



Pengaruh Kendali Turbulensi Aliran terhadap Pola Aliran Di Sekitar Struktur Persegi

Samhuddin^{1*}, La Ode Ahmad Barata², Nurjannah Yusman³

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin Universitas Halu Oleo, Kendari 93232

³Jurusan Teknik Mesin, Universitas Musamus, Merauke, Papua

Riwayat Artikel:

Diajukan: 21/06/2023

Diterima: 05/07/2023

Tersedia online

06/07/2023

Terbit: 30/06/2023

Kata Kunci:

Pemisah aliran

Model turbulen $k - \epsilon$

Gaya-gaya fluida

Tekanan

Deformasi aliran

Keywords:

Splitter plate

Turbulent model $k - \epsilon$

Fluid forces

Pressure

Flow deformation

Abstrak

Karakteristik aliran yang melewati struktur mempengaruhi stabilitas, desain aerodinamika dan respon struktur terhadap pola aliran yang melewatinya. Penelitian ini mengkaji secara numerik efek penggunaan pemecah aliran (*splitter plate*) terhadap pola kecepatan, tekanan, gaya aerodinamis dan deformasi aliran pada bilangan Reynolds 10^4 . Penelitian ini menggunakan pemecah aliran tipe ganda 2D di sisi hilir dengan model turbulen $k-\epsilon$ menggunakan perangkat lunak ANSYS FLUENT 18.2. Hasil simulasi numerik menunjukkan bahwa penggunaan splitter plate telah merubah pola aliran yang melewati silinder persegi yang ditandai dengan berkurangnya zona negative aliran, pemulihan tekanan, dan penurunan gaya hambat. Pola deformasi aliran berbeda dengan silinder tanpa *splitter plate*. Data-data numerik juga ditampilkan dalam bentuk kontur aliran untuk memverifikasi data grafis yang ditunjukkan pada studi ini. Studi ini juga menunjukkan bahwa penggunaan *splitter plate* juga menunjukkan sensitifitas grid yang berbeda dengan silinder persegi biasa, sehingga uji validasi-verifikasi sensitifitas grid silinder dengan splitter plat tidak direkomendasikan pada kasus yang serupa.

Abstract

The characteristics of the flow passing over the structure affect the stability, aerodynamic design and response of the structure to the flow patterns passing over it. This study numerically examines the effects of using a splitter plate on the velocity pattern, pressure, aerodynamic forces and flow deformation at a Reynolds number of 10^4 . This study used a 2D double-type flow splitter on the downstream side with a $k-\epsilon$ turbulent model using ANSYS FLUENT 18.2 software. Numerical simulation results show that the use of splitter plate has changed the flow pattern passing through the square cylinder which is indicated by the reduction of negative flow zone, pressure recovery, and decrease of drag force. The flow deformation pattern is different from the cylinder without a splitter plate. Numerical data are also shown in the form of flow contours to verify the graphical data shown in the present study. This study also shows that the use of a splitter plate also shows different grid sensitivity from a regular square cylinder, so the grid sensitivity validation-verification test of a cylinder with a splitter plate is not recommended for similar cases.

Pendahuluan

Kajian perilaku aliran fluida dalam aplikasi engineering seperti penukar kalor, pembakaran, dan alat transportasi, atau aliran fluida melintasi suatu benda (*bluff body*) menjadi sangat penting. Sebagai contoh, dalam industri transportasi seperti pesawat udara, mobil, atau kapal laut, gedung pencakar langit dan lain-lain. Penelitian dinamika fluida penting untuk mengetahui karakteristik aliran fluida sehingga dapat mengidentifikasi komponen yang menyebabkan kerugian atau potensi kegagalan pada suatu konstruksi yang tidak memenuhi syarat dengan sifat aliran fluida yang melewatinya.

Sifat aliran fluida yang melewati objek silinder sangat kompleks sehingga banyak penelitian telah dilakukan baik secara eksperimental maupun numerik untuk mengurangi dampak negatif dari perilaku aliran, atau mengambil manfaat dari perilaku aliran yang melewati struktur seperti pada referensi [1 – 3]. Guo et al, 2021 [4] menunjukkan bahwa aliran fluida yang melewati benda persegi

* Penulis Korespondensi: samhuddinkbn@gmail.com

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

bersifat tiga dimensi. Karakteristik vorteks aliran di sekitar silinder mempengaruhi distribusi tekanan, komponen gaya lift, dan drag.

