

Pengaruh Variasi Sudut *Water Injector* Berbentuk *Diffuser* Terhadap Fenomena *Flooding* Pada Aliran Dua Fase Cair – Udara Vertikal Berlawanan Arah

Azamataufiq Budiprasojo, 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: azamataufiq@gmail.com

Abstract

Flooding phenomenon becomes a looses in countercurrent two-phase flow of air-liquid in vertical pipe. Water injector sattached in to the pipe prevents the looses occur. With the use of water injector, liquid will flow attached to the inside wall of the pipe, so the air will flow freely in the middle of the pipe. New design of water injectors in diffuser shape, will be studied to replace the old annular water injectors. 10° , 15° , and 20° of water injector angle will be varied to find which ones can make slowing down flooding. This Research will seek water injectors with the most slowing down flooding, indicating by it superficial velocity, fluid flow, and flow patterns. A better Water injector is in whis have ability to handle higher flow rate and higher superficial velocity. The best water injectors in a row is a water injector with 10° , 20° , 15° of angle.

Keywords : two phase, counter current flow, flooding, water injector, flow pattern.

PENDAHULUAN

Suatu hal yang menjadi perhatian utama pada kasus aliran dua fase cair-udara vertikal berlawanan arah adalah bagaimana merancang suatu mekanisme agar dua zat berbeda fase dapat mengalir dengan lancar tanpa terhalang satu sama lain. Contohnya adalah udara dapat menjadi sumbat dalam pipa bagi cairan yang akan bergerak, fenomena ini dikenal sebagai sumbat likuida.

Fenomena penting yang sering terjadi pada aliran dua fase berlawanan arah sehingga harus dipikirkan adalah *flooding*. *Flooding* pada aliran dua fase didefinisikan sebagai suatu fenomena saat ada sebagian zat beda fase yang dipaksa mengalir kembali ke asalnya oleh zat beda fase lainnya pada satu saluran.

Fenomena *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]. 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 tekanan serta meningkatkan secara tajam gradien dalam pipa [2].

Pada kasus penelitian ini fenomena *flooding* bisa terjadi saat udara yang bergerak naik pada suatu kecepatan tertentu dapat memaksa sebagian cairan untuk mengalir kembali ke asalnya. *Flooding* bisa dikategorikan *losses* dalam aliran dua fase berlawanan arah.

Solusi dari permasalahan diatas adalah dibuatlah alat bernama *water injector*, untuk memasukkan air kedalam saluran pipa aliran dua fase vertikal berlawanan arah. Tujuan *water injector* dipakai dalam saluran aliran fluida dua fase cair-udara vertikal berlawanan arah adalah untuk membuat cairan bergerak turun secara menempel pada dinding dalam saluran. Dengan cairan menempel pada dinding dalam saluran maka udara akan bebas mengalir pada bagian tengah saluran.

Telah banyak penelitian terkait yang menggunakan *water injector*. Desain *water*

injector yang selama ini diuji adalah yang berbentuk *annular* berlubang banyak.

Pemakaian *water injector* berbentuk *annular* berlubang banyak, fenomena *flooding* dapat dihambat dan jumlah air yang terbawa oleh aliran udara berbanding terbalik dengan jumlah air yang mengalir ke seksi uji hingga mencapai nol atau terjadi sumbat likuid [3].

Water injector aliran dua fase udara cairan dengan melewati pipa vertikal menemukan perubahan karakteristik *flow pattern* 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 [4].

Desain *water injector* yang selama ini diuji adalah yang berbentuk anular berlubang banyak. Kelemahan dari *water injector* tipe *annular* berlubang banyak adalah seringnya terjadi sumbatan pada lubang-lubang kecil tempat masuk air akibat korosi ataupun kotoran lainnya.

Penelitian ini mencoba meneliti suatu *water injector* yang berbeda dari *water injector* yang telah ada. *Water injector* yang akan diteliti berbentuk *diffuser*.

Permasalahannya adalah bagaimana desain *water injector* berbentuk *diffuser* yang bisa meminimalkan terjadinya *flooding*. Didasari pemikiran diatas maka penelitian akan mencoba beberapa model dari *water injector* berbentuk *diffuser* pada suatu saluran aliran fluida dua fase cair-udara vertikal berlawanan arah. Variasi dari *water injector* berbentuk *diffuser* ini akan dilakukan dari besar sudut yaitu 10° , 15° , dan 20° .

