar 11. Hubungan kecepatan aliran air dan gas pada saat awal *flooding* dengan variasi geometri obstraksi cincin tunggal pada posisi 2.

Secara umum pengaruh posisi pada obstraksi berbentuk cincin melingkar menunjukkan bahwa kecepatan kritis terjadinya awal *flooding* lebih cepat terjadi pada obstraksi yang mempunyai luas area melingkar semakin besar. Namun pada obstraksi cincin melingkar  $120^\circ$  pada posisi 2 ( $L/D = 78,125$ ), kecepatan kritis terjadinya awal *flooding* lebih mendekati kondisi tanpa obstraksi. Hal ini disebabkan posisi obstraksi lebih dekat dengan *outlet* cairan dimana terjadi gangguan besar terhadap aliran film lapisan cairan.

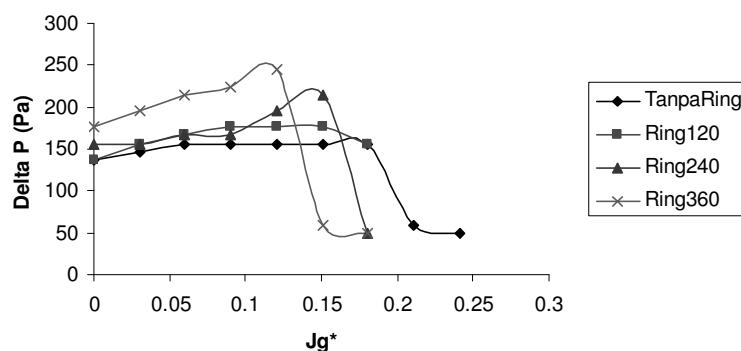
## 6. Gradien Tekanan pada Obstraksi Saat Flooding

Perubahan gradien tekanan pada obstraksi juga terjadi pada saat terjadi fenomena *flooding*. Awal tejadinya *flooding* yang dimulai dari bagian obstraksi akan ditunjukkan dengan perubahan gradien tekanan pada obstraksi. Pada saat terjadi sumbatan awal terjadinya *flooding* di bagian obstraksi, gradien tekanan akan naik tinggi, dan setelah cairan merambat ke atas saluran uji berangsurgangsur gradien tekanan menurun.



Gambar 12. Gradien tekanan pada obstraksi terhadap kecepatan aliran gas pada aliran debit cairan 5 LPM dengan bentuk geometri obstraksi cincin 120°, 240°, dan 360° di posisi 1.

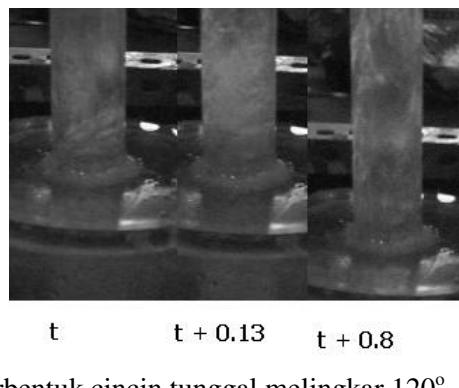
Hasil penelitian pengaruh geometri obstraksi pada saluran uji terhadap gradien tekanan di obstraksi dapat dilihat pada gambar 12 dan gambar 13. Dari gambar tersebut terlihat bahwa peningkatan debit aliran gas akan sedikit menaikkan gradien tekanan pada obstraksi. Kondisi terjadi pada saluran uji tanpa obstraksi maupun dengan obstraksi. Pada obstraksi berbentuk cincin 120° dan 240° di posisi 1 ( $L/D = 15,625$ ), sesaat sebelum terjadinya *flooding* hanya sedikit terjadi kenaikan gradien tekanannya, hal ini menunjukkan bahwa awal *flooding* tidak dimulai dari obstraksi karena tidak ada indikasi penyumbatan saluran uji di daerah obstraksi.



