



Analisa Numerik Perilaku Aliran yang Melalui Struktur Persegi

La Ode Ahmad Barata^{*1}, Lukas Kano Mangalla², Amrullah³

¹Jurusan Teknik Mesin Universitas Halu Oleo, Kendari 93232

^{2,3}Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

Riwayat Artikel:

Diajukan: 12/08/2023
Diterima: 25/12/2023
Tersedia online
12/02/2024
Terbit: 30/12/2023

Kata Kunci:

LES
Sudut serang
Gaya-gaya fluida
Kecepatan
Aliran fluida

Keywords:

LES
Attack angle
Fluid forces
Velocity
Fluid flow

Abstrak

Penelitian ini dirancang untuk menganalisa karakteristik aliran melalui benda persegi dengan variasi sudut serang aliran. Komponen- komponen gaya u , C_d , $-C_{pb}$, C_l dan St dianalisa secara numerik. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah model turbulen *Large Eddy Simulation (LES)* dengan variasi sudut datang aliran fluida pada model geometri uji persegi dengan sisi $H = 40$ mm ($D=H$). Hasil penelitian menunjukkan besar sudut datang aliran meningkatkan nilai gaya hambat C_d , C_l disebabkan adanya pembesaran olakan aliran pada daerah hilir aliran (*downstream wake*). Sedangkan nilai CP juga mengalami penurunan yang disebabkan oleh gradien tekanan negatif area hilir membesar dengan peningkatan nilai sudut serang aliran. Sudut Serang menaikkan parameter CD_{max} sebesar 2,33, $Cp = -1,87$, dan $St = 0,113$ pada sudut -30° sedangkan pada sudut 0° nilai $CD = 2,05$ $-Cp = -1,37$, $St = 0,128$. Perubahan sudut datang aliran juga berpengaruh terhadap frekuensi vorteks. Komponen kecepatan lokal (u) mengalami penurunan karena faktor komponen negatif menciptakan aliran balik di sekitar silinder.

Abstract

This study is designed to analyze the flow characteristics over a square body with variations in the angle of attack of the flow. The force components u , CD , $-CPb$, CL and St are analyzed numerically. The method used in this research is the *Large Eddy Simulation (LES)* turbulent model with variations in the angle of incidence of fluid flow on a square test geometry model with cross-section height $H = 40$ mm ($D = H$). The results showed that the large angle of incidence of the flow increased the value of CD , CL due to the enlargement of the flow in the downstream wake area. While the CP value also decreased due to the negative pressure gradient of the downstream area enlarged with an increase in the value of the angle of attack of the flow. The angle of attack increases the parameters $CD_{max} = 2.33$, $CP = -1.87$, and $St = 0.113$ at an angle of -30° while at an angle of 0° the value of $CD = 2.05$ $-CPb = -1.37$, $St = 0.128$. Changes in the angle of incidence of the flow affect the frequency of vortices. The local velocity component (u) decreased.

Pendahuluan

Aliran fluida melalui suatu bodi merupakan fenomena yang sering kita temui dalam kehidupan. Bentuk bodi yang berbeda akan menghasilkan karakteristik aliran fluida yang berbeda dan sangat berpengaruh terhadap fungsi dari bentuk bodi tersebut. Penelitian telah dilakukan untuk mendapatkan desain aerodinamika yang optimal namun, sampai saat ini para peneliti masih terus mengembangkan metode analisa yang tepat untuk menganalisis struktur aliran. Ilmu perekayasa tentang mekanika fluida telah dikembangkan melalui pemahaman mengenai sifat-sifat fluida. Fluida merupakan zat yang berubah bentuk secara kontinu (terus-menerus) bila terkena tegangan geser, betapapun kecilnya tegangan geser itu. Aliran fluida yang melalui bentuk geometri yang cukup sederhana seperti persegi atau silinder bundar diperkirakan memiliki medan aliran yang lebih sederhana dibandingkan aliran yang melalui sebuah bentuk yang kompleks seperti pesawat terbang atau mobil. Walaupun demikian, bahkan benda dengan bentuk paling sederhana sekalipun menghasilkan aliran yang kompleks. Metode numerik dengan *Computational Fluid Dynamics (CFD)* merupakan analisa system yang mencakup aliran fluida, perpindahan panas dengan menggunakan simulasi yang dibantu oleh perangkat komputer.

