



Pengaruh Perubahan Temperatur terhadap Respon Amplitudo dengan Menggunakan Gelombang Ultrasonik pada Pola Aliran *Slug* Pipa Horizontal

Sonika Maulana¹

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima 05 10 2020

Disetujui 10 10 2020

Dipublikasikan 20 10 2020

Keywords:

Gelombang ultrasonik,
frekuensi, amplitude,
temperatur, aliran slug.

Abstrak

Industri menuntut pengukuran laju aliran dua fase dalam pipa dengan metode *non-invasif*, dengan biaya rendah dan tidak rumit dalam penggunaannya. Untuk mengatasi hal ini diperlukan suatu alat ukur aliran tanpa melakukan perubahan pada penampang aliran, yaitu penggunaan flow meter ultrasonik. Penelitian ini menggunakan fluida kerja air dan udara, pipa acrylic dengan diameter dalam 18 mm dengan tebal 5 mm dan transparan agar perilaku aliran dapat diamati. *Function generator* untuk menghasilkan frekuensi gelombang ultrasonik yang dihubungkan ke *transmitter* dan diterima oleh *receiver* yang dihubungkan dengan *oscilloscope*. Pada penelitian ini akan dianalisis besar kecilnya amplitudo dan *transit time* yang dihasilkan oleh spektrum frekuensi ultrasonik akibat perubahan temperatur pada pola aliran *slug*. Variasi temperatur yang digunakan adalah 40-70°C. Kecepatan superficial udara (J_c) yang digunakan adalah 1,31 m/s – 2,29 m/s, sedangkan Kecepatan superficial air (J_l) yang digunakan adalah 0,39 m/s – 1,05 m/s. Data hasil penelitian berupa amplitudo dianalisis kemudian dicari hubungannya dengan perubahan temperatur dari fase air-udara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan temperatur pada aliran slug akan mempengaruhi besar kecilnya amplitudo dan nilai transit time gelombang ultrasonik.

Abstract

Industry demands a non-invasive method of measuring two-phase flow rates in pipes, low cost and uncomplicated to use. To overcome this, a flow meter is needed without changing the cross-section of the flow, namely the use of an ultrasonic flow meter. This study used water and air working fluids, acrylic pipe with an inner diameter of 18 mm with a thickness of 5 mm and transparent so that the flow behavior can be observed. Function generator to produce ultrasonic wave frequencies that are connected to the transmitter and received by the receiver connected to the oscilloscope. This research will analyze the size of the amplitude and transit time generated by the ultrasonic frequency spectrum due to temperature changes in the slug flow pattern. The temperature variation used is 40-70°C. The superficial velocity of air (J_c) used was 1.31 m / s - 2.29 m / s, while the superficial velocity of water (J_l) used was 0.39 m / s - 1.05 m / s. The data obtained in the form of amplitude were analyzed and then searched for their correlation with changes in temperature from the water-air phase. The results showed that the temperature changes in the slug flow will affect the amplitude and transit time values of ultrasonic waves.

PENDAHULUAN

Aliran dua fasa dijumpai pada sistem perpipaan pada industri perminyakan, geothermal, dan reaktor nuklir. Pada produksi minyak lepas pantai fluida kerjanya terdiri dari campuran minyak mentah, air laut, lumpur, dan gas. Pada pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP), fluida kerjanya adalah air dan uap air yang mengalir secara bersamaan pada saluran tertutup. Aliran dua fasa tersebut membutuhkan penanganan secara hati-hati karena berpengaruh terhadap keamanan selama proses produksi dan pemeliharaan peralatannya. Pada aliran dua fasa, pola aliran slug dapat memicu terjadinya kecelakaan pada pipa. Pola aliran *slug* pada pipa horizontal terjadi gesekan, meliputi gesekan antara *liquid slug* dengan pipa bagian atas dan pada bawah terjadi *slip* antar fasa. Gesekan ini menyebabkan fluktuasi beda tekanan lokal ($\Delta P/\Delta L$) yang sangat besar sehingga memungkinkan pipa pecah (*blasting pipe*) atau memicu terjadinya korosi akibat kavitasi.