Pola aliran di sekitar silinder dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kecepatan aliran, ukuran silinder, dan bentuk silinder. Oleh karena itu, variasi bilangan Reynolds, modifikasi permukaan silinder atau penambahan peralatan kendali turbulensi aliran merupakan topik kajian bagi para peneliti seperti pada referensi [5 – 7].

Hasil studi numerik tentang pengaruh penggunaan kendali turbulen dengan plat pemisah terhadap sifat aliran menunjukkan bahwa penekanan vorteks aliran di hilir silinder dapat menurunkan drag dan mempercepat pemulihan komponen tekanan aliran. Skala eksperimen terhadap penggunaan pemisah vortex aliran di sisi hilir objek persegi panjang menunjukkan bahwa hal itu meningkatkan atau mempercepat respon dinamis struktur (*galloping*) seperti yang ditunjukkan pada referensi [6 – 7]. Oleh karena itu, studi tentang upaya modifikasi pola aliran utamanya di sisi hilir silinder layak untuk terus dilakukan. Penelitian sebelumnya banyak berfokus pada modifikasi vorteks aliran dengan menggunakan plate pemisah tunggal dan masih sedikit literatur yang menunjukkan penggunaan plat pemisah aliran ganda. Penelitian ini berfokus pada pengaruh penambahan splitter plate ganda di sisi hilir terhadap pola aliran di sekitar silinder persegi yang dikaji secara numerik.

Metode Numerik

Penelitian ini menggunakan metode simulasi yang divalidasi sesuai dengan pedomen yang diuraikan pada referensi [8,9]. Perangkat lunak yang digunakan adalah *Computational Fluid Dynamics (CFD) Ansys FLUENT 18.2 Student Version* dengan model turbulen *k-ε Realizable*.

Persamaan yang digunakan

- Persamaan kontinuitas fluida *inkompresibel* dua dimensi adalah

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

- Persamaan momentum Navier-Stokes 2D fluida Newton - *incompressible* dalam koordinat kartesius [10, 11] yaitu:

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

$$\rho g_y - \frac{\partial P}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) = \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right) \tag{3}$$

- Model turbulen *k - ε realizable* (RKE)

Model *k - ε realizable* merupakan model turbulen dengan dua persamaan yang memungkinkan kecepatan turbulen (*turbulent velocity*) dan fluktuasi turbulensi aliran (*length scales*) ditentukan secara independen. Faktor kestabilan, murah (dari sisi biaya komputasi), dan akurasi yang memadai untuk berbagai jenis pemodelan aliran turbulen membuat model *k - ε* sering di gunakan pada simulasi aliran fluida dan perpindahan panas pada kebutuhan analisa awal kasus-kasus industri.

Persamaan *k- ε Realizable* (lihat referensi 12 pg. 51 untuk informasi detail) dapat dilihat pada persamaan (4).

Persamaan transport untuk energi kinetik tubulensi dan disipasi energi yaitu:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_K \tag{4}$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\epsilon - \rho C_2 \frac{\epsilon^2}{K + \sqrt{\nu \epsilon}} + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{K} C_{3\epsilon} G_b + S_\epsilon \tag{5}$$

dimana:

$$C_1 = \max. \left[0, 43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right], \eta = s \frac{k}{\epsilon}, s = \sqrt{2 S_{ij} S_{ij}}$$

- G_k Pembangkitan energi kinetik turbulensi karena gradien kecepatan rata-rata
- G_b pembangkitan energi kinetik turbulensi karena daya apung – efek gaya apung
- Y_M kontribusi dari fluktuasi dilatasi dalam turbulensi inkompresibel terhadap laju disipasi secara keseluruhan – efek kompresibilitas terhadap turbulensi aliran

