

Karakteristik Hidrodinamik dan Pola Aliran Pada Fenomena *FLooding* Dalam Pipa Vertikal

(*)Mahmuddin, (**)Samsul Kamal, (**)Indarto, (**)Purnomo

(*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Muslim Indonesia Makassar

(**) Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin dan Industri UGM

Program Pascasarjana Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin dan Industri FT-UGM
Jl. Grafika 2 Yogyakarta 55281

Abstrak

Karakteristik hidrodinamik, dan pola aliran pada aliran berlawanan arah udara-air dalam pipa vertikal telah dilakukan. Pengukuran ketebalan film dengan metode konduktimetri, dan penurunan tekanan dengan manometer U. Untuk mendapatkan aliran berlawanan arah udara-air, maka air dialirkan dari atas melalui media berpori, sedangkan udara diinjeksikan dari bawah secara aksial. Pengukuran ketebalan film dilakukan pada jarak (X) 400, 1600, dan 2400xmm dengan variasi angka Reynolds air (Re_l) 845-2446 dan laju injeksi udara dengan kecepatan 1.84-5.54m/s dari injektor air. Pengukuran ketebalan film dilakukan secara simultan.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kurva ketebalan film terjadi penurunan secara perlahan-lahan dengan meningkatnya laju aliran udara. Tetapi, saat flooding besaran ini turun drastis, dan gradien tekanan (dp/dx) tiba-tiba meningkat tajam. Flooding diawali ketidakstabilan aliran film dimulai dari sisi bagian bawah saluran, kemudian membentuk formasi gelombang-gelombang kecil dan pola aliran acak bergerak ke atas secara simultan. Saat flooding pola aliran ini berubah menjadi pola aliran annular mengalir ke bawah. Pada transisi aliran, dimana struktur aliran lokal turun drastis dan kemudian konstan sebagai fungsi waktu. Pengukuran ketebalan film dari tiga titik menunjukkan bahwa flooding terjadi lebih awal pada sisi bagian atas dekat sisi masuk air.

Kata kunci: karakteristik hidrodinamik, pola aliran, flooding

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Dalam dunia industri fenomena *flooding* merupakan batas aliran berlawanan arah (*Counter-current flow limitation, CCFL*). Bila sebagian cairan tepat mengalir ke atas searah dengan aliran udara. Kondisi ini dapat dijadikan faktor yang membatasi operasi suatu kondensor refluks pipa vertikal. Peristiwa *flooding* dapat juga dijumpai pada reaktor nuklir, bila inti reaktor menjadi kering sebahagian atau keseluruhan, dan kemudian diusahakan

pembasahan dari atas. Air yang mengalir ke bawah masuk ke dalam inti, mungkin dilawan aliran uap hasil pendinginan (*flashing*) mengalir ke atas, sehingga mengakibatkan gagalnya pendinginan (*Loss Of Coolant Accidents, LOCAs*). Pada kecepatan uap maksimum sebagian dari air kondensasi tadi akan terbawa naik dan akan menghambat mengalir ke bawah. Ini kondisi dimana batas awal terjadinya *flooding* atau titik kecepatan uap saat *flooding*.

Selain itu *flooding* dapat mengakibatkan kerusakan dan menurunkan kinerja sistem. Oleh karena itu prinsip-prinsip keselamatan pada PWR PLTN perlu dipelajari mencegah bahaya atau kecelakaan yang lebih membahayakan.

Disain Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) diarahkan pada peningkatan standar dan tingkat keselamatan dari satu kemungkinan terjadinya leleh teras (*core melt*) dengan sistem "*Defence in Depth*". *Counter Current Flow Limitation* (CCFL) merupakan fenomena *flooding* dan mendapat perhatian khusus di industri nuklir terutama karakteristik termohidrolik pada reaktor nuklir jenis *Pressurized Water Reactors* (PWR). Panas yang dibangkitkan oleh uap cukup untuk melelehkan material teras reaktor dalam beberapa detik jika proses transfer kalor tidak efektif, dan laju aliran uap melebihi yang diizinkan, Pada kondisi ini dapat mengakibatkan kecelakaan atau kerusakan *fatigue* pada jaringan perpipaan. Kecelakaan tersebut disebabkan kurangnya laju pendinginan pada reaktor (*Small Break Loss of Coolant Accident, SBLOCA*). Oleh karena itu, diperlukan *Emergency Core Cooling System* (ECCS) yang berfungsi untuk menginjeksikan air pendingin ke teras reaktor.

Kecelakaan yang ditimbulkan oleh kerusakan *fatigue* pada jaringan perpipaan di salah satu PLTN di Jepang tahun 2004, membuat sebagian masyarakat ragu akan keberhasilan proyek pengembangan nuklir di sana. Deendarlianto(2005).

Negara maju sedang mengembangkan proyek yang mengarahkan untuk memperbaiki tingkat pemahaman mekanisme *flooding* pada reaktor nuklir, diantaranya adalah model analisis untuk evaluasi lebih teliti tentang *flooding* di dalam pipa penghubung *Pressurized Water Reactor* (PWR). Penelitian tentang karakteristik aliran *annular* air dan udara berlawanan arah vertikal cukup menarik dan masih tetap dikembangkan di beberapa negara di dunia, misalnya Jepang, Polandia, Jerman, Perancis, Amerika Serikat, Inggris dan beberapa negara di Asia. Oleh karena itu, pengembangan dan penelitian di bidang ini merupakan alternatif dalam menjawab permasalahan ke depan.