Aliran disekitar stuktur *buff body* telah menarik minat yang cukup besar dan telah diselidiki secara instensif. Silinder persegi atau persegi panjang telah digunakan pada banyak struktur arsitektur seperti

*Korespondensi: ahmad.barata@uho.ac.id

©2023 PISTON: Jurnal Teknologi. Diterbitkan: Oleh Program Pendidikan Vokasi Teknik Mesin UHO Kendari

Jurnal **OPEN ACCESS**

bangunan, geladak jembatan, monumen, dan penukar panas. Silinder persegi biasanya menyebabkan perilaku aliran tidak stabil sesaat ketika aliran berada di sekelilingnya sehingga menyebabkan terjadi beberapa fenomena *unsteady* antara lain separasi, gelembung separasi, ketidakstabilan *shear-layer*, *vortex shedding* dan lain-lain terjadi ketika aliran bergerak mengelilingi silinder [1].

Untuk peningkatan dan optimalisasi desain geometri mobil, penting untuk memahami aliran struktur yang dihasilkannya. Ini dapat dilakukan dengan menggunakan metode numerik atau eksperimental. berkat kemajuan besar dalam dinamika fluida komputasi ditambah dengan pengurangan konstan biaya perangkat keras komputasi, metode numerik terus meningkatkan bagiannya dalam proses desain. Namun, karena tingginya kompleksitas aliran turbulen pada bilangan Reynold tinggi, perusahaan mobil masih mengandalkan perpaduan antara simulasi numerik dan data terowongan angin untuk proses desain mereka. Data eksperimental secara konstan digunakan untuk memvalidasi dan meningkatkan model numerik [2].

Model turbulen *LES* telah berkontribusi pada perkembangan industri aerodinamika mobil, pesawat, dan kereta api sehingga berperan penting pada simulasi system yang memungkinkan pengkajian kontrol turbulensi, yang akan menjadi sumber utama penghematan energi khususnya bidang terkait dengan dimaika aliran. *LES* kontribusi dalam menyajikan data struktur pembawa energi lebih besar terhadap momentum, dan transfer energi dengan tingkat akurasi yang dapat diandalkan dari model turbulensi terkecil yang dianalisa. Hal ini karena analisa turbulensi skala kecil cenderung lebih homogen dan universal dan kurang terpengaruh oleh kondisi batas dibandingkan turbulensi skala besar [3].

Fenomena aliran yang melalui struktur menjadi aspek yang diperhatikan dengan serius di bidang rekayasa karena keterkaitannya dalam masalah-masalah keteknikan seperti stabilitas struktur, efek perpindahan panas, kelelahan material, getaran, akustik, kendali polusi pada cerobong, gedung pencakar langit, dan lain-lain. Pengujian model struktur baik 2D maupun 3D yang dilakukan secara eksperimental dan atau pendekatan numerik telah membantu banyak perekraya dalam mendesain model struktur sesuai dengan fungsi dan karakteristik lingkungan. Respon dinamis kegagalan dan masalah stabilitas struktur memiliki kaitan erat dengan perilaku fluida yang melewati suatu penampang struktur. Karakteristik aliran yang melalui prisma persegi panjang dengan ujung bebas diteliti secara numerik menggunakan model turbulen *LES* pada bilangan Reynolds $Re = 22000$. Penelitian ini menunjukkan bahwa respon dinamis prisma mempengaruhi karakteristik aliran yang melalui model uji yang ditunjukkan dengan adanya perubahan area/intensitas vortex aliran, vector kecepatan, *velocity vector*, komponen gaya, dan komponen lainnya. Penelitian tentang perubahan karakteristik aliran akibat modifikasi atau penambahan komponen model silinder telah menjadi perhatian banyak peneliti [4 - 6].