Pengamatan akan dilakukan pada perubahan tekanan differensial yang drastis sebagai tanda *flooding* terjadi pada dalam pipa serta pola aliran *flooding* pada fluida akibat variasi pemakaian *water injector* berbentuk *diffuser*. Penyimpulan *water injector* terbaik dilakukan dengan mencari *water injector* mana yang mampu mencatatkan nilai terbesar untuk tiap parameter *flooding* seperti kecepatan superficial air dan udara, serta debit air dan udara. Pola aliran fluida akan ditampilkan

sebagai suatu acuan untuk memprediksi perilaku pergerakan fluida saat akan terjadi *flooding*, serta melihat apakah suatu *water injector* berbentuk *diffuser* dapat membuat aliran terjadi konstan membentuk pola aliran cincin sesuai dengan tujuan perancangannya sebagai penghambat *flooding*.

METODE

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 diuji pengaruh variasi sudut *water injector* berbentuk *diffuser* terhadap terjadinya proses *flooding* pada aliran dua fase cair-udara vertikal berlawanan arah.

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.

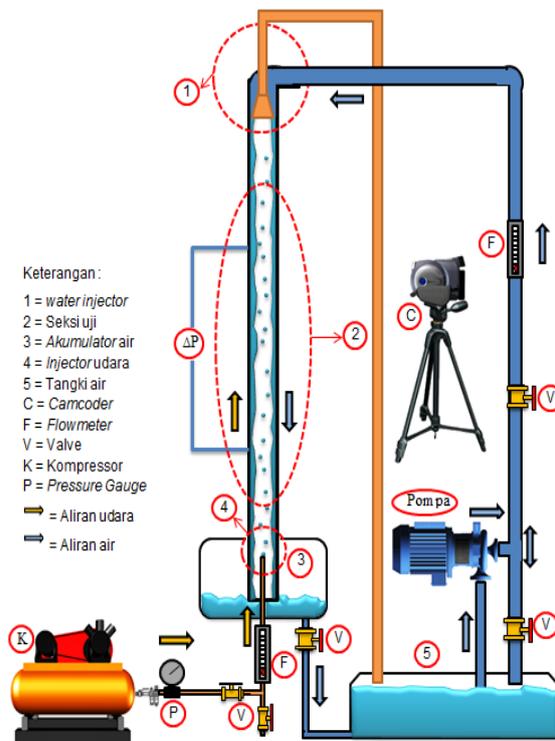
Water injector dengan sudut 10° , 15° , 20° akan dipasang dan pengamatan memfokuskan pada bagaimana perubahan tekanan, kecepatan superficial, dan bagaimana pola aliran yang terjadi selama penelitian.

Variasi debit air mula-mula akan divariasikan dengan nilai 3-11 L/min, kemudian diberi debit udara sebesar 3-11 L/s untuk tiap-tiap debit air.

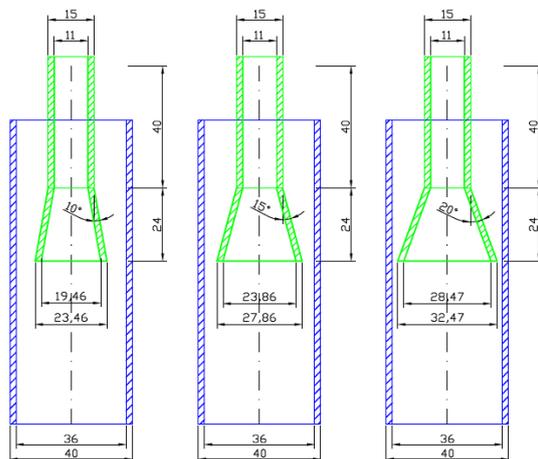
Selanjutnya variasi debit udara yang mula-mula akan divariasikan dengan nilai 3-11 L/s, kemudian diberi debit udara sebesar 3-11 L/min untuk tiap-tiap debit udara.

