

## PENGARUH KONSENTRASI GARAM TERHADAP KARAKTERISITIK ALIRAN DUA FASE GAS DAN AIR

Edi Widodo<sup>1\*</sup>, Ali Akbar<sup>2</sup>, Supriyanto<sup>3)</sup>

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo Kampus II

Jl. Raya Gelam 250, Candi, Sidoarjo, 61271, Jawa Timur

Telp : (031) 8945444 Indonesia

[ediwidodo@umsida.ac.id](mailto:ediwidodo@umsida.ac.id), [barcom2007@yahoo.com](mailto:barcom2007@yahoo.com), [supri@gmail.com](mailto:supri@gmail.com)

### Abstrak

Fenomena aliran dua fase memiliki karakteristik khusus yang dikaji dalam penelitian aliran. Sebagai bagian dari aliran *multi fase*, aliran dua fase diuji untuk mendapatkan data-data karakteristik aliran, kelebihan dan kekurangannya. Aliran dua fase pada pipa vertikal banyak dijumpai pada *sistem transportasi* perpipaan karena *fleksibilitasnya* dalam jaringan dan *distribusi*. Analisa dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan pipa *vertical* terhadap karakteristik *pressure drop* pada aliran dua fase gas-cairan.

Pengujian dilakukan secara *eksperimental* menggunakan pipa transparan dengan diameter dalam 36 mm dan tebal 2 mm pada pipa *vertical* serta larutan garam sebagai *fluida* kerja cairan dan udara sebagai *fluida* kerja gas. Persentase larutan garam divariasikan mulai dari 5%, 10%, 15%, dan 20% untuk mendapatkan karakteristik *pressure drop* pada masing-masing kondisi. Pengukuran *pressure drop* pipa *vertical* diukur dengan menggunakan flowmeter.

Hasil pengamatan dan pengolahan data didapatkan kondisi flooding selalu diawali dengan ketidakstabilan aliran film diikuti adanya pola aliran seperti droplet, aliran acak serta tetesan-tetesan air. Saat flooding, pola aliran tersebut saling berinteraksi dan membentuk gelombang. Permukaan film bergerak ke atas searah dengan aliran udara dan gradien tekanan meningkat tajam. Peningkatan kecepatan udara menyebabkan pengangkatan sebagian film air, dan terjadi peningkatan ketebalan film secara mendadak terjadi lebih cepat pada jarak relatif lebih jauh dari sisi air masuk. Kecepatan superficial flooding penuh dari 4 variasi, persentase larutan garam yang paling rendah sebesar 5% diperoleh kecepatan superficial air 0,06 (m/s) dan kecepatan superficial udara 5,62 (m/s). Kecepatan superficial ini merupakan nilai kecepatan terbesar dibandingkan dengan 3 presentasi larutan garam yang lebih besar. Dengan demikian semakin kecil persentase konsentrasi larutan garam, kecepatan superficial baik air maupun udara semakin meningkat. Flooding yang terjadi dipengaruhi dengan konsentrasi garam. Semakin rendah kandungan garam, fenomena flooding akan terjadi semakin cepat.

Kata kunci : *flooding*, aliran dua fase,

## 1. Pendahuluan

Aliran dua *fase* adalah aliran fluida yang terdiri dari dua macam *zat* yang berbeda *fase* yang mengalir secara bersamaan dalam suatu saluran. Misalnya, aliran dua *fase* air dan udara, aliran dua *fase* cair-padat atau aliran dua *fase* gas-padat. Aliran dua *fase* ini banyak ditemukan pada berbagai instalasi mesin, seperti instalasi pompa air lumpur yang mengalirkan *zat* cair dan padat atau pada instalasi *Air Conditioning* yang mengalirkan *fluida freon* dalam *fase* gas dan cair.

Pada aliran satu *fase*, *pressure drop* dipengaruhi oleh *Reynolds number* yang merupakan fungsi dari *viscositas*, berat jenis *fluida* dan *diameter* pipa. Sedangkan aliran dua *fase* mempunyai *fenomena* yang sangat kompleks disamping dipengaruhi oleh *Reynolds number* pada aliran dua *fase* juga dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah interaksi antar *fase*, pengaruh *deformasi* permukaan dan pergerakan antar *fluida*, pengaruh ketidakseimbangan *fase*, perubahan pola aliran dan hambatan-hambatan yang ada didalam pipa.

*Flooding* adalah peristiwa pembalikan arah aliran *fluida* cair yang semula kebawah menjadi keatas searah dengan aliran udara, faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya *flooding* antara lain *diameter* dan panjang saluran, kekasaran permukaan dinding saluran, dan system *inlet* dan *outlet* saluran. Dalam aliran dua *fase* berlawanan arah tidak menutup kemungkinan terjadinya hambatan-hambatan yang terjadi seperti sambungan, kerak dan lain-lainnya yang bisa menyebabkan terjadinya *flooding* lebih cepat. Batas aliran berlawanan arah (*counter-current flow limitation*) terjadi bila kecepatan aliran yang mengalir ke bawah dan udara mengalir ke atas melebihi harga kritisnya, maka sebagian larutan akan terangkat ke atas searah dengan aliran udara, *fenomena* ini disebut *onset of flooding*. Kegagalan pendinginan pada reaktor nuklir disebabkan terjadinya kegagalan pendinginan ini reaktor (*Loss of*

*Cooling Accident*). Uap panas yang mengalir keatas di dalam pipa menghambat laju pendinginan dari air yang diinjeksikan ke bawah. Air pendingin yang berasal dari *Emergency Core Cooling* ini tertahan dan tidak dapat mengalir kebawah, dengan demikian peningkatan suhu tidak terelakkan dan menyebabkan lelehnya dinding pipa. Disamping itu terbentuk uap yang menyebabkan peningkatan tekanan didalam pipa. Keadaan ini disebut LOCA (*Loss of Cooling Accident*)<sup>[1]</sup> yang disebabkan terjadinya peristiwa *flooding* di dalam pipa.