Pada penelitian terdahulu, peneliti secara eksperimen mengamati bentuk pola aliran yang terjadi di sekitar benda yang berpengaruh terhadap gaya aerodinamik struktur suatu benda, seperti *coefficient drag*, *coefficient lift*, *coefficient preassure* dan komponen kecepatan, dengan memvariasi jarak antara silinder dengan dinding datar, posisi penempatan silinder pada lapis batas. Dengan demikian, penelitian ini dirancang untuk menganalisa karakteristk aliran melalui benda persegi dengan variasi sudut serang aliran. Komponen- komponen gaya u , CD , $-CPb$, CL dan St dianalisa dalam penelitian ini.

Metode Numerik

Analisa aliran fluida pada penelitian ini menggunakan *software CFD Ansys fluent student version* dengan model turbulen Large Eddy Simulation (*LES*) dengan variasi sudut datang aliran.

Persamaan yang Digunakan

Persamaan Momentum Navier-Stokes adalah bentuk diferensial dari Hukum Kedua Newton tentang gerakan. Persamaan gerak yang paling lengkap untuk elemen fluida viskos dalam medan gravitasi adalah persamaan Navier-Stokes dalam persamaan 1 - 3 [7,8].

Persamaan *Navier-Stokes* pada sumbu x , y , dan sumbu z ; dapat dilihat pada persamaan.

$$\rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) = \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + z \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (1)$$

$$\rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) = \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + z \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (2)$$

$$\rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) = \rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) \quad (3)$$

Persamaan kontinuitas merupakan prinsip persamaan yang didapatkan pada hukum kekekalan massa, yang menjelaskan tentang laju perubahan massa pada sebuah sistem terhadap waktu yang sama dengan nol, maka persamaan kontinuitas dapat ditulis seperti pada [9] sebagai berikut :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

Tabel 1. Pengaturan simulasi

Aspek	Pengaturan
Model Solver (Solver Model)	Pressure based, 3D, Transient
Model Viskos (Viscous Model)	Turbulent Large eddy simulation (LES)
Material	Air with constant density, $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$
Kondisi Operasi (Operating Condition)	101325 Pa
Inisiasi (Initialize)	Velocity Inlet
Residual Monitor	10^{-6}

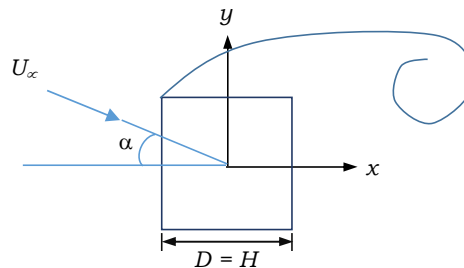
Pengaturan simulasi yang menentukan beberapa aspek yang diperlukan dalam simulasi seperti bentuk solver yang dipilih, material, jenis viskos, dll sesuai dengan asumsi yang dilakukan. **Tabel 1** dan **2** menunjukkan pengaturan simulasi yang dilakukan. Jenis aliran yang telah ditentukan sebelumnya juga diatur pada bagian ini di dalam FLUENT.

Tabel 2. Parameter Simulasi

Parameter	Scheme
Pressure - velocity coupling	PISO
Spatial Discretization	-
Pressure	Second Order
Momentum	Bounded Central Differencing
Solution Initialization	Hybrid Initialization
Transient formulation	Second Order Implicit
Time Step	0.0005

Model Geometri

Model geometri dan dimensi yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 1**, dimana tinggi potongan melintang $H = D = 40 \text{ mm}$.