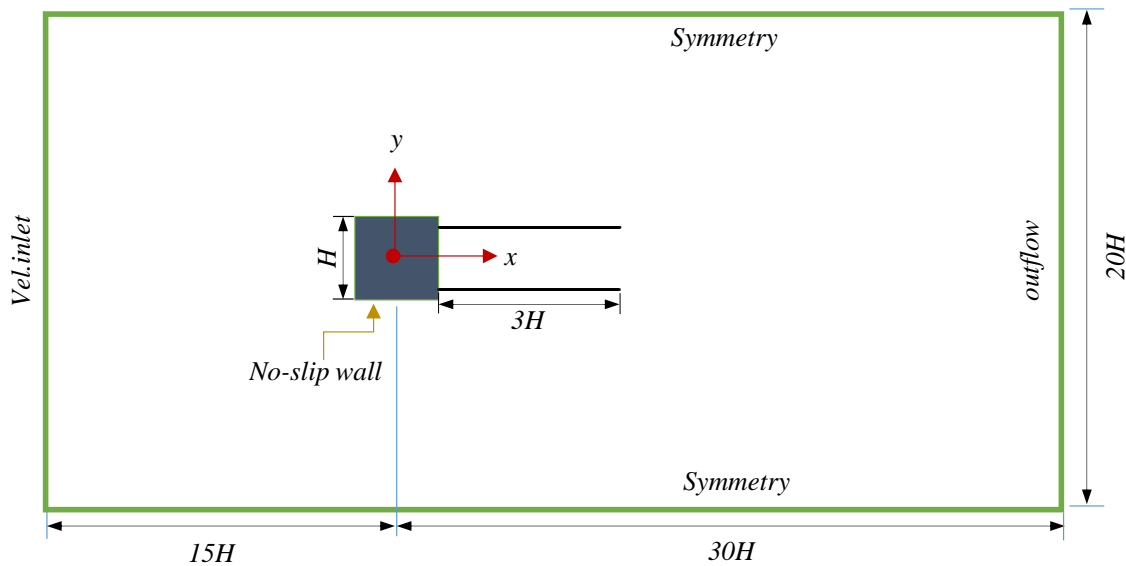
Tabel 1. Pengaturan metode numerik

No	Aspek	Pengaturan
1	Model Solver (<i>Solver Model</i>)	<i>Preassure based, 2D, Transient</i>
2	Model Viskos (<i>Viscous Model</i>)	<i>Turbulent k- ε Realizable</i>

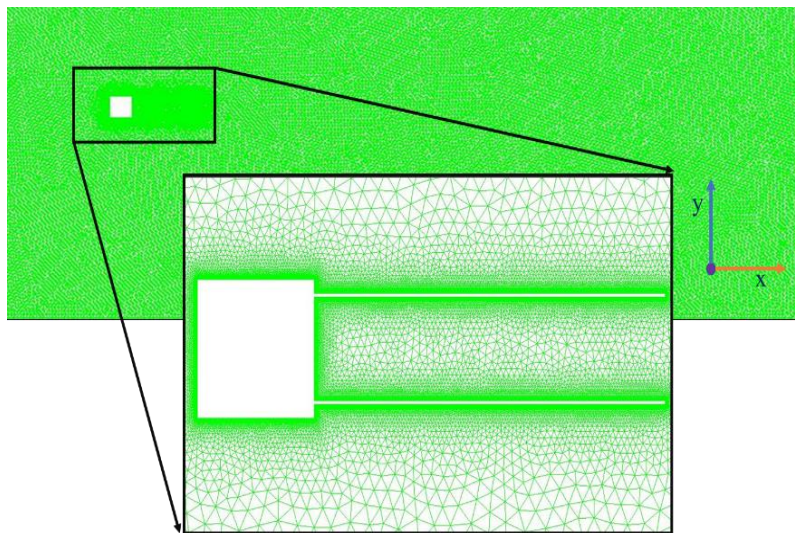
3	Material	Air with constant density, $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$
4	Kondisi Operasi (<i>Operating Condition</i>)	101325 Pa
5	Inisiasi (<i>Initialize</i>)	Velocity Inlet
6	Residual Monitor	10^{-6}

Model Domain

Pemodelan ini menggunakan kondisi batas yaitu *velocity inlet*, *outflow*, *symmetry*, dan *non-slip wall* sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 1**. Model mesh yang digunakan pada penelitian ini yaitu *unstructured mesh*, dengan jarak sel pertama tak berdimensi tegak lurus arah aliran $y(=0,6 \text{ unit})$. Jumlah nodal sel domain maksimum 10^5 nodal.