Mahmudin (2008) menyatakan tebal film dan fenomena dengan menggunakan suatu instalasi *water injector* berbentuk *annular* berlubang banyak. Proses *flooding* terjadi pada kecepatan aliran udara 2,904 m/s. *water injector* berbentuk *annular* berlubang banyak menemukan bahwa bila air yang terbawa oleh aliran udara semakin banyak maka air yang mengalir ke seksi uji semakin kecil hingga mencapai nol ( $Q_{liq} = 0$ ), serta akan terjadi sumbat *fluida*.<sup>[2]</sup>

Dalam aliran dua *fase* larutan garam dan udara juga dapat dimungkinkan terjadinya kerak yang terjadi didalam sistem perpipaan, sambungan pada sistem perpipaan, pengecilan dan pembesaran sistem perpipaan dan lain-lainnya. Yang menyebabkan terjadinya *fenomena flooding*. Fenomena *flooding* pada aliran dua *fase* larutan garam dan udara berlawanan arah, konsentrasi larutan garam memberikan dampak terhadap karakteristik aliran dua *fase* air dan udara. Tujuan yang ingin dicapai adalah melihat terjadinya fenomena *flooding* jika terjadi perubahan konsentrasi larutan garam dalam sistem perpipaan. Penggunaan larutan garam dengan konsentrasi bervariasi, diberikan prosentase garam mulai dari 5%, 10%, 15%, dan 20%. Pengamatan dilakukan pada *gradient* tekanan, pola aliran, dan batas kecepatan maksimal dari *fluida*.

Variasi larutan garam dilakukan untuk menganalisa pengaruh konsentrasi terhadap besar kecepatan *superficial* udara

pada saat terjadi *flooding* pada aliran dua fase khususnya larutan garam dan udara vertikal berlawanan arah. Pola aliran pada aliran dua fase *vertical* larutan garam dan udara berlawanan arah diamati untuk mendapatkan karakteristik pola aliran yang terjadi. Selanjutnya didapatkan data *Fenomena flooding* pada aliran dua fase *vertical* larutan garam dan udara berlawanan arah. Penelitian dilakukan dengan menggunakan ketentuan:

1. Media yang digunakan adalah larutan garam dan udara.
2. *Trial* pengujian dilakukan pada posisi *vertical*.
3. Tidak ada *heat* dan *mass transfer* antara fase.
4. Karena tidak ada *heat* dan *mass transfer* maka *viscositas* tidak mendekati nol.
5. Pengujian dengan memakai pipa *acrylic* dengan *diameter* dalam (*Din*) = 36 mm dengan ketebalan 2 mm. Pipa *acrylic* dengan tujuan agar dapat dilihat *visualisasi* pola aliran.
6. *Fenomena flooding* akibat adanya pencampuran larutan garam terhadap aliran dua fase air udara.

Tujuan penelitian yang menjadi target yang akan didapatkan adalah :

1. Mengetahui pengaruh adanya pencampuran media *fluida* terhadap terjadinya *flooding* pada aliran dua fase.
2. Mengetahui bagaimana pengaruh adanya pencampuran media *fluida* terhadap *fluktuasi* perbedaan tekanan dan pola aliran pada aliran dua fase larutan garam dan udara *vertical* berlawanan arah.
3. Melihat *fenomena* yang terjadi ketika persentase larutan garam di variasikan.

## 2. Sistematika Aliran Fluida

### 2.1. Aliran Dua-Fase

Aliran dua fase gas cairan yang melewati pipa vertikal mengalami

perubahan karakteristik *flow patern* yang dipengaruhi oleh kecepatan *superficial* cairan dan kualitas volumetrik gas.<sup>[3]</sup> Pada setiap kecepatan *superficial* cairan untuk kualitas volumetrik gas menengah (*medium*) terjadi *homogeneous bubbly flow* dan *dense bubbly flow* untuk kisaran kualitas volumetrik gas yang tinggi. Sedangkan (Muhammad, 2008) mengatakan, *flooding* ditentukan oleh kecepatan kritis udara, yang membentuk gelombang film pada bagian bawah saluran pipa uji, dan merambat keatas searah dengan aliran udara, yang mengakibatkan lonjakan beda tekanan secara tiba-tiba pada manometer diatas injektor cairan. Fenomena *flooding* selalu diawali dengan ketidakstabilan aliran film diikuti adanya pola aliran seperti *droplet*, aliran acak serta tetesan-tetesan air. Saat *flooding* pola aliran tersebut saling berinteraksi dan membentuk gelombang. Pada permukaan film yang bergerak ke atas searah dengan aliran udara dan gradien tekanan meningkat tajam Sementara itu, peningkatan kecepatan udara yang menyebabkan pengangkatan sebagian film air, dan teramati juga peningkatan ketebalan film secara mendadak terjadi lebih cepat pada jarak relatif lebih jauh dari sisi air masuk ( $z=2200$  mm), bila dibandingkan pada  $z=400$  mm dan  $z=1600$  mm. Peningkatan ketebalan film tersebut diindikasikan sebagai fenomena *hydraulic jump look like*.