**Gambar 1.** Model Simulasi

Uji Sensifitas Grid

Tabel 3 beberapa mesh yang digunakan dalam percobaan sebuah geometri *square* model turbulent LES. Pada meshing 1 menunjukkan jumlah mesh yang paling renggang atau mesh yang cukup kasar untuk digunakan yaitu dengan jumlah nodes 70.000. Sedangkan untuk mesh yang memiliki kerapatan grid atau mesh yang halus terdapat pada jumlah nodes 300.000. Sehingga dapat dilihat pada **Tabel 3** bahwa meshing 1 memiliki nilai CD, CP yang relatif kecil dibanding yang lain atau referensi yang ditunjukkan pada **Tabel 4**. Grid model pada M4 memerlukan waktu komputasi yang digunakan pada proses sementara nilai parameter fluida tidak mengalami perubahan yang berarti. Dengan demikian, model mesh M2 digunakan sebagai parameter uji pada penelitian ini, karena mempunyai nilai parameter yang mendekati hasil dari peneliti terdahulu dan juga daya waktu proses komputasi yang digunakan relatif lebih baik metode validasi dan verifikasi numerik semacam sesuai dengan yang disarangkan dalam referensi [10 -11].

Tabel 3. Uji dependensi kerapatan grid

Mesh	N	CD	-CPb
M 1	70000	1.97	-1.27
M 2	150000	2.05	-1.37
M 3	225000	2.097	-1.38
M 4	300000	2.097	-1.39

Tabel 4 menunjukkan data hasil penelitian secara numerik maupun eksperimen. Dengan membandingkan hasil penelitian yang telah diteliti sebelumnya baik secara numerik maupun eksperimen untuk mencocokkan hasil yang diperoleh.

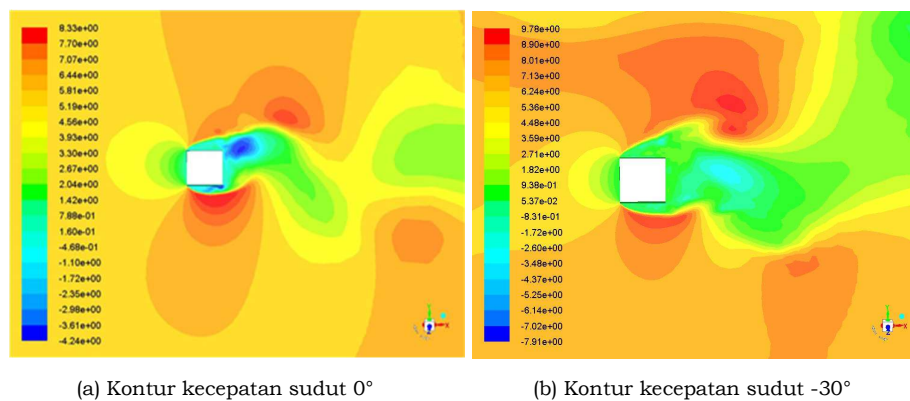
Tabel 4. Perbandingan dengan penelitian sebelumnya

	D/H	CD	$-CP_b$	St	Re	Keterangan
Mizukami [12]	1.0	2.15	1.43	0.12	2.2×10^4	LES 3D
Knisley [13]	1.0	2.03-2.20	-	0.13	2.2×10^4	Exp
Bearman [14]	1.0	2.19	1.4	0.12	$2-7 \times 10^4$	Exp
Penelitian ini	1.0	2.05	1.37	0.12	10^4	LES

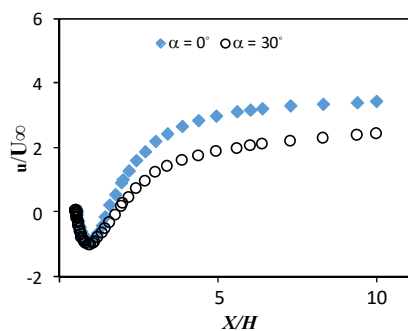
Hasil dan Pembahasan

A. Profil Kecepatan

Gambar 2 menunjukkan kontur komponen kecepatan pada bidang persegi dengan variasi sudut serang 0° dan -30° . Perbedaan aliran geser (sheared flow) menyebabkan terjadinya fenomena separasi aliran yang menciptakan zona gelembung atau efek gelembung (*bubble effect*) yang terbentuk di sekitar silinder menciptakan pusaran aliran di dekat ujung persegi. Perilaku komponen kecepatan (u) di belakang persegi mengalami variasi penurunan dengan intensitas yang cukup jelas pada sudut -30° dengan jarak dimana zona kecepatan rendah menjadi lebih lebar. Hal ini berberda pada kasus sudut 0° , dimana efek separasi aliran menciptakan zona yang lebih negatif di belakang silinder tetapi areanya lebih sempit dibandingkan dengan $\alpha = 30^\circ$.