Gambar 1. Domain simulasi numerik



Gambar 2. Pola grid *unstructure* di sekitar kondisi batas dinding

Metode Validasi dan verifikasi

Validasi dan verifikasi metode dan hasil dari pendekatan numerik merupakan bagian penting dalam memastikan tingkat akurasi pemodelan numerik. Pedoman umum dari langkah ini diuraikan dalam Oberkampf & Barone, 2006; Oberkampf & Trucano, 2002 [8], [9]. Beberapa metode atau langkah validasi/verifikasi metode numerik dilakukan dengan uji sensitifitas grid, *time-step*, balans massa, dan atau membandingkan hasil numerik yang serupa dengan dengan hasil-hasil eksperimen yang kebenarannya telah diuji. Validasi/verifikasi pada penelitian ini dilakukan dengan menguji atau

membandingkan nilai-nilai komponen gaya fluida dengan hasil yang diperoleh melalui pendekatan studi numerik maupun eksperimental. Uji verifikasi model dilakukan pada silinder utuh (persegi tanpa spliter). Nilai perbandingan komponen gaya fluida ditunjukkan pada **Tabel 2**.

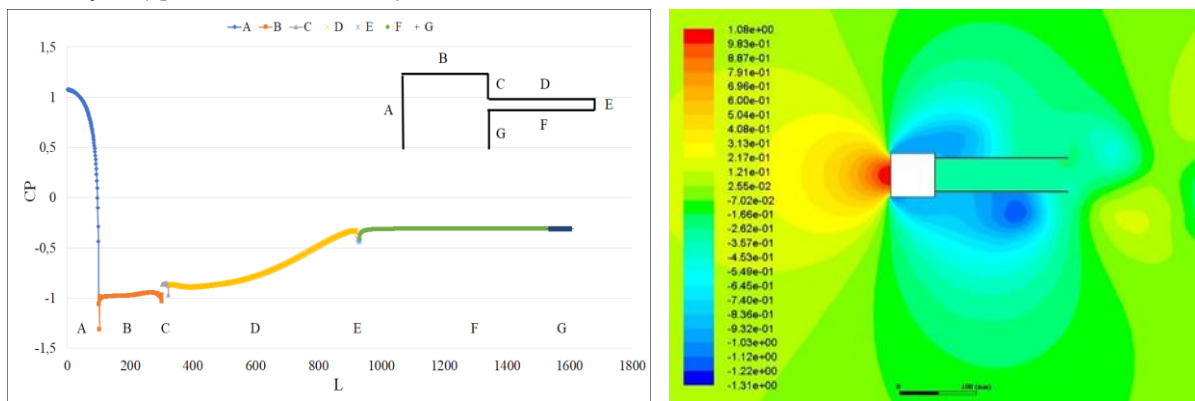
Tabel 2. Verifikasi model uji dengan hasil penelitian numerik dan eksperimen

Penulis	CD	-Cpb	St	Re	Model
Mizukami [13]	2,15	1,43	0,12	22000	LES 3D
Yu [14]	2,14	1,56	0,14	10000	LES 3D
Knisley [15]	2,03-2,20	0,13	-	22000	Eksperimen
Bearmen [16]	2,19	1,4	0,12	$2 - 7 \times 10^4$	Eksperimen
Penelitian ini	1,99	1,27	0,12	10000	RKE 2D

Hasil dan Pembahasan

A. Medan komponen tekanan (pressure field)

Distribusi tekanan aliran yang melewati silinder dengan spliter plate ditunjukkan pada **Gambar 3**. Pemulihan medan tekanan akibat pemisahan aliran pada ujung depan silinder terjadi di sisi hilir (C-D) dimana negatifitas medan tekanan berkurang akibat pusaran aliran terhalangi oleh spliter plate. Pusaran aliran ini menciptakan medan tekanan negatif aliran di sekitar silinder. Pada silinder tanpa spliter akan menunjukkan negatifitas yang besar seperti yang ditunjukkan pada referensi [17]. Kontur distribusi tekanan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3** menerangkan bahwa zona tekanan negatif menciptakan area pusaran aliran dimana komponen kecepatan menurun secara drastis. Jika dibandingkan dengan silinder tanpa spliter, zona tekanan negatif akan terkonsentrasi tepat di sisi belakang silinder karena diinduksi oleh pusaran aliran dari dua sisi. Pemisahan aliran di tepi depan menciptakan akselerasi komponen kecepatan yang menginduksi terjadinya zona negatif (atau zona *bubble form*) pada sisi di bawahnya.