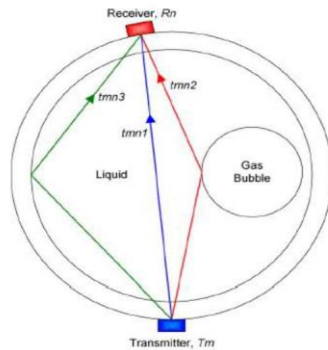
Pengukuran aliran dengan beda tekanan seperti penggunaan orifice, nozzle, dan venturi telah banyak digunakan di industri dalam mengukur laju aliran dalam pipa. Metode pengukuran ini mengakibatkan terjadinya perubahan kondisi aliran karena terjadinya perubahan penampang aliran pada pipa, sehingga menimbulkan kerugian. Selain itu, perubahan ini akan mempengaruhi debit aliran dalam saluran. Debit aliran merupakan salah satu parameter penting, karena akan mempengaruhi performa dari sistem. Oleh karena itu debit aliran fluida dalam suatu sistem perlu diketahui. Untuk mengetahui aliran fluida diperlukan suatu alat ukur untuk memonitor aliran fluida. Untuk mengatasi hal ini diperlukan suatu alat ukur untuk mengukur aliran tanpa melakukan perubahan pada penampang aliran, yaitu penggunaan *flow meter ultrasonic*.

Teknologi ultrasonik diterapkan untuk pengukuran aliran fluida dalam saluran tertutup maupun saluran terbuka, untuk pengukuran aliran gas, cairan serta dalam kondisi aliran fluida yang beragam. Metode ini lebih mudah dalam pemasangannya, mudah dipindahkan, dan tidak menimbulkan kerugian aliran. Perubahan temperatur suatu fluida akan mempengaruhi atau berdampak pada sifat-sifat lainnya seperti massa jenis, viskositas, dan kecepatan suara. Perubahan ini akan mempengaruhi debit aliran dalam saluran. Debit aliran merupakan salah satu parameter penting, karena akan mempengaruhi performa dari sistem. Oleh karena itu debit aliran fluida dalam suatu sistem perlu diketahui. Untuk mengetahui aliran fluida diperlukan suatu alat ukur untuk memonitor aliran fluida.

Beberapa penelitian yang terdahulu telah berhasil memetakan pola aliran dua fasa pada pipa horizontal, antara lain: Baker (1954), Mandhane (1974), dan Taitel dan Dukler (1976). Namun demikian peta tersebut tidak dapat digunakan secara umum pada semua kasus karena banyaknya parameter multi fasa yang berperan seperti kecepatan superfisial, densitas, viskositas, tegangan permukaan, geometri pipa, dan percepatan gravitasi. Oleh karena itu untuk mendapatkan prediksi pola aliran yang tepat hanya dapat dilakukan dengan percobaan menggunakan parameter yang sama dengan yang ada pada kasus tersebut. Di sisilain, sebagai sistem pengukuran aliran pada pipa melingkar metode *ultrasonic velocity profile* (UVP) telah dikembangkan pada pengukuran profil kecepatan oleh Takeda (1987, 1995). Metode ini dapat mengukur profil kecepatan sesaat pada diameter pipa secara langsung, sehingga laju aliran dihitung dengan menggunakan integrasi atas ruang dari profil kecepatan rata-rata. Riyadi (2009) merancang alat pengukur laju aliran fluida dengan menggunakan frekuensi gelombang tunggal 1000 Hz. Sistem pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara tinggi rendah amplitudo dengan laju massa aliran. Pengukuran laju aliran massa dengan memanfaatkan gelombang berfrekuensi 1000 Hz menyatakan bahwa ada korelasi linier tinggi rendah amplitudo dengan laju aliran massa dua fase.

