

Pengaruh Variasi Diameter Injektor Konvergen Udara Terhadap Fenomena *Flooding* Dalam Aliran Dua Fase Gas-Cair Berlawanan Arah Pada Pipa Vertikal

Noorsakti Wahyudi, Rudy Soenoko, Slamet Wahyudi
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan Mayjend Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
Phone: +62-341-587711, Fax: +62-341-554291
E-mail: ns.wyudi@yahoo.com

Abstract

One type of multi-phase flow is the flow of gas-liquid two-phase. Two-phase flow is widely used in daily life and industry. One type of two-phase flow is air-liquid two-phase flow in opposite directions vertically. In the two phase flow of air-liquid in the pipe flooding, phenomenon in the opposite direction is a loss, so it should be avoided or restricted. To overcome this problem then we make the air injector to get the air superficial velocity corresponding. The design of injector that with shaped nozzle has varies diameter out. They are 4 mm, 6 mm and 8 mm. These varies diameter out of nozzle will be examined to find which one of the diameter out nozzle that can slow the flooding that can be seen in the most of the parameters such as superficial velocity, air flow and flow patterns. The results of these research showed that the varies d-out that has the ability to handle debit and best superficial velocity in a row is shaped air injector nozzle with diameter out of 8 mm, 6 mm, 4 mm. The greater the air flow and air superficial velocity the faster flooding occurs. Flow pattern before the onset of flooding is annular flow pattern. Flow pattern at the beginning of the flooding was wispy annular. And flow pattern at the time of the total flooding is churn flow pattern.

Keywords : two phase, counter current flow, flooding, air injector, flow regime.

PENDAHULUAN

Penelitian ini merupakan suatu penelitian tentang fenomena aliran fluida. Jenis aliran fluida yang akan diteliti adalah aliran dua fase. Aliran dua fase didefinisikan sebagai aliran fluida yang terdiri dari dua jenis zat yang berbeda fase yang mengalir secara bersamaan dalam satu saluran. Dilihat dari jenis zat yang mengalir, aliran dua fase dapat dikelompokkan menjadi aliran dua fase gas-cair, aliran dua fase cair-padat, aliran dua fase padat-gas.

Dalam penelitian ini akan mengkhususkan pada aliran dua fase jenis gas-cair pada satu saluran pipa yang diposisikan vertikal tegak lurus, dan aliran fluida dibuat berlawanan arah yaitu fluida fase cair akan bergerak dari atas ke bawah dan fluida fase gas akan bergerak dari bawah ke atas.

Pada aliran film berlawanan arah hanya dapat berlangsung bila kecepatan gas berada dibawah harga kritis, sedang diatas harga ini debit cairan yang mengalir ke bawah dalam bentuk film akan berkurang dengan cepat karena sebagian dari cairan itu ikut mengalir keatas searah dengan aliran gas (udara), peristiwa inilah yang disebut dengan *flooding*.

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 [1].

Pada aliran dua fase gas cairan yang melewati pipa vertikal terjadi perubahan karakteristik *flow patern* yang dipengaruhi oleh kecepatan superficial cairan dan kualitas volumetrik gas. 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 [2].

Pada aliran dua fase vertikal berlawanan arah, gradien tekanan dan ketebalan film tidak menunjukkan peningkatan secara drastis sampai sesaat sebelum terjadinya *flooding*. Peningkatan gradien tekanan terjadi secara bertahap. Saat *flooding* terjadi maka beda gradien tekanan akan melonjak secara drastis. Fenomena ini bisa dijadikan indikator awal *flooding* telah terjadi. Setelah terjadi *flooding* maka jumlah air yang terbawa udara akan meningkat sampai suatu saat dimana air seluruhnya terbawa udara, fenomena ini disebut *flooding* penuh [3].

Flooding dapat diminimalisir selama dua zat beda fase ini, meskipun dalam satu saluran tetap mengalir pada wilayah yang berbeda. Pada aliran

dua fase horizontal berlawanan arah gas-cair, fenomena *flooding* minim terjadi karena pengaruh beda densitas dari dua zat yang mengalir. Gas dengan densitas yang lebih ringan dibandingkan cairan akan cenderung mengalir pada bagian atas saluran. Beda kasusnya pada aliran dua fase gas-cair vertikal berlawanan arah, gas akan mengalir ke atas dan mencoba memenuhi semua saluran pipa. Cairan yang bergerak turun sebagian akan terbawa aliran gas ke atas.

Dari permasalahan tersebut dibuat variasi injektor konvergen udara dalam aliran tertutup (pipa). Adapun cairan diinjeksikan melalui *water injector* yang ditempatkan pada sisi bagian atas pipa, sedangkan gas diinjeksikan dari sisi bagian bawah pipa secara aksial. *Water Injector* dipakai dalam saluran aliran fluida dua fase gas-cair vertikal berlawanan arah adalah untuk membuat cairan bergerak turun secara menempel pada dinding dalam saluran. Dengan cairan menempel pada dinding dalam saluran maka gas akan bebas mengalir pada bagian tengah saluran.