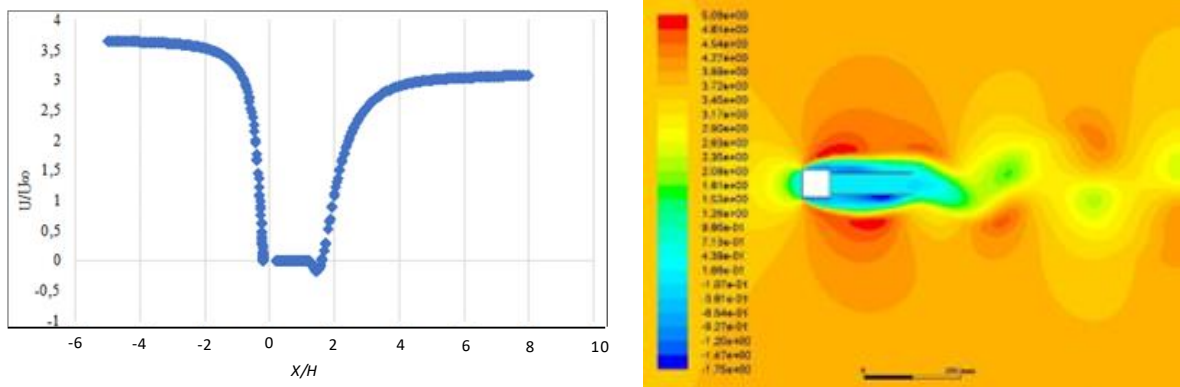
Gambar 3. Pola distribusi tekanan aliran (kiri), dan kontur distribusi tekanan (kanan)

B. Pola komponen kecepatan

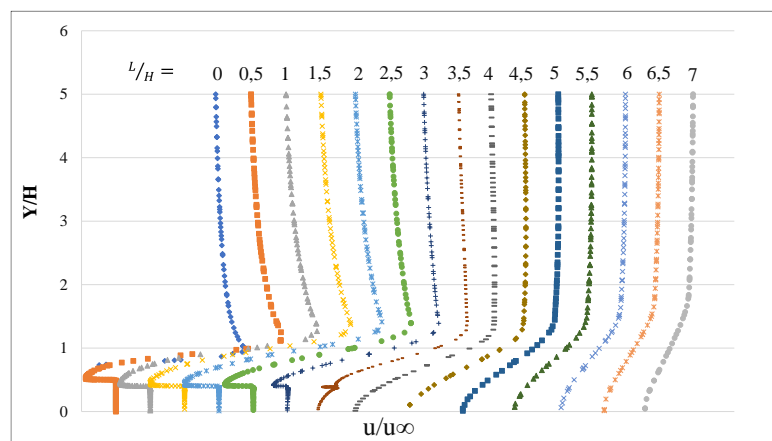
Pola distribusi komponen kecepatan dan kontur kecepatan aliran *downstream* ditunjukkan oleh **Gambar 4**. Gradien komponen kecepatan pada sisi hulu diinduksi oleh adanya tekanan balik aliran (lihat **Gambar 3(b)**) yang mereduksi komponen kecepatan seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 4(b)**. Zona kecepatan stagnasi ($u \approx 0$) terdapat pada sisi tepi depan dan berkembang hingga mendekati tepi belakang silinder. Area dekat tepi belakang terjadi negatifitas medan kecepatan akibat terdapatnya gelembung (*bubble*). Selanjutnya, medan kecepatan mengalami pemulihan (*recovery*) hingga mendekati kecepatan aliran bebas ($u \approx U_\infty$).

Distribusi komponen kecepatan v sepanjang *downstream* ditunjukkan pada **Gambar 5**. Fenomena *backflow* komponen kecepatan v terlihat di sepanjang kondisi batas dinding terutama area dekat silinder. Komponen kecepatan v di atas area $Y/H > 1.5$ mengalami fenomena percepatan sepanjang

kondisi batas dinding dan semakin melemah ke arah koordinat Y atau zona aliran bebas. Keadaan ini dapat diverifikasi pada kontur kecepatan yang ditunjukkan oleh **Gambar 4(b)**.