Aliran dua fase adalah aliran fluida yang terdiri dari dua macam zat yang berbeda fase yang mengalir secara bersamaan dalam suatu saluran. Misalnya, aliran dua fase cair-gas, aliran dua fase cair-padat atau aliran dua fase gas-padat. Aliran dua fase ini banyak ditemukan pada berbagai instalasi mesin, seperti instalasi pompa air lumpur yang mengalirkan zat cair dan zat padat. Aliran dua fase merupakan bagian dari aliran multifase. Aliran dari fase yang berbeda ini banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam proses-proses industri. Aliran multifase dalam berbagai aplikasi

dijumpai pada sistem perpipaan, boiler pada pembangkit tenaga nuklir, pada industri perminyakan dan lain sebagainya. Aliran *multifase* sendiri dapat dibagi menjadi beberapa bagian, ada aliran dua fase, tiga fase, atau lebih. Aliran dua fase sendiri masih dapat dibedakan menjadi beberapa bagian lagi, dilihat dari fase yang menyertainya, yaitu aliran dua fase cair-padat, cair-gas, dan gas-padat. Disamping dari fasenya aliran dua fase juga dibedakan berdasar arah aliran (searah dan berlawanan arah) dan kedudukan salurannya (tegak, mendatar, atau miring). Aliran dua fase ini banyak dijumpai baik dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam proses-proses industri, seperti pada ketel uap, kondensor, alat penukar panas, reaktor nuklir, pencairan gas alam, pipa saluran dan lain-lain.

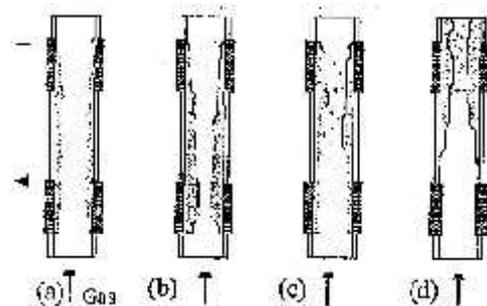
Aliran yang mengalami perubahan pola aliran (*flow regime*) dapat menyebabkan *pressure drop* (penurunan tekanan) yang berubah pula atau berfluktuasi. Maka dilakukan identifikasi pola aliran (*flow regime*) yang terjadi sepanjang aliran untuk memprediksi hubungan *pressure drop* dengan aliran dua fase tersebut. Secara umum parameter-parameter yang diperhatikan diantaranya debit fluida cair dan gas, viskositas fluida, pola aliran, tegangan geser antar fase dan konfigurasi pipa.

Aliran dua fase ini banyak dijumpai baik dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam proses-proses industri, seperti pada ketel uap, kondensor, alat penukar panas, reaktor nuklir, pencairan gas alam, pipa saluran dan lain-lain. Tujuan mempelajari aliran dua fase, suatu prediksi untuk menggambarkan performance peralatan seperti penurunan tekanan, fraksi hampa, koefisien perpindahan panas dan massa serta fenomena fisik dari peralatan. <sup>[4]</sup>

## 2.2. Flooding

Aliran berlawanan arah terjadi ketika cairan dimasukkan kedalam pipa vertikal

lewat injektor berbentuk saluran pada bagian atas. Sedangkan gas dialirkan keatas dari dasar pipa uji dengan laju aliran bervariasi dari kecepatan 0 hingga melewati kecepatan kritis. Pada laju aliran konstan cairan sebagai film akan mengalir kebawah sepanjang pipa uji karena pengaruh gravitasi. Film cairan ini tidak merata, tetapi berbentuk riak yang sangat halus. (gambar 1a) Jika laju aliran udara dinaikkan, film semakin bergelombang terutama pada bagian bawah saluran pipa uji (gambar 1b). Jika laju aliran udara terus dinaikkan maka gelombang film pada seluruh permukaan makin besar, mengakibatkan butiran cairan terbawa kedalam inti udara (gambar 1c). Pada laju aliran udara semakin tinggi, butiran cairan semakin besar dan membentuk sumbatan yang merambat keatas (gambar 1d) massa cairan ini menempel pada bagian dalam saluran diatas injektor. Fenomena ini terjadi secara tiba-tiba data peristiwa ini disebut *flooding* atau titik *flooding*.



Gambar.1 Mekanisme *Flooding* <sup>[1]</sup>

Pada proses industri yang menggunakan kondensor *refluks*, yang mengandalkan aliran uap dan kondensat berlawanan arah, laju aliran uap tidak diizinkan melampaui laju aliran yang menyebabkan terjadinya *flooding* (laju aliran gas *flooding*), sebab akan menghasilkan terbawanya kondensator yang tidak diinginkan. Peristiwa *flooding* dapat pula dijumpai pada reaktor nuklir. Bila inti reaktor menjadi kering sebahagian atau seluruhnya, kemudian diusahakan pembasahan dari atas. Air yang mengalir kebawah masuk kedalam inti akan dilawan

oleh uap hasil pendidihan (*flashing*) yang mengalir keatas, sehingga mengakibatkan gagalnya pendinginan. Hal ini disebut sebagai LOCA (*Lost of Cooling Accident*). Dengan memprediksi awal terjadinya flooding dan memberikan pertimbangan yang tepat, kerugian pendinginan tersebut dapat dihindari.

### 2.3. Sistem Likuid - Gas

Dalam sistem aliran dua fase yang terdiri dari fase likuid-gas masalah yang perlu diketahui adalah konfigurasi aliran, penurunan tekanan (*pressure drop*) dan fraksi dari volume saluran yang ditempati oleh fase udara atau yang lebih dikenal dengan fraksi hampa (*void fraction*).