Dalam penelitian ini ditentukan dengan diberikan variasi injektor udara yang berbeda-beda demensinya untuk mengalirkan gas (udara) ke dalam pipa. Permasalahannya adalah bagaimana terjadinya fenomena *flooding* akibat adanya pemakaian beberapa jenis injektor udara konvergen yang berbeda-beda untuk mengalirkan gas ke dalam pipa vertikal. Berdasarkan permasalahan tersebut diharapkan dapat mendeteksi secara dini kapan terjadinya fenomena *flooding*, serta mengamati pola aliran yang terjadi, fluktuasi beda tekanan pada aliran dua fase gas-cair vertikal berlawanan arah.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental (*experimental method*). Jenis penelitian ini digunakan untuk menguji pengaruh dari suatu perlakuan atau desain baru terhadap proses. Pengaruh dari beberapa perlakuan yang berbeda terhadap suatu percobaan akan dibandingkan sehingga diperoleh suatu kejadian yang saling berhubungan. Dengan cara ini akan di uji pengaruh variasi diameter injektor konvergen udara terhadap fenomena *flooding* dalam aliran dua fase berlawanan arah pada pipa vertikal.

Aliran udara dibuat berlawanan arah, fluida cair akan dialirkan dari atas setelah melewati injektor air dan fluida udara dari arah bawah setelah melewati injektor udara.

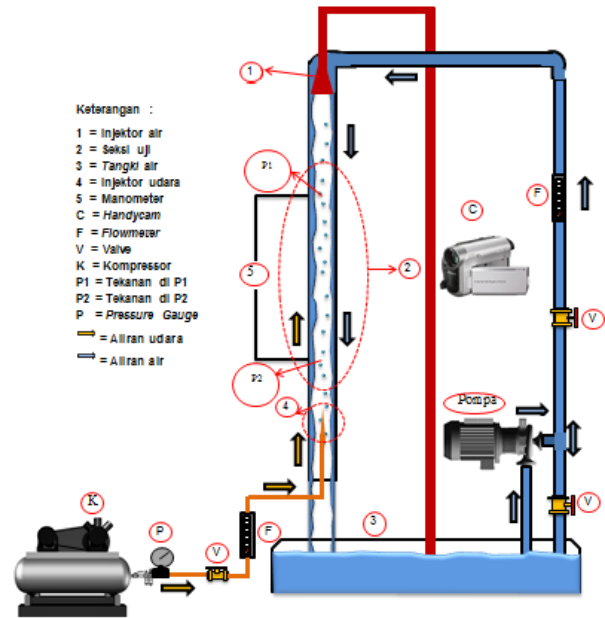
Injektor udara dengan diameter keluar nosel 4 mm, 6 mm, 8 mm akan dipasang dan pengamatan memfokuskan pada bagaimana perbedaan tekanan, kecepatan superfisial, dan

bagaimana pola aliran yang terjadi selama penelitian.

Variasi debit air mula-mula akan divariasikan dengan nilai 3-6 liter/menit, kemudian diberi debit udara sebesar 3-11 liter/detik untuk tiap-tiap debit air.

Selama penelitian tekanan udara dijaga pada tekanan 9 bar, dan fenomena pola aliran direkam dengan *handycam*.

Instalasi alat penelitian terdiri dari tiga kategori, yaitu: alat utama, alat pendukung, dan alat ukur dan pengatur. Alat utama disini adalah pipa *acrylic* yang transparan agar bisa mengamati seksi uji. Alat pendukung disini berupa pompa air, compressor, pipa instalasi air, injektor udara dan air. Adapun alat ukur dan pengatur meliputi *flowmeter* air dan udara, *pressure gauge*, manometer U, *handycam*. Instalasi uji diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1. Instalasi penelitian.

Prosedur pengambilan data

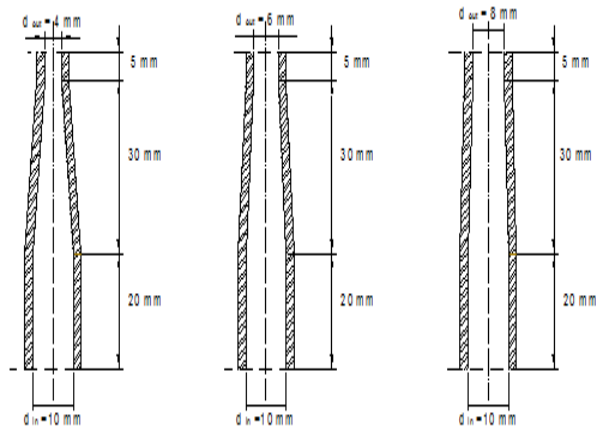
Langkah – langkah pelaksanaan pengujian

- a) Pasang injektor konvergen udara dengan diameter keluar nosel 4 mm.
- b) Kompresor dijalankan sampai tekanan udara dalam tangki 9 Bar.
- c) Pompa dijalankan sampai akumulator air terisi 3/4 bagian.
- d) Dengan menggunakan katup, debit air dapat dipertahankan 3 Liter/menit dan dapat dibaca pada skala *flowmeter* udara.
- e) Debit udara dinaikkan setiap skala *flowmeter* air dimulai dari skala 3 liter/detik sampai terjadi *flooding*.