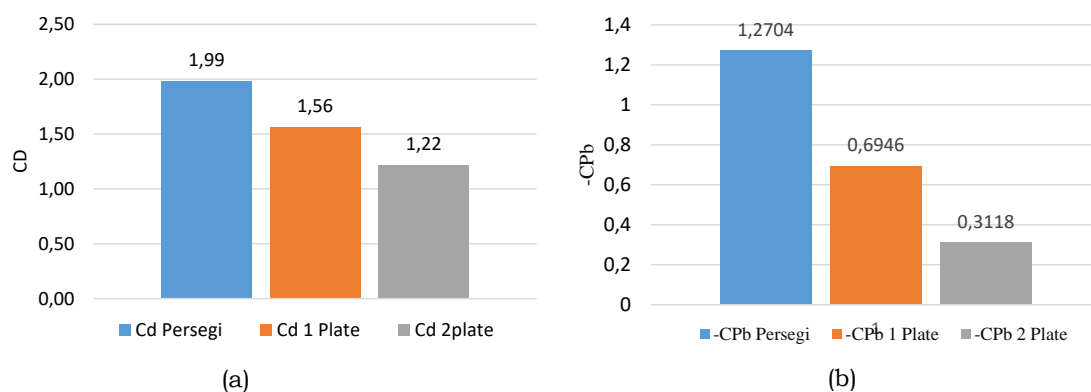
Gambar 4. Pola distribusi komponen kecepatan aliran (kiri), dan kontur distribusi kecepatan (kanan)



Gambar 5. Distribusi kecepatan sepanjang *downstream*

C. Pola komponen gaya

Efek penambahan *splitter plate* terhadap gaya-gaya aerodinamis fluida ditunjukkan pada **Gambar 6**. Penghambatan pusaran aliran baik pada hilir silinder telah secara efektif menekan fluktuasi komponen aliran yang mengakibatkan tertekannya *vortex shedding* (*Karman Vortex*). Hal ini berimplikasi pada adanya penurunan gaya hambat dan proses pemulihan gaya tekanan aliran seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 6(b)**. Studi ini juga menunjukkan bahwa panjang plate pemisah aliran di hilir silinder dianggap cukup menghalau *backflow* dari aliran geser (*sheared flow*) yang mengalami percepatan saat



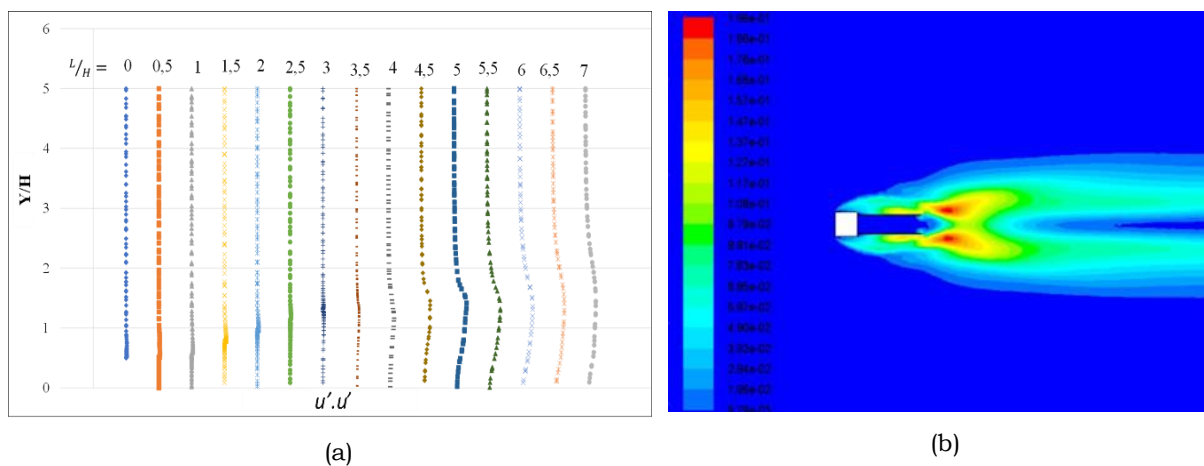
Gambar 6. Efek splitter plat terhadap komponen (a) gaya hambat, (b) tekanan aliran

terjadi separasi aliran di tepi depan silinder. Aliran geser tidak menciptakan zona negatif baru di sisi *downstream* silinder.