### 2.4. Konfigurasi Aliran

Pemisahan air dan uapnya dalam saluran pipa panas atau dingin dapat dipresentasikan dalam berbagai bentuk dimana pengetahuan dan prediksi dibutuhkan untuk menghitung penurunan tekanan dan koefisien perpindahan kalor antara fluida dua fase dan dinding pipa.

Aliran likuid-gas dapat mengambil berbagi konfigurasi geometris yang dikenal sebagai pola aliran. Parameter yang penting dalam menentukan pola aliran adalah :

1. Pegangan permukaan atau injektor, yang menjaga dinding saluran tetap basah dan cenderung untuk membuat tetes-tetes likuid dan gelembung gas kecil.
2. Gravitasi, yang cenderung mendorong likuid pada dasar saluran.

### 2.5. Pola aliran

Dalam sistem aliran berlawanan arah (*counter-current*) dengan pipa vertikal ada kondisi batas dimana kecepatan aliran kedua fase tidak dapat dinaikkan lagi, bila melewati kondisi kritisnya maka akan terjadi penggenangan (*flooding*), tidak ada lagi cairan yang turun kebawah dan aliran menjadi searah ke atas. Pada aliran searah (*counter-current*) perubahan kecepatan

aliran gas dan cairan tidak berpengaruh terhadap arah aliran.

Pentingnya pengaturan debit aliran atau kecepatan aliran gas dan cairan maksudnya adalah untuk memperoleh daerah-daerah aliran yang diharapkan untuk masing-masing kondisi. Dengan variabel kecepatan aliran gas dan cairan diperoleh pola aliran seperti aliran gelembung, aliran kantung gas atau sumbat cairan, aliran acak, aliran kabut tetes cairan dan aliran cincin.<sup>[6]</sup>

### 2.6. Pipa Vertikal

Pola aliran dua fase dalam saluran horisontal akan berbeda dengan saluran vertikal. Dalam saluran horisontal udara akan cenderung berada diatas, karena lebih ringan. Pola aliran dalam saluran vertikal dapat ditentukan menjadi 5 seperti pada gambar 2.2<sup>[7]</sup>

1. Aliran gelembung (*bubble*), dimana gelembung udara mempunyai ukuran uniform.
2. Aliran kantung udara atau sumbat likuid (*plug/slug*), dimana gas yang mengalir membentuk gelembung besar (kadang-kadang gelembung udara kecil terdistribusi di cairan).
3. Aliran acak (*churn*), dimana terjadi gerakan osilasi sehingga cairan menjadi tidak stabil.
4. Aliran cincin (*annular*), dimana sebagian fase likuid berlaku sebagai film di dinding pipa dan sebagian lagi berupa tetesan yang terdistribusi dalam gas yang mengalir pada bagian tengah pipa.
5. Aliran cincin kabut tetes likuid (*wispy annular*), dimana konsentrasi tetesan dalam gas bertambah dan akhirnya bergabung membentuk gumpalan.

Pola aliran yang berlaku pada pipa vertikal dengan arah aliran ke atas, dapat dilihat pada gambar 2



No	Debit Air	Satuan	Garam	Satuan
1	100	Liter	5	%
2			10	
3			15	
4			20	

Dengan menggunakan metode eksperimental variasi konsentrasi larutan garam dilakukan, untuk mendapatkan data pengaruh terhadap terjadinya flooding.

### 3. Metode penelitian

#### 3.1. Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

##### 1. Variabel bebas (*Independent Variable*)

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan. Pada penelitian ini variabel bebasnya adalah Debit udara divariasikan dari 3, 5, 7, 9, L/s.

Sedangkan untuk debit larutan garam di variasikan yang tertera pada tabel 1 perbandingan air dan garam.

##### 2. Variabel terkontrol (*Controlled Variable*)

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya ditentukan dan dikondisikan konstan. Dalam penelitian ini variabel terkontrolnya adalah larutan garam dan udara sebagai media pengujian, posisi pipa *acrylic* vertikal, diameter pipa *acrylic* 36 mm, tidak ada *heat* dan *mass transfer* antar fase, dan *viscositas* larutan garam dan udara tidak mendekati nol.

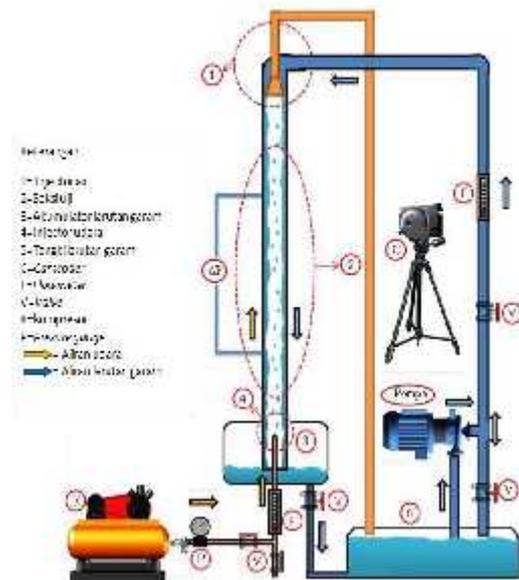
##### 3. Variabel terikat (*Dependent Variable*)

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas dan diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikat yang diamati pada penelitian ini adalah:

- Pola aliran.
- Kecepatan maksimal *fluida* saat terjadi *flooding*.
- Kecepatan maksimal udara saat terjadi *flooding*.