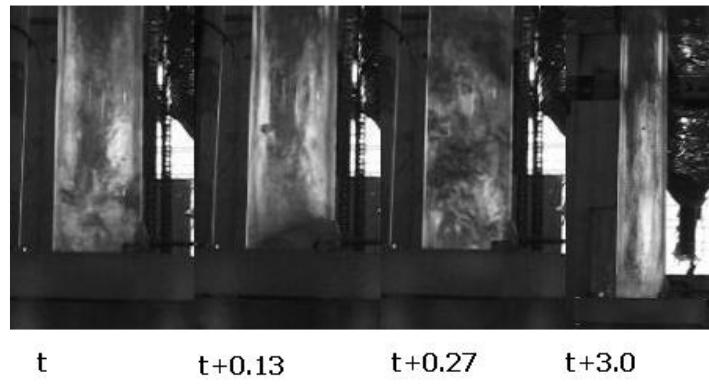
Gambar 13. Gradien tekanan pada obstraksi terhadap kecepatan aliran gas pada aliran debit cairan 5 LPM dengan bentuk geometri obstraksi cincin 120°, 240°, dan 360° di posisi 2.

Pada obstraksi berbentuk geometri cincin 240° di posisi 2 ( $L/D = 78,125$ ), terlihat gradien tekanan agak tinggi mengindikasikan terjadi sumbatan pada obstraksi yang menyebabkan terjadinya *flooding*. Hal ini disebabkan lokasi obstraksi lebih dekat dengan ujung saluran uji bagian bawah dimana terjadi sumber gangguan pada aliran cairan.

Pada obstraksi berbentuk cincin melingkar penuh 360° terlihat bahwa awal *flooding* ditandai dengan meningkatnya gradien tekanan di sekitar obstraksi. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi gangguan yang besar di sekitar obstraksi yang mengakibatkan timbulnya sumbatan yang diindikasikan dengan naiknya gradien tekanan tinggi.



Gambar 14. Pada obstraksi berbentuk cincin tunggal melingkar  $120^\circ$ , *flooding* terjadi di daerah *outlet* saluran cairan.



Gambar 15. Fenomena *flooding* terjadi pada obstraksi cincin melingkar  $240^\circ$  pada posisi 2.

Secara keseluruhan dari gambar grafik di atas menunjukkan bahwa setelah terjadi awal *flooding*, gradien tekanan berangsur-angsur cenderung turun yang mengindikasikan aliran cairan yang mengalir ke bawah mulai berkurang dan cenderung mengalir ke atas.

## 5. Kesimpulan

- Hasil pengamatan secara visual menunjukkan mekanisme awal *flooding* yang dimulai dari bawah saluran uji dekat *outlet* cairan atau injektor gas, terjadi pada saluran uji tanpa obstraksi dan obstraksi cincin melingkar  $120^\circ$ . Sedangkan pada saluran uji dengan obstraksi cincin melingkar  $360^\circ$ , mekanisme awal *flooding* dimulai dari sekitar obstraksi. Mekanisme *flooding* yang dimulai dari sekitar obstraksi ditandai dengan kenaikan gradien tekanan pada obstraksi.
- Pada saluran uji dengan obstraksi cincin melingkar  $240^\circ$ , mekanisme awal terjadinya *flooding* dapat terjadi pada obstraksi atau pada *outlet* cairan. Jika posisi obstraksi relatif dekat berjarak 500 mm dengan injektor cairan ( $L/D = 15,625$ ), maka mekanisme *flooding* akan terjadi pada *outlet* cairan. Sedangkan jika obstraksi dipasang pada posisi 2 dengan jarak obstraksi terhadap *inlet* cairan sejauh 2500 mm ( $L/D = 78,125$ ), awal *flooding* dimulai di sekitar obstraksi. Mekanisme *flooding* yang dimulai dari sekitar obstraksi ditandai dengan kenaikan gradien tekanan pada obstraksi.
- Hasil perbandingan kecepatan *flooding* pada saluran uji berobstraksi cincin melingkar  $120^\circ$ ,  $240^\circ$ , dan  $360^\circ$ , menunjukkan bahwa semakin lebar area melingkar obstraksi pada saluran uji maka akan semakin kecil kecepatan kritis gas dan cairan untuk memulai terjadinya *flooding*. Hal ini disebabkan pada lebar area melingkar obstraksi yang lebar lebih besar menimbulkan gelombang di atas lapisan permukaan *film* cairan yang mengakibatkan *flooding* lebih cepat terjadi.