- f) Amati perubahan gradien tekanan diatas injektor untuk mendeteksi awal terjadinya *flooding*.
- g) Dengan menggunakan *Handycam* digital pola aliran dapat direkam dengan baik dan dilakukan dengan cermat untuk mendapatkan gambar fenomena *flooding*.
- h) Catat debit air dan udara saat waktu terjadinya *flooding* dan rekam fenomena alirannya.
- i) Ulangi huruf b sampai h dengan debit air 4 Liter/menit, 5 Liter/menit, 6 Liter/menit dan disertai dengan menaikkan debit udara mulai skala 3 Liter/detik sampai terjadi *flooding*.
- j) Ulangi huruf a – i untuk diameter injektor udara konvergen 6 mm, 8 mm.

Desain injektor udara

Dalam penelitian ini injektor konvergen udara dengan D_{out} nosel 4 mm, 6 mm, 8 mm dengan ukuran sebagai berikut :



Gambar 2. Desain water injector berbentuk diffuser.

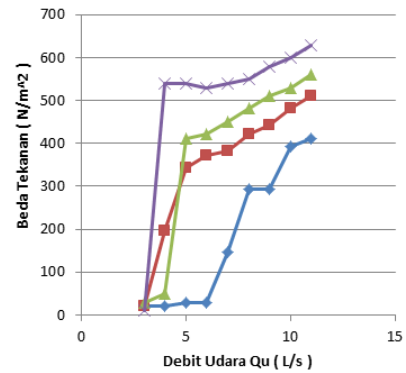
HASIL DAN PEMBAHASAN

Teknik pengolahan data menggunakan teknik deskriptif berdasarkan hasil eksperimen, sedangkan metode analisis dipergunakan pengolahan data dan analisa grafik.

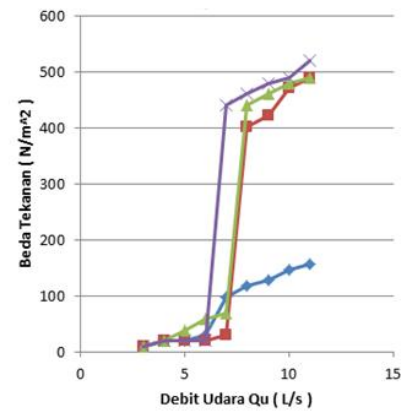
Hasil pengujian dan pengambilan data dalam penelitian aliran dua fase pada pipa vertikal menggunakan injektor konvergen dengan D_{out} nosel 4 mm, 6 mm dan 8 mm diperoleh data yang kemudian dilakukan pengolahan atau perhitungan untuk mendapatkan tekanan dalam pipa (N/m^2), debit air (liter/menit) dan debit udara (liter/detik), massa alir air dan udara (kg/s)), fluks

massa air dan udara ($kg/m^2 \cdot s$), dan kecepatan superficial air dan udara (m/s).

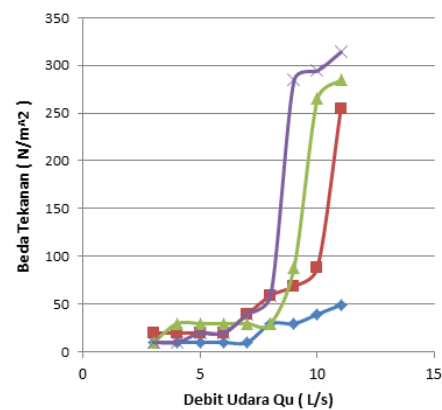
Grafik hasil penelitian



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. Grafik hubungan debit udara terhadap beda tekanan pada Injektor konvergen udara.

(a) $D_{out} = 4$ mm (b) $D_{out} = 6$ mm (c) $D_{out} = 8$ mm

Pada gambar 3 dengan melihat kecenderungan grafik yaitu jika variasi debit udara dinaikkan maka beda tekanan akan meningkat.

Kenaikan beda tekanan pada pipa cenderung tidak terlalu dratis pada debit air 3 liter/menit dan variasi debit udara 3 sampai dengan 6 liter/detik. Namun beda tekanan mengalami kenaikan secara dratis pada debit air 3 liter/detik dengan variasi udara 7 liter/detik keatas. Fenomena ini terjadi karena pada saat itu sebagian besar air dipaksa mengalir keatas oleh pergerakan udara. Fenomena ini dikategorikan sebagai awal terjadinya *flooding*.

Kenaikan beda tekanan sering dengan meningkatnya debit udara secara teoritis dapat dijelaskan sebagai berikut. Bila P1 adalah tekanan pada titik disebelah atas pipa, sedangkan P2 adalah tekanan pada titik sebelah bawah pipa. Kedua titik ini dihubungkan manometer kolom air. Secara teoritis diketahui bahwa kecepatan mempunyai nilai berbanding terbalik dengan tekanan. Semakin tinggi kecepatan maka tekanan semakin menurun. Pada pengukuran beda tekanan pada penelitian ini, saat diberikan penambahan debit udara pada seksi uji maka beda tekanan yang terbaca pada manometer cenderung meningkat.

