

Penempatan Posisi Transduser Ultrasonik Pada Penampang Pipa untuk Pengukuran Laju Aliran Fluida

Lalu Febrian Wiranata*¹, I Wayan Raka Ardana²

^{1,2}Prodi Teknik Otomasi, Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bali, Indonesia

e-mail: *¹rian.nata@pnb.ac.id, ²rakawyn@pnb.ac.id

Abstrak

Pengukuran laju aliran fluida sangatlah penting dalam dunia industri, terlebih lagi pada proses penentuan laju aliran fluida. Dimana, proses ini membutuhkan tingkat presisi dan akurasi yang baik, karena merujuk pada proses custody transfer atau harga dari setiap volumetrik aliran fluida. Ada banyak perangkat yang digunakan untuk mengukur laju aliran fluida, namun dari beberapa perangkat, ultrasonik flowmeter dianggap memiliki keunggulan lebih dibanding yang lain. Ultrasonik flowmeter juga memiliki beberapa masalah, terutama pada pemasangan transduser pada penampang pipa. Sehingga fokus penelitian ini adalah mensimulasikan posisi peletakan transduser pada penampang guna menguji bentuk konfigurasi lintasan.

Metode penyelesaiannya merujuk pada proses pembobotan konfigurasi multi-lintasan, serta simulasi kinerja lintasan, yang meliputi faktor hidrodinamik (H), faktor sensitifitas orientasi (S) dan faktor rentang orientasi (T). Dimana, setiap pola lintasan dirotasi 1° di tiap sudut. Selain itu, terdapat juga fungsi parameter yang digunakan untuk mencitrakan bentuk profil lintasan. Pengujiannya menggunakan 7 jenis konfigurasi lintasan, sehingga didapatkan bentuk ideal untuk diimplementasikan. Hasil yang diperoleh setelah dilakukan perakalian faktor pembobot, didapatkan nilai faktor hidrodinamik (H) untuk metode pembobotan Area (1,002), nilai terbaik 1. Faktor sensitifitas orientasi (S), dengan metode pembobotan Area (0,019), dimana hasil terbaik yaitu 0. Sedangkan faktor rentang orientasi (T) 1%, dengan metode pembobotan Area (163,2), nilai terbaik 180.

Kata kunci — Multi-lintasan Ultrasonik, Laju Aliran Fluida, Matlab, Posisi Penempatan Transduser Ultrasonic.

Abstract

Fluid flow rate measurement is important in industries, especially determining fluid flow rate. This process requires a good level of precision and accuracy because it refers to each volumetric's price or custody transfer processor. Many devices are used to measure flow rates, but from some devices, ultrasonic flowmeters are considered, which have more advantages than others. Ultrasonic flowmeters also have some problems, especially in installation, so this research aims to simulate the position of path configuration.

The method refers to the weighting process of multi-path configuration and the simulation of track performance, which includes three-factor, hydrodynamic (H), orientation sensitivity (S) and orientation range (T). Each trajectory pattern is rotated 1° at each angle. In addition, there are also parameter functions that are used to image the profile. The test uses 7 path configurations, so an ideal form is obtained to be implemented. After multiplying weighting factors, the obtained value of hydrodynamic (H) for Area weighting method (1.002), the best value 1. Orientation sensitivity (S), with Area weighting method (0.019), the best result is 0. Meanwhile, with orientation range (T) 1%, with Area weighting method (163,2), the best value is 180.

Keywords— Multipath Ultrasonic, Flow Fluid, Matlab, Ultrasonic Transducer Position.

1. PENDAHULUAN

Proses pengukuran laju aliran fluida pada penampang pipa masih sangat dibutuhkan dalam dunia industri. Untuk mengukur laju aliran fluida ada banyak perangkat yang digunakan seperti *Plat orifice*, *turbine flowmeter* dan flowmeter ultrasonik. Dari beberapa perangkat tersebut, ultrasonik flowmeter yang dianggap memiliki keunggulan lebih dibandingkan dengan perangkat yang lain. Keunggulannya seperti, tidak mengakibatkan terjadinya penurunan tekanan, murah biaya perawatan, cocok untuk pipa berdiameter besar, serta memiliki *high turndown ratio* yang baik. Sehingga pada penelitian ini, coba digunakan ultrasonik flowmeter untuk mengukur laju aliran fluida. Namun, ultrasonik flowmeter juga memiliki beberapa masalah, salah satunya yaitu, penempatan posisi transduser pada penampang pipa. Proses penempapan posisi transduser ini juga diperlukan untuk mengurangi tingkat kesalahan pada pemasangan dan penempatan, yang dapat mengakibatkan proses pengukuran laju aliran menjadi sangat terganggu. Sehingga, proses pengukuran volume dari kapasitas fluida yang berada pada suatu pipa menjadi kurang baik tingkat presisi dan akurasi, dan tentu mempengaruhi proses *custody transfer* atau harga per volumetrik [1]–[3]. Maka sebelum dilakukan pemasangan transduser diperlukan suatu metode guna mengurangi tingkat kesalahan pada pemasangan transduser, sehingga dapat menghemat tenaga dan biaya yang dibutuhkan. Hal inilah yang menjadi salah satu motivasi dan fokus dalam melakukan penelitian ini.