## Notasi

$D$	= diameter dalam saluran uji (m).
$D_{obst}$	= diameter dalam obstraksi (m).
$g$	= percepatan gravitasi ( $m/s^2$ ).
$J_g^*$	= kecepatan superfisial tak berdimensi dari fasa gas.
$J_1^*$	= kecepatan superfisial tak berdimensi dari fasa cairan.
$J_g$	= kecepatan gas (m/s).
$J_1$	= kecepatan cairan (m/s).
$\dot{m}_l$	= laju aliran cairan (kg/s).
$Q_g$	= debit aliran gas ( $m^3/s$ ).
$Q_l$	= debit aliran cairan ( $m^3/s$ ).
$Re_f$	= Angka Reynold aliran cairan dalam saluran uji.
$\delta^*$	= tebal lapisan film cairan tak berdimensi
$\delta$	= tebal lapisan film cairan (m).
$\mu_l$	= viskositas dinamik cairan (kg/m.s).
$\rho_g$	= massa jenis gas ( $kg/m^3$ ).
$\rho_l$	= massa jenis cairan ( $kg/m^3$ ).

## Daftar Pustaka

- Bramantya, M.A., 2005, *Studi Pengaruh Geometri dan Jumlah Pengganggu Terhadap Permulaan Flooding Aliran Air – Udara Berlawanan Arah pada Saluran Vertikal dengan Inlet Porous dan Outlet Sharp*, Thesis, Program Pascasarjana UGM Yogyakarta.
- Celata, G.P., Cumo, M., Farello, G.E., dan Setaro, T., 1990, *The Influence of Geometry on Flooding : Channel Length and Diameter*, Proceeding of 9<sup>th</sup> International Heat Transfer Conference, Jerusalem
- Chung, K.S., Liu, C.P., Tien, C.L., 1980, *Flooding in Two Phase Counter Current Flow II*, Physico Chemical Hydrodynamics, vol. 1 hal. 209 – 220.
- Danang, D.S., 2004, *Pengaruh Jarak Pengganggu Terhadap Permulaan Flooding Inlet Smooth dan Outlet Sharp*, Thesis, Program Pascasarjana UGM Yogyakarta.
- Mayana, H.C., 2005, *Pengaruh Kemiringan Saluran Terhadap Fenomena Flooding dengan Gangguan pada Aliran Udara-Air dan Udara-Minyak Tanah*, Thesis, Program Pascasarjana UGM Yogyakarta.
- Seno D., 2005, *Pengaruh Gangguan Terhadap Permulaan Flooding Aliran Gas Cair Berlawanan Arah pada Saluran Vertikal dengan Inlet dan Outlet Belmouth*, Thesis, Program Pascasarjana UGM Yogyakarta.
- Tye, P., 1998, *Counter Curret and Flooding in Vertical and Horizontal Tubes with and without Obstructions*, Ph.D. Thesis, Universite de Montreal, Canada.
- Vijayan, M., Jayanti, S., Balakrishnan, A.R., 2001, *Effect of Tube Diameter on Flooding*, International Journal of Multiphase Flow, Vol. 27, pp. 797 – 816.
- Wallis dan Graham B., 1969, *One Dimensional Two- Phase Flow*, McGraw Hill, New York.
- Zapke, A., Kroger, D.G., 2000, *Counter Current Gas-Liquid Flow in Inclined and Vertical Duct I : Flow Pattern, Pressure Drop Characteristics, and Flooding*, International Journal Multiphase Flow, 26, 1339 – 1455.