

ANALISIS KETIDAKPASTIAN STUDI EKSPERIMEN PENINGKATAN PERPINDAHAN PANAS MENGGUNAKAN DELTA WINGLET VORTEX GENERATOR DENGAN BERBAGAI ASPEK RASIO DI DALAM SALURAN

*Rafif Maulana¹, Syaiful², Bambang Yunianto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

³Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: Rafifmaulana1999@gmail.com

Abstrak

Analisa ketidakpastian data digunakan pada pengukuran kuantitatif dengan menggunakan alat ukur. Hal ini dikarenakan pengukuran data dalam jumlah banyak akan menyebabkan terjadinya penyimpangan. Penyimpangan dalam pengukuran didefinisikan sebagai perbedaan antara nilai sebenarnya dengan nilai terukur. Analisis ketidakpastian yang solid memiliki dampak yang signifikan terhadap interpretasi dan aplikabilitas terhadap hasil studi eksperimen yang dilakukan. Efek dari penyimpangan akan menyebabkan terjadinya ketidakpastian terhadap hasil pengukuran. Makalah ini berfokus pada perhitungan ketidakpastian pada *concave delta winglet vortex generator* (CDWVG) di saluran persegi. Metode perhitungan yang akan digunakan untuk mengetahui penyimpangan yang terjadi adalah *mean*, *standart deviation of the mean*, dan *overall error*.

Kata kunci: analisis ketidakpastian; eksperimental; ketidakpastian

Abstract

Data uncertainty analysis is utilized in quantitative measurements taken with measuring instruments. This is necessary because taking large amounts of data can result in variations. In measurements, variation is the difference between the actual value and the measured value. Thorough uncertainty analysis greatly affects the interpretation and applicability of experimental study results. Variation can lead to uncertainty in measurement outcomes. This paper specifically discusses uncertainty calculations in concave delta winglet vortex generators (CDWVG) in rectangular channels. The method used to determine the variation includes mean, standard deviation of the mean, and overall error calculations.

Keywords: deviation; experimental; uncertainty analysis

1. Pendahuluan

Analisa ketidakpastian data digunakan pada pengukuran kuantitatif dengan menggunakan alat ukur. Hal ini dikarenakan pengukuran data dalam jumlah banyak akan menyebabkan terjadinya penyimpangan. Penyimpangan dalam pengukuran didefinisikan sebagai perbedaan antara nilai sebenarnya dengan nilai terukur.

Analisis ketidakpastian bukan hanya sekadar langkah teknis, melainkan suatu strategi integral untuk meningkatkan kualitas penelitian. Dengan mengidentifikasi dan mengukur ketidakpastian dengan cermat, peneliti dapat mengonsep strategi mitigasi yang dapat meningkatkan keandalan dan reproduktibilitas hasil eksperimental [1]. Proses analisis ketidakpastian melibatkan pemeriksaan ketidakpastian yang terkait dengan variabel yang digunakan dalam skenario pengambilan keputusan, di mana observasi dan model menjadi dasar pengetahuan. Secara sederhana, analisis ketidakpastian berupaya berkontribusi terhadap pengambilan keputusan dengan mengukur ketidakpastian yang terkait dengan variabel-variabel penting [2]. Sedangkan menurut Geffray dkk. [3] Analisis ketidakpastian bertujuan untuk mengukur variabilitas output akibat variabilitas input. Kuantifikasi paling sering dilakukan dengan memperkirakan kuantitas statistik yang diminati seperti mean, median, dan kuantil populasi. Estimasinya bergantung pada teknik propagasi ketidakpastian. Pemahaman mendalam terhadap sumber-sumber ketidakpastian memberikan dasar yang kuat untuk mengatasi tantangan dan memaksimalkan potensi kontribusi penelitian eksperimental. Analisis ketidakpastian yang matang memengaruhi interpretasi hasil eksperimental dan dapat mengarah pada penemuan yang lebih dapat diandalkan [4]. Ketidakpastian yang diukur secara eksperimental digunakan dalam beberapa bentuk hubungan matematis (model) untuk menghitung besaran turunan tersebut. Model yang digunakan untuk mengubah pengukuran menjadi besaran turunan