Untuk mengukur laju aliran fluida, disarankan menggunakan metode waktu tempuh, karena metode ini sangat cocok digunakan untuk mengukur aliran yang memiliki profil tunggal, dan sangat cocok untuk proses *custody transfer*. Untuk peletakan transduser ultrasonik pada penampang pipa disarankan menggunakan metode tipe tanam, dimana transduser bersentuhan langsung dengan fluida tanpa adanya penghalang, sehingga pengiriman gelombang ultrasonik menjadi lebih akurat. Untuk konfigurasi lintasan dicoba menggunakan 4 metode pembobotan yang diklaim memiliki akurasi dan presisi yang baik, yaitu menggunakan metode Gaussian, metode Tycherbychev, metode Tailored dan metode Area. Untuk menguji kinerja dari masing – masing lintasan yang dilalui oleh fluida. Baik dari bentuk konfigurasi lintasan dan model pemasangan transduser pada pipa, dicoba menggunakan simulasi parameter lintasan, yang mencakup 3 bentuk pengujian. Yaitu dengan mencari nilai faktor hidrodinamik (H), faktor sensitifitas orientasi (S), dan faktor rentang orientasi (T). Dimana, parameter lintasan menguji bentuk konfigurasi yang baik, ketika fluida melewati penampang pipa, sehingga dapat menghemat waktu dan biaya [1]–[6].

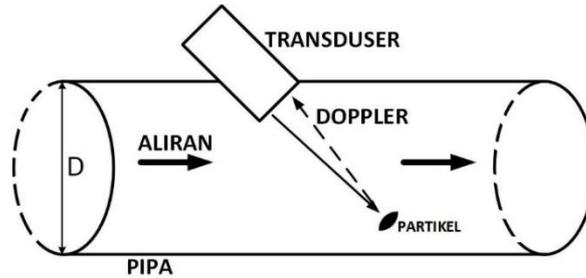
Hasil yang diperoleh dibagi menjadi beberapa bagian, pertama hasil berupa profil lintasan yang nilai parameternya bersumber dari Tabel 2, dan berkaitan dengan bentuk atau pola sebaran laju aliran fluida pada penampang pipa yang disebut dengan satu puncak, dua puncak hingga bentuk profil kompleks. Kedua terdapat hasil simulasi berupa bentuk konfigurasi lintasan yang dirotasi atau diputar sebanyak 180^0 , bertujuan untuk mencari nilai faktor hidrodinamik (H), faktor sensitifitas orientasi (S), dan faktor rentang orientasi (T). Hasil yang diperoleh dari konfigurasi lintasan dapat sangat membantu menilai kinerja dari konfigurasi, yang digunakan dalam pengukuran laju aliran fluida. Selanjutnya, hasil uji yang didapatkan dapat diimplementasikan untuk pemasangan konfigurasi pada penampang pipa.

2. METODE PENELITIAN

Bagian ini menguraikan tentang prinsip kerja dari *flowmeter* ultrasonik secara konvensional, yang mencakup prinsip dasar dari penentuan aliran kecepatan fluida yang melewati suatu penampang pipa. Selain itu, diuraikan juga prinsip kerja multi-lintasan yang menjadi analisa utama dalam tulisan ini. Serta penjelasan terkait simulasi dari konfigurasi yang digunakan sehingga memudahkan dalam memasang transduser ultrasonik dalam aplikasinya.

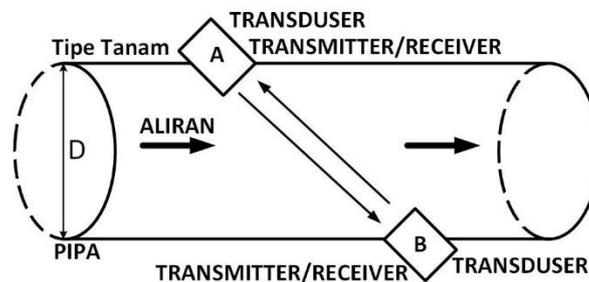
2.1 Ultrasonik Flowmeter

Terdapat beberapa cara pengukuran menggunakan *flowmeter* ultrasonik, diantaranya yang cukup terkenal yaitu dengan metode Doppler dan waktu tempuh (*time of flight*). Metode Doppler sendiri didapatkan dari pantulan partikel, sehingga diperoleh laju aliran fluida. Namun metode Doppler sendiri sangat tidak cocok untuk proses *custody transfer*, karena dalam proses *custody transfer* membutuhkan *single phase* dalam pertukarannya. Berikut Gambar 1, menampilkan karakteristik dari metode Doppler [6].



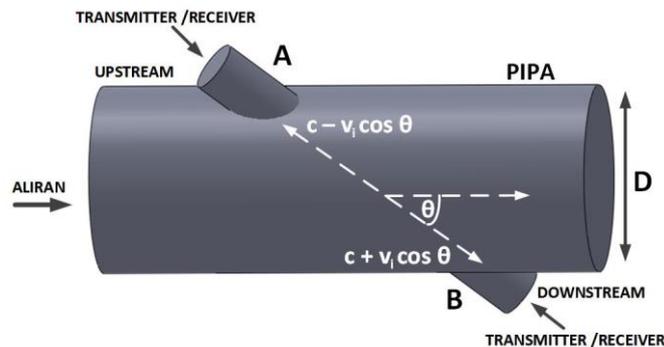
Gambar 1. Metode Doppler

Untuk tipe pemasangan transduser sendiri dipilih metode tipe tanam karena metode ini transduser dapat bersentuhan langsung dengan fluida yang diukur. Metode waktu tempuh, metode inilah yang paling cocok untuk proses *custody transfer* [4], karena metode ini membutuhkan aliran *phase* tunggal yang harus bersih atau hanya memiliki 1 jenis fluida didalamnya. Metode waktu tempuh sendiri bekerja dengan cara memanfaatkan jeda waktu antara *upstream* dan *downstream*. Terlihat pada Gambar 2, dimana sinyal dari transduser A dikirim (transmitter) dan diterima transduser B (*receiver*), begitu sebaliknya.