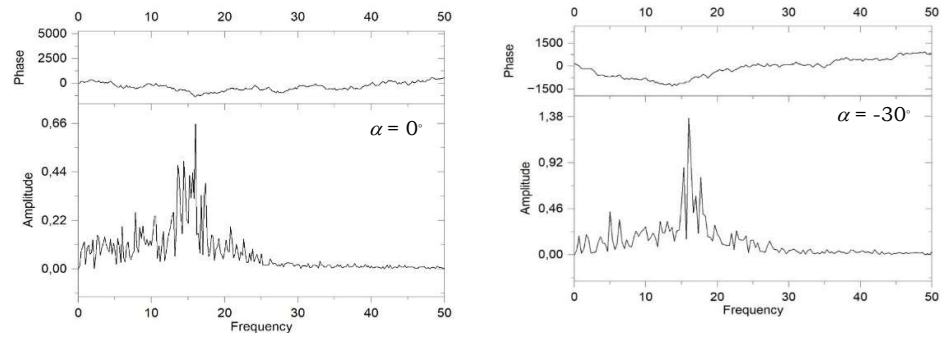
**Gambar 2.** Kontur kecepatan lokal pada sudut serang 0° dan -30°

Profil distribusi kecepatan aliran di sepanjang hilir dapat dilihat pada **Gambar 3**. Profil kecepatan aliran pada arah sumbu- x pada benda persegi yang diuji mengalami penurunan kecepatan lokal pada $X > 3H$. Ini menunjukkan bahwa pada zona ini, gradien tekanan negatif masih dominan yang menciptakan resirkulasi aliran di sepanjang hilir pada sudut datang aliran yang besar. Fluktuasi aliran

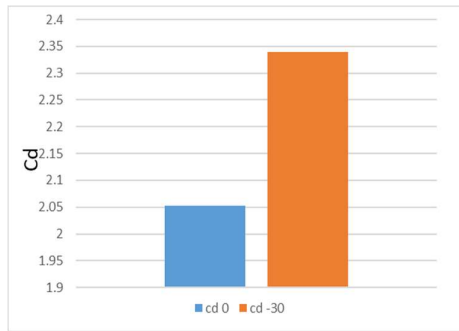
**Gambar 3.** Distribusi kecepatan sepanjang hilir aliran pada sudut datang 0° dan -30°

di sisi hilir medan aliran ditunjukkan pada **Gambar 4**. Ketidakstabilas komponen kecepatan lokal aliran terlihat pada model dengan sudut datang aliran $\alpha = 0^\circ$ yang menunjukkan dominannya *minor peak* dalam analisa FFT pada **Gambar 4** di atas. Fenomena ini mengakibatkan tingginya frekuensi fluktuasi pada sudut aliran 0° seperti hasil yang ditunjukkan pada **Gambar 5(c)**.

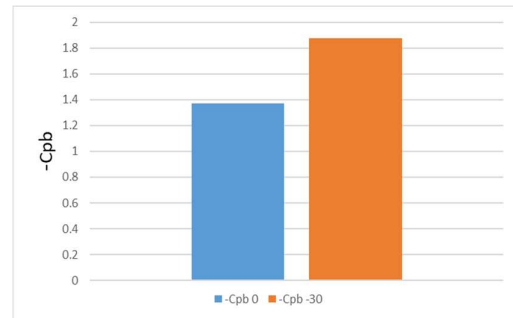
B. Gaya-gaya Aerodinamika Fluida



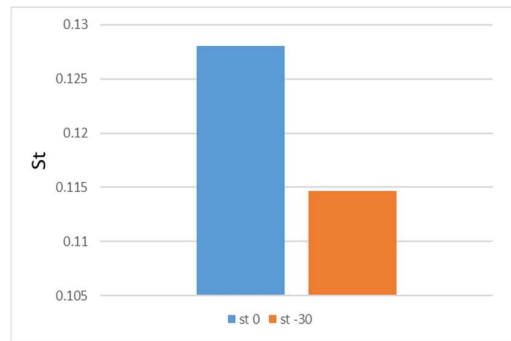
Gambar 4. Analisa FFT fluktuasi kecepatan aliran di hilir aliran