biasanya didasarkan pada prinsip-prinsip dasar suatu disiplin ilmu atau teknik [5]. Analisis ketidakpastian bukan hanya sekedar langkah teknis, melainkan suatu strategi integral untuk meningkatkan kualitas penelitian. Dengan mengidentifikasi dan mengukur ketidakpastian dengan cermat, peneliti dapat mengonsep strategi mitigasi yang dapat meningkatkan keandalan dan reproduktibilitas hasil eksperimental [6]. Pemahaman mendalam terhadap sumber-sumber ketidakpastian memberikan dasar yang kuat untuk mengatasi tantangan dan memaksimalkan potensi kontribusi penelitian eksperimental. Analisis ketidakpastian yang matang memengaruhi interpretasi hasil eksperimental dan dapat mengarah pada penemuan yang lebih dapat diandalkan [7]. Analisa ketidakpastian yang komprehensif melibatkan indentifikasi dan karakterisasi berbagai sumber yang berkontribusi pada ketidakpastian keseluruhan dalam pengukuran eksperimental. Sumber-sumber ini mungkin melibatkan kesalahan instrumental, fluktuasi lingkungan, bias sistematis, dan variabilitas yang diperkenalkan oleh pengaturan eksperimental. Dengan memahami sumber-sumber ini, peneliti dapat lebih memahami faktor-faktor yang memengaruhi ketelitian dan keandalan data mereka [8]. Ketidakpastian, dalam konteks eksperimental, mencakup rentang keraguan atau kurangnya ketepatan dalam kuantitas yang diukur [9]. Dalam ranah penelitian eksperimental, analisis ketidakpastian diperlukan dalam meningkatkan keakuratan dan keandalan temuan ilmiah [10]. Kemampuan untuk mengidentifikasi, mengukur, dan mengelola ketidakpastian meningkatkan ketelitian hasil penelitian, sehingga memungkinkan interpretasi yang lebih akurat dan bermakna. Membuka ketidakpastian juga dapat membuat perbandingan yang lebih adil antar penelitian, sehingga meningkatkan kualitas dan kegunaan pengetahuan yang dihasilkan

2. Metode Penelitian

2.1 Metode Perhitungan

Metode perhitungan yang digunakan dalam pengolahan data untuk mengetahui penyimpangan yang terjadi adalah mean, standard uncertainty, standard uncertainty of the mean, dan overall uncertainty. Perhitungan uncertainty yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada Ernest O. Doebelin [11].

1. Nilai Rata-Rata (*Mean*)

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (1)$$

Perhitungan ini digunakan untuk mengetahui rata-rata jika kita mengambil data sejumlah N sehingga data yang akan kita ambil berupa X_1 hingga X_N . Dalam ilmu statistik nilai rata-rata dapat diketahui dari Persamaan 1. Dimana X_i adalah banyaknya data yaitu X_1, X_2 , hingga X_N .

2. *Standard Uncertainty*

Standar ketidakpastian digunakan untuk mengetahui ketidakpastian hasil dari yang diperoleh atau dengan kata lain standar ketidakpastian menunjukkan seberapa dekat hasil nilai rata-rata terhadap nilai data. Standar ketidakpastian dapat diketahui dengan Persamaan 2.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{(N - 1)}} \quad (2)$$

3. *Standard Uncertainty of The Mean*

Pada dasarnya, standar ketidakpastian sebenarnya tidak memberikan nilai ketidakpastian dalam perhitungan sehingga diperlukan rataan standar ketidakpastian, dimana nilai rataan standart ketidakpastian ini merupakan *uncertainty* dalam perhitungan. Sehingga hasil pengukuran sebenarnya dapat ditulis $\bar{X} \pm s_x$. Adapun rumus yang digunakan untuk

menghitung rataan standar ketidakpastian ini adalah sebagai Persamaan 3.