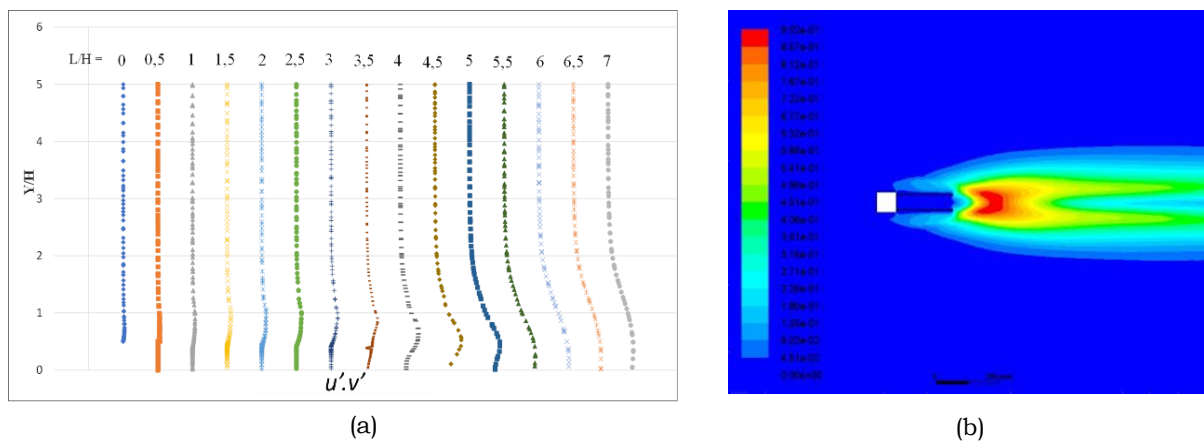
Studi yang dilakukan oleh Barata et al, 2022 [6] menunjukkan bahwa pemisahan vorteks aliran telah menaikkan frekuensi karakteristik dari silinder persegi panjang, sehingga jika sebuah silinder dipasang secara elastis maka hal ini akan mempercepat gerak dinamis silinder (*galloping*). Ini berarti bahwa gaya hambat aliran menjadi berkurang dan energi fluida dapat ditransfer ke sistem dinamis sehingga menaikkan amplitudo getaran.

D. Pola komponen tegangan Reynolds

Deformasi aliran yang melewati silinder persegi dengan pemisah aliran di sisi hilir ditunjukkan pada gambar 7 dan 8. Tidak terdapat deformasi normal yang menonjol dari aliran di sepanjang kondisi batas dinding ($L/H < 4$). Hal ini mendukung deskripsi sebelumnya tentang tingkat negatifitas tekanan di *downstream* yang menurun yang berimplikasi pada perubahan pola aliran. Deformasi geser Nampak muncul pada zona $L/H < 4$ tetapi tidak sebesar deformasi geser aliran yang melewati silinder dengan tanpa pemecah aliran (lihat artikel referensi [17]).



Gambar 7. (a) Distribusi deformasi normal fluida sepanjang *downstream*, (b) kontur deformasi normal



Gambar 8. (a) Distribusi deformasi geser fluida sepanjang *downstream*, (b) kontur deformasi geser

Kesimpulan

Studi numerik pengaruh penggunaan splitter late ganda di sisi hilir silinder persegi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *ANSYS FLUENT 18.2* pada bilangan Reynolds 10^4 dengan simpulan bahwa penggunaan spliter plate telah merubah pola aliran yang melewati silinder persegi yang ditandai dengan berkurangnya zona negative aliran, pemulihan tekanan, dan penurunan gaya hambat. Pola deformasi aliran menunjukkan intensitas yang rendah. Data-data grafis yang diperoleh secara numerik penggunaan *splitter plate* juga menunjukkan sensitifitas grid yang berbeda dengan silinder persegi biasa, sehingga uji validasi-verifikasi sensitifitas grid silinder dengan *splitter plate* tidak direkomendasikan pada kasus yang serupa.

