

Kajian Numerik Pengaruh Geometri *Intake* Pompa dan *Anti-Vortex Device* Terhadap Aliran pada *Intake* Pompa

Junifer Hotma Parulian Sianipar^{1*}, Hadi Sutanto², Sheila Tobing³

^{1,2,3} Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya
Jl. Jend. Sudirman No. 51, RT.5/RW.4, Karet Semanggi, Kecamatan Setiabudi, Kota Jakarta Selatan, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 12930, Indonesia.

*Corresponding author: junifer_sianipar@yahoo.com

Abstract

Errors in pump intake design are often caused by incorrect geometry, inadequate immersion, and uneven velocity distribution, which cause vibration, noise, reduced discharge, head, and pump efficiency. This study aims to: 1) study the effect of variable pump bay widths of 3 meters, 4 meters, and 5 meters on fluid flow at the pump intake. 2) Study the effect of variable pump bay widths of 3 meters, 4 meters, and 5 meters with anti-vortex devices on fluid flow at the pump intake. This research method uses computational fluid dynamics (CFD) with a tetrahedral mesh because of the complex shape and geometry of the pump intake. The k- ϵ realizable turbulence model is used to analyze the