$$s_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N(N-1)}} \quad (3)$$

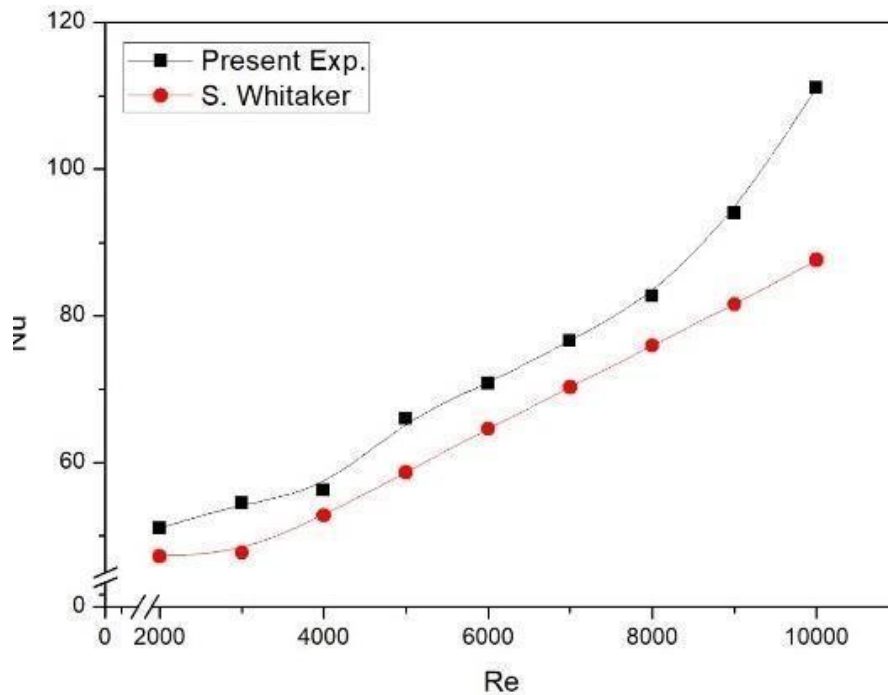
4. Overall Uncertainty

Dalam setiap perhitungan yang melibatkan persamaan tertentu akan melibatkan beberapa komponen yang masing-masing mempunyai ketidakpastian atau *uncertainty*. Contohnya pada perhitungan bilangan Nusselt dimana terdapat komponen-komponen yang termasuk didalamnya misalnya seperti temperatur *inlet*, temperatur *outlet*, luas penampang, dan lain-lain. Dengan kata lain jika suatu fungsi f mempunyai komponen variabel independen u_1, u_2, u_3 , hingga u_n maka uncertainty keseluruhannya dapat dihitung dengan Persamaan 4 sebagai berikut.

$$E_{a_{RSS}} = \sqrt{\left(\Delta u_1 \frac{\partial f}{\partial u_1}\right)^2 + \left(\Delta u_2 \frac{\partial f}{\partial u_2}\right)^2 + \left(\Delta u_3 \frac{\partial f}{\partial u_3}\right)^2 + \dots + \left(\Delta u_n \frac{\partial f}{\partial u_n}\right)^2} \quad (4)$$

2.2 Data Perhitungan

Untuk memastikan keakurasian eksperimen sekarang ini, hasil eksperimen Whitaker [12] digunakan sebagai pembandingan. Nilai Nu untuk kasus baseline dengan satu silinder pada rentang Re dari 2.000 sampai 10.000 dari hasil eksperimen sekarang ini dibandingkan dengan yang dari eksperimen Whitaker seperti yang teramati di Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Validasi studi sekarang ini dengan eksperimen Whitaker

Berdasarkan Gambar 2.1 didapati bahwa kedua hasil eksperimen tersebut memperlihatkan kecenderungan yang sama. Akan tetapi, data hasil pengujian pada studi ini menunjukkan nilai yang lebih tinggi daripada data hasil eksperimen Whitaker. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh induksi panas yang lebih tinggi pada eksperimen sekarang.

3. Ketidakpastian Data (Uncertainty)

Ketidakpastian Data Perpindahan Panas Pada studi ini, untuk mengetahui penyimpangan yang terjadi mean, standard deviation of the mean, dan overall uncertainty digunakan untuk analisa.

Tabel 1 Data temperatur permukaan silinder dari pengujian *baseline* pada kecepatan aliran 0,4 m/det

Data ke	T _{w1} (°C)	T _{w2} (°C)	T _{w3} (°C)	T _{w4} (°C)	T _{w5} (°C)	T _{w6} (°C)
1	49,191	51,214	48,323	49,769	47,802	51,271
2	49,183	51,177	48,316	49,791	47,766	51,264
3	49,145	51,168	48,307	49,753	47,786	51,255
4	49,121	51,173	48,282	49,728	47,761	51,259
5	49,153	51,205	48,285	49,731	47,735	51,262
6	49,100	51,151	48,290	49,736	47,769	51,267
7	49,098	51,150	48,230	49,734	47,738	51,294
8	49,089	51,141	48,250	49,667	47,729	51,228

Data pada Tabel 1 dapat digunakan untuk memperoleh temperatur rata-rata permukaan silinder ($\overline{T_w}$) menggunakan Persamaan 5.

$$\overline{T_w} = \frac{\overline{T_{w1}} + \overline{T_{w2}} + \overline{T_{w3}} + \overline{T_{w4}} + \overline{T_{w5}} + \overline{T_{w6}}}{6} \quad (8)$$