(a) Grafik Nilai CD

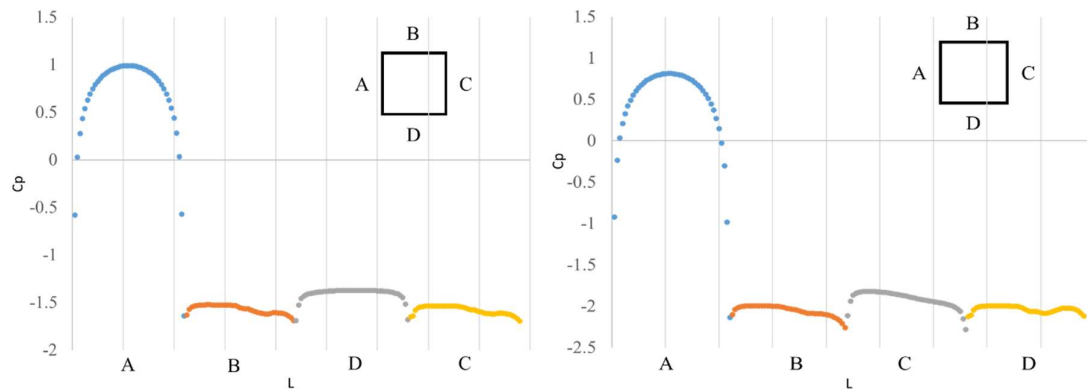


(b) Grafik Nilai -CPb



(c) Strouhal Number, St

Gambar 5. Pengaruh sudut datang aliran terhadap parameter global dari gaya fluida yang bekerja



(a) Distribusi Tekanan pada sudut datang aliran $\alpha = 0^\circ$

(b) Distribusi Tekanan pada sudut datang aliran $\alpha = -30^\circ$

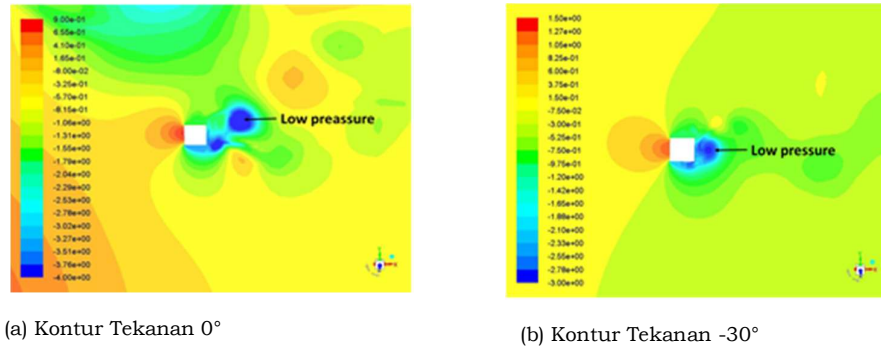
Gambar 6. Distribusi tekanan aliran pada permukaan silinder

Gambar 5 menunjukkan kuantitas gaya hambat, tekanan, dan frekuensi olakan aliran (CD , $-CPb$, St)