Penambahan debit alir udara sebanding dengan meningkatnya massa alir udara, sedangkan dengan meningkatnya massa alir udara sebanding dengan meningkatnya kecepatan superfisial udara. Saat kecepatan superfisial pada titik 2 meningkat, maka tekanan di titik P2 akan menurun sehingga $P1 > P2$. Saat terjadi *flooding*, tekanan di P2 menurun sedangkan dengan naiknya kecepatan superfisial udara mengakibatkan meningkatnya energi kinetik udara di titik P2 sehingga mampu menahan laju turunnya air ke bawah bahkan mampu mendorong air naik ke atas. Sedangkan aliran air ke bawah akan terganggu sehingga kecepatannya pun akan menjadi semakin rendah dan tekanan di titik P1 meningkat, hal ini menyebabkan terjadinya beda tekanan yang ditunjukkan pada manometer kolom air.

Pada grafik 3a terlihat bahwa semakin meningkatnya debit air maka proses terjadinya *flooding* semakin cepat terjadi, bahkan pada debit air 6 liter/menit, awal *flooding* sudah terjadi di debit udara 4 liter/detik dengan beda tekanan 539,55 N/m². Awal *flooding* pada debit air 3 liter/menit terjadi pada beda tekanan 140 N/m² ke atas. Hal ini karena debit air yang masuk pipa uji masih kecil, seiring dengan meningkatnya debit air maka proses terjadinya fenomena *flooding* lebih cepat terjadi.

Dari grafik 3b terlihat bahwa pada debit air 3 liter/menit, dengan diberikan variasi penambahan debit udara mulai 3 liter/detik sampai dengan debit udara 11 liter/debit fenomena *flooding* tidak

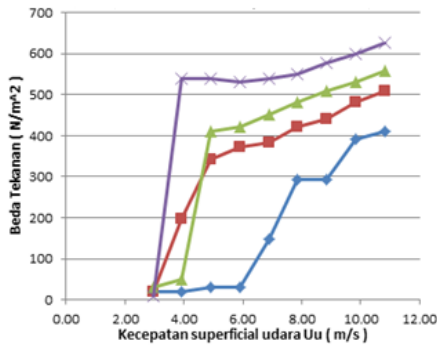
terjadi. Hal karena debit udara yang mengalir pada dinding pipa masih terlalu kecil dan tebal film air masih terlalu tipis dan tahanan film air masih kuat, sehingga kecepatan superfisial udara dalam pipa tidak mampu menahan dan menaikkan aliran air keatas. Pada debit air 3 liter/menit ini tidak terjadi kenaikan beda tekanan secara dratis, sehingga fenomena *flooding* tidak terjadi. Fenomena *flooding* baru mulai terjadi pada debit air 4 liter/menit dan debit air 5 liter/menit dengan debit udara 8 liter/detik dengan beda tekanan 402,21 N/m² dan 441,45 N/m², sedangkan pada debit air 6 liter/menit permulaan *flooding* terjadi lebih cepat yaitu pada debit udara 7 liter/detik dengan beda tekanan 441,45 N/m². Penyebabnya karena beda tekanan meningkat secara dratis, sehingga kecepatan superfisial udara mendorong lapisan film air naik keatas pipa uji.

Dengan menaikkan debit udara sampai 11 liter/detik pada debit air 3 liter/menit walaupun telah menghasilkan beda tekanan sebesar 156,96 N/m² ternyata fenomena *flooding* tidak terjadi. Hal karena lapisan air yang membasahi dinding pipa uji masih tipis tahanan lapisan film air masih kuat sehingga kecepatan superfisial udara yang ada masih belum mampu menahan dan menaikkan aliran air ke atas.

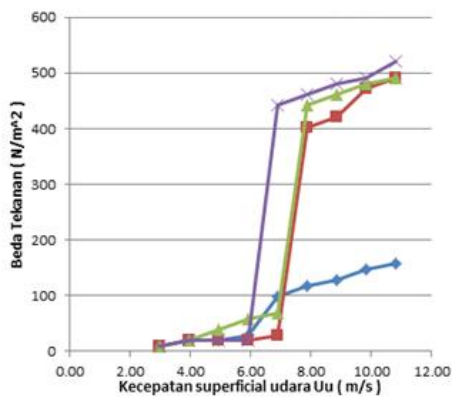
Pada grafik 3c ternyata pada debit air 3 liter/menit walau variasi debit udara ditambah sampai debit udara 11 liter/detik fenomena *flooding* tidak terjadi karena beda tekanan relative masih kecil yaitu maksimum sebesar 49,05 N/m². Hal ini menyebabkan kecepatan suprfisial udara tidak mampu mendorong aliran keatas. Hanya menimbulkan riak-riak film air. Demikian pula pada debit air 4 liter/menit fenomena *flooding* baru terjadi pada debit udara 11 liter/detik dengan beda tekanan sebesar 256,06 N/m². Perbedaan tekanan ini menyebabkan kecepatan superfisial udara mendorong aliran air keatas mengikuti arah aliran udara. Pada debit air 5 liter/menit awal terjadinya *flooding* pada debit udara 10 liter/detik dengan beda tekanan 264,87 N/m², sedangkan pada debit air 6 liter/menit awal terjadinya *flooding* pada debit udara 9 liter/detik dengan beda tekanan 284,49 N/m². Hal ini dikarenakan aliran air yang berupa lapisan film air, akibat perbedaan tekanan udara yang meningkat terdorong keatas oleh kecepatan superfisial udara. Penambahan debit alir udara sebanding dengan meningkatnya massa alir udara, sedangkan dengan meningkatnya massa alir udara sebanding dengan meningkatnya kecepatan superfisial udara.