Sehingga, temperature rata-rata permukaan tubes, $\overline{T_w}$, didapat sebesar 45.966 °C. Selanjutnya standar deviasi rata-rata suhu *tubes* dihitung dengan menggunakan Persamaan (9).

$$S_{T_w} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (T_{w_i} - \overline{T_w})^2}{N(N-1)}} \quad (9)$$

Sehingga, nilai S_{T_w} didapati sebesar 0.1938 °C. Maka nilai $\overline{T_w}$ dapat ditulis menjadi 45.966 ± 0.1938 °C. Sementara itu, $\overline{T_{in}}$ dan $\overline{T_{out}}$ didapati berturut-turut sebesar 28.382°C dan 31.003°C. Lalu, standar deviasi rata-rata suhu inlet dan outlet dapat dihitung menggunakan Persamaan (10) dan (11).

$$S_{T_{in}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (T_{in_i} - \overline{T_{in}})^2}{N(N-1)}} \quad (10)$$

$$S_{T_{out}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (T_{out_i} - \overline{T_{out}})^2}{N(N-1)}} \quad (11)$$

Maka, nilai $S_{T_{in}}$ dan $S_{T_{out}}$ didapati berturut-turut sebesar 0.009 °C dan 0.043 °C. Maka nilai T_{in} dan T_{out} berturut-turut ditulis menjadi 28.382 ± 0.009 °C dan 31.003 ± 0.043 °C. Selanjutnya, nilai Q pada kecepatan aliran 0.6 m/s didapati 18.984 W. Maka, Nilai standar deviasi pada Q dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (12).

$$RSS_Q = \sqrt{\left(\Delta T_{in} \frac{\partial Q}{\partial T_{in}}\right)^2 + \left(\Delta T_{out} \frac{\partial Q}{\partial T_{out}}\right)^2} \quad (12)$$

dimana $\frac{\partial Q}{\partial T_{in}} = \frac{\dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{in} - T_{out})}{T_{in}}$ dan $\frac{\partial Q}{\partial T_{out}} = \frac{\dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{in} - T_{out})}{T_{out}}$. Dengan $\Delta T_{in} = 0.009$ °C dan $\Delta T_{out} = 0.043$ °C, $E_{a_{rssQ}}$ diperoleh sebesar 0.027 W. Kemudian, perpindahan panas didapati $Q = 18.984 \pm 0.027$ W. Lalu, nilai $LMTD$ dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (4) dan didapati nilainya sebesar 16.239 °C. Maka, standar deviasi dari $LMTD$ dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (13) dan didapati sebesar 0.072 °C.

$$RSS_{LMTD} = \sqrt{\left(\Delta T_{in} \frac{\partial LMTD}{\partial T_{in}}\right)^2 + \left(\Delta T_w \frac{\partial LMTD}{\partial T_w}\right)^2 + \left(\Delta T_{out} \frac{\partial LMTD}{\partial T_{out}}\right)^2} \quad (13)$$

Maka, nilai $LMTD$ didapati menjadi 16.239 ± 0.072 °C. Seterusnya, nilai Nu diperoleh dari Persamaan (1) dengan kecepatan aliran 0.6 m/s sebesar 184.898. Perhitungan standar deviasi untuk Nu adalah sebagai berikut,

$$RSS_{Nu} = \sqrt{\left(\Delta LMTD \frac{\partial Nu}{\partial LMTD}\right)^2 + \left(\Delta Q \frac{\partial Nu}{\partial Q}\right)^2} \quad (14)$$

Maka, nilai standar deviasi Nu didapati sebesar 0.862. Maka dari itu, Nu pada kasus *baseline* untuk kecepatan udara masuk 0.6 m/s adalah sebesar 184.898 ± 0.862 . Selanjutnya, standar deviasi dari koefisien perpindahan panas konveksi dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (15), dan diperoleh 53.046 W/m²K.

$$RSS_h = \sqrt{\left(\Delta Nu \frac{\partial h}{\partial Nu}\right)^2} \quad (15)$$

Standar deviasi koefisien perpindahan panas konveksi sebesar 0.247 W/m²K. Maka, koefisien perpindahan panas konveksi dapat ditulis sebagai $h = 53.046 \pm 0.247$ W/m²K. Lalu, *error* koefisien perpindahan panas konveksi ditentukan menjadi 0,47% menggunakan Persamaan (16).

$$\% Error_h = \left(\frac{E_{arssh}}{h}\right) 100\% \quad (16)$$

Tabel 2. hasil ketidaktastian keseluruhan untuk koefisien perpindahan panas konveksi pada data baseline