### 3.2. Instalasi Penelitian

Instalasi penelitian yang digunakan pada penelitian ini terlihat seperti skema pada gambar berikut



Gambar 4. Instalasi Penelitian.

### 3.3. Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.3.1. Alat

##### A. Kompresor

Kompresor berfungsi untuk menyuplai udara bertekanan menuju *test section*.

##### B. Pompa air

Pompa air berfungsi untuk menyuplai fluida cair bertekanan menuju seksi uji.

##### C. Water flowmeter dan Air flowmeter

Berfungsi untuk mengukur *flowrate* udara dan larutan garam yang akan masuk kedalam seksi uji.

##### D. Pengaduk larutan garam menggunakan mixer.

*Mixer* digunakan sebagai alat bantu pengaduk dengan tujuan agar air dan garam dapat tercampur secara merata.

##### E. Flowmeter

*Flowmeter* berfungsi untuk mengukur perubahan gradient tekanan

pada seksi uji untuk mendeteksi terjadinya *flooding*.

**F. Handycam / kamera digital**

Handycam / kamera digital digunakan untuk mendapatkan pola aliran dari aliran *fluida* dua fase.

**3.3.2. Bahan**

**A. Pipa acrylic**

Pipa *acrylic* berfungsi sebagai keluarnya campuran dua fase udara dan larutan garam dari *test section* menuju *connecting line*, kemudian menuju *separator*.

**B. Pipa PVC**

Pipa PVC berfungsi sebagai *connecting line pipe*.

**C. Regulator**

Regulator berfungsi untuk mengatur tekanan input udara dan air dari compressor dan pompa air, diharapkan tekanan udara dan air masing-masing sama.

**D. Larutan garam**

Larutan garam berguna untuk mempengaruhi konsentrasi terhadap karakteristik aliran dua fase air uadra di mana massa jenis larutan garam lebih berat di dibandingkan dengan massa jenis air.

**3.4. Prosedur pengambilan data**

Langkah-langkah pelaksanaan pengujian :

1. *Mixing* 100 liter air dengan variasi prosentase garam dari 5,10,15,20%.
2. Kompresor dijalankan sampai tekanan udara dalam tangki 10 bar.
3. Pompa dijalankan dan dibiarkan sampai akumulator air terisi 3/4 bagian.
4. Dengan menggunakan katup, debit larutan garam dapat dipertahankan mulai dari 3, 4, 5, 6,7,9 L/min. dan dapat dibaca pada skala *flowmeter* air.
5. Debit udara dinaikkan setiap satu skala *flowmeter* udara dimulai dari skala 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 L/s, atau sampai terjadi *flooding*.

6. Amati perubahan gradient tekanan diatas injector untuk mendeteksi awal terjadinya *flooding*.
7. Dengan menggunakan kamera digital atau *handycame* pola aliran dapat direkam dengan baik dan dilakukan dengan cermat untuk mendapatkan gambar fenomena *flooding*.
8. Catat Debit udara saat terjadinya *flooding* dan rekam fenomena alirannya.

**4. Pembahasan**

Hasil pengujian tentang pengaruh variasi konsentrasi larutan garam terhadap fenomena *flooding* pada aliran dua fase cair-udara *vertical* berlawanan arah, dipergunakan dalam perhitungan data.

**4.1. Perhitungan konversi P rata-rata (mmH<sub>2</sub>O) ke P rata-rata (N/m<sup>2</sup>)**

Untuk P = 2 mmH<sub>2</sub>O

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot h$$

$$(4)$$

$$\begin{aligned}
 &= 10^3 \text{ Kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,4 \text{ mm} \cdot \left(\frac{1 \text{ m}}{1050 \text{ mm}}\right) \\
 &= 3,924 \text{ Kg/s}^2 \cdot \text{m} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{m}} \\
 &= 3,924 \text{ Kg m/s}^2 \text{m}^2 \\
 &= 3,924 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

**4.2. Perhitungan kecepatan superficial air**

Untuk debit air 3 liter/menit

**1. Volume alir air (V<sub>a</sub>)**

$$V_a = 3 \text{ liter/menit} \cdot \frac{1 \text{ menit}}{60} = 0,05 \text{ liter/s}$$

**2. Massa alir air (m<sub>a</sub>)**

$$\begin{aligned}
 m_a &= \rho_a \cdot V_a \\
 (5) \\
 &= 1050 \text{ Kg/m}^3 \cdot 0,05 \text{ liter/s} \cdot (0,001 \text{ m}^3/\text{liter}) \\
 &= 0,0525 \text{ Kg/s}
 \end{aligned}$$

**3. Fluks massa air (Ga)**

$$G_a = \frac{\dot{m}_a}{A}$$

$$(6)$$

$$= \frac{\dot{m}_a}{\pi \cdot D^2 / 4}$$

$$= \frac{0,0525 \text{ Kg/s}}{\frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot (0,03175 \text{ m})^2}$$

$$= 66,34 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{s}$$

4. Kecepatan *superficial* (U<sub>a</sub>)

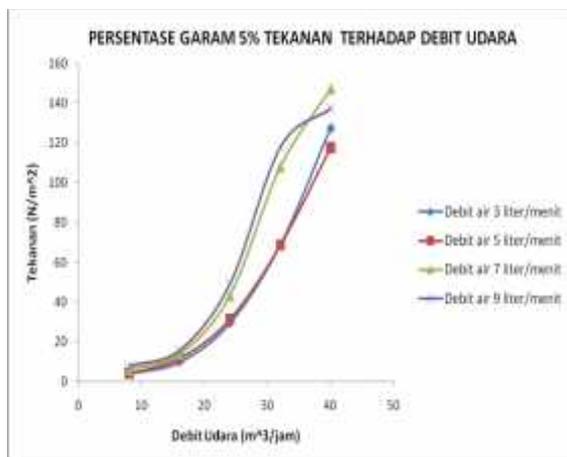
$$U_a = \frac{G_a}{\rho_g}$$

$$(7)$$

$$= \frac{66,34 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{s}}{1050 \text{ Kg/m}^3}$$

$$= 0,06 \text{ m/s}$$

4.2. Hubungan Debit Udara Terhadap Tekanan pada Berbagai Debit Air Garam



Gambar 5. Hubungan tekanan diferensial terhadap debit udara pada konsentrasi larutan garam 5%.