Pada gambar 4 terlihat bahwa di setiap variasi debit air yang diberikan diperoleh suatu

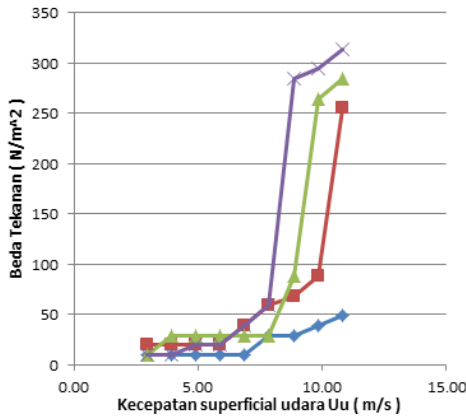
tren grafik yaitu jika kecepatan superfisial udara dinaikkan maka beda tekanan akan turut naik.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. Grafik hubungan kecepatan superfisial udara terhadap beda tekanan pada injektor konvergen udara.

(a) $D_{out} = 4 \text{ mm}$ (b) $D_{out} = 6 \text{ mm}$ (c) $D_{out} = 8 \text{ mm}$

Pada grafik 4a kenaikan beda tekanan cenderung tidak terlalu dratis pada kecepatan superfisial awal dengan debit air 3 liter/menit, baru pada kecepatan superfisial udara 6,881 m/s terjadi kenaikan beda tekanan yang

signifikan yaitu $147,15 \text{ N/m}^2$. Pada saat inilah fenomena *flooding* mulai terjadi, demikian seterusnya seiring bertambahnya kecepatan superfisial udara. Fenomena ini terjadi karena pada saat itu sudah banyak air dipaksa mengalir keatas oleh pergerakan udara. Fenomena ini dikategorikan sebagai awal terjadinya *flooding*.

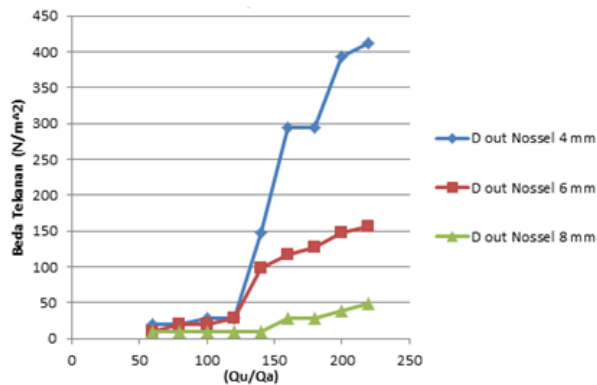
Pada kecepatan superfisial udara rendah, lapisan film mula-mula tidak terjadi perubahan. Jika kemudian kecepatan superfisial udara dinaikkan, maka pada suatu saat gaya seret fluida udara akan membuat lapisan film air terganggu. Terganggunya lapisan film air terlihat dengan mulai timbulnya riak-riak air yang terlepas dari lapisan film air. Jika kecepatan superfisial udara terus dinaikkan maka akan menyebabkan tahanan lapisan film air terhadap gaya seret aliran udara mengecil, sehingga menyebabkan air terdesak dipaksa naik keatas.

Dengan semakin bertambahnya debit air maka lapisan film air semakin tebal, sehingga dengan kecepatan superfisial udara tidak terlalu tinggi sudah menyebabkan terjadinya *flooding*. Hal ini terbukti pada debit air 6 liter/menit dengan kecepatan udara 3.932 m/s maka akan mengakibatkan beda tekanan sebesar $539,55 \text{ N/m}^2$ dan pada saat itulah awal terjadinya *flooding*.

Pada grafik 4b awal terjadinya *flooding* terjadi pada debit air diatas 4 liter/menit, sedangkan pada debit air 3 liter/menit tidak terjadi *flooding* walaupun kecepatan superfisial terus dinaikkan. Pada debit air 4 liter/menit dan debit air 5 liter/menit awal terjadinya *flooding* pada kecepatan superfisial udara 7,863 m/s. Sedangkan pada debit air 6 liter/menit awal *flooding* sudah terjadi pada kecepatan superfisial udara 6,881 m/s. Hal ini disebabkan apabila suatu aliran udara melewati suatu lapisan aliran film air yang pada pipa, maka aliran udara tersebut memberikan gaya seret (*drag force*) pada partikel air paling luar di lapisan film. Aliran udara ini juga akan menimbulkan perubahan beda tekanan akan naik jika kecepatan superfisial naik. Kecepatan superfisial adalah kecepatan jika gas atau likuid dalam aliran dua fase mengalir sendiri dalam aliran satu fase dalam saluran. Pada penelitian ini, di debit air 3 liter/menit sama sekali tidak terjadi *flooding* walaupun kecepatan superfisial udara terus ditambah sampai 10,812 m/s. Hal ini disebabkan karena lapisan film air yang mengalir di dinding pipa masih tipis, sehingga tahanan lapisan film air terhadap gaya seret aliran udara masih sangat kuat dan kecepatan superfisial udara yang ada tidak mampu mendesak sebagian besar air naik keatas.