Gambar 2. Metode Waktu Tempuh Ultrasonik *Flowmeter*

Untuk perhitungan metode waktu tempuh diperoleh dengan memanfaatkan waktu tempuh gelombang ultrasonik T_{AB} ke T_{BA} yang dilalui fluida. Dimana T_{AB} memiliki arah laju aliran yang searah dengan gelombang ultrasonik dan T_{BA} memiliki arah laju aliran yang berlawanan dengan laju aliran. Perbedaan ini dituliskan pada persamaan (1) dan persamaan (2).



Gambar 3. Konsep Waktu Tempuh

Waktu tempuh pada posisi t_{down} (*downstream* T_{AB}) dituliskan pada persamaan (1).

$$t_{\text{down}} = \frac{D}{c - V \cos \theta} \quad (1)$$

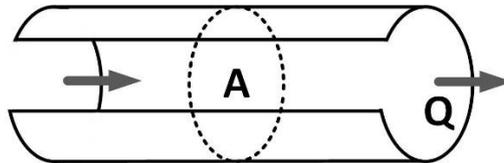
Untuk menghitung waktu tempuh pada posisi t_{up} (*upstream* T_{BA}) digunakan persamaan (2).

$$t_{\text{up}} = \frac{D}{c + V \cos \theta} \quad (2)$$

Dengan melakukan modifikasi matematika (1) dan (2), maka diperoleh laju aliran rata-rata pada penampang pipa v_i [1], [3], [7], [8].

$$v_i = \frac{D}{2 \cos \theta} \left(\frac{1}{t_{\text{up}}} - \frac{1}{t_{\text{down}}} \right) \quad (3)$$

Untuk mencari volume dari debit aliran pada penampang pipa digunakan persamaan (4), yang merujuk pada Gambar 4.



Gambar 4. Debit Aliran Fluida

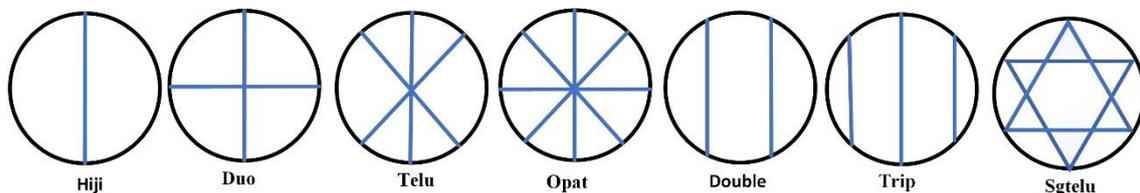
Untuk menghitung debit aliran fluida (Q), dapat menggunakan persamaan (4).

$$Q = V \times A \quad (4)$$

Dimana, Q merupakan debit aliran (m^3/s), V adalah laju aliran fluida dalam pipa (m/s), dan A merupakan Area penampang pada pipa (m^2).

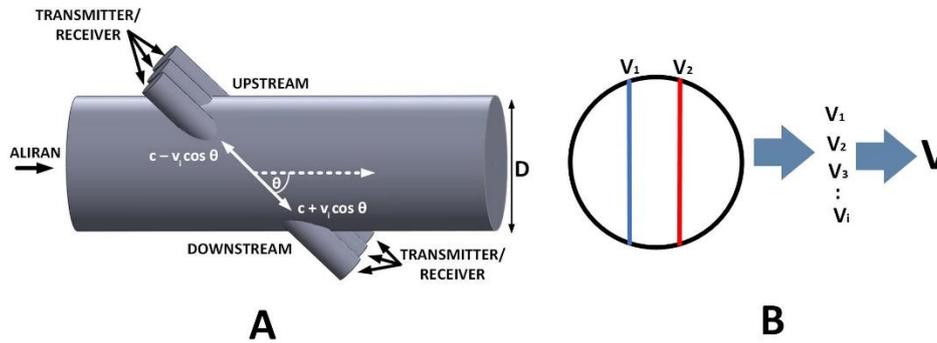
2. 2 Konfigurasi Multi-Lintasan Transduser Ultrasonik

Gambar 5 menunjukkan beberapa bentuk konfigurasi multi-lintasan yang diperoleh pada penelitian sebelumnya [3]. Dari beberapa bentuk konfigurasi nantinya coba diuraikan bentuk yang paling cocok digunakan atau direkomendasikan untuk memudahkan sistem pemasangan.



Gambar 5. Bentuk Konfigurasi Multi-Lintasan

Gambar 6, menjelaskan tentang konfigurasi lintasan multi-lintasan transduser ultrasonik pada penampang pipa dengan tipe pemasangan lebih dari satu lintasan guna memberikan nilai pembobotan pada setiap lintasan (*path*). Untuk mendapatkan laju aliran dalam pipa, pada masing – masing lintasan (*path*) maka setiap kecepatan fluida yang didapatkan pada persamaan (3) harus dikalikan dengan faktor pembobot, yang dituliskan pada persamaan (5).