Ketidaktastian Keseluruhan Perpindahan Panas									
Kecepatan (m/s)	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Error (%)	0,44%	0,47%	0,47%	0,46%	0,55%	0,55%	0,55%	0,55%	0,54%

4. Kesimpulan

Dalam penelitian ini, penyelidikan mengenai ketidaktastian pada aliran fluida melalui tabung di dalam saluran persegi panjang telah menghasilkan pemahaman yang mendalam terkait dengan kompleksitas dan tantangan yang melekat dalam eksperimen mekanika fluida. Analisis ketidaktastian yang dilakukan memberikan dasar penting bagi pemahaman yang lebih mendalam mengenai batasan dan keandalan temuan eksperimental. Berbagai sumber ketidaktastian, termasuk fluktuasi alamiah dalam aliran fluida serta karakteristik geometris dari saluran dan tabung, telah diidentifikasi secara cermat dan dianalisis secara menyeluruh. Hasil penelitian menegaskan bahwa penguasaan yang matang terhadap ketidaktastian bukan hanya meningkatkan validitas hasil eksperimental tetapi juga memberikan landasan yang kokoh bagi peningkatan desain eksperimental di masa yang akan datang. Oleh karena itu, analisis ketidaktastian menjadi suatu keharusan dalam eksperimen mekanika fluida, memainkan peran yang sangat penting dalam membimbing interpretasi yang akurat serta pengambilan keputusan yang terinformasi, dan juga memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kemajuan lebih lanjut dalam bidang ilmu rekayasa fluida.

5. Daftar Pustaka

- [1] Kline, S. J. 1985. "The Purposes of Uncertainty Analysis." *Journal of Fluids Engineering-Transactions of the Asme* 107(2):153–60. doi: 10.1115/1.3242449.
- [2] Etienne de Rocquigny, Nicolas, Devictor, Stefano, Tarantola (Editors), *Uncertainty in Industrial Practice: A Guide to Quantitative Uncertainty Management*, Wiley & Sons Publishers, 2008.
- [3] Geffray, C., A. Gerschenfeld, Pavel Kudinov, Ignas Mickus, Marti Jeltsov, Kaspar Kööp, Dmitry Grishchenko, and W. David Pointer. 2019. "Verification and Validation and Uncertainty Quantification." Pp. 383–405 in Elsevier eBooks.
- [4] Coulthard, Tom, and Marco J. Van De Wiel. 2013. "9.34 Numerical Modeling in Fluvial Geomorphology." Pp.

694– 710 in Elsevier eBooks.

- [5] T.J. Coulthard, M.J. Van De Wiel, 6.49 - Numerical Modeling in Fluvial Geomorphology**Coulthard, T.J., Van De Wiel, M.J., 2013. Numerical modeling in fluvial geomorphology. In: Shroder, J. (Editor in Chief), Wohl, E. (Ed.), Treatise on Geomorphology. Academic Press, San Diego, CA, vol. 9, Fluvial Geomorphology, pp. 694–710.,.
- [6] Macdonald, Iain, and Paul Strachan. 2001. "Practical Application of Uncertainty Analysis." *Energy and Buildings* 33(3):219–27. doi: 10.1016/s0378-7788(00)00085-2.
- [7] Moffat, R. J. 1985. "Using Uncertainty Analysis in the Planning of an Experiment." *Journal of Fluids Engineering Transactions of the Asme* 107(2):173–78. doi: 10.1115/1.3242452.
- [8] Coleman, Hugh W., and W. Glenn Steele. 1995. "Engineering Application of Experimental Uncertainty Analysis." *AIAA Journal* 33(10):1888–96. doi: 10.2514/3.12742.
- [9] Kline, S. J. 1985. "The Purposes of Uncertainty Analysis." *Journal of Fluids Engineering-Transactions of the Asme* 107(2):153–60. doi: 10.1115/1.3242449.
- [10] Macdonald, Iain, and Paul Strachan. 2001. "Practical Application of Uncertainty Analysis." *Energy and Buildings* 33(3):219–27. doi: 10.1016/s0378-7788(00)00085-2.
- [11] S. Whitaker, "Forced convection heat transfer correlations for flow in pipes, past flat plates, single cylinders, single spheres, and for flow in packed beds and tube bundles," *AIChE J.*, vol. 18, no. 2, pp. 361–371, Mar. 1972, doi: 10.1002/aic.690180219. [12] Doebelin, E. O., 1990. *Measurement Systems Application And Design*. Singapore: McGraw-Hill.