Pada grafik 4c *flooding* sama sekali tidak terjadi ketika seksi uji dialirkan air dengan debit air konstan sebesar 3 liter/menit walaupun kecepatan superfisial terus dinaikkan sampai 10,812 m/s. Hal ini disebabkan karena lapisan film air yang mengalir di dinding pipa masih tipis, sehingga tahanan lapisan film air terhadap gaya seret aliran udara masih sangat kuat dan kecepatan superfisial udara yang ada tidak mampu mendesak sebagian besar air naik keatas dan beda tekanan yang dihasilkan maksimal 49,05 N/m².

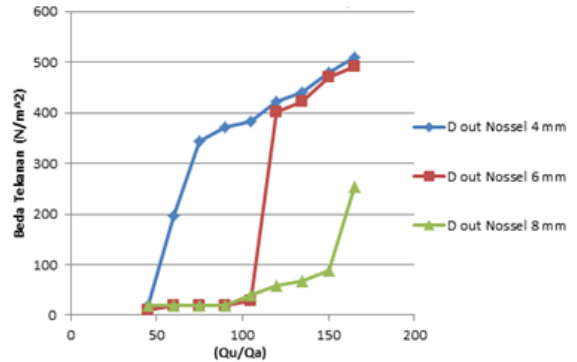
Pada debit air 4 liter/menit awal *flooding* baru terjadi pada kecepatan superfisial maksimum udara yang bisa dilakukan dalam penelitian ini yaitu sebesar 10,812 m/s dan beda tekanan yang terjadi 255,06 N/m². Sedangkan pada debit air 5 liter/menit awal *flooding* baru terjadi pada kecepatan superfisial udara 9,829 m/s dengan beda tekanan 264,87 N/m². Peristiwa *flooding* ini terjadi karena apabila kecepatan superfisial udara dinaikkan, maka pada suatu saat gaya seret fluida udara akan membuat lapisan film air terganggu. Terganggunya lapisan film air terlihat dengan mulai timbulnya riak-riak air yang terlepas dari lapisan film air. Jika kecepatan superfisial udara terus dinaikkan maka akan menyebabkan tahanan lapisan film air terhadap gaya seret aliran udara mengecil, sehingga menyebabkan air terdesak dipaksa naik keatas.



Gambar 5. Grafik hubungan Q_u/Q_a terhadap beda tekanan pada debit air 3 liter/menit.

Pada gambar 5 terlihat bahwa awal *flooding* lebih cepat terjadi pada injektor udara pada diameter nossel 4 mm. Bahkan dalam debit air 3 liter/menit ini tidak terjadi *flooding* pada pipa uji yang menggunakan diameter nossel 6 mm dan 8 mm. Hal ini disebabkan karena injektor udara dengan diameter nossel 4 mm pada debit udara 7 liter/detik mempunyai kecepatan keluar 557.325 m/s. Dengan kecepatan udara seperti itu, energi

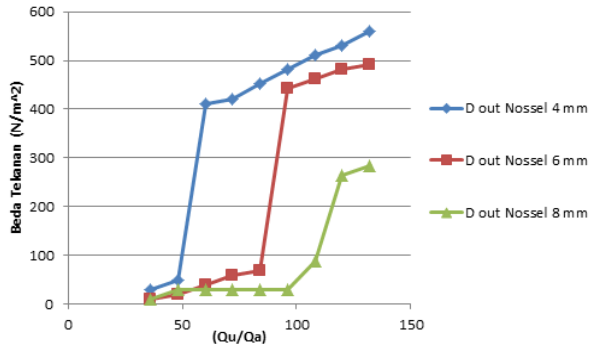
kinetik udara telah mampu mendorong lapisan film air naik ke atas pipa uji. Sedangkan pada nossel berdiameter 6 mm kecepatan udara keluar nossel maksimal sebesar 389.243 m/s, untuk nossel berdiameter 8 mm kecepatan udara keluar nossel maksimal sebesar 218.949 m/s, masing-masing dengan dengan debit udara 11 liter/detik, ternyata kecepatan superfisial udaranya belum mampu untuk mendorong lapisan film air naik keatas. Sehingga fenomena *flooding* tidak terjadi.



Gambar 6. Grafik hubungan Q_u/Q_a terhadap beda tekanan pada debit air 4 liter/menit.

