

# Pengukuran Aliran Udara Dalam Pipa Menggunakan Gelombang Ultrasonik Dengan Metoda Korelasi Silang

B. Suwandhika, D. Kurniadi dan A. Trisnobudi

Kelompok Keahlian Instrumentasi dan Kontrol

Fakultas Teknologi Industri - Institut Teknologi Bandung

Jl. Ganesha No. 10 Bandung 40132

## Abstrak

Flowmeter ultrasonik merupakan jenis flowmeter yang memanfaatkan gelombang ultrasonik dalam pengukurannya. Metoda yang umum digunakan adalah metoda waktu tempuh. Metoda ini memiliki prinsip pengukuran yang relatif mudah dibanding dengan metoda lainnya. Namun metoda ini kurang sesuai jika digunakan pada aliran fluida yang tidak laminar. Metoda korelasi silang dengan gelombang ultrasonik dapat digunakan untuk mengukur laju aliran fluida yang relatif bersih tetapi profil aliran yang tidak laminar.

Pada makalah ini dibahas suatu studi eksperimen metoda korelasi silang untuk mengukur kecepatan aliran udara dalam suatu pipa. Dari hasil pengukuran dengan metoda waktu tempuh diperoleh kecepatan rata-rata aliran yang berbeda dengan yang diperoleh pada metoda korelasi silang. Hasil pengukuran metoda korelasi silang menunjukkan standar deviasi dan presisi yang relatif tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa metoda korelasi silang memberikan hasil yang lebih baik pada kondisi aliran tidak laminar seperti aliran udara dalam pipa.

*Keywords : gelombang ultrasonik, metoda korelasi silang, waktu tunda, demodulasi, aliran turbulen*

## 1 Pendahuluan

Penggunaan gelombang ultrasonik untuk pengukuran aliran fluida dalam pipa telah berkembang pesat dalam berbagai aplikasi. Pengukuran dengan gelombang ultrasonik memiliki beberapa keunggulan antara lain pengukuran yang bersifat non-intrusif dan tidak merusak distribusi profil aliran, tidak menyebabkan penurunan tekanan, dan instalasi yang relatif lebih mudah.

Dewasa ini metoda yang paling umum digunakan dalam pengukuran kecepatan aliran fluida dengan menggunakan gelombang ultrasonik adalah metoda waktu tempuh. Metoda ini dapat memberikan hasil pengukuran dengan akurasi yang tinggi tetapi sangat ketat membutuhkan kondisi aliran fluida yang laminar dan harus bebas dari kandungan partikel. Selain itu juga terdapat metoda Doppler, yang digunakan untuk pengukuran aliran yang mengandung partikel padatan. Partikel tersebut berfungsi memberikan gelombang refleksi untuk memperhitungkan efek Doppler yang terjadi. Persoalan muncul ketika aliran fluida yang diukur seperti udara yaitu tidak mengandung padatan dan mengalir dalam kondisi yang mengalami turbulensi.

Pengukuran aliran udara dalam pipa terdapat pada berbagai aplikasi antara lain seperti pada sistem penyedia udara untuk keperluan suatu proses di industri, sistem tata udara di suatu bangunan. Sebagai contoh pada sistem tata udara, informasi laju aliran udara diperlukan untuk pemantauan dan pengendalian proses pengkondisian udara di suatu tempat atau ruang. Aliran udara dalam pipa, dimana viskositas yang relatif rendah dan kecepatan yang relatif tinggi, sangat sulit dikondisikan untuk menjadi aliran yang berkembang penuh (*fully developed flow*) atau laminar. Salah satu cara untuk mengatasi persoalan pada pengukuran aliran udara dalam pipa adalah menggunakan gelombang

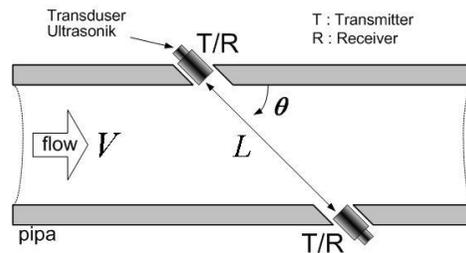
ultrasonik dengan metoda korelasi silang [1][3]. Metoda ini merupakan suatu alternatif yang menjanjikan sistem pengukuran yang relatif murah dan sederhana.