Selama penelitian tekanan udara dijaga pada tekanan 9 Bar, dan fenomena pola aliran direkam dengan *camcoder*. 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, *camcoder*. Instalasi uji diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1. Skema instalasi penelitian



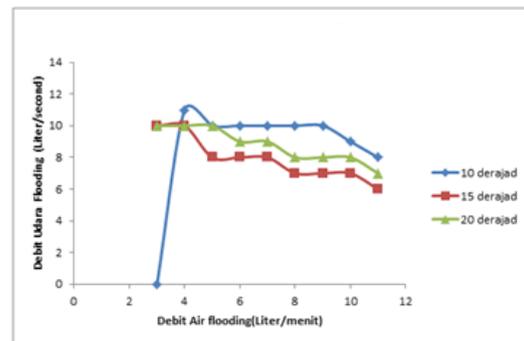
Gambar 2. Desain *water injector* berbentuk *diffuser*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini hasil pengukuran beda tekanan dalam pipa pada tiap-tiap

variasi sudut *water injector* dengan kenaikan berkala debit air dan debit udara akan dipakai untuk menentukan awal *flooding*. Data beda tekanan dalam pipa kemudian disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara beda tekanan dalam pipa terhadap debit air dilanjutkan terhadap debit udara untuk tiap-tiap variasi sudut *water injector* berbentuk *diffuser*.

Kenaikan beda tekanan yang melonjak tajam akan dijadikan sebagai indikator saat awal terjadi *flooding*. Nilai kenaikan tajam tekanan diferensial akan dikelompokkan untuk tiap-tiap variasi debit udara, variasi debit air dan variasi sudut *water injector* berbentuk *diffuser*.



Gambar 3. Hubungan debit air terhadap debit udara saat awal flooding

Dari gambar 3, selanjutnya dapat dianalisa unjuk kerja dari masing masing *water injector* dalam kemampuannya menghambat fenomena *flooding*. Suatu *water injector* dikatakan lebih baik kinerjanya dibandingkan *water injector* lain, bila *water injector* tersebut dapat mencatatkan awal *flooding* pada debit udara dan debit air yang lebih tinggi.

Dari ketentuan tersebut, maka dari gambar 3 dapat dilihat bahwa *water injector* dengan sudut 10°, adalah *water injector* terbaik, kemudian diikuti dengan *water injector* sudut 20° dan 15°.

Untuk *Water injector* sudut 15° mencatatkan debit air dan debit udara terkecil untuk awal *flooding*, sehingga *water injector* sudut ini dikatakan terburuk untuk semua. Hal ini karena pada *water injector* sudut 10°, lapisan fluida air yang turun mempunyai ketebalan yang cukup besar sehingga mengganggu kestabilan lapisan air

untuk melawan gaya geser dari gerakan udara yang berlawanan arah.

Lapisan fluida air ini sering disebut sebagai lapisan film saja pada topik-topik yang berkenaan dengan aliran dua fase cair-udara berlawanan arah.

Dengan tebalnya lapisan film yang terjadi maka banyak air dipaksa mengalir keatas oleh pergerakan udara. Fenomena ini dikategorikan sebagai fenomena terjadinya awal *flooding*.

Hubungan antara lapisan film dengan debit akan diuraikan sebagai berikut. Apabila suatu aliran udara melewati suatu lapisan aliran air (lapisan film air) yang ada dalam tabung, maka aliran udara tersebut memberikan gaya seret (*drag force*) pada partikel air paling luar di lapisan film. Aliran udara ini juga akan menimbulkan perubahan tekanan diferensial sepanjang tabung. Tekanan diferensial akan naik jika kecepatan superficial naik.

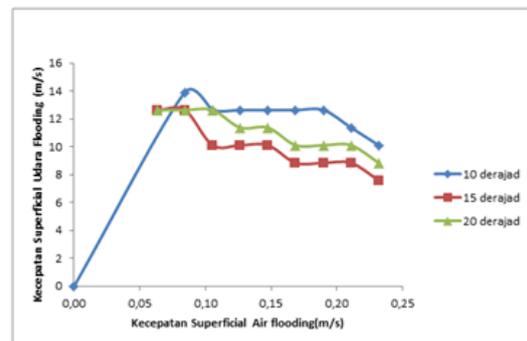
Pada debit udara rendah, lapisan film mula-mula tidak terjadi perubahan. Jika kemudian debit udara dinaikkan, maka pada suatu saat gaya seret fluida udara akan membuat lapisan film air akan terganggu. Terganggunya lapisan film air terlihat dengan mulai timbulnya riak-riak air yang terlepas dari lapisan film air. Jika debit udara dinaikkan lagi, menyebabkan tahanan lapisan film air terhadap gaya seret aliran udara mengecil, sampai akhirnya gaya seret tersebut cukup untuk mendukung gaya berat partikel air, sehingga air terdesak dipaksa mengalir keatas.