Gambar 6. (A) Pemasangan Ultrasonik transduser, (B) Arah Lintasan Posisi Melintang

Berikut persamaan (5) yang digunakan untuk mengukur laju aliran pada lintasan multi-path. Dimana, w_i adalah faktor pembobot yang didapatkan pada Tabel 1, dan v_i adalah laju aliran pada masing-masing penampang pipa (m/s), dan V adalah laju aliran rata-rata (m/s).[3], [9], [10]

$$V = \sum_{i=1}^n w_i v_i \tag{5}$$

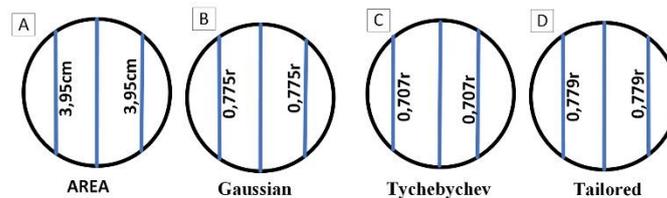
2. 3 Faktor Pembobot Multi-Lintasan Transduser Ultrasonik

Tabel 1 merupakan nilai dari pembobotan dan absis didapatkan dari [3], dimana nilai pembobotan akan dikalikan dengan laju aliran pada penampang pipa persamaan (5), sedangkan nilai absis dijadikan faktor pengali untuk meletakkan posisi transduser pada pipa. Sebagai contoh permasalahan disajikan pada Gambar 7, dengan r merupakan jari-jari dari pipa (contoh diameter pipa 10.16 cm).

Tabel 1. Faktor Pembobotan Lintasan

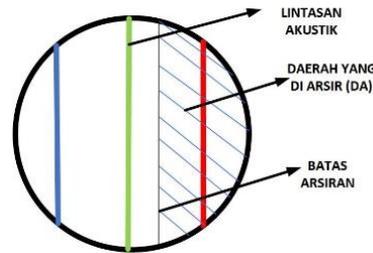
Type Konfigurasi	Jumlah Lintasan	Pembobotan	Absis
Gaussian	3	0,888	0
		0,555	0,775
Tychebychev	3	0,785	0
		0,555	0,707
Tailored	3	0,930	0
		0,503	0,779
Area	3	0,402	0
		0,299	0,779

Khusus untuk faktor pembobotan pada metode Area didapatkan dari persamaan (7), dengan nilai absis diperoleh dari nilai Tychebychev, yang merupakan nilai terbaik [3].



Gambar 7. Peletakan Posisi Transduser berdasarkan Nilai Absis

Gambar 8, menjelaskan tentang proses untuk mendapatkan nilai pembobotan pada metode Area. Diperoleh dengan membagi daerah yang di arsir (DA) dengan Area lingkaran atau Area penampang pada pipa.



Gambar 8. Metode Area

Berikut persamaan (6) menjelaskan tentang nilai pembobotan w_i yang diperoleh dengan pembagian daerah yang diarsir (DA) dengan Area lingkaran atau Area penampang pipa.

$$w_i = \frac{\text{Daerah Yang Diarsir (DA)}}{\text{Luas Lingkaran}} \quad (6)$$

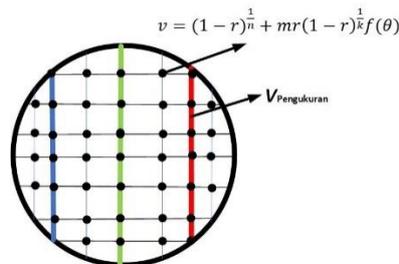
2.4 Simulasi Parameter Lintasan

Simulasi ini bertujuan untuk menilai bentuk konfigurasi lintasan akustik yang baik sehingga memiliki tingkat presisi dan akurasi yang baik. Untuk parameter utamanya, dibagi menjadi tiga faktor yakni, hidrodinamik (H), faktor sensitifitas orientasi (S) dan faktor rentang orientasi (T) [3].

2.4.1 Faktor Hidrodinamik (H)

Faktor hidrodinamik (H) didapatkan dari perbandingan laju aliran rata-rata referensi (V_{ref}) terhadap laju aliran rata-rata yang diukur disepanjang lintasan ($V_{pengukuran}$) yang ditulis pada persamaan (7). Dimana, V_{ref} merupakan garis berwarna yang melintasi pipa, sedangkan $V_{pengukuran}$ merupakan titik-titik laju aliran fluida yang tersebar diseluruh penampang pipa. Berikut Gambar 9, menunjukkan titik-titik disepanjang lintasan pada penampang pipa, serta gambar $V_{pengukuran}$ yang ditunjukkan sebagai garis berwarna.

$$H = \frac{V_{ref}}{V_{Pengukuran}} \quad (7)$$



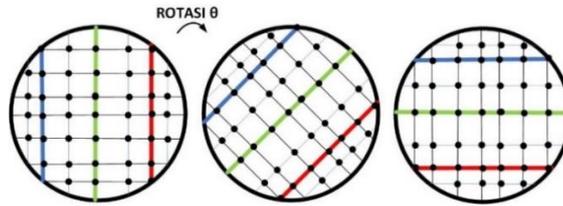
Gambar 9. Titik Pengukuran Pada Lintasan