Daftar pustaka

- [1] A. Abdelkefi, "Aeroelastic energy harvesting: A review", *International Journal of Engineering Science*, Vol. 100, 2016, pp 112-135, <https://doi.org/10.1016/j.ijengsci.2015.10.006>.
- [2] L. O. A. Barata, K. Takahiro, T. Ueno, S. Samhuddin, and L. Hasanudin, "Experimental Investigation of Bladeless Power Generator from Wind-induced Vibration," *International Journal of Renewable Energy Development*, vol. 11, no. 3, pp. 661-675, Aug. 2022. <https://doi.org/10.14710/ijred.2022.43888>
- [3] H. Park, A. P. Mentzelopoulos, M. M. Bernitsas, "Hydrokinetic energy harvesting from slow currents using flow-induced oscillations", *Renewable Energy*, Vol. 214, 2023, pp 242-254, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.05.110>.
- [4] Guo, G. Wu, X. Du, M. S. Mason, "Numerical investigation of flow around a square cylinder in accelerated flow." *Physics of Fluids* 1 October 2021; 33 (10), 104105. <https://doi.org/10.1063/5.0062282>
- [5] X. Liu, F. Huang, F. Xu, Z. Duan, J. Ou, "Numerical study on wake control of square cylinder based on vertical axis wind turbines", *Journal of Building Engineering*, Vol. 68, 106203, June 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2023.106203>.
- [6] L. O. A. Barata, E. Ngii, T. Kiwata, and T. Kono, "Enhancing Dynamic Response of Cantilevered Rectangular Prism Using a Splitter Plate as a Passive Turbulence Control in Water Tunnel," *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.*, vol. 91, no. 2, pp. 1-14, Feb. 2022, <https://doi.org/10.37934/arfmts.91.2.114>
- [7] Hwang, Jong-yeon, & K. Yang, "Drag Reduction on a Circular Cylinder Using Dual Detached Splitter Plates", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 95 (2007): 551-564. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2006.11.003>
- [8] W. L. Oberkampf and M. F. Barone, "Measures of agreement between computation and experiment: Validation metrics," *J. Comput. Phys.*, vol. 217, no. 1, pp. 5-36, Sep. 2006.
- [9] W. L. Oberkampf and T. G. Trucano, "Verification and validation in computational fluid dynamics," *Prog. Aerosp. Sci.*, vol. 38, no. 3, pp. 209-272, Apr. 2002.
- [10] M. F. White, *Fluid Mechanics*-Eighth edition. McGraw Hill Education, 2016.
- [11] H. Versteeg and W. Malalasekera, *Introduction to Computational Fluid Dynamics*, 2nd ed. Pearson Education Limited, 2010.
- [12] ANSYS, *ANSYS Fluent 18.1. Theory Guide*, ANSYS, Inc, 2017.
- [13] S.Mizukami, "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, 2017.
- [14] D.Yu, K. Butler, A. Kareem, J. Glimm, and J. Sun, "Simulation of the Influence of Aspect Ratio on the Aerodynamics of Rectangular Prisms", *Journal of Engineering Mechanics* 139, no. 4, pp. 429-438, 2013. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EM.1943-7889.0000494](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0000494).
- [15] C. W. Knisely, "Strouhal Numbers of Rectangular Cylinders at Incidence: A Review and New Data," *Journal of Fluids and Structures* 4, no. 4, pp. 371-393, 1990. [https://doi.org/10.1016/0889-9746\(90\)90137-T](https://doi.org/10.1016/0889-9746(90)90137-T).
- [16] P W Bearman, and D M Trueman, "An Investigation of the Flow around Rectangular Cylinders," *Aeronautical Quarterly* 23, no. 3 pp.229-237, 1972. <https://doi.org/10.1017/S0001925900006119>
- [17] L. O. A. Barata, T. Kiwata, A. Rachman, Samhuddin, and nanang endriatno, "Numerical Investigation of Flow Around Finite Height Rectangular", *CFD Lett.*, vol. 15, no. 6, pp. 154-175, Apr. 2023. <https://doi.org/10.37934/cfdl.15.6.154175>

Ucapan penghargaan

Tuliskan ucapan penghargaan yang ditujukan pada bagian ini kepada pihak terkait. Sebutkan sumber pendanaan rancangan anda jika ada

Pernyataan Penulis

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