1.2. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran, pola aliran, dan fenomena *flooding*.

1.3. Tinjauan pustaka

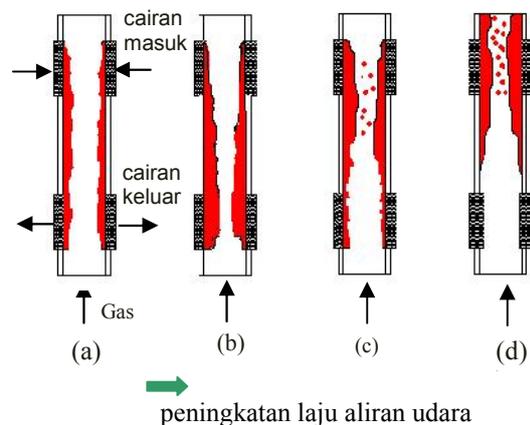
Publikasi mengenai aliran dua fase dirasakan masih kurang dan sebagian besar publikasi ditulis oleh para peneliti yang berasal dari Pusat Studi Nuklir misalnya *Harwell* (Inggris), *Argonne* (Amerika Serikat), *CENG* (Perancis), *Kyoto University* (Jepang). Memang tidak mengherankan karena proyek reaksi nuklir membutuhkan pengetahuan di bidang perpindahan kalor dan aliran dua fase, Koestoeer. R.A (1994).

Fenomena *flooding* dalam pipa vertikal telah dikembangkan oleh Wallis dkk (1969) hingga sekarang. Transisi aliran berlawanan arah ke aliran searah ke

atas telah banyak dikaji baik secara teoritis maupun eksperimental. Hasil penelitian yang diperoleh adalah menampilkan gambar pola aliran, pengaruh viskositas cairan, tegangan muka serta diameter dan kemiringan pipa terhadap fenomena *flooding*. Penelitian serupa dilakukan oleh Mouza dkk (2000) di dalam celah yang sempit dengan variasi viskositas cairan dan beroperasi pada bilangan Reynolds cairan yang rendah antara 100–400.

Delhaye dkk (1981) mengatakan bahwa *flooding* dan *flow reversal* merupakan mekanisme dasar yang terjadi pada reaktor nuklir *thermohydraulic*, seperti dalam Gambar 1. adalah (1) Peristiwa *rewetting*. (2) Peristiwa pelelehan material. (3) *Down comer flow* pada *emergency core cooling* sistem. Proses di industri, *flooding* dan *flow reversal* tidak jarang dijumpai pada peralatan *heat exchanger*, *vertical tube distillation*, *vertical reflux condensor*, dan *cooling tower*. *Flooding* dan *flow reversal* sampai sekarang belum dapat terdefinisi dengan jelas.

Vijayan dkk (2002) telah melakukan eksperimen tentang aliran berlawanan arah air dan udara pada kondisi *flooding* dalam pipa berdiameter 25, 67 dan 99 mm. Pengukuran gradien tekanan, ketebalan film dan laju aliran air keluar pada kondisi *flooding*. Data pada diameter 25 dan 67mm yang ditunjukkan dalam Gambar 2. Gradien tekanan pada umumnya memperlihatkan tidak mengalami peningkatan yang cukup besar di bawah kondisi *flooding*

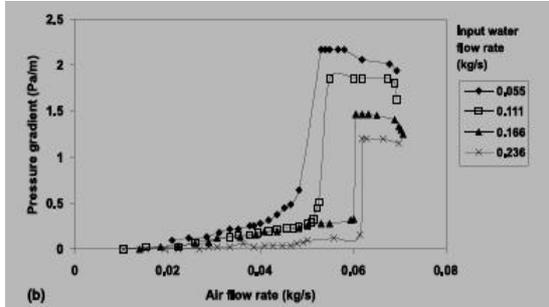


Gambar 1. Mekanisme *flooding*

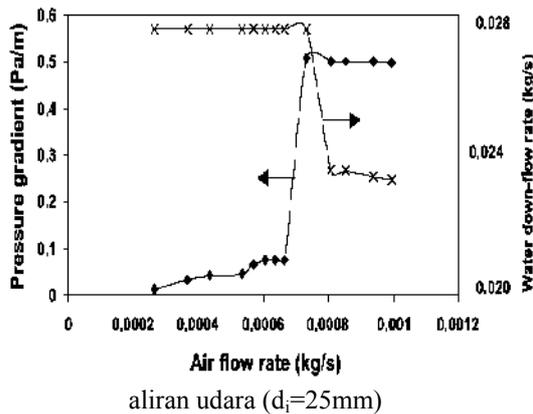
Data pada diameter 25 dan 67mm yang ditunjukkan dalam Gambar 2. Gradien tekanan pada umumnya memperlihatkan tidak mengalami peningkatan yang cukup besar di bawah kondisi *flooding*. Peningkatan gradien tekanan yang mendadak dengan tingkat laju aliran udara terjadi saat *flooding*. Peningkatan ini dapat disebabkan karena adanya hantaman ombak saat *flooding* terutama laju aliran gas meningkat.