Pada makalah ini dibahas penggunaan metoda korelasi silang untuk pengukuran aliran udara dengan gelombang ultrasonik. Metoda ini, secara umum menggunakan prinsip perhitungan korelasi silang dua sinyal pengukuran untuk mendapatkan kecepatan aliran rata-rata dalam pipa. Keunggulan metoda ini antara lain yaitu dapat memberikan hasil pengukuran yang relatif baik pada aliran fluida yang sering mengalami turbulensi. Pada studi ini telah dilakukan suatu eksperimen pengukuran aliran udara dalam pipa dan menghitung kecepatan rata-rata aliran udara tersebut. Perhitungan kecepatan aliran rata-rata dilakukan melalui penerapan teknik pengolahan sinyal pada metoda korelasi silang. Untuk perbandingan dilakukan juga percobaan pengukuran aliran udara dalam pipa menggunakan metoda waktu tempuh.

## 2 Teori Dasar [1][3][4]

Gelombang ultrasonik adalah gelombang akustik yang dihasilkan pada frekuensi di atas ambang batas pendengaran manusia dan umumnya memiliki frekuensi diatas 20 kHz. Gelombang ultrasonik dihasilkan oleh suatu transduser ultrasonik dan merambat dengan membentuk medan dekat dan medan jauh. Pada medan dekat gelombang akustik yang dipancarkan merupakan gelombang datar yaitu bergerak hanya ke satu arah saja. Sedangkan pada medan jauh atau zona Franhoufer, gelombang ultrasonik menyebar seperti gelombang bola.

Prinsip dasar flowmeter ultrasonik, khususnya flowmeter ultrasonik waktu tempuh ditunjukkan pada . berikut. Flowmeter ini mengukur waktu tempuh gelombang ultrasonik pada arah ke hulu dan pada arah ke hilir. Selanjutnya perbedaan waktu tempuh tersebut digunakan untuk menghitung kecepatan aliran fluida.



**Gambar 1 Flowmeter ultrasonik waktu tempuh**

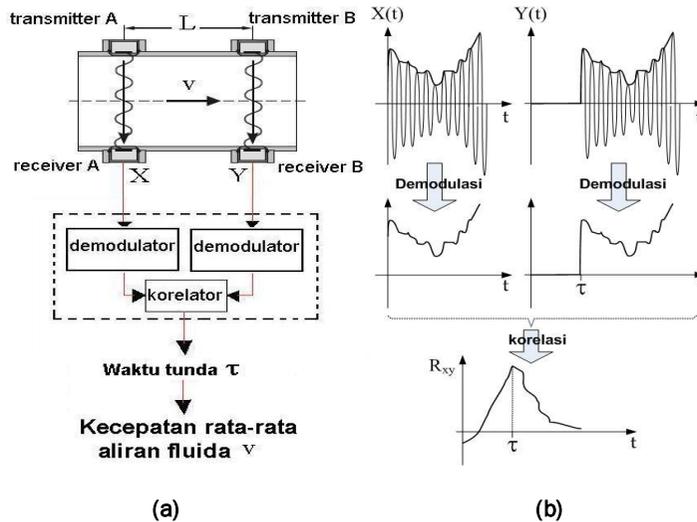
Jika waktu tempuh dalam arah ke hilir dinyatakan  $T_1$  dan dalam arah ke hulu adalah  $T_2$ , maka kecepatan aliran  $V$  dapat ditentukan dengan persamaan berikut,

$$V = \frac{L}{2\cos\theta} \left( \frac{T_2 - T_1}{T_2 T_1} \right) \quad (1)$$

Kecepatan  $V$  pada persamaan (1) merupakan kecepatan rata-rata aliran fluida.

Metoda lain yang digunakan pada flowmeter ultrasonik adalah metoda korelasi silang. Pada flowmeter ini dilakukan korelasi dua sinyal yang diperoleh dalam pengukuran. Konfigurasi flowmeter ultrasonik dengan metoda korelasi silang ditunjukkan pada Gambar 2.

Pada flowmeter ultrasonik ini, kedua transduser pengirim yang berjarak  $L$  mengirimkan gelombang ultrasonik dan merambat melalui aliran fluida yang diukur untuk kemudian diterima di kedua transduser penerima. Karena sinyal yang dibangkitkan oleh transduser pengirim adalah sinyal periodik, maka kedua sinyal yang diterima oleh transduser penerima juga merupakan sinyal periodik. Untuk itu perlu dilakukan demodulasi sebelum dilakukan operasi korelasi pada korelator.