Rahim dkk. (2007) telah mengembagkan metode pengukurannon-invasive ultrasonic tomography untuk menggambarkan aliran dua fase cairan dan gas. Pendekatan *transmission-mode* yang digunakan untuk menggambarkan aliran dua fase cairan/gas dengan menggunakan 16 pasang transduser yang masing-masing terdiri dari 16 *transmitter* dan 16 *receiver* dengan frekuensi 40 kHz. Penelitian didasarkan pada sensor ultrasonik yang terdiri dari *transmitter* dan *receiver* yang dipasang melingkar pada permukaan pipa eksperimental. menunjukkan tiga jalur yang mungkin untuk penerimaan sinyal dari

transmitter ke receiver: Sinyal ditransmisikan langsung dari transmitter ke receiver (t_{mn1}), Sinyal dari transmitter dipantulkan melalui komponen gas ke receiver (t_{mn2}) dan Sinyal dari transmitter dipantulkan melalui dinding pipa ke receiver (t_{mn3}) seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Tiga jalur yang memungkinkan penerimaan sinyal transmitter ke receiver (Rahim dkk., 2007)

Lee, dkk. (2005) mengembangkan metode pengukuran level campuran dua fase pada sebuah bejana reactor atau generator uap pada kondisi suhu dan tekanan tinggi. Pada penelitian ini alat uji dikondisikan sesuai kondisi sebenarnya, dengan menggunakan tangki untuk menampung air dan menggunakan pemanas sebagai pengkondisian temperatur dalam tangki. Metode pengukuran ultrasonik yang dikembangkan mengukur tingkat campuran dua fase lebih akurat dari pada metode konvensional untuk kondisi suhu dan tekanan tinggi serta dalam kondisi fluktuasi permukaan dengan formula koreksi mempertimbangkan medium sebagai campuran homogen dari udara dan uap.

Raisutis (2005) melakukan investigasi profil kecepatan aliran dengan menggunakan *invasive ultrasonic flow meter*. Metodologi pengukuran dan eksperimen dengan menggunakan sensor aliran *invasif (thermoanemometers)* pada *transit time ultrasonic flowmeter* *Reces* yang memberikan hasil komponen kecepatan aliran lokal. Penelitian aliran turbulen udara ($4000 < Re < 19\ 000$ dan laju aliran dari $14\ m^3/h$ hingga $55\ m^3/h$) dengan propagasi dilakukan melalui bagian pengukuran. Pengukuran kecepatan udara digunakan sebagai referensi ukuran untuk mengukur kecepatan aliran rata-rata v_p di bagian tengah pipa. Pengukuran profil aliran gas sepanjang saluran akustik dilakukan dengan *thermoanemometer* tersebut.

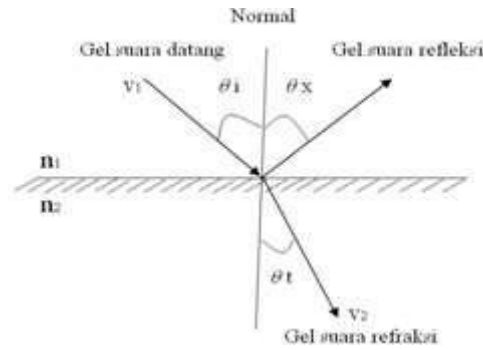
O'Sullivan dkk., (2002) melakukan pengukuran aliran gas dengan menggunakan transduser ultrasonik elektrostatik. Penelitian didasarkan pada transduser ultrasonik yang terdiri dari *transmitter* dan *receiver* yang dipasang saling bersilangan. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa pengukuran aliran gas dengan menggunakan transduser ultrasonik dipengaruhi oleh perubahan kecepatan aliran.