Untuk *water injector* sudut 20°, pada debit udara dan debit air yang sama dengan sudut 15°, tebal lapisan film yang terjadi adalah lebih tipis jika dibandingkan dengan tebal lapisan film pada sudut 15°. Dengan tipisnya lapisan film pada *water injector* sudut ini maka debit udara dan debit air saat awal *flooding*, tercatat lebih tinggi dibandingkan dengan *water injector* sudut 10°. Dapat dikatakan *flooding* dapat lebih dihambat.

Untuk sudut 10°, pada titik pertama, tersaji nilai nol. Hal ini karena pada debit udara dan debit air pada titik pertama, selama penelitian tidak ditemukan fenomena *flooding* sehingga tersaji nilai nol. Sudut 10° merupakan sudut *water injector* yang

mencatatkan debit udara dan debit air terbesar saat terjadi *flooding*, dibandingkan dengan sudut lainnya. Secara logika maka sudut ini merupakan sudut dengan tebal film terbesar jika dibandingkan dengan sudut lainnya. Seharusnya semakin besar tebal film maka semakin cepat terjadi *flooding*, dengan kata lain awal *flooding* terjadi pada debit udara dan debit air yang lebih rendah.

Analogi tersebut adalah benar dengan syarat bahwa lapisan film yang terjadi adalah menempel penuh merata pada semua bagian dalam pipa. Pada penelitian ini untuk debit air 3-11 L/min dan debit udara 3-11 L/s, Lapisan film yang terjadi pada *water injector* sudut 10°, adalah tidak beraturan. Lapisan film yang terjadi terkadang menempel penuh merata pada seluruh bagian dalam pipa, namun lebih sering mengalir hanya pada satu sisi bagian dalam pipa. Dengan inkonsistensi lapisan film yang terjadi maka *flooding* sulit terjadi.

