

ABSTRACT

The experiments of two-phase air-water horizontal annular flow have been carried out using two types of sensors, CECM and conductance probes, with superficial gas and liquid velocity of 10 m/s to 40 m/s and 0.025 m/s to 0.4 m/s, respectively. Fundamental data such as liquid holdup, circumferential film thickness, wave velocity, and wave frequency have been acquired. The analysis of the existing annular flow mechanisms has been performed. In addition, the correlations for predicting the wave velocity, wave frequency, and the circumferential film thickness distribution have also been developed.

The experimental liquid holdup ranges from 0.024 to 0.2. Increasing the superficial gas velocity results in the decrease of the liquid holdup. On the other hand, the liquid holdup increases with the increase of superficial liquid velocity. The effects of superficial gas and liquid velocity are more significant at the low superficial gas velocity.

The experimental wave velocity ranges from 1.58 m/s to 5.12 m/s. The wave velocity increases with the increase of superficial gas and liquid velocity. However, the superficial liquid velocity has a less significant effect compared to that of superficial gas velocity. The correlations for the wave velocity and wave frequency have been developed with a considerable good accuracy. The mean absolute error for the both correlations are less than 15%.

The wave frequency ranges from 9.5 Hz to 35 Hz. The wave frequency increases with the increase of superficial gas and liquid velocity. The effect of superficial gas velocity is, however, more significant.

From the analysis of circumferential liquid film thickness distribution, it is obvious that the higher superficial gas velocity results in the more uniform film thickness distribution. The Froude number has a significant relation with the film thickness distribution. When the gravity force is dominant, the film thickness distribution tends to less uniform. On the other hand, when the inertial force dominates, the film thickness distribution will be more uniform.

The circumferential film thickness examination shows that at the low superficial liquid velocity (0.025 m/s and 0.05 m/s), it is difficult for the liquid wave in the bottom of the pipe to reach the upper part of the pipe to form an annular flow. Therefore, the deposition of liquid droplet has a more significant role in the wetting of the upper pipe wall. At the high superficial velocity (0.2 m/s to 0.4 m/s), the liquid wave dominates in the wetting of the upper part of the pipe wall. At the medium superficial liquid velocity (0.05 to 0.1 m/s) both the droplet deposition and the liquid wave have important contributions in the upper part of pipe wall wetting.

From the analysis of the secondary flow mechanism, it is obvious that this mechanism has a contribution in the formation of annular flow. However, this mechanism itself cannot distribute the liquid to the upper part of the pipe and forms an annular flow. For all experimental runs, the contribution of this mechanism ranges from 0.7% to 12.3%. The deposition of the entrained droplet also contributes to the formation of horizontal annular flow. However, the average contribution of this mechanism is only 11% with the maximum contribution of

43.4%. Therefore, this mechanism, in individual, is not sufficient for the formation of horizontal annular flow. The close examination to the liquid film thickness signals, power spectral density, and the cross correlation between two signals from different circumferential positions shows that the liquid wave has an important role in the formation of annular flow. However, this mechanism is only valid for several experimental runs. The inclusion of the circumferential pressure gradient in the experimental data shows that the pumping action method cannot be applied for all experimental runs. This mechanism is valid for 15 experimental runs, out of 30.

A correlation to predict the circumferential liquid film thickness distribution has been developed with an accuracy of 16.6%. This correlation gives a considerable good prediction. The percentage of the data predicted within $\pm 35\%$ and $\pm 50\%$ error bands are 89% and 98.6%, respectively.

INTISARI

Aliran cincin pada pipa horisontal banyak ditemui pada berbagai aplikasi industri. Namun demikian, data fundamental masih kurang dan mekanisme aliran masih diperdebatkan. Oleh karena itu diperlukan penelitian untuk mendapatkan data dan tentang mekanisme terjadinya aliran cincin horisontal sesuai dengan hasil eksperimen.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan fluida air dan udara pada pipa berdiameter 16 mm dan 26 mm, dengan kecepatan superfisial cairan 0,05 sampai 0,2 m/s dan kecepatan superfisial gas 12 sampai 40 m/s. Kombinasi kecepatan gas dan cairan tersebut jika digambarkan pada peta aliran Mandhane sebagian besar terletak pada rejim aliran cincin dan sebagian kecil terletak pada daerah transisi aliran bergelombang-cincin dan aliran slug-cincin. Parameter utama yang diukur adalah fraksi cairan yang diukur dengan menggunakan CECM (*constant electric current method*) dan distribusi tebal film pada pipa yang diukur dengan probe konduktansi.