Gelombang ultrasonik adalah gelombang mekanik longitudinal dengan frekuensi diatas 20 kHz yang dapat merambat dalam medium padat, cair dan gas. Hal ini disebabkan karena gelombang ultrasonik merupakan rambatan energi dan momentum mekanik, sehingga merambat sebagai interaksi dengan molekul dan sifat enersia medium yang dilaluinya. Laju gelombang bunyi bergantung pada sifat medium. Laju gelombang bunyi dalam fluida seperti udara atau air diberikan oleh:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

Gelombang ultrasonik mempunyai sifat refraksi dan *refleksi* bila melalui suatu permukaan medium (hukum Snell). Bila gelombang suara melewati suatu medium ke medium lain akan terjadi perubahan panjang dan arah gelombang yang disebut refraksi (pembiasan). Perumusan matematis hukum Snellius adalah:

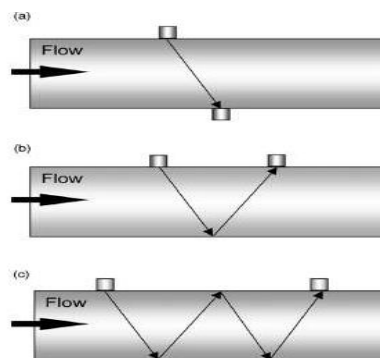
$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \frac{v_1}{v_2}$$



Gambar 2. Refraksi dan refleksi gelombang (Curry, 1984)

Konfigurasi pemasangan transduser yaitu:

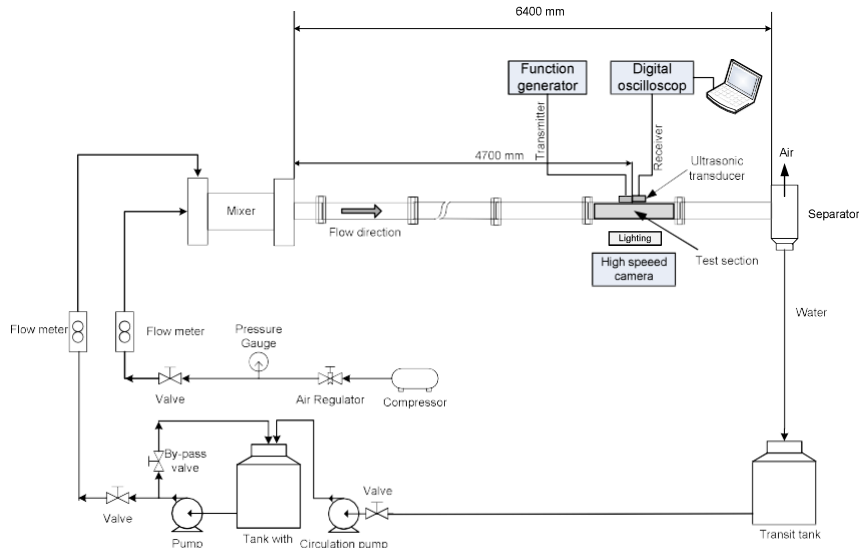
- Metode Z dimana *transmitter* menempel pada pipa secara berlawanan dengan *receiver* yang diletakkan pada bagian hilir aliran.
- Metode V dimana kedua transduser dipasang pada bagian sisi pipa yang sama.
- Metode W dimana kedua transduser dipasang pada bagian sisi pipa yang sama, tetapi jarak kedua transduser dua kali dari tipe V.



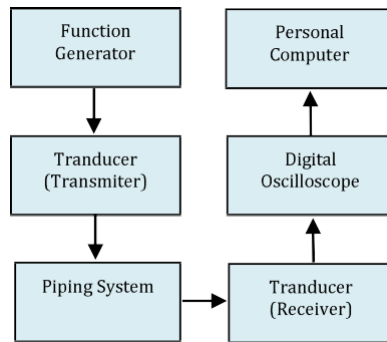
Gambar 3. Konfigurasi pemasangan transduser (Sanderson dkk., 2002)