Pada laju aliran air ditetapkan 0.0278 kg/s dan laju aliran udara divariasikan di dalam pipa berdiameter 25mm, gradien tekanan dan laju aliran air keluar diplot sebagai fungsi laju aliran udara ditunjukkan dalam Gambar 3. Selanjutnya Jayanti dkk (2001) menyatakan bahwa gradien tekanan di bawah *flooding* sangat rendah dan laju aliran air keluar konstan. Dengan laju aliran gas sedikit lebih tinggi, maka *droplet* ke atas terus meningkat. Gradien tekanan naik seiring dengan turunnya laju aliran air keluar dan cenderung tidak berubah meskipun di bawah kondisi *flooding*. Pada aliran udara yang lebih tinggi, gerakan aliran acak (*churn*) akan menyebar di seluruh penampang pipa.

Hal ini struktur aliran seperti aliran acak tidak kelihatan.



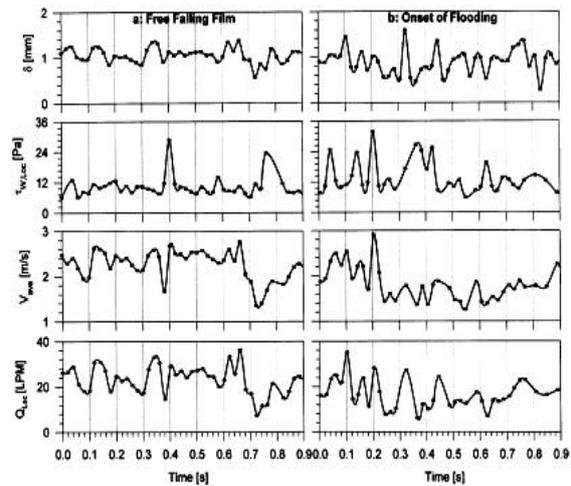
Gambar 2. Gradien tekanan dengan peningkatan laju aliran udara berbagai variasi laju aliran air pada diameter 67mm



Gambar 3. Gradien tekanan dan laju aliran air keluar dengan peningkatan laju aliran udara ($d_i=25\text{mm}$)

Ousaka., dkk., (2005), telah melakukan pengukuran ketebalan film lokal terhadap fungsi waktu, tegangan geser, kecepatan rata-rata film cairan dilakukan pengukuran secara serentak ditunjukkan dalam Gambar 4. Pengamatan yang diperoleh bahwa sebelum terjadi gelombang besar terjadi peningkatan tebal film secara mendadak yang diikuti dengan tegangan geser fluida dengan permukaan dinding. Karena

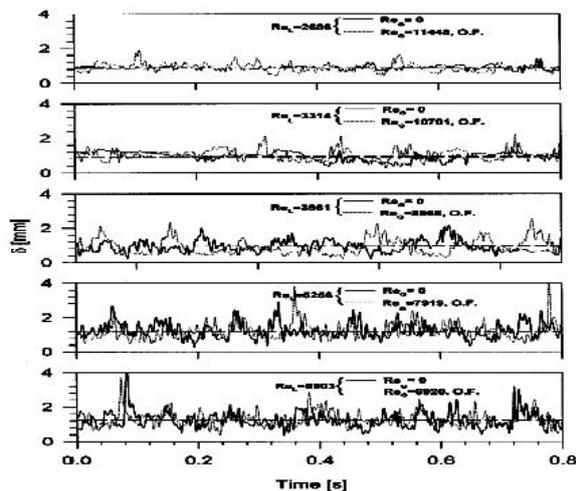
lapisan film yang tipis mengakibatkan tegangan geser menjadi kecil sejalan dengan gaya gravitasi lokal. Dengan amplitudo gelombang tidak menentu akibat dari perubahan tegangan geser dan efek viskositas cairan. Selain itu, ketebalan film saat permulaan *flooding* lebih berfluktuasi bila dibandingkan dengan ketebalan film pada kondisi tanpa aliran udara yang melawan arah aliran air di dalam pipa.



Gambar 4. Pengukuran ketebalan film cairan, kecepatan rata-rata dan laju aliran air lokal pada Re_L 3348

Karimi. G dan Kawaji. M (2000) mempresentasikan hasil pengukuran ketebalan film untuk $Re_G=0$ dan permulaan *flooding*. Pipa yang digunakan adalah pipa dengan diameter 50.8mm dan tinggi 244cm. Pengukuran dilakukan pada Re cairan 1391 sampai 6584 pada jarak 1500mm dari sisi masuk cairan. Hasil pengukuran dituangkan dalam Gambar 5. Ketebalan film pada Re yang tinggi seperti kurva paling bawah dalam Gambar 5. menunjukkan bahwa aliran

film lebih berfluktuasi bila dibandingkan dengan Re yang rendah. Seperti kurva pada Re 11448 saat *flooding*, fluktuasi alirannya lebih kecil.



Gambar 5. Fluktuasi ketebalan film untuk aliran film jatuh bebas dan aliran film permulaan *flooding*

2. METODOLOGI PENELITIAN

Instalasi penelitian dituangkan dalam Gambar 6, terdiri dari 2 (dua) rangkaian yaitu rangkaian tertutup untuk air dan rangkaian terbuka untuk udara..

Pengukuran ketebalan film dengan menggunakan teknik konduktan dengan kawat paralel yang dipasang pada jarak (L) 4mm. Kawat ini terbuat dari bahan *remanium* dengan diameter (d_p) 1mm. Salah satu ujung kawat tersebut dialirkan arus listrik dengan tegangan 5 volt. Tegangan luaran merupakan respon dari perubahan ketebalan air. Metode ini secara luas telah digunakan di dalam aliran dua fasa, cukup sederhana dan tidak mengganggu aliran film.