Pada gambar 5 terlihat pada setiap variasi debit air yang diberikan, didapat suatu tren grafik, jika debit udara dinaikkan maka tekanan diferensial akan naik. Kenaikan tekanan diferensial cenderung tidak terlalu drastis pada debit udara awal atau dibawah 5 liter/second. Namun pada saat debit udara di naikkan diatas 7 liter/second, terjadi kenaikan tekanan diferensial secara drastis.

Fenomena ini terjadi karena pada saat itu sudah banyak air dipaksa mengalir keatas oleh pergerakan udara. Fenomena ini dikategorikan sebagai fenomena terjadinya awal *flooding*.

Hubungan kenaikan tekanan diferensial seiring debit udara, secara teoritis dapat dijelaskan sebagai berikut. P1 adalah tekanan pada titik sebelah atas pipa, sedangkan P2 adalah tekanan pada titik bawah pipa. Kedua titik ini dihubungkan dengan manometer kolom air. Sesuai dengan teori yang telah umum diketahui bahwa kecepatan mempunyai nilai yang berbanding terbalik dengan tekanan. Semakin tinggi tekanan maka semakin kecil kecepatan. Pada pengukuran tekanan diferensial pada penelitian ini, saat diberikan penambahan debit udara pada seksi uji maka akan merubah tekanan diferensial yang terbaca pada manometer. Penambahan debit alir udara sebanding dengan peningkatan massa alir udara. Sedangkan massa alir udara sebanding dengan kecepatan *superficial* udara.

$$U(\text{kecepatan superficial}) = \frac{G}{\rho} = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot A} = \frac{\rho \cdot Q}{\rho \cdot A}$$

(8)

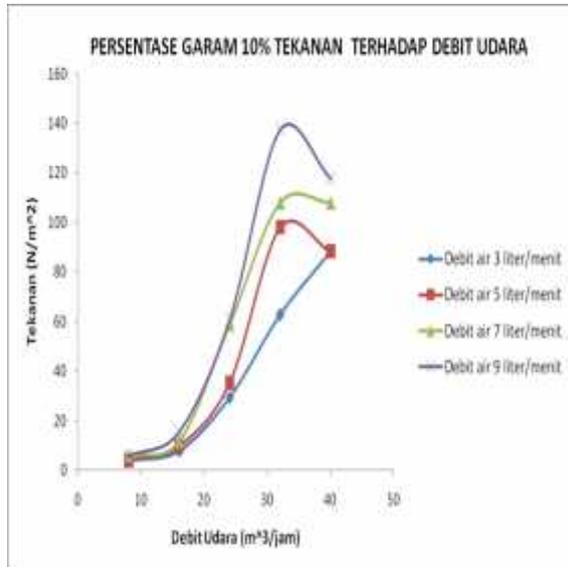
Saat kecepatan *superficial* udara pada titik 2 meningkat, maka P2 akan menurun, sehingga P1 > P2. Saat terjadi *flooding*, kecepatan udara adalah cepat bahkan jika dilihat dari pola alirannya maka ada aliran udara yang sampai menempel dinding dalam tabung. Kondisi ini semakin menurunkan V2. Sebaliknya aliran air kebawah akan terganggu sehingga kecepatannya pun akan menjadi semakin rendah dan akan meningkatkan tekanan P1.

Pada grafik terlihat bahwa pada debit air 3 liter/menit, terjadi peningkatan tekanan diferensial yang tidak terlalu drastis walaupun debit udara sudah mencapai nilai 40 liter/second. Pada pelaksanaan penelitian memang pada variabel ini tidak tampak terjadinya awal *flooding*.

Meninjau tekanan diferensial awal *flooding*, dari gambar 5 terlihat bahwa untuk semua debit air, terkecuali debit air 3

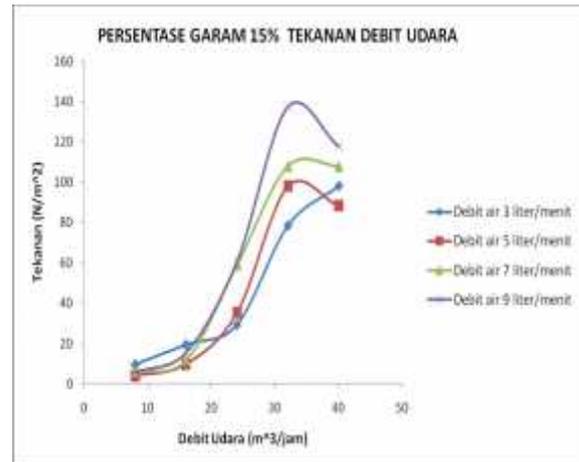
liter/menit, awal *flooding* terjadi pada tekanan diferensial diatas  $40 \text{ N/m}^2$ .