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan fluida kerja air dan udara dengan parameter utama laju aliran air dan udara. Dimana air dan udara masuk melalui *mixer* dari pipa porous tembaga untuk mendapatkan campuran yang homogen antara air dan udara. Pipa yang digunakan dalam penelitian ini adalah pipa *acrylic* dengan diameter dalam 18 mm dan tebal 5 mm, dan transparan agar perilaku aliran dapat diamati. Diagram skematis peralatan dapat dilihat pada Gambar 4. Karakteristik aliran diamati dengan menggunakan kamera video kecepatan 240 fps, dan seksi uji dilengkapi dengan *correction box* yang terbuat dari lembaran *acrylic* transparan yang diisi dengan air untuk mengurangi distorsi visual, karena indeks bias *acrylic* lebih dekat dengan air dari pada udara. Skema rancangan sistem kerja alat ukur yang digunakan dalam pengukuran respon amplitudo pada pola aliran *slug* dengan perubahan temperatur menggunakan gelombang ultrasonic dapat dilihat pada Gambar 5. Laju aliran air dan udara masuk ke pipa diatur dengan menggunakan katup yang diukur oleh flow meter dengan nilai besaran sesuai dengan matriks tes. Aliran fluida kemudian mengalir menuju seksi uji, setelah aliran steady/ fully developed maka dilakukan pengambilan data.