Hasil yang diperoleh antara lain adalah nilai fraksi cairan pada berbagai kombinasi kecepatan superfisial gas dan cairan, kecepatan gelombang pada cairan, dan frekuensi gelombang. Nilai fraksi cairan berkisar antara 0,038 hingga 0,152 pada eksperimen dengan pipa 16 mm dan 0,011 hingga 0,017 pada pipa 26 mm. Kecepatan gelombang berkisar pada 1,54 m/s hingga 5,12 m/s pada eksperimen dengan pipa 16 mm dan antara 1,43 m/s hingga 4,89 m/s pada pipa 26 mm. Sementara itu, frekuensi gelombang berada pada kisaran 10,4 hingga 35 Hz pada pipa 16 mm dan 9,5 hingga 26,5 Hz pada pipa 26 mm. Secara umum, fraksi cairan akan turun jika kecepatan superfisial gas naik dan kecepatan superfisial cairan turun, dan sebaliknya. Kecepatan gelombang akan naik jika kecepatan superfisial gas dan cairan naik, dan sebaliknya. Frekuensi gelombang naik jika kecepatan superfisial gas dan cairan naik, dan sebaliknya. Pengaruh kecepatan superfisial gas terhadap kecepatan dan frekuensi gelombang lebih dominan jika dibandingkan dengan kecepatan superfisial cairan.

Dari kajian asimetri tebal film rata-rata secara sirkumferensial diperoleh hasil bahwa semakin besar kecepatan superfisial gas, distribusi tebal film semakin mendekati seragam. Bilangan Froude memiliki kaitan erat dengan distribusi tebal film. Pada saat gaya gravitasi mendominasi, distribusi tebal film akan cenderung asimetris dengan bagian bawah lebih tebal. Pada saat gaya inersia mendominasi, distribusi tebal film cenderung mendekati simetris.

Dari analisis tebal film secara sirkumferensial diperoleh hasil bahwa pada kecepatan superfisial yang rendah (0,025 dan 0,05 m/s) gelombang air pada bagian bawah pipa relatif sulit menjangkau bagian atas pipa untuk membentuk aliran cincin. Dengan demikian, pembasahan bagian atas pipa lebih dominan terjadi karena adanya redeposisi *droplet*. Pada kecepatan superfisial cairan yang tinggi (0,2 sampai 0,4 m/s) gelombang cairan lebih dominan dalam mekanisme pembasahan bagian atas pipa. Pada kecepatan superfisial cairan antara 0,05 hingga 0,1 m/s, redeposisi *droplet* dan gelombang sama-sama memiliki peranan penting dalam pembasahan dinding pipa bagian atas.

Selanjutnya, dari hasil korelasi silang pada sinyal tebal film antar posisi sirkumferensial juga diperoleh hasil bahwa gelombang air merambat dalam posisi miring, di mana bagian bawah mendahului bagian atas. Kemiringan gelombang akan semakin besar pada kecepatan superfisial cairan rendah.

Analisis terhadap mekanisme aliran sekunder menunjukkan bahwa mekanisme tersebut memang memiliki kontribusi dalam pembentukan aliran cincin, namun secara individual tidak cukup untuk mendorong cairan ke bagian teratas pipa dan membentuk aliran cincin. Dari keseluruhan matriks eksperimen, berdasarkan algoritma dari Flores dkk. (1995), tingkat kontribusi aliran sekunder hanya berkisar antara 0,7% hingga 12,3%.

Entrainment dan redeposisi *droplet* juga memiliki kontribusi dalam membentuk pola aliran cincin. Namun demikian, kontribusi rata-rata yang dihasilkan pada semua eksperimen hanya 11% dengan kontribusi maksimum 43,3%. Dengan demikian, secara individual mekanisme ini belum cukup untuk membentuk pola aliran cincin. Artinya, pola aliran cincin hanya dapat tercipta jika mekanisme ini mendapat bantuan dari mekanisme lainnya.

Mekanisme penyebaran gelombang yang diajukan Butterworth (1969, 1972) juga memiliki kontribusi dalam membentuk pola aliran cincin. Namun demikian, penyebaran gelombang bukan satu-satunya mekanisme yang terlibat dalam pembentukan pola aliran cincin.

Selanjutnya, untuk menguji metode pemompaan gelombang yang diajukan oleh Fukano dan Ousaka (1989), dilakukan analisis gradien tekanan secara sirkumferensial. Data gradien tekanan menunjukkan bahwa pembentukan aliran cincin dengan mekanisme pemompaan gelombang hanya terjadi pada setengah dari keseluruhan kondisi eksperimen yang dilakukan.

Untuk memprediksi distribusi tebal film pada aliran cincin horisontal, sebuah korelasi telah dikembangkan. Korelasi dibangun dengan mempertimbangkan kecepatan superfisial gas dan cairan, gaya inersia dan gravitasi gas dan cairan, sifat gas dan cairan, dan posisi sirkumferensial. Korelasi tersebut mampu memprediksi distribusi tebal film secara sirkumferensial dengan deviasi rata-rata



**INVESTIGASI EKSPERIMEN MENGENAI MEKANISME ALIRAN CINCIN (ANNULAR) CAIRAN-GAS
SEARAH PADA PIPA
HORIZONTAL**

ANDRIYANTO SETYAWAN, Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA; Dr. Deendarlianto, ST, M. Eng.

Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

sebesar 16,6%. Persentase data yang berada di dalam rentang deviasi $\pm 35\%$ dan $\pm 50\%$ masing-masing adalah sebesar 89% dan 98,6%.