Gambar 2 Flowmeter ultrasonik dengan metoda korelasi silang : (a) diagram (b) sinyal

Besaran yang dihitung pada korelator adalah waktu tunda antara sinyal yang diterima oleh transduser penerima pada posisi hulu (*upstream*) dengan sinyal yang diterima oleh transduser penerima pada posisi hilir (*downstream*). Waktu tunda ini digunakan untuk menghitung kecepatan aliran rata-rata yaitu dengan membagi antara jarak transduser hulu dan hilir dengan waktu tunda. Persamaan yang digunakan untuk menghitung aliran dengan waktu tunda adalah :

$$R_{xy} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t - \tau)y(t)dt \tag{2}$$

Jika

$$R_{xy}(\tau) = R_{xy,max} \tag{3}$$

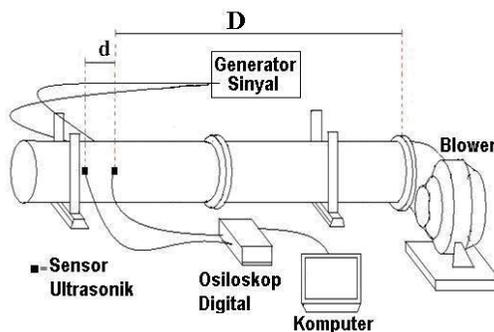
maka,

$$v = \frac{L}{\tau} \tag{4}$$

dimana  $R_{xy}$  adalah fungsi korelasi silang sinyal  $x(t)$  dan  $y(t)$ , sedangkan  $\tau$  adalah waktu tunda yang terjadi pada sinyal  $x(t)$  terhadap sinyal  $y(t)$  yaitu saat  $R_{xy}$  mencapai nilai maksimum.  $x(t)$  dan  $y(t)$  adalah sinyal pada transduser penerima di posisi hilir dan hulu.

### 3 Eksperimen

Pada studi ini, disusun suatu perangkat eksperimen sebagai pendekatan pada suatu flowmeter ultrasonik korelasi silang untuk aliran udara dalam pipa. Perangkat utama yang digunakan pada eksperimen ini terdiri dari generator sinyal dengan frekuensi kerja 200 kHz, transduser ultrasonik sebanyak 4 buah yaitu 2 buah sebagai transduser pengirim dan 2 buah sebagai transduser penerima. Transduser-transduser ini berbentuk silinder dengan diameter 16 mm dengan frekuensi kerja optimum pada 200 kHz. Pipa yang digunakan terbuat dari bahan PVC dengan panjang total 330 cm dan diameter 10,16 cm. Pada perangkat eksperimen ini, transduser ultrasonik diletakkan tertanam di dalam dinding pipa (*wetted type transducer*) dan untuk menghindari penerimaan dua gelombang pada satu transduser penerima, maka jarak antar transduser diatur sebesar 20 cm. Perangkat pengolah sinyal terdiri atas osiloskop digital dan komputer.



Gambar 3 Perangkat eksperimen

**D** : Jarak Sumber Udara ke sensor

**d** : Jarak antar sensor

Eksperimen dilakukan seperti diagram blok pada Gambar 3. Sinyal dengan frekuensi 200 kHz dihasilkan melalui generator sinyal dan dikirim melalui transduser pengirim, kemudian sinyal diterima oleh transduser penerima. Sinyal yang diterima oleh masing-masing transduser penerima memiliki kesamaan pola sinyal yang disebabkan oleh turbulensi dalam aliran. Namun terdapat keterlambatan antara pola sinyal pertama dan pola sinyal kedua.

Sinyal-sinyal tersebut diakusisi dengan waktu cacah 1 mikrodetik. Selanjutnya ditampilkan pada osiloskop digital dan dikirim ke komputer untuk kemudian didemodulasi. Demodulasi dilakukan karena sinyal yang diterima bersifat periodik kontinu, sehingga sulit untuk melihat karakteristik pola sinyal yang diakibatkan oleh turbulensi. Setelah didemodulasi selanjutnya kedua sinyal tersebut dikorelasikan.

Data eksperimen diperoleh untuk 4 (empat) kali pengambilan data yaitu pada jarak sumber udara ke sensor sebesar 80 cm dan 280 cm dengan dua macam waktu cacah yaitu 5 mikrodetik dan 50 mikrodetik. Dari kedua data tersebut dihitung kecepatan rata-rata aliran udara. Selain itu untuk mengetahui kondisi profil aliran juga dihitung bilangan Reynold aliran fluida yang diukur.

#### 4 Hasil dan Analisis

Untuk perbandingan telah dilakukan pengukuran aliran udara dalam pipa dengan metoda waktu tempuh. Dari pengukuran dengan menggunakan metoda waktu tempuh diperoleh kecepatan aliran rata-rata sebesar 5,26 m/detik. Sedangkan untuk data hasil pengukuran dengan menggunakan metoda korelasi silang untuk setiap eksperimen dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 1 Pengukuran 1 ( $d = 0,2$  m ;  $D = 0,8$  m ;  $t_s = 5$  mikrodetik)**

$\tau$ (detik)	V (m/detik)
0,03228	6,19675
0,03226	6,19963
0,03229	6,19483
0,03227	6,19867
0,03229	6,19483
0,03226	6,19963
0,03235	6,18238
0,03221	6,21022
Vrata-rata = 6,197 m/detik	
Stándar deviasi = 0,0077	
Presisi = 0,37 %	