Gambar 4. Skematik instalasi alat penelitian



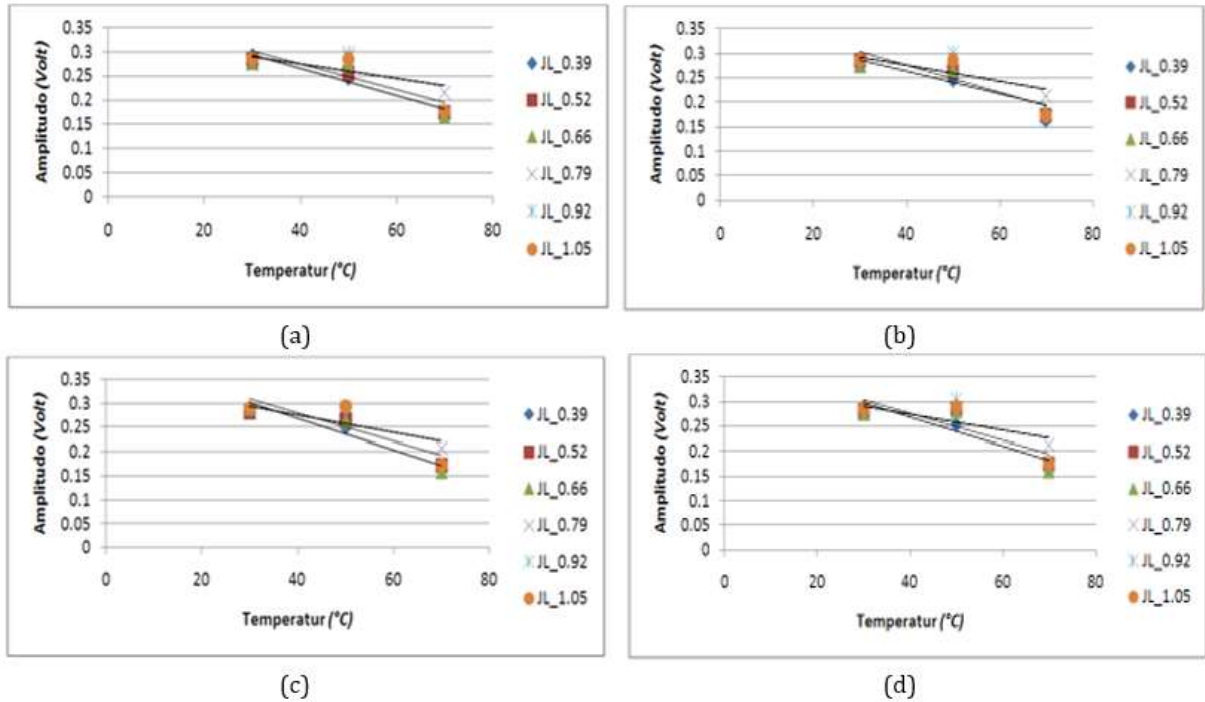
Gambar 5. Skema kerja alat ukur

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

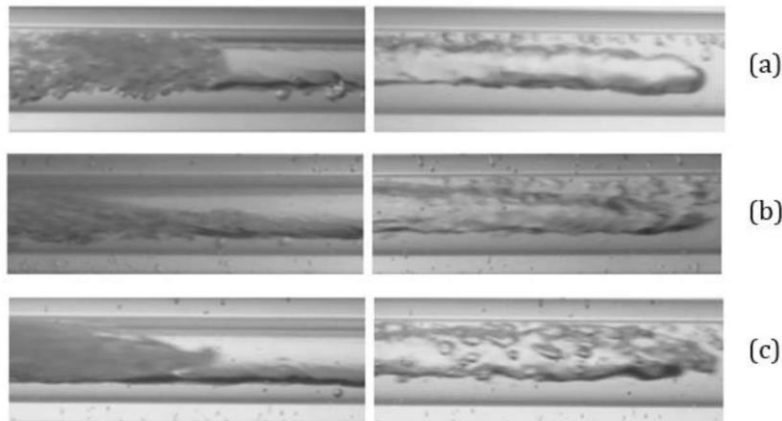
Data hasil pengaruh perubahan amplitudo terhadap perubahan temperatur ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 6.

Tabel 1. Nilai perubahan amplitudo

Temp. (°C)	J _G (m/s)	J _L (m/s)					
		0.39	0.52	0.66	0.79	0.92	1.05
Temp. Lingk. (±30)	1.31	0.292	0.284	0.276	0.276	0.280	0.284
	1.64	0.288	0.284	0.274	0.276	0.280	0.284
	1.97	0.288	0.280	0.288	0.280	0.284	0.288
	2.29	0.288	0.280	0.276	0.276	0.284	0.284
50	1.31	0.244	0.254	0.272	0.288	0.296	0.284
	1.64	0.244	0.262	0.266	0.288	0.300	0.284
	1.97	0.248	0.264	0.262	0.284	0.292	0.292
	2.29	0.252	0.284	0.280	0.284	0.304	0.288
70	1.31	0.170	0.174	0.164	0.216	0.174	0.176
	1.64	0.162	0.174	0.182	0.212	0.168	0.174
	1.97	0.172	0.172	0.158	0.208	0.170	0.172
	2.29	0.170	0.176	0.160	0.212	0.170	0.176



Gambar 6. Hasil perubahan amplitudo terhadap temperatur pada (a) $J_G = 1,31$ m/s, (b) $J_G = 1,64$ m/s, (c) $J_G = 1,97$ m/s, dan (d) $J_G = 2,29$ m/s.



Gambar 7. Visualisasi pola aliran slug pada J_L 0,79 m/s dan J_G 1,31 m/s pada temperatur (a) Lingkungan ($\pm 30^\circ\text{C}$), (b) 50°C , dan (c) 70°C .

Tabel 2. Amplitudo rata-rata pada J_L 0,79 m/s dan J_G 1,31 m/s untuk masing-masing temperatur

Temperatur ($^\circ\text{C}$)	J_G (m/s)	J_L (m/s)	
		Aplitudo rata-rata (volt)	
(± 30)	1.31	0.79	
50		0.288	
70		0.216	

a. Pengaruh Perubahan Temperatur Terhadap Amplitudo Gelombang Ultrasonik.

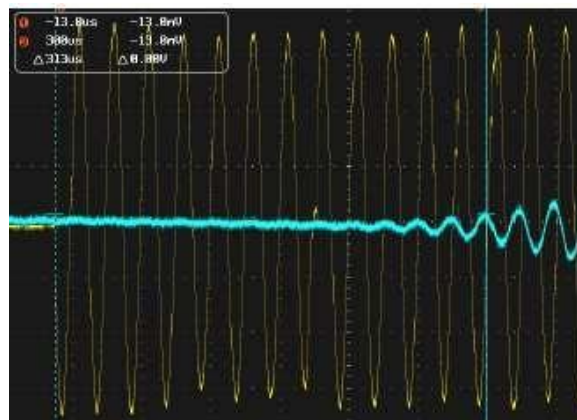
Amplitudo gelombang ultrasonik dihitung berdasarkan amplitudo yang terekam pada *oscilloscope* yang diambil selama 30 detik. Berdasarkan frame yang diambil pada data visualisasi.