*Flooding* tercepat terjadi pada debit air 3 liter/menit dengan debit udara 16 liter/second. *Flooding* terlama terjadi pada debit air 3 liter/menit dengan debit udara 40 liter/second.



Grafik 6 Hubungan tekanan diferensial terhadap debit udara pada konsentrasi larutan garam 10%.

Pada gambar 6 terlihat bahwa tren grafik yang tersaji, menunjukkan kemiripan dengan grafik yang tersaji pada gambar 5. Perbedaan yang tampak adalah bahwa awal *flooding* (kenaikan drastis tekanan differensial) terjadi pada debit udara yang lebih kecil. *Flooding* tercepat terjadi pada debit air 3 liter/menit dengan debit udara 16 liter/menit. *Flooding* terlama terjadi pada debit air 9 liter/menit dengan debit udara 24 liter/menit. Tekanan differensial awal *flooding* terjadi pada kurang lebih  $20 \text{ N/m}^2$ .

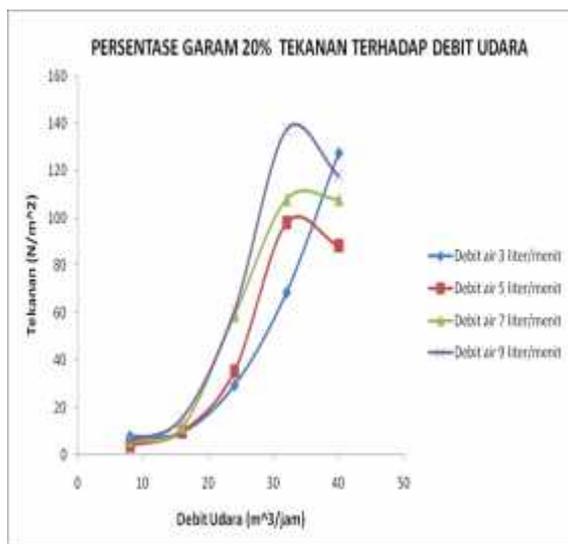


Gambar.7. Hubungan tekanan diferensial terhadap debit udara pada konsentrasi larutan garam 15%.

Pada gambar 7 terlihat bahwa tren grafik yang tersaji, menunjukkan kemiripan dengan grafik yang tersaji pada gambar 6. Perbedaan yang tampak adalah bahwa awal *flooding* (kenaikan drastis tekanan differensial) terjadi pada debit udara yang lebih besar. *Flooding* tercepat terjadi pada debit air 15 liter/menit dengan debit udara 40 liter/second. *Flooding* terlama terjadi pada debit air 3 liter/menit dengan debit udara 20 liter/second. Tekanan differensial awal *flooding* terjadi rata-rata diatas  $30 \text{ N/m}^2$ , bahkan ada yang lebih dari  $120 \text{ N/m}^2$ .

Pada gambar 8 dapat dianalisa unjuk kerja dari masing-masing persentase larutan garam menunjukkan fenomena *flooding*. Bahwa *flooding* awal terjadi pada debit air 3 dengan debit udara 16 pada persentase 5%.

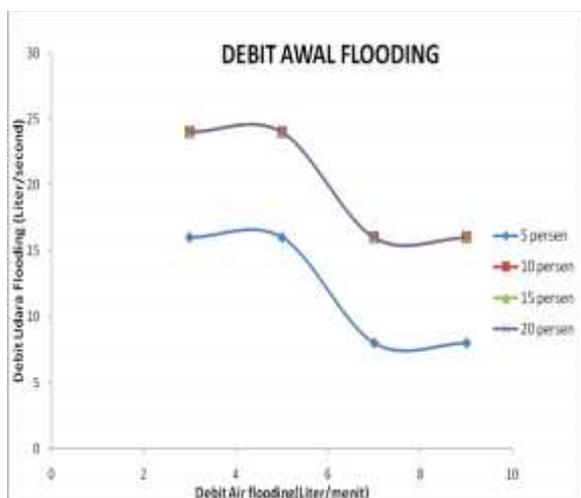
Bahwa dapat disimpulkan dari ke empat variasi persentase larutan garam untuk massa jenis 5% lebih ringan dibandingkan dengan persentase larutan garam 10,15 dan 20 % sehingga terjadinya *flooding* awal pada persentase 5%.



Grafik 8. Hubungan tekanan diferensial terhadap debit udara pada konsentrasi larutan garam 20%.

Pada grafik 8 terlihat bahwa tren grafik yang tersaji, menunjukkan kemiripan dengan grafik yang tersaji pada gambar 4.3. Perbedaan yang tampak adalah bahwa awal *flooding* (kenaikan drastis tekanan diferensial) terjadi pada debit udara yang lebih besar. *Flooding* tercepat terjadi pada debit air 15 liter/menit dengan debit udara 30 liter/second. *Flooding* terlama terjadi pada debit air 3 liter/menit dengan debit udara 20 liter/second. Tekanan diferensial awal *flooding* terjadi rata-rata diatas  $30 \text{ N/m}^2$ , bahkan ada yang lebih dari  $120 \text{ N/m}^2$ .

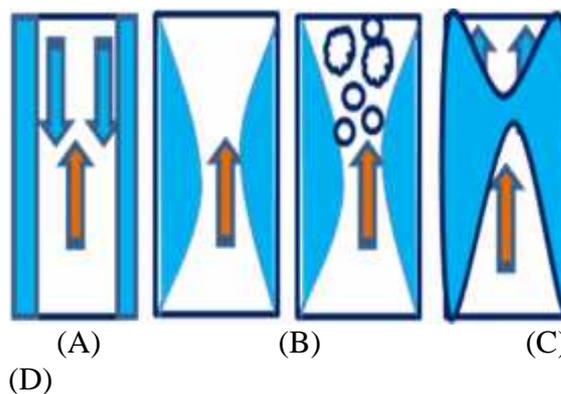
### 4.3. Pola Aliran Terhadap Debit Air Garam



Grafik 9 Hubungan debit air terhadap debit udara saat awal *flooding*.