Untuk mengukur laju aliran fluida dapat menggunakan persamaan (8).

$$v = (1-r)^{\frac{1}{n}} + mr(1-r)^{\frac{1}{k}}f(\theta) \quad (8)$$

Dimana, v merupakan laju pada titik-titik yang telah dinormalisasi, $f(\theta)$ adalah fungsi persamaan aliran. k, m, n merupakan nilai konstanta dari profil aliran yang didapatkan dari Tabel 2, dan r merupakan jari – jari penampang pipa. Gambar 10 menjelaskan tentang proses perputaran penampang pipa untuk mendapatkan laju aliran ketika penampang pipa diputar sebanyak θ . Untuk perputaran sudut dalam penelitian ini dilakukan setiap 1° , sehingga penampang lintasan berotasi sebanyak 1° hingga 180° . Jadi, diperoleh $180/\theta$ laju aliran rata-rata yang terukur

disepanjang lintasan $V_{\text{pengukuran}}$, dimana nilai terbaik bernilai $H=1$, ini menunjukkan hasil pengukuran yang sama disetiap sudut ketika diputar sebanyak 180° .



Gambar 10. Rotasi θ Penampang Lintasan

Gambar 10 menunjukkan proses perputaran atau rotasi θ pada penampang lintasan, untuk mencari nilai faktor hidrodinamik (H). Berikut Tabel 2 yang menjadi nilai dari fungsi parameter yang digunakan pada persamaan (8).

Tabel 2. Fungsi Paramater θ

Profil		Fungsi Radial		Fungsi Angular	
Type	Nama	n	k	m	$f(\theta)$
Satu Puncak	1	9	4	$-\frac{0.5}{\pi}$	$\theta \sin \theta$
	2	7	9	$-\frac{0.4}{\pi}$	$\theta \sin \theta$
	3	9	4	$\frac{0.04}{\pi}$	$(\theta^2 - 1)(1 - \cos \theta)^2$
	4	9	0.5	3.317	$e^{-a\theta} \sin \theta$
	5	7	9	$\frac{e^{0.1\pi}}{2}$	$e^{-a\theta} \sin \theta$
	6	7	9	$-\frac{e^{0.1\pi}}{2}$	$e^{-a\theta} \sin \theta$
	7	9	4	$\frac{2}{\pi^5}$	$\theta^2 (2\pi - \theta)^2$
Dua Puncak	8	9	4	$\frac{1}{\pi^2}$	$\theta(1 - \cos^2 \theta)$
	9	9	4	$\frac{2}{\pi^3}$	$\theta(2\pi - \theta) \sin^2 \theta$
	10	9	9	0.681	$e^{-a\theta} \sin^2 \theta$
	11	7	9	$e^{0.1\pi}$	$e^{-a\theta} \sin^2 \theta$
Komplek	12	9	0.5	-6.750	$e^{-a\theta} \sin \theta$
	13	7	9	$\frac{1}{2\pi^2}$	$(2\pi - \theta)^2 \theta \sin 3\theta$
	14	4	9	$\frac{e^{0.15\pi}}{2}$	$e^{-a\theta} \sin^5 \theta$

2. 4.2 Faktor Sensitifitas Orientasi (S)

Faktor sensitifitas orientasi didapatkan dari selisih antara H_{maks} dengan H_{min} . Dimana, nilai dari H diperoleh dari perhitungan sebelumnya menggunakan persamaan (7). Berikut persamaan (9) menjelaskan faktor sensitifitas orientasi (S).

$$S = H_{maks} - H_{min} \quad (9)$$

Dimana, S merupakan faktor sensitifitas orientasi, H_{maks} merupakan faktor hidrodinamik maksimal, H_{min} merupakan faktor hidrodinamik minimal. Hasil terbaik yang dimiliki oleh $S = 0$, karena konfigurasi lintasan ini diputar sebanyak 180^0 , yang mengindikasikan bahwa disetiap putaran penampang pipa tidak terdapat perbedaan kecepatan laju aliran.

2.4.2 Faktor Rentang Orientasi (T)

Faktor rentang orientasi (T) didapatkan dari rentang toleransi yang ditinjau dari batas toleransi yang diberikan yaitu antara 0,2% dan 1%. Sehingga nilai dari H tidak menyimpang dari amaban batas yang telah ditentukan. Faktor ini dituliskan pada persamaan (10) dan persamaan (11).

$$T = \sum \phi \forall 0^0 \leq \phi \leq 180^0 \quad (10)$$

Dimana, ϕ harus memenuhi syarat dari persamaan (11).