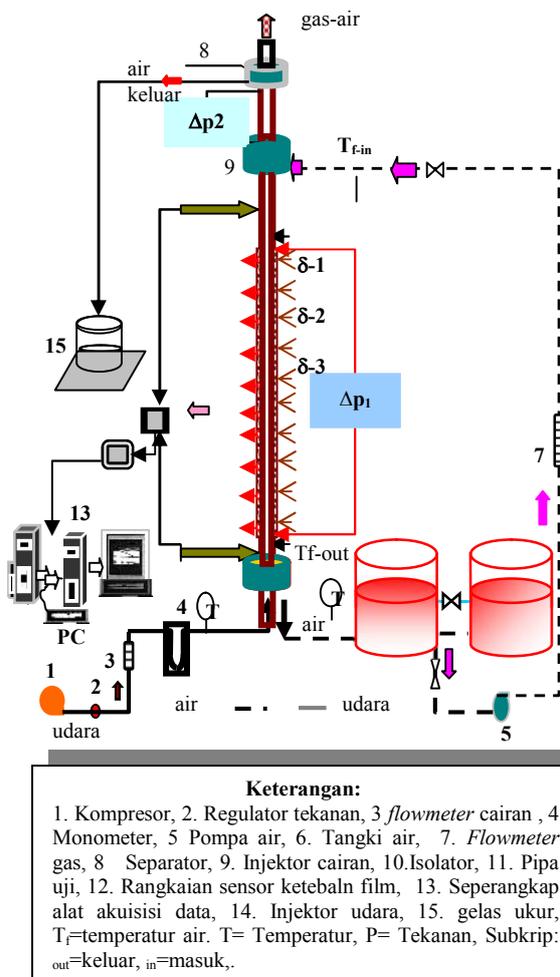
Metode konduktansi pada dasarnya menggunakan elektroda ditempatkan dekat satu sama lain pada permukaan di mana film cairan mengalir (Indarto, 1992). Sedangkan cakupan L/d_p yang efektif untuk pengukuran ketebalan film cairan (δ) efektif. Bila $L/d_p=4$, pengukuran ketebalan film efektif dalam $\square \leq 0.2L$ (Samsul, K. 1991).

Resistansi air akan semakin kecil bila ketebalan air meningkat, sehingga daya hantar akan meningkat serta tegangan luaran akan lebih besar. Pengukuran dilakukan pada $322 \leq Re_L \leq 2446$ dengan injeksi udara pada kecepatan 1.83m/s sampai di atas kecepatan kritis udara. Hal ini dilakukan untuk mendapat karakteristik dan fenomena aliran sebelum dan sesudah *flooding*.

Probe ketebalan film dihubungkan ke terminal top *silkscreem* melalui kabel *scerm*, dari terminal dihubungkan ke PCB (*Printed Circuit Board*). Pada PCB dilengkapi rangkaian *non inverting* untuk elektroda dan rangkaian *non inverting termocouple*. Masing-masing rangkain di atas dihubungkan dengan *LabJack* U12-PH kemudian diteruskan ke komputer (PC) yang dilengkapi monitor. Respon tegangan luaran dari perubahan tahanan film sangat kecil, maka diberikan penguatan.

Pola aliran sesaat sebelum *flooding* diamati dengan cermat dengan seksama untuk mendapatkan pola aliran yang diinginkan. Pola aliran direkan dengan kamera digital merek canon 4.0MP. Perbedaan tekanan dapat diketahui dengan menggunakan

manometer U. Sedangkan volume air keluar bersama aliran udara ke atas dengan menggunakan gelas ukur. Pengukuran dilakukan secara simultan.

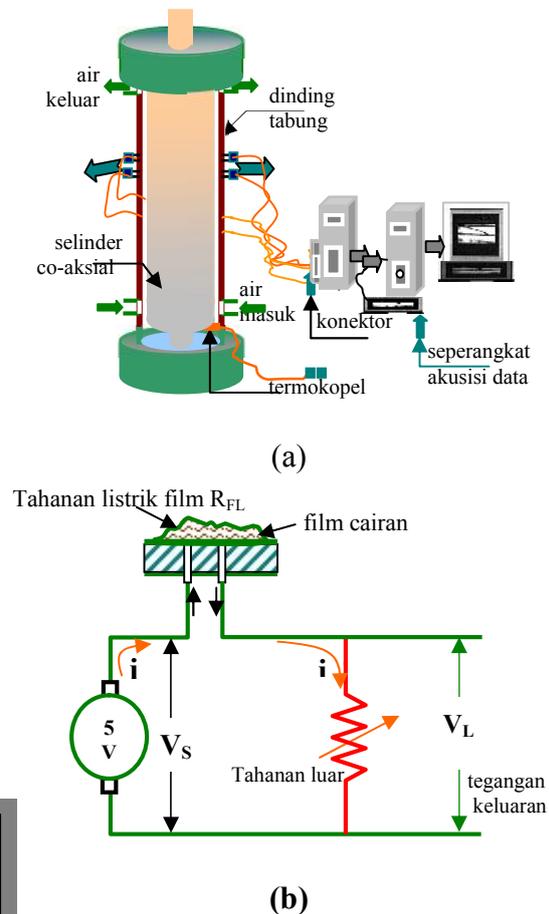


Gambar 6. Instalasi alat penelitian

Kalibrasi ketebalan film dilakukan dengan mengganti silinder dalam dengan diameter yang berbeda. Jarak antara silinder dalam dengan silinder luar merupakan tebal cairan. Skema kalibrasi dituangkan dalam Gambar 7(a)

Karakteristik ketebalan film dapat diketahui dengan merekam perubahan tegangan luaran pada setiap Re_L dengan

peningkatan laju aliran udara. Suhu air dipertahankan konstan selama pengambilan data sehingga dapat dianggap proses adiabatik.