Perubahan debit aliran dan temperatur akan mempengaruhi amplitudo gelombang ultrasonik. Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur menyebabkan rendahnya nilai amplitude rata-rata dari gelombang ultrasonik. Perubahan temperatur akan mempengaruhi kecepatan gelombang ultrasonik, semakin tinggi temperatur maka kecepatan gelombang ultrasonik semakin besar. Hal ini dikarenakan bahwa kecepatan gelombang ultrasonik merupakan fungsi dari densitas, sehingga semakin tinggi temperatur maka densitas fluida air dan udara akan turun, sehingga kecepatan gelombang ultrasonik semakin besar.

Hal ini juga dapat dilihat melalui persamaan pada intensitas gelombang (I), $I = \frac{1}{2} \rho v A^2 (2\pi f)^2 = \frac{1}{2} Z (A\omega)^2$, merupakan fungsi dari amplitudo gelombang (A), frekuensi (f), dan impedansi akustik (Z). Dimana impedansi akustik (Z) merupakan fungsi dari kecepatan gelombang ultrasonik. Sehingga semakin tinggi temperatur, semakin tinggi juga kecepatan gelombang ultrasonik, maka impedansi akustik (Z) juga semakin besar. Pada penelitian ini nilai frekuensi (f) gelombang ultrasonik yang dipancarkan konstan, sehingga intensitas gelombang (I) hanya merupakan fungsi dari impedansi akustik (Z) dan amplitudo gelombang (A). Karena intensitas gelombang (I) konstan, maka hubungan antara maka impedansi akustik (Z) dan amplitudo gelombang (A) berbanding terbalik.

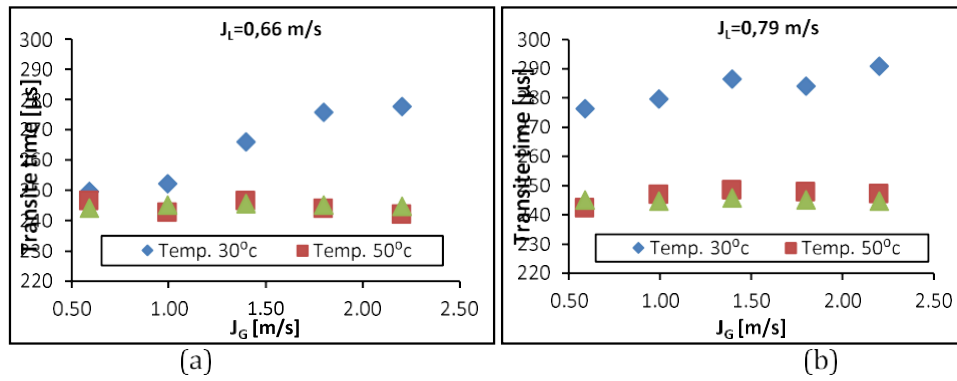
b. *Transit Time* Gelombang Ultrasonik

Transit time merupakan waktu yang diperlukan oleh receiver untuk menerima signal yang dikirim oleh transmitter. Gambar 8 menunjukkan perbedaan atau lamanya (*delay*) waktu yang dibutuhkan oleh amplitudo dari function generator ke oscilloscope yang melalui transduser. Pada Gambar 8, signal warna kuning merupakan signal dari function generator yang dihubungkan langsung ke *oscilloscope* dan signal warna biru merupakan signal dari *function generator* yang dihubungkan ke *oscilloscope* yang melalui transduser. Dimana waktu yang dibutuhkan untuk memberikan signal dari transmitter ke *receiver* dipengaruhi oleh jenis medium dan jarak yang dilaluinya.



Gambar 8. Penerimaan signal dari function generator ke *oscilloscope* yang melalui transduser.

Perubahan temperatur air dan udara mempengaruhi densitas fluida, densitas merupakan fungsi dari kecepatan gelombang ultrasonik. Pada Gambar 9, dapat dilihat hubungan antara perubahan temperatur terhadap waktu penerimaan signal dari transmitter ke receiver. Pada Gambar 9(a) dan 9(b) yaitu pada kecepatan superfisial air (J_1), 0,66 m/s, dan 0,79 m/s secara umum terlihat bahwa dengan penambahan temperatur pada kecepatan superfisial udara (J_2) yang tetap, nilai rata-rata *transit time* cenderung turun.