**Tabel 2 Pengukuran 2 ( $d = 0,2$  m ;  $D = 2,8$  m ;  $t_s = 5$  mikrodetik)**

$\tau$ (detik)	V (m/detik)
0,03226	6.19963
0,03226	6.19963
0,03226	6.19963
0,03226	6.19963
0,03226	6.19963
0,03239	6.17570
0,03226	6.19963
0,03226	6.19963
Vrata-rata = 6,196 m/detik	
Stándar deviasi = 0,0085	
Presisi = 0,42 %	

**Tabel 3 Pengukuran 3 (d = 0,2 m ; D = 0,8 m ; t<sub>s</sub> = 50 mikrodetik)**

$\tau$ (detik)	V (m/detik)
0,03228	6,19675
0,03226	6,19963
0,03219	6,21311
0,03227	6,19867
0,03229	6,19483
0,03226	6,19963
0,03235	6,18238
0,03221	6,21022
Vrata-rata = 6,199 m/detik	
Stándar deviasi = 0,0094	
Presisi = 0,46 %	

**Tabel 4 Pengukuran 4 (d = 0,2 m ; D = 2,8 m ; t<sub>s</sub> = 50 mikrodetik)**

$\tau$ (detik)	V (m/detik)
0,0323	6,19195
0,0323	6,19195
0,0323	6,20155
0,0323	6,19195
0,0323	6,19195
0,0323	6,19195
0,0323	6,19195
0,0323	6,20155
Vrata-rata = 6,194 m/detik	
Stándar deviasi = 0,0044	
Presisi = 0,22 %	

Hasil pengukuran pada tabel di atas menunjukkan bahwa presisi tertinggi diperoleh sebesar 0,22% dan terendah sebesar 0,46%. harga kecepatan aliran rata-rata untuk tingkat kepercayaan tertinggi yaitu untuk pengukuran 1 berada pada rentang 6,1739 m/detik hingga 6,2201 m/detik. Pada pengukuran 2 berada dalam rentang 6,1705 m/s hingga 6,2215 m/detik. Kemudian pengukuran 3 berada dalam rentang 6,1708 m/detik hingga 6,2272 m/detik. Terakhir pada pengukuran 4 berada pada rentang 6,1808 m/detik hingga 6,2072 m/detik.

Dapat disimpulkan bahwa hasil pengukuran menunjukkan kepresisian dan *repeatability* yang relatif baik untuk kecepatan aliran udara (V) rata-rata sebesar 6 m/detik pada eksperimen ini, maka diperoleh bilangan reynold sebesar 39064. Dapat dikatakan bahwa aliran udara yang diukur adalah aliran tidak laminar. Dapat disimpulkan bahwa hal ini

menyebabkan terjadinya perbedaan hasil pengukuran antara metoda waktu tempuh dan metoda korelasi silang, dan metoda korelasi lebih superior terhadap metoda waktu tempuh untuk kondisi aliran tersebut.

## 5 Kesimpulan

Melalui eksperimen yang telah dilakukan dapat ditunjukkan bahwa metoda korelasi silang dapat digunakan pada pengukuran aliran udara dalam pipa yang mengalami turbulen dengan hasil yang relatif baik ditinjau dari standar deviasi dan presisi yang dihasilkan. Perbedaan hasil pengukuran yang diperoleh antara metoda waktu tempuh dan korelasi silang, disebabkan metoda waktu tempuh membutuhkan kondisi aliran yang laminar sehingga pada eksperimen dimana terjadi kondisi turbulen, maka akurasi pengukuran metoda waktu tempuh menurun. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa metoda korelasi silang memberikan hasil yang lebih baik.

## 6 Daftar Pustaka

- [1] Merzkirch, Wolfgang; Klaus Gersten; Ernst von Lavante; and Volker Hans. *"Fluid Mechanics of Flow Metering"*. Germany : Springer
- [2] Gurevich, Yuri; Armando Lopez; Vahid Askari; Vahid Safavi-Ardibili; and David Zobin, *"Performance Evaluation and Field Application of Clamp-On Ultrasonic Cross-Correlation Flowmeter, CROSSFLOW™"*. Ontario Power Generation
- [3] Hans, Volker. *"Ultrasonic Gas-Flow Measurement Using Correlation Method"*, Germany : Universitat Duisburg-Essen
- [4] Lysak, Peter D; David M. Jenkins; Dean E. Capone; William L. Brown. *"Analytical Model of an Ultrasonic Cross-Correlation Flowmeter, Part I : Stochastic Modelling of Turbulence"*, United States : Pennsylvania State University