Gambar 7. (a) skema kalibrasi ketebalan film dan (b) rangkaian listrik pengukuran ketebalan film

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

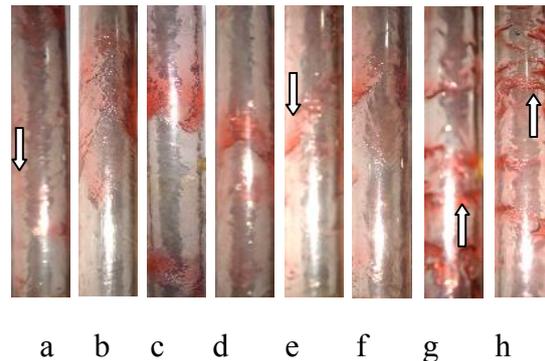
3.1. Mekanisme Flooding

Gejala *flooding* selalu diawali dengan ketidakstabilan permukaan aliran *film* akibat interaksi antara permukaan aliran film dengan aliran udara. Ketidakstabilan aliran film tersebut akan berlanjut dengan timbulnya riak atau gelombang di permukaan seiring dengan

laju aliran udara meningkat. Dengan demikian, aliran menjadi tidak stabil dan *flooding* akan terjadi lebih cepat. Gambar 8, menunjukkan pola aliran dengan peningkatan laju aliran udara. Pada laju aliran udara rendah interaksi antara udara dan permukaan film lemah, sehingga permukaan aliran masih stabil seperti dalam Gambar 8(a) dan (b). Dengan peningkatan laju aliran udara mengakibatkan aliran film menjadi tidak stabil, dengan munculnya formasi pola aliran sumbat bergerak ke atas kemudian berhenti sesaat dan kemudian bergerak ke atas akibat dorongan aliran sumbat berikutnya. Kejadian berlangsung sangat cepat, sehingga sulit diamati secara seksama. Pola aliran ini disebut *local bridging* seperti pada Gambar (c) dan (d).

Penjalaran pola aliran sumbat dengan kecepatan tinggi akan mengakibatkan permukaan aliran film lebih tidak stabil dan mempercepat terjadi *floodnig*. Mekanisme tersebut di depan disebut mekanisme *flooding* (lihat Gambar 8).

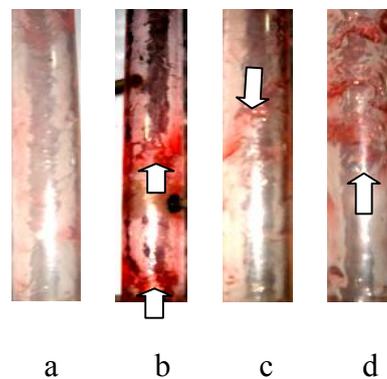
Saat *flooding* aliran menjadi *annular* dan permukaan aliran film menjadi stabil Gambar 8(e) dan (f). Bila laju aliran udara dinaikkan jauh di atas kecepatan kritis saat *flooding* maka, aliran akan membalik ke atas seperti gelombang merambat ke atas satu sama lain seperti dalam Gambar 8(g) dan (h).



Gambar 8. Mekanisme *flooding*

3.2. Pola aliran

Pola aliran direkam dengan kamera canon dengan 4.0MP. Hasil rekaman menunjukkan bahwa kecepatan udara jauh dari kecepatan kritis belum memberikan pengaruh signifikan terhadap permukaan aliran film seperti ditunjukkan pada Gambar 9(a).



Gambar 9. Pola aliran

Bila laju aliran udara dinaikkan sedikit demi sedikit, maka terjadi gangguan aliran film cairan dekat injektor udara. Gangguan ini berupa aliran acak yang disertai *droplet* cairan dan kemudian membentuk pola aliran sumbat (*plug flow*).

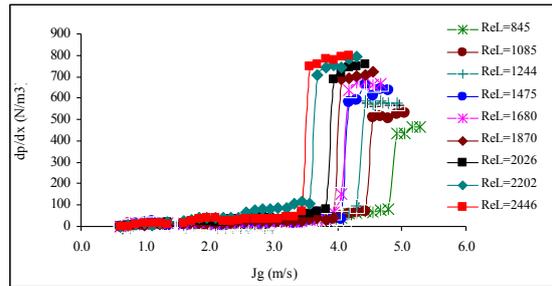
Bila kecepatan udara terus dinaikkan akan timbul pola gelombang dan kemudian menyatu membentuk pola

aliran sumbat. Aliran sumbat ini akan merambat ke atas dan berhenti sesaat kemudian bergerak/ terdorong ke atas oleh aliran sumbat berikutnya yang mengakibatkan *flooding* seperti dalam Gambar 9(b). Fenomena ini disebut *local bridging* (tanda arah panah). *Local bridging* dapat mengakibatkan penyumbatan saluran terjadi dalam waktu yang singkat dengan peningkatan gaya tekanan udara yang cukup tinggi untuk mengangkat air ke atas.. Saat air terangkat/ terdorong ke atas atau *flooding* aliran berangsur-angsur menjadi aliran *annular* mengalir ke bawah dan permukaan aliran menjadi stabil seperti pada Gambar 9(c). Sedangkan pola aliran pasca *flooding* seperti pada Gambar 9(d) menunjukkan adanya gelombang pada permukaan merambat ke atas searah dengan aliran udara. Pola aliran ini akan mengakibatkan ketebalan film meningkat.