Gambar 9. Hubungan antara temperatur terhadap *transit time* pada (a) $J_L = 0,66$ m/s dan (d) $J_L = 0,79$ m/s.

Dengan meningkatnya temperatur memberi kecenderungan pada nilai transit time rata-rata menjadi lebih kecil, hal ini disebabkan karena kecepatan gelombang ultrasonik merambat lebih cepat seiring bertambahnya temperatur pada medium yang dilaluinya, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menangkap signal lebih singkat. Pada Gambar 9(b), terlihat adanya perbedaan yang signifikan untuk tren nilai transit time rata-ratanya yaitu untuk kecepatan superfisial air (J_L) 0,79 m/s pada temperatur 30°C dibandingkan dengan kecepatan superfisial air yang lainnya. Hal ini dapat terjadi karena dimungkinkan saat pengambilan nilai transit time pada sesi uji berada pada kondisi yang berbeda untuk aliran *slug* yang terjadi, yaitu saat *liquid slug* penuh atau liquid-gas slug. Dimana kecepatan gelombang ultrasonik akan lebih besar jika pada sesi uji terisi air penuh karena kecepatan suara gelombang ultrasonik di air lebih besar dari pada di udara. Semakin tinggi kecepatan suara gelombang ultrasonik maka perbedaan atau lamanya (*delay*) waktu yang dibutuhkan untuk memberikan signal dari *transmitter* ke *receiver* semakin rendah, dan begitu pula sebaliknya.

SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan temperatur aliran air yang mengalir dalam pipa acrylic dengan diameter dalam 18 mm pada aliran slug mengakibatkan terjadinya perubahan amplitudo. Semakin besar temperatur aliran air, amplitudo gelombang ultrasonik cenderung menurun. Dan amplitudo gelombang ultrasonik cenderung konstan dengan berubahnya debit aliran udara pada temperatur lingkungan ($\pm 30^\circ\text{C}$).

DAFTAR PUSTAKA

- Baker, O., 1954. Design of Pipelines for Simultaneous Flow of Oil and Gas, Oil and Gas J., July, pp.26
- Curry T.S, 1984, Introduction to the Physics of Diagnostic Radiology, Third Edition Lea & Febiger, Philadelphia USA
- Halliday, D., Resnick, R., Walker, J., 1997. Fundamentals of Physics Extended, Fifth Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York
- Ho, C.A. & Sommerfeld, M. Title. Journal, Vol. xx, xxxx-xxxx (2002)
- Lee, D. W., No, H. C., Song, C. H., 2005. Measurement of two-phase level using an ultrasonic method, Experimental Thermal and Fluid Science 29 609-614
- O'Sullivan, I.J., Wright, W.M.D., 2002. Ultrasonic measurement of gas flow using electrostatic transducers, Journal Ultrasonics 40 407-411
- Rahim, R.A., Rahiman, F.M.H., Chan, K.S., Nawawi, S.W., 2007. Non-invasive imaging of liquid/gas flow using ultrasonic transmission-mode tomography, Sensors and Actuators A 135 337-345
- Raišutis, R., 2006. Investigation of the flow velocity profile in a metering section of an invasive ultrasonic flowmeter, Journal Flow Measurement and Instrumentation 17 201-206
- Ryadi, I., 2009. Studi Eksperimen Pengukuran Aliran Dua Fasa Air-Udara Menggunakan Frekuensi Gelombang Tunggal 1000 Hz, Skripsi Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik UGM., Yogyakarta
- Sanderson, M.L., Yeung, H., 2002. Guidelines for the use of ultrasonic non-invasive metering techniques, Journal Flow Measurement and Instrumentation. 13 125-142 Sommerfeld, M. Title. Journal, Vol. xx, xxxx-xxxx (2001)