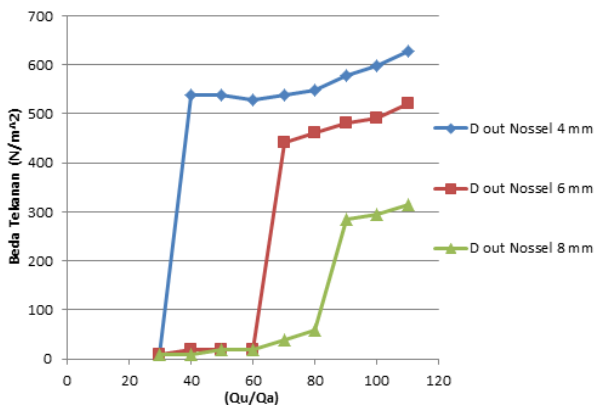
Pada gambar 6 dari tren grafik diatas terlihat bahwa pada nossel dengan diameter 8 mm baru mengalami awal *flooding* pada debit udara 11 liter/detik , beda tekanan 255.06 N/m². Hal disebabkan pada kondisi pengujian tersebut kecepatan udara yang keluar nossel telah mencapai 218.949 m/s mengakibatkan kecepatan superfisial udara meningkat dan tekanan diatas nossel pun menurun, sehingga lapisan film yang ada di dinding pipa uji terdorong keatas. Dari gambar 6 juga terlihat bahwa paling cepat terjadinya *flooding* pada nossel berdiameter 4 mm yaitu pada debit udara 5 liter/detik dengan beda tekanan 343.35 N/m². Sedangkan pada nossel berdiameter 6 mm peristiwa awal *flooding* terjadi pada debit udara 8 liter/detik dengan beda tekanan 402.21 N/m². Pada debit air 4 liter/menit ini lapisan film air lebih tebal dibandingkan pada debit air 3 liter/menit sehingga peristiwa awal *flooding* didebit air 4 liter/menit lebih cepat terjadi.

Pada gambar 7 terlihat bahwa pada setiap variasi Q_u/Q_a bila nilai Q_u/Q_a bertambah maka beda tekanan akan naik terutama dimulai sejak awal fenomena *flooding* terjadi. Pada diameter nossel 4 mm beda tekanan naik dengan dratis pada Q_u/Q_a 60 yaitu pada kecepatan superfisial udara 4.915 m/s dan kecepatan udara keluar nossel 398.089 m/s. Fenomena *flooding* ini terjadi karena pada saat itu sudah banyak air dipaksa mengalir keatas oleh pergerakan udara.



Gambar 7. Grafik hubungan Q_u/Q_a terhadap beda tekanan pada debit air 5 liter/menit.

Apabila suatu aliran udara melewati suatu lapisan aliran air (lapisan film air) yang ada dalam tabung, maka aliran udara tersebut memberikan gaya seret pada partikel air paling luar di lapisan film. Aliran udara ini juga menimbulkan perubahan beda tekanan sepanjang tabung. Beda tekanan akan naik jika kecepatan superfisial naik. Pada nossel berdiameter 8 mm peristiwa *flooding* lebih lambat terjadi karena udara yang keluar nossel relative lebih rendah sehingga energi kinetik air tidak mampu mendorong air di debit udara kurang dari 10 liter/detik.

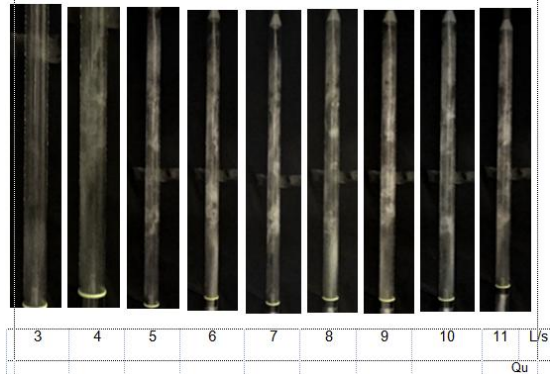


Gambar 8. Grafik hubungan Q_u/Q_a terhadap beda tekanan pada debit air 6 liter/menit.

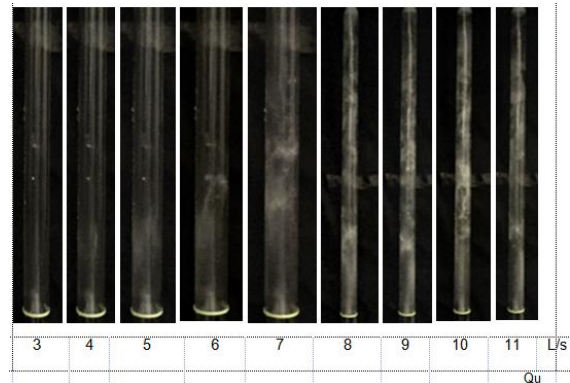
Pada gambar 8 terlihat bahwa pada diameter nossel 4 mm terjadi lonjakan kenaikan beda tekanan secara dratis yaitu pada Q_u/Q_a 40. Pada saat inilah fenomena awal *flooding* terjadi, yaitu terjadi pada debit udara 4 liter/detik dan kecepatan superfisial udara 3.932 m/s. Fenomena *flooding* ini terjadi disamping karena pengaruh kecepatan udara yang keluar dari nossel, juga karena pengaruh besar debit air yang mengalir di dalam pipa uji. Sehingga dari tren grafik diatas terlihat bahwa fenomena *flooding* cepat terjadi terutama bila menggunakan nossel berdiameter 4 mm, selanjutnya secara berturut-turu nossel berdiameter 6 mm dan 8 mm. Dengan bertambah

besarnya Q_u/Q_a pada debit air 6 liter/detik ini beda tekanan juga semakin bertambah besar. Pada pipa uji terjadi perubahan seiring dengan bertambahnya beda tekanan yaitu terjadinya yaitu dengan naiknya aliran air keatas mengikuti aliran udara. Fenomena ini dinamakan *flooding*, dimana disebabkan oleh terjadinya kenaikan beda tekanan yang dratis dalam pipa uji.