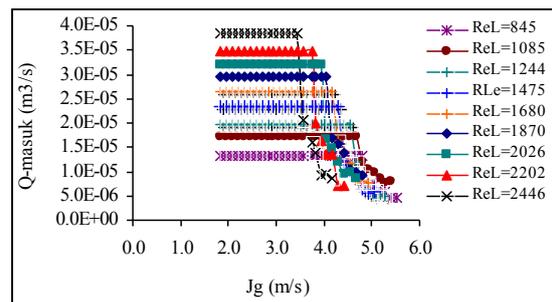
3.3. Gradien tekanan

Pengukuran beda tekanan (Δp) dilakukan bersamaan dengan pengukuran debit air yang mengalir sebelum dan sesudah *flooding*. Beda tekanan dipresentasikan dengan gradien tekanan (dp/dx) dalam bentuk grafik seperti dalam Gambar 11. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada laju aliran udara rendah, gradien tekanan meningkat sedikit demi sedikit, tetapi saat *flooding* besaran ini meningkat tajam. Peningkatan dp/dx disebabkan oleh interaksi antara udara dengan air semakin kuat mengakibatkan terjadinya pola aliran sumbat bergerak ke atas. Pola aliran ini akan mengakibatkan penyempitan saluran dan kecepatan permukaan meningkat.

Sedangkan debit air yang mengalir ke bawah pada seksi uji turun drastis. Penurunan ini disebabkan sebagian air mengalir ke atas searah dengan aliran udara. Kurva penurunan debit air dituangkan dalam Gambar 12.

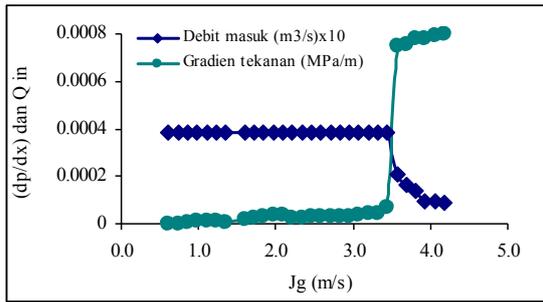


Gambar 11. Gradien tekanan fungsi dari kecepatan udara

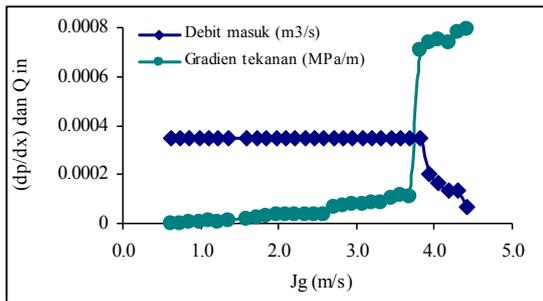


Gambar 12. Debit air mengalir ke seksi uji sebelum dan sesudah *flooding*

Gradien tekanan dan debit air (Q_{in}) diplot dalam 1 (satu) grafik seperti yang dituangkan dalam Gambar 13(a) dan (b). Kurva ini memperlihatkan karakteristik dp/dx dengan debit air sebelum dan saat *flooding*.



(a)



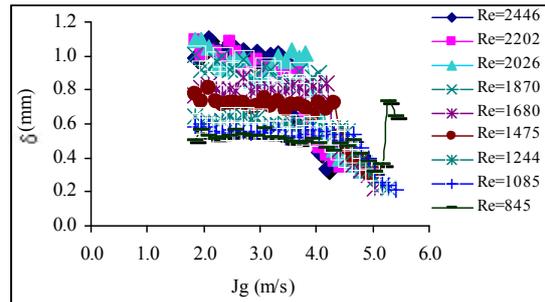
(b)

Gambar 13. Debit air masuk seksi uji dan gradien tekanan terhadap laju aliran udara (a) untuk Re_L 2446 dan (b) Re_L 2202

3.4. Ketebalan film

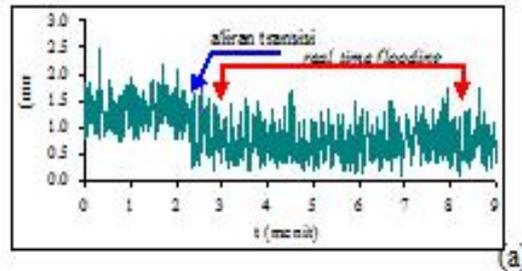
Hasil pengukuran ketebalan film (δ) terhadap peningkatan laju aliran udara berbagai Re_L dapat dituangkan dalam Gambar 14. Pada Re_L yang tinggi permukaan aliran film menjadi tidak stabil dengan adanya gelombang permukaan dengan ukuran lebih besar yang memungkinkan *flooding* dapat terjadi lebih awal. Gelombang ini merupakan hasil interaksi antara permukaan aliran film dengan aliran udara yang mengalir berlawanan arah.