Awal terjadinya fenomena *flooding* dapat di deteksi dari tampilan pola alirannya. Permulaan *flooding* ditandai dengan pembentukan dan pergerakan gelombang permukaan yang merambat ke atas.

Untuk mempermudah mengerti bagaimana peristiwa *flooding* dapat terjadi, berikut disajikan suatu visualisasi imajiner tentang bagaimana *flooding* dapat terjadi pada aliran dua fase air udara vertikal berlawanan arah. Bagian berwarna biru mewakili aliran air, sedangkan bagian berwarna putih mewakili aliran udara. Perbandingan hasil pola aliran dengan penelitian terdahulu.<sup>[5]</sup>

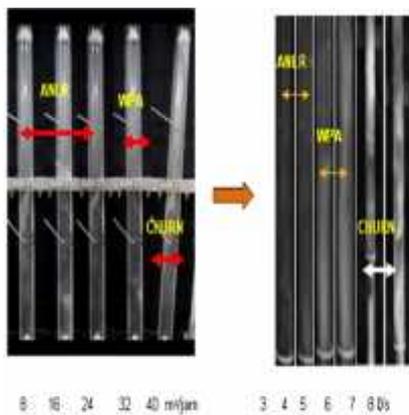


Gambar 10. Visualisasi mekanisme terjadinya *flooding*.

Pada gambar 10. (A) **aliran annular**, saat air mengalir pada dinding dalam pipa, dan ada udara bergerak keatas pada debit kecil (B) Jika kecepatan udara terus dinaikkan, maka lapisan film air akan tertarik menuju bagian tengah pipa akibat perbedaan beda tekanan. (C) Gaya gesekan oleh udara pada antar muka cair mulai membalikkan aliran cairan. (D) Aliran air kini telah berbalik, sekarang mengalir seiring aliran udara.

Fenomena *flooding* terjadi pada aliran dua fase dikarenakan ada beda tekanan yang terjadi dalam pipa uji, sehingga dari aliran yang awalnya *smooth* menjadi riak yang naik ke atas mengikuti aliran udara. Apabila debit air dinaikkan

terus maka akan terjadi fenomena awal *flooding* (*whispy annular*), tapi belum membentuk *flooding* total. Fenomena *flooding* total terjadi jika seluruh air yang mengalir dari atas sudah tidak ada yang turun sama sekali pada bagian ujung bawah pipa. Fenomena *flooding* terjadi pada pola aliran acak (*churn flow*).



Gambar 11 Perbandingan pola aliran pada persentase garam 5% dan debit air 3 liter/menit dengan referensi

Gambar 11 karakteristik aliran *flooding*

## 5. Kesimpulan

Dari analisa pengaruh variasi konsentrasi larutan garam terhadap karakteristik aliran dua fase dapat di simpulkan meliputi :

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa visulisasi grafik terjadinya kecepatan superficial *flooding* penuh dari 4 variasi yang di lakukan kecenderungan pada persentase yang lebih kecil yaitu 5% dengan kecepatan superficial air tercepat 0,06 (m/s) untuk kecepatan superficial udara tercepat 5,62 (m/s).
2. Pola aliran sebelum terjadinya *flooding* adalah pola aliran atau *annular*, pada awal terjadinya *flooding* adalah aliran cincin kabut tetes cairan (*wispy annular flow*), sedangkan saat terjadi *flooding* total adalah aliran acak (*churn flow*).
3. *flooding* lebih mudah terjadi pada larutan garam yang paling rendah dari semua variasi yang diberikan.

Pada konsentrasi garam 5 % *flooding* terjadi lebih cepat dengan debit air 3 pada debit udara 16, bila dibandingkan dengan konsentrasi garam yang lebih besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Collier, JG. 1972. *Converting Boiling and Condensation*. Edisi kedua . Mc.Graw–Hill Book International Company, NewYork.
- [2.] Mahmudin, 2008. *Onset of Flooding dan Fenomena Hydraulic Jump Look Like dalam pipa vertikal*.
- [3.] Priyo.(2010).“*Eksperimental Karakteristik Pressure Drop pada Aliran Dua Fase Gas-Cairan Melewati Pipa Vertikal*”, DINAMIKA Jurnal Ilmiah Teknik Mesin., Vol. 1, No. 2.
- [4.] Collier,John G. 1993. *Convective Boiling and Condensation*. Clarendon Press.
- [5.] Azamataufiq Prasajo, (2013), dkk, “*Pengaruh Variasi Sudut Water Injector Berbentuk Diffuser Terhadap Fenomena Flooding Pada Aliran Dua Fase Cair – Udara Vertikal Berlawanan Arah*” Jurnal Rekayasa Mesin Vol.4, No.3 , hal. 182-187
- [6.] Hetsroni, Gad, (1982), “*Handbook of Multiphase Systems*”, McGraw-Hill, New York.
- [7.] Koestoer, dkk, (1994), “*Aliran Dua Fase dan Fluks Kalor Kritis*”, Pradnya Paramita, Jakarta.
- [8.] Angeli P, (2006), “*Upward and Downward Inclination Oil-Water Flow*”, International Journal of Multiphase Flow 32, hal. 413–435