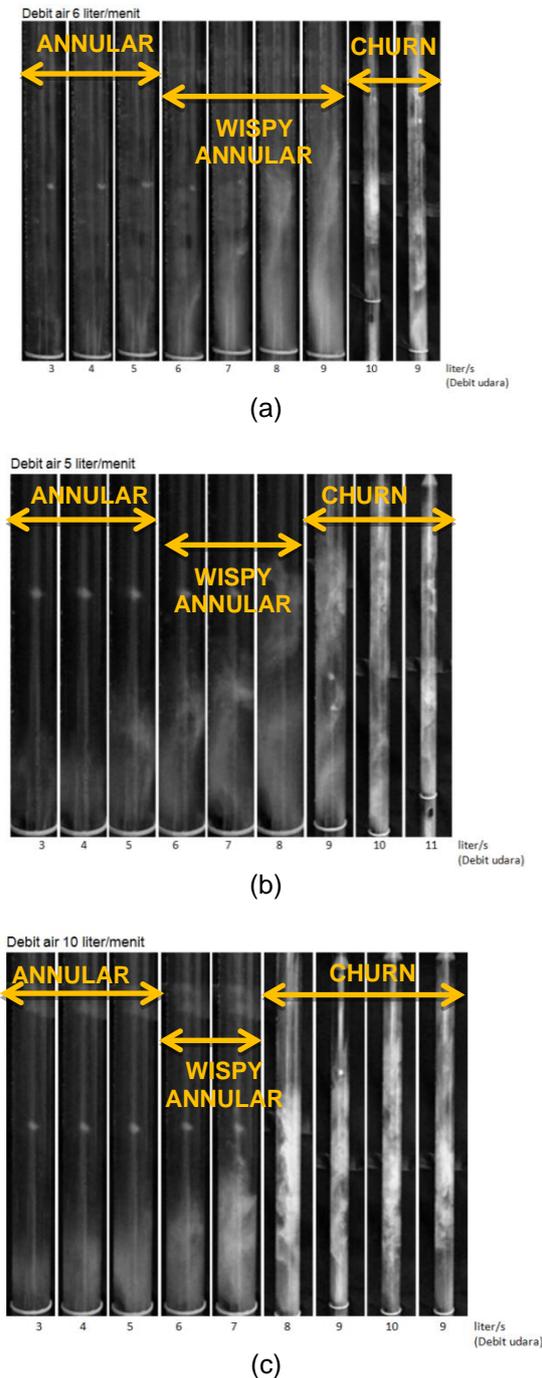


Gambar 4. Hubungan kecepatan superficial air terhadap kecepatan superficial udara saat awal *flooding*

Kecepatan superficial adalah kecepatan aliran seolah-olah fluida mengalir secara terpisah. Pada gambar 4 dapat dilihat grafik yang tersaji memiliki kemiripan dengan grafik pada gambar 3. Hal ini dapat dijelaskan karena besarnya nilai kecepatan superficial adalah berbanding lurus dengan debit.

Dengan meningkatnya debit udara dan debit air maka akan meningkat juga kecepatan superficial. Semakin besar kecepatan superficial maka energi kinetik dari udara untuk mengacaukan kestabilan lapisan film juga akan semakin besar, sehingga *flooding* juga akan cepat terjadi.

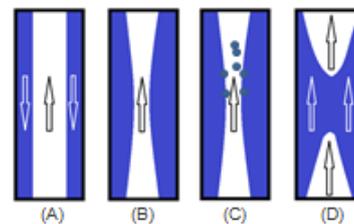
Debit yang besar menghasilkan kecepatan superficial yang semakin tinggi.



Gambar 5. Pola aliran dua fase air-udara *water injector* (a) 10° (b) 15° (c) 20°

Awal terjadinya fenomena *flooding* dapat dideteksi 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.



Gambar 8. Visualisasi mekanisme terjadinya *flooding*.

Pada gambar 8 (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 antarmuka 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*, 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 saat pola aliran acak (*churn flow*). Pola aliran yang memerlukan kewaspadaan karena akan segera terjadi *flooding* terjadi pada pola aliran *wispy annular flow*. Pola aliran yang aman karena tidak terjadi *flooding* terjadi pada pola aliran *annular flow*.

KESIMPULAN

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

1. *Water injector* yang memiliki kemampuan menanganani debit dan kecepatan superfisial lebih tinggi atau bisa dikatakan terbaik berturut-turut adalah *water injector* berbentuk *diffuser* dengan sudut 10° , 20° , dan 15° .
2. Semakin besar debit aliran udara dan kecepatan superfisial udara akan semakin cepat *flooding* terjadi.
3. Pola aliran awal *flooding* terjadi pada pola aliran acak (*churn flow*), akan *flooding* terjadi pada pola aliran *wispy annular*, dan yang tidak terjadi *flooding* pada pola aliran *annular*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Priyo., 2010, Eksperimental Karakteristik *Pressure Drop* pada Aliran Dua Fase Gas-Cairan Melewati Pipa Vertikal, *DINAMIKA Jurnal Ilmiah Teknik Mesin.*, Vol. 1, No. 2.
- [2] Baso, Yusuf., 2010, Pengaruh Viskositas Cairan Terhadap Kecepatan Kritis pada Peristiwa *Flooding* dalam Pipa Vertikal, *Jurnal.*, Vol. 7, No. 3, April 2008 UMI, 105-110.
- [3] Mahmuddin, Samsul Kamal, Indarto, dan Purnomo, 2008, Tebal Film Dan Fenomena *Flooding* Dalam Aliran *Annular* Berlawanan Arah Vertikal, *Makalah Seminar Nasional Aplikasi Sains dan Teknologi.*, 2008-IST AKPRIND, Yogyakarta.
- [4] Kamal., 2009, Karakteristik *Flow Patern* Pada Aliran Dua Fase Gas-Cairan Melewati Pipa Vertikal, *Jurnal Teknik Industri.*, Vol. 11, No. 2, 117-122.