$$H_f - p \leq H(\phi) \leq H + p \quad (11)$$

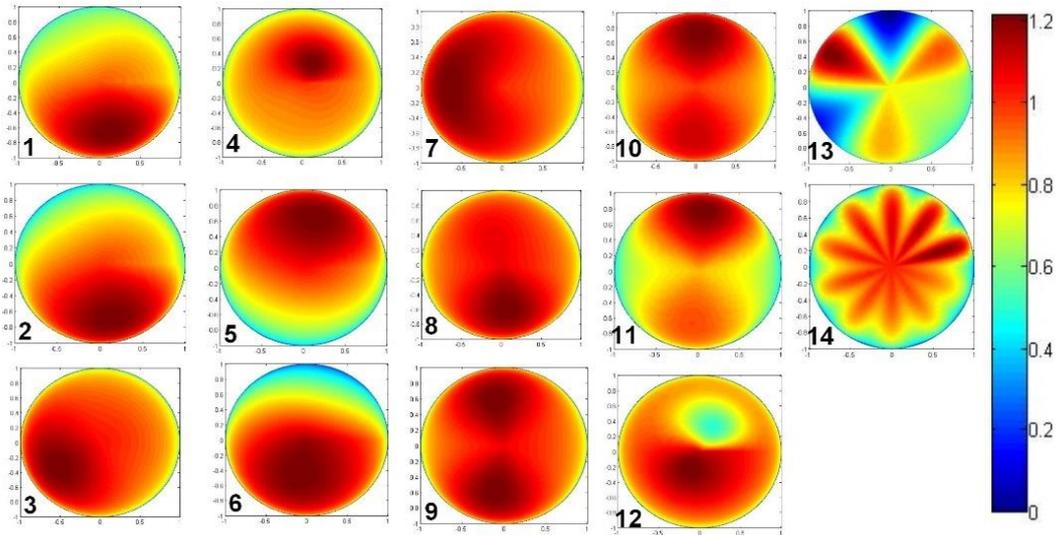
dengan, H_f adalah faktor hidrodinamik ideal ($H_f = 1$), p adalah batas toleransi dari H_f , $H(\phi)$ adalah faktor hidrodinamik yang terukur pada suatu profil sebagai fungsi orientasi, T adalah faktor rentang orientasi. Untuk nilai terbaik pada rentang ini harus memiliki nilai ideal 1 ($H_f=1$). Ini menunjukkan bahwa seluruh nilai yang masuk tidak melewati nilai ambang batas yang telah ditentukan [3],[7],[11], [12].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menjelaskan tentang hasil dari simulasi. Pertama, bentuk sebaran laju aliran fluida disetiap profil lintasan, yang nilai parameternya diambil dari Tabel 2. Kedua, hasil simulasi berupa bentuk konfigurasi lintasan setelah diputar sebanyak 180^0 setiap 1^0 , yang bertujuan untuk mencari nilai faktor hidrodinamik (H), faktor sensitifitas orientasi (S) dan faktor rentang orientasi (T). Ketiga, hasil uji dari bentuk konfigurasi lintasan atau model pemasangan pada pipa yang diuji hasilnya, untuk mendapatkan bentuk yang memiliki bentuk ideal dalam penempatan posisi transduser pada penampang pipa.

3.1 Bentuk Profil Lintasan

Gambar 11 menjelaskan bentuk laju aliran fluida dengan tipe profil satu puncak pada gambar profil 1 sampai profil 7, untuk dua puncak ditunjukkan pada profil 8 sampai dengan profil 11, untuk tipe laju aliran kompleks di tunjukan pada profil 12 hingga 14. Dimana, hasil dari Gambar 11 didapatkan dengan memasukan nilai parameter dari Tabel 2. Gambar 11 juga menjelaskan pola laju aliran fluida, dari yang berwarna biru gelap menyatakan laju aliran fluida yang paling rendah, hingga berwarna merah gelap untuk laju aliran fluida yang paling tinggi.



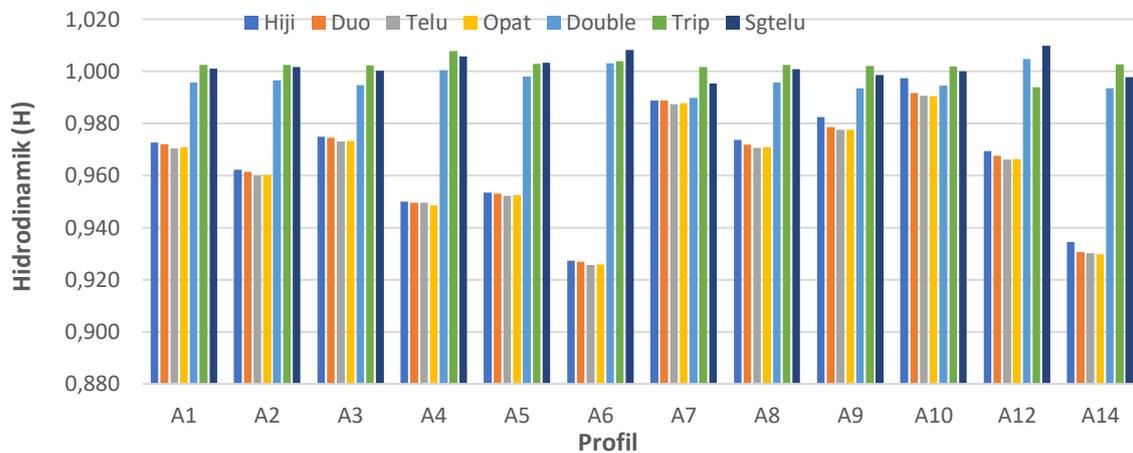
Gambar 11. Variasi Laju Aliran Fluida Pada Tiap Profil Lintasan

3.2 Hasil Simulasi Parameter Lintasan

Bagian ini menjelaskan tentang hasil dari faktor hidrodinamik (H), faktor sensitifitas orientasi (S), dan faktor rentang orientasi (T) pada ambang batas 1% .