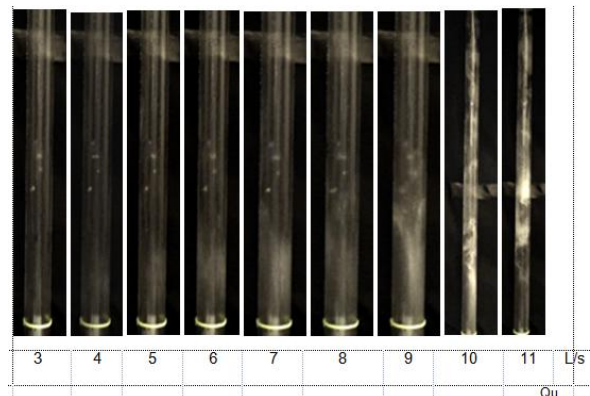
Pola aliran hasil penelitian



Gambar 9. Pola aliran dua fase pada debit air 6 L/s dengan D_{out} Nossel 4 mm.



Gambar 10. Pola aliran dua fase pada debit air 4 L/s dengan D_{out} Nossel 6 mm.



Gambar 11. Pola aliran dua fase pada debit air 5 L/s dengan D_{out} Nossel 8 mm.

Fenomena *flooding* awalnya terjadi ditandai dengan pembentukan dan pergerakan gelombang permukaan yang merambat ke atas. Pada aliran dua fase fenomena *flooding* selalu diawali dengan ketidakseimbangan aliran film yang terjadi karena adanya interaksi aliran udara dengan aliran film pada air. Ketidakstabilan aliran film ditandai dengan timbulnya riak atau gelombang dipermukaan film. Jika kecepatan superficial udara terus dinaikkan, maka lapisan film air akan tertarik menuju bagian tengah pipa akibat perbedaan tekanan. Gaya antar muka cairan mulai membalikkan aliran cairan ke atas, sehingga aliran udara akan membawa aliran air kembali naik keatas.

Fenomena *flooding* terjadi pada aliran dua fase dikarenakan adanya beda tekanan yang terjadi dalam seksi uij, sehingga aliran yang awalnya smooth menjadi riak yang naik keatas mengikuti aliran udara. Apabila debit air dinaikkan terus maka akan terjadi fenomena awal *flooding*, tapi belum membentuk *flooding* total. Terjadinya fenomena *flooding* total jika seluruh air yang mengalir dari atas tidak ada yang turun sama sekali pada bagian ujung bawah pipa. Fenomena *flooding* diawali dengan terjadinya pola aliran acak (*churn flow*).

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari diameter injektor konvergen udara yang diujikan, injektor udara dengan D_{out} nosel 4 mm yang mengakibatkan lebih cepat terjadinya *flooding*, berturut turut setelahnya adalah dengan D_{out} nosel 6 mm dan 8 mm.
2. Semakin besar debit aliran udara dan kecepatan superficial udara akan semakin cepat terjadinya fenomena *flooding*. Semakin besar debit air juga mempercepat terjadinya fenomena *flooding*.
3. Pola aliran sebelum terjadinya *flooding* adalah pola aliran cincin (*annular flow*), pada awal terjadinya *flooding* adalah aliran cincin kabut tetes cairan (*wispy annular flow*), sedangkan saat terjadi *flooding* total adalah aliran acak (*churn flow*).
4. Pada saat awal terjadinya *flooding* maka terjadilah peningkatan besar beda tekanan secara dratis.

SARAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat direkomendasikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Variasi diameter injektor konvergen udara perlu di tambah sehingga variasi data uji menjadi semakin lebih baik.
2. Perlu ada penelitian lanjutan dari aliran dua fase udara-air berlawanan arah pipa vertikal yaitu :
 - a. Variasi viskositas cairan yang dipergunakan dalam penelitian.
 - b. Variasi *heat transfer* dan pemakaian jenis fluida yang lain
 - c. Variasi debit udara sampai maksimum sehingga terjadi fenomena *flooding* total.
 - d. Pengamatan pola aliran dengan menganalisa tebal film air terhadap fenomena *flooding*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yusuf Baso., 2008, Pengaruh *Viskositas* Cairan Terhadap Kecepatan Kritis Pada Peristiwa *Flooding* dalam pipa Vertikal, *Jurnal.*, Vol. 7, No. 3, April 2008 UMI, 105-110.
- [2] Priyo., 2010, Eksperimental Karakteristik *Pressure Drop* pada Aliran Dua Fase Gas-Cairan Melewati Pipa Vertikal, *DINAMIKA Jurnal.*
- [3] Mahmuddin, dkk, Purnomo., 2011a, *Onset Of Flooding* dan Fenomena *Hydraulic Jump Look Like* dalam Pipa Vertikal, *Jurnal Teknik Industri.*, Vol. 12, No. 2, Agustus 2011, 182-191.