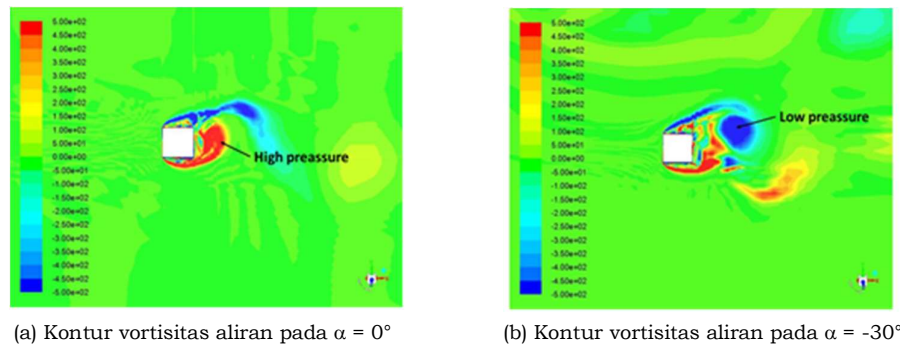
dan St) dari dua perubahan sudut serang α yang berbeda. Nilai yang dihasilkan menunjukkan perbedaan nilai perilaku aliran ketika terjadi perubahan sudut datang aliran. Perubahan parameter ini dianggap memiliki keterkaitan dengan perubahan zona negatif akibat naiknya sudut serang [16]. Perubahan zona negatif ini diinduksi oleh separasi aliran pada tepi depan silinder (*leading edge*) yang mempengaruhi pola aliran di sisi hilir (*downstream*). Fenomena ini dapat dikonfirmasi pada **Gambar 7** dan **8**.

C. Distribusi Tekanan

Gambar 6 menunjukkan distribusi tekanan pada geometri persegi dengan variasi sudut serang α . Terjadi peningkatan tekanan yang besar pada sisi A dengan nilai tekanan tak berdimensi, $CP = 0.992967$ untuk sudut serang 0° dan terjadinya penurunan tekanan, $CP = 0.759957$ pada sudut serang -30° . Nilai di atas merujuk pada titik yang mendekati stagnasi $CP = 1$ dimana $U = 0$ [16, 17], maka percepatan aliran yang terjadi pada sisi A menyebabkan tekanan tekanan yang cukup besar dan aliran melambat di sekitar area sisi tersebut sehingga tekanan lokal yang dihasilkan cukup tinggi. Hal ini



Gambar 7. Kontur distribusi tekanan aliran pada sudut Serang 0° dan -30°



Gambar 8. Efek sudut datang aliran terhadap kontur vortisitas pada sudut serang 0° dan -30°

terjadi pada setiap sudut serang yang di tambahkan dengan bentuk geometri persegi sehingga aliran bergerak menuju sisi B, C, dan D dengan percepatan mometum dari titik tekanan tertinggi yang di tandai dengan penurunan nilai tekanan. Perbedaan distribusi tekanan pada $\alpha = -30^\circ$ pada sisi C-D akibat sudut datang aliran yang berbeda dari model sudut datang 0° .

Kesimpulan

Penelitian karakteristik aliran yang melewati struktur persegi dengan variasi sudut datang aliran telah diteliti secara numerik menggunakan model turbulen *LES*. Sudut datang aliran menaikkan parameter CD_{max} sebesar $2,33$, $CPb = -1,87$, dan $St = 0,113$ pada sudut -30° sedangkan pada sudut 0° nilai gaya hambat tak berdimensi, $CD = 2,05$, $CP = -1,37$, $St = 0,128$ disebabkan oleh adanya pembesaran area olakan aliran pada bidang aliran. Komponen kecepatan (u) sepanjang hilir aliran juga terjadi penurunan yang diakibatkan oleh menurunnya tekanan aliran (CPb) yang menciptakan aliran balik di sisi hilir.

Daftar Pustaka

- [1] S. C. Yen and C. W. Yang, "Flow patterns and vortex shedding behavior behind a square cylinder," *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol. 99, no. 8, pp. 868–878, 2011, <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2011.06.006>.
- [2] O. Lehmkuhl, G. Chrysokentis, S. Gomez, and H. Owen, "Large eddy simulation for automotive aerodynamics with Alya," *10th Int. Conf. Comput. Fluid Dyn. ICCFD 2018 - Proc.*, pp. 1–11, 2018.
- [3] P. C. M. Lesieur, O. Métais, *Large-Eddy Simulations of Turbulence*. United States of America: Cambridge University Press., 2005.
- [4] L. O. A. Barata, T. Kiwata, A. Rachman, S. and N. Endriatno, "Numerical Investigation of Flow Around Finite Height Rectangular," *CFD Letters*, pp. 154-175, 2023. <https://doi.org/10.37934/cfdl.15.6.154175>.