Pada laju aliran udara sebelum *flooding* ketebalan film menurun sampai mencapai maksimum dan kemudian turun drastis saat *flooding*, hal ini terjadi paad $845 \leq Re_L \leq 2446$.

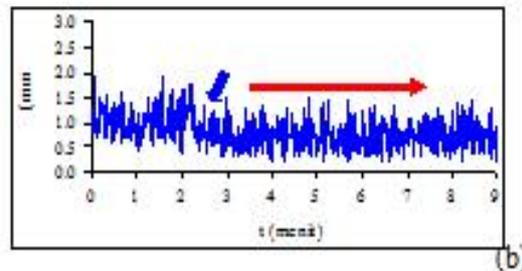


Gambar 14. Ketebalan film fungsi kecepatan udara berbagai angka Reynolds cairan

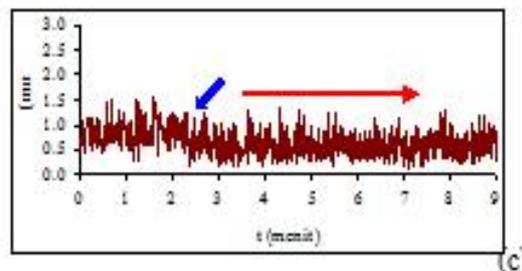
3.5. Struktur ketebalan film



(a)



(b)



(c)

Gambar 15. Struktur ketebalan film lokal pada Re_L 2446 dan kecepatan udara saat *flooding*, J_{gF} 3.57m/s jarak (a) X400mm, (b) X1600, dan (c) X2200mm

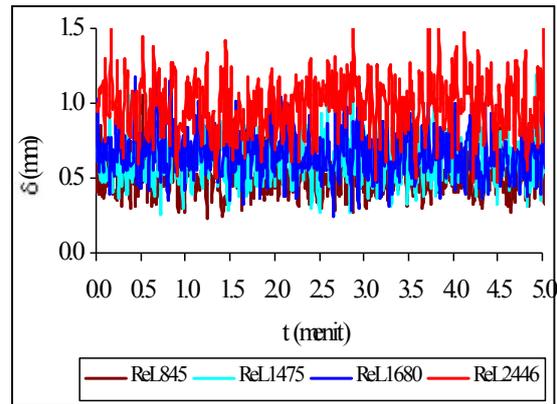
Struktur ketebalan film lokal terhadap waktu (t) seperti dalam Gambar 15. Jauh dari titik *flooding* struktur aliran cenderung konstan, kemudian turun saat *flooding*. Penurunan ini disebabkan oleh berkurangnya debit air masuk ke seksi uji seperti yang dijelaskan bagian depan.

3.6. Kecepatan udara saat *flooding*

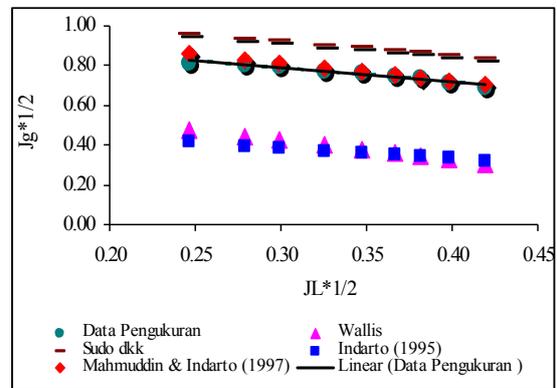
Pada Re_L lebih tinggi permukaan aliran film lebih berombak, dan fluktuasi aliran yang lebih tinggi. Pola aliran ini akan mempercepat interaksi kuat antara udara dan air, sehingga dibutuhkan laju injeksi udara yang rendah untuk mendukung terjadinya *flooding*. Perbandingan fluktuasi ketebalan film tanpa laju aliran udara ($J_g=0$) pada Re_L 845, 1475, 1680 dan 2446 seperti dalam Gambar 16. Terlihat bahwa fluktuasi ketebalan film lebih tinggi pada Re_L 2446, bila dibandingkan dengan Re_L yang lebih kecil, karena adanya gelombang yang lebih dominan pada permukaan aliran.

Kecepatan *flooding* dipresentasikan dalam grafik hubungan antara kecepatan udara dan air tak berdimensi seperti dalam Gambar 17. Dari grafik (lihat Gambar 17) diperoleh korelasi seperti pada persamaan (1).

$$(j_G^*)^{1/2} + 0.686(j_L^*)^{1/2} = 0.993 \quad (1)$$



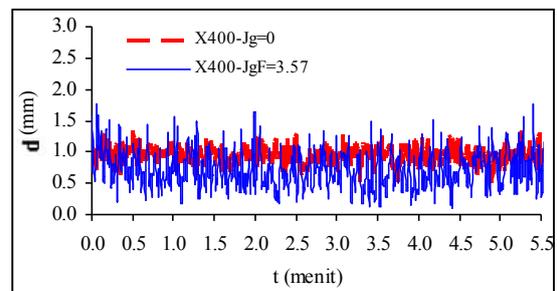
Gambar 16. Struktur ketebalan film tanpa laju aliran udara ($J_g=0$) berbagai Re_L



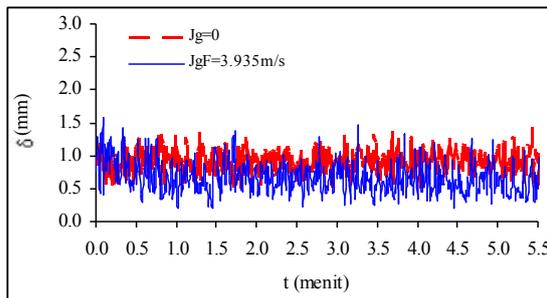
Gambar 17. Grafik hubungan kecepatan udara dan air tak berdimensi.