3.2.1 Hasil Faktor Hidrodinamik (H)

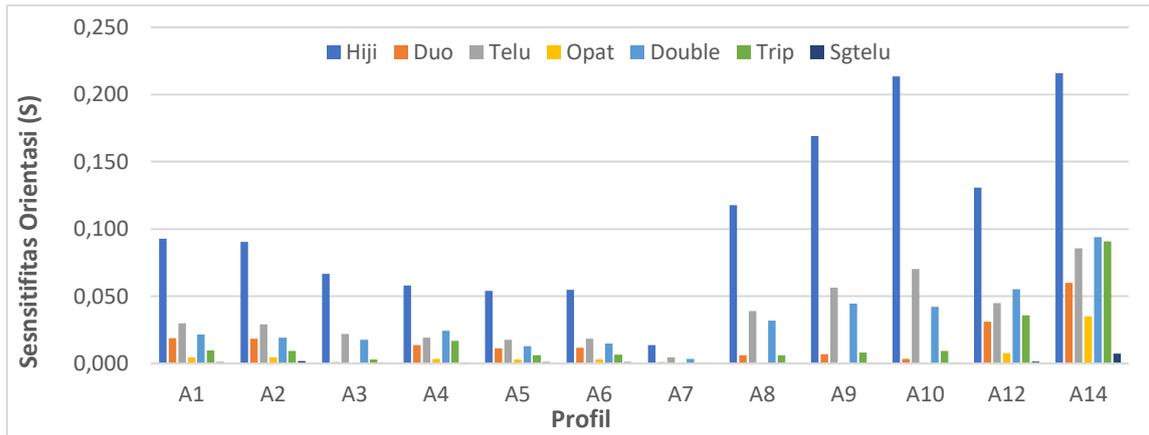
Terlihat pada Gambar 12, metode Trip dan SgTelu memiliki hasil yang lebih mendekati $H = 1$ untuk nilai rata-rata nilai kedua metode tersebut $H = 1,002$. Selanjutnya, dengan Metode Double 0,997, dengan Metode Hiji 0,966, Metode Opat dan Telu yang memiliki hasil yang sama yaitu 0,963 serta terkahir dengan Metode Duo 0,964.



Gambar 12. Column Hasil Faktor Hidrodinamik (H)

3.2.2 Hasil Faktor Sensitifitas Orientasi (S)

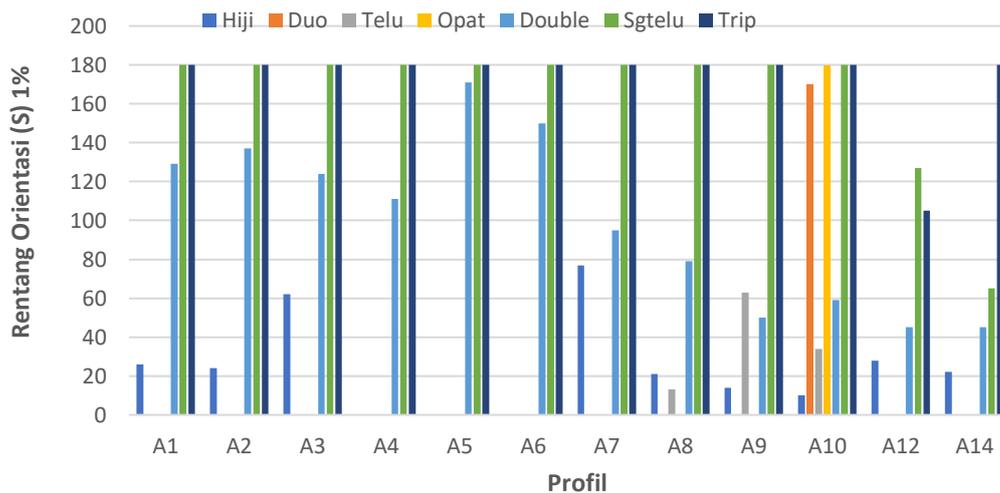
Gambar 13, menunjukkan hasil dari faktor sensitifitas orientasi (S) dari hasil simulasi dengan nilai $S = 0$ merupakan nilai yang terbaik, atau dapat dikatakan nilai paling mendekati 0 adalah bentuk konfigurasi yang terbaik. Terlihat dari gambar 13, dengan metode SgTelu memiliki nilai 0,001 disusul dengan nilai Opat 0,005 dan Trip 0,017. Selanjutnya untuk nilai dengan metode Double 0.032, metode Telu 0,036, metode Duo 0,015 dan metode Hiji 0,106.



Gambar 13. Column Hasil Faktor Sensitifitas Orientasi (S)

3.2.2 Hasil Faktor Rentang Orientasi (S) 1%.

Untuk nilai dengan ambang batas rata-rata 1% nilai terbaik harus mendekati atau memiliki $T = 180$. Hasil terbaik diperoleh dengan mode Sgtelu 174 dan diikuti metode Trip 166. Selanjutnya dengan metode Double 100, Opat 15 dan Duo 14, Telu 9, terakhir nilai Hiji 24.



Gambar 14. Hasil Faktor Rentang Orientasi (S) 1%.