- [5] L. O. A. Barata, Edward Ngii, Takahiro Kiwata, & Takaaki Kono. (2022). Enhancing Dynamic Response of Cantilevered Rectangular Prism Using a Splitter Plate as a Passive Turbulence Control in Water Tunnel. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 91(2), 1–14. DOI: <https://doi.org/10.37934/arfmts.91.2.114>.
- [6] Samhuddin, L. O. A. Barata, and Nurjannah Yusman, "Pengaruh Kendali Turbulensi Aliran terhadap Bidang Aliran Di Sekitar Struktur Persegi", *Piston-JT*, vol. 8, no. 1, pp. 30–36, Jul. 2023, DOI: <https://doi.org/10.55679/pistonjt.v8i1.42>
- [7] ANSYS. "Ansys Fluent 18.2 Theory Guide." ANSYS Inc., 2017.
- [8] Kajishima, Takeo, and Kunihiro Taira. *Computational fluid dynamics: incompressible turbulent flows*. Springer, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-45304-0>
- [9] Versteeg, Henk Kaarle, and Weeratunge Malalasekera. *An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method*. Pearson Education, 2007.
- [10] Sulistyaningtyas, A. D., & Wantika, R. R. (2022). Penerapan Persamaan Navier-Stokes untuk Model Matematika Perpindahan Panas Aliran Fluida Unsteady. In *PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika* (Vol. 5, pp. 781-786).
- [11] Oberkampf, William L., and Timothy G. Trucano. "Verification and validation in computational fluid dynamics." *Progress in Aerospace Sciences* 38, no. 3 (2002): 209-272. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0376-0421\(02\)00005-2](https://doi.org/10.1016/S0376-0421(02)00005-2)
- [12] Oberkampf, William L., and Matthew F. Barone. "Measures of agreement between computation and experiment: validation metrics." *Journal of Computational Physics* 217, no. 1 (2006): 5-36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2006.03.037>
- [13] Mizukami, Shunichi. 2017. "Study on the Flow around the Elastic Supported Prism and the Vibration Dynamics of the Flow (in Japanese)." Master Thesis, Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University.
- [14] Knisely, C. W. "Strouhal Numbers of Rectangular Cylinders at Incidence: A Review and New Data." *Journal of Fluids and Structures* 4, no. 4 (1990): 371–393. [https://doi.org/10.1016/0889-9746\(90\)90137-T](https://doi.org/10.1016/0889-9746(90)90137-T).
- [15] Bearman, P W, and D M Trueman. "An Investigation of the Flow around Rectangular Cylinders." *Aeronautical Quarterly* 23, no. 3 (1972): 229–237. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0001925900006119>
- [16] S. H. S.P., "Analisis Perbandingan Velocity Dan Shear Stress Perkembangan Boundary Layer Flat Plate Menggunakan Turbulent Model k – ϵ (Standard, Realizable, RNG)," *J. Penelit.*, vol. 2, no. 1, pp. 27–37, 2017, DOI: <https://doi.org/10.46491/jp.v2e1.109.27-37>
- [17] Y. Wahyudi and M. Agung, "Pengaruh Distribusi Tekanan Terhadap Gaya Lift Airfoil Naca 23012 Pada Berbagai Variasi Angle of Attack," *J. Mech. Eng.*, 2021.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan penghargaan dan terimakasih kepada Mohammad Abdirizal Bahmid atas bantuannya dalam penelitian numerik ini.

Pernyataan Penulis

Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan dalam publikasi artikel ini. Semua penulis menyetujui penerbitan artikel ini.