3.7. Karakteristik ketebalan film

Karakteristik ketebalan film Re_L 2446, dan Re_L 2206 tanpa laju aliran udara ($J_g=0$) dengan ketebalan film *real time flooding* (RTF) ditampilkan dalam satu grafik seperti pada Gambar 4.18.



(a)



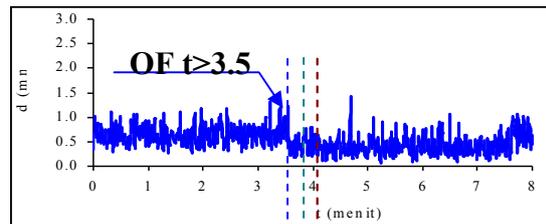
(b)

Gambar 18. Karakteristik ketebalan film pada (a) Re_L 2446 dan (b) Re_L 2206

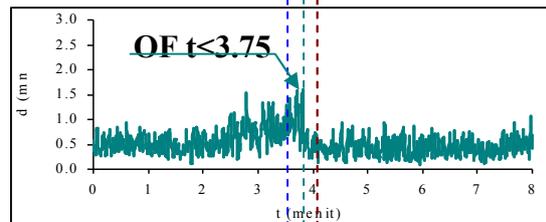
Kurva dalam Gambar 18 menunjukkan ketebalan film RTF lebih tipis bila dibandingkan dengan ketebalan film pada $J_g=0$. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Karimi. G dan Kawaji. M (2000).

3.8. Kecepatan waktu *flooding*

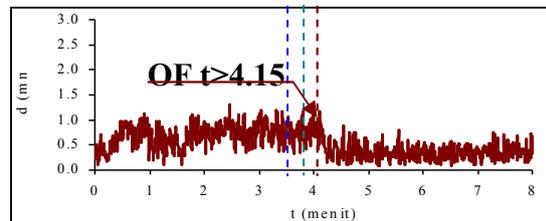
Kecepatan waktu *flooding* adalah waktu yang dibutuhkan aliran udara untuk mendorong saat sebagian air mengalir searah dengan aliran udara ke atas. Pada Gambar 19 menunjukkan bahwa waktu yang pendek dibutuhkan untuk mencapai *flooding* terjadi pada jarak lebih dekat dari sisi masuk air, yaitu 400mm, bila dibandingkan dengan jarak 1600 dan 2200mm. Hal ini terjadi karena olakan maupun turbulensi aliran film sangat dipengaruhi ketidakstabilan aliran yang keluar dari media berpori atau sisi masuk air. Disamping itu, interaksi antar fase yang kuat di daerah tersebut dapat mendukung terjadinya *flooding* lebih cepat..



(a)



(b)



(c)

Gambar 19. Waktu *flooding* lokal pada Re_L 845 saat *flooding* (a) X400 (b) X1600 dan (c) X2200.

DAFTAR NOTASI

J	kecepatan fluida (m/s)
dp/dx	gradien tekanan (N/m^3)
Re	angka Reynolds
RTF	<i>real time flooding</i> (menit)
δ	tebal lapisan film (mm)

Subskrip

L	air
g	udara
F	<i>flooding</i>

KESIMPULAN

Hasil pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa.

1. *Flooding* dapat terjadi lebih awal pada sisi bagian atas saluran dekat masuk air.
2. Saat *flooding*, gradien tekanan meningkat tajam, debit air masuk ke seksi uji turun drastis, dan ketebalan film menipis.
3. *Local bridging* dapat menyebabkan penyempitan saluran dan membentuk formasi pola aliran gelombang (*single wave*), sumbat dan pola aliran acak.
3. Kamal, S., (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*, PAU UGM Yogyakarta
4. Karimi, G., Kawaji, M. (2000) Flooding in vertical counter-current annular flow. *Journal Nuclear Engineering and Design* 200.95–105.
5. Ousaka. A, dkk., (2005) Prediction of flooding gas velocity in gas–liquid counter-current two-phase flow in inclined pipes. *Journal Nuclear Engineering and Design*. Tokyo
6. Vijayan, M., dkk. (2002) Eksperimental study of air-water countercurrent flow annular flow under post-flooding conditions. *International Journal Multiphase flow* 28. 51-56.

DAFTAR PUSTAKA

1. Delhaye, J.M., Giot, M., Rietmuller, H.L., 1980., *Thermodynamic of Two Phase System for Industrial Design and Nuclear Engineering*, Mc. Graw-Hill Book Company, pp. 61-76., New York.
2. Indarto, Lusseyran. F., Cognet.G., (1991) Investigation Of The flooding Of a Falling Film: Flow Characteristic and Length Effect. *LEMTA-INPL.*, France