3.3. Hasil Simulasi dengan Metode Pembobotan

Untuk implementasinya, terlihat bahwa metode pemasangan transduser dengan Sgtelu sangat sulit untuk diimplementasikan, karena memiliki bentuk *double* segitiga, sehingga untuk pengujian dengan penambahan nilai pembobotan dipilih dengan metode Trip yang lebih sederhana dalam aplikasinya. Seperti yang didapati bahwa dengan pengujian dengan nilai faktor hidrodinamik (H), faktor sensitifitas orientasi (S), dan faktor rentang orientasi (T), penampang pipa berbentuk Trip berada pada posisi kedua setelah Sgtelu.

Hasil pengujian dengan faktor hidrodinamik ($H=1$) dan dengan pembobotan metode Area memiliki nilai paling baik diantara semua metode dengan nilai 1,002 yang diikuti dengan metode Tchebychev 1,006. Sedangkan dengan metode Gaussian bernilai 1,014, serta Tailored bernilai 1,016. Untuk pengujian dengan faktor rentang sensitifitas orientasi ($S=0$) 1%, penampang dengan pembobot Area memiliki nilai 163,3, Gaussian 17,4, Tychebychev 143,3, Tailored 10,4.

4. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi yang diperoleh dapat dinyatakan bahwa, konfigurasi penampang lintasan dengan model Sgeltu memiliki keunggulan dari semua bentuk konfigurasi lainnya. Namun bentuk ini sangatlah sulit untuk diimplementasikan. Sehingga untuk instalasinya lebih direkomendasikan berbentuk Trip, dimana setelah dilakukan beberapa pengujian, didapatkan hasil yang cukup baik, sehingga bentuk Trip dikatakan mampu mewakili bentuk konfigurasi lainnya. Dimana, hasil tersebut diperoleh menggunakan uji konfigurasi lintasan berbentuk Trip dengan pengujian simulasi parameter lintasan yang ditambahkan dengan pembobotan dengan metode Area. Selain itu, untuk sistem pemasangan lebih disarankan menggunakan metode tipe tanam guna mendapatkan hasil yang lebih akurat, hal ini dikarenakan sensor dapat bersentuhan langsung dengan media yang menjadi objek.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Kang *et al.*, “A Novel Mathematical Model for Transit-time Ultrasonic Flow Measurement,” in *2019 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS)*, Oct. 2019, pp. 1590–1593. doi: 10.1109/ULTSYM.2019.8925693.
- [2] X. Tang, X. Xie, B. Fan, and Y. Sun, “A Fault-Tolerant Flow Measuring Method Based on PSO-SVM With Transit-Time Multipath Ultrasonic Gas Flowmeters,” *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 67, no. 5, pp. 992–1005, May 2018, doi: 10.1109/TIM.2018.2795298.
- [3] L. F. Wiranata and I. W. R. Ardana, “Simultaneous Multipath Ultrasonic Flowmeter,” in *2020 IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS)*, Jun. 2020, pp. 1–6. doi: 10.1109/I2CACIS49202.2020.9140072.
- [4] J. Massaad, D. van Willigen, P. van Neer, N. de Jong, M. Pertijs, and M. Verweij, “Acoustic Design of a Transducer Array for Ultrasonic Clamp-on Flow Metering,” in *2019 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS)*, Oct. 2019, pp. 1133–1136. doi: 10.1109/ULTSYM.2019.8925680.
- [5] A. Jäger *et al.*, “Air-coupled 40-KHZ ultrasonic 2D-phased array based on a 3D-printed waveguide structure,” in *2017 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS)*, Sep. 2017, pp. 1–4. doi: 10.1109/ULTSYM.2017.8091892.
- [6] C. Tan, Y. Murai, W. Liu, Y. Tasaka, F. Dong, and Y. Takeda, “Ultrasonic Doppler Technique for Application to Multiphase Flows: A Review,” *International Journal of Multiphase Flow*, vol. 144, p. 103811, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2021.103811.
- [7] H. Zhang, C. Guo, and J. Lin, “Effects of Velocity Profiles on Measuring Accuracy of Transit-Time Ultrasonic Flowmeter,” *Applied Sciences*, vol. 9, no. 8, p. 1648, Apr. 2019, doi: 10.3390/app9081648.
- [8] H. Zhao, L. Peng, S. A. Stephane, H. Ishikawa, K. Shimizu, and M. Takamoto, “CFD Aided Investigation of Multipath Ultrasonic Gas Flow Meter Performance Under Complex Flow Profile,” *IEEE Sensors Journal*, vol. 14, no. 3, pp. 897–907, Mar. 2014, doi: 10.1109/JSEN.2013.2290863.
- [9] C. Hartmann *et al.*, “Ray-tracing simulation of sound drift effect for multi-path ultrasonic high-velocity gas flow metering,” in *2021 IEEE International Ultrasonics Symposium (IUS)*, Sep. 2021, pp. 1–4. doi: 10.1109/IUS52206.2021.9593898.

- [10] J. Massaad *et al.*, “Measurement of Pipe and Fluid Properties With a Matrix Array-Based Ultrasonic Clamp-On Flow Meter,” *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, vol. 69, no. 1, pp. 309–322, Jan. 2022, doi: 10.1109/TUFFC.2021.3111710.
- [11] J. L. Rose, *Ultrasonic Guided Waves in Solid Media*. Cambridge University Press, 2014.
- [12] P. L. M. J. van Neer *et al.*, “Optimization of acoustic coupling for bottom actuated scattering based subsurface scanning probe microscopy,” *Review of Scientific Instruments*, vol. 90, no. 7, p. 073705, Jul. 2019, doi: 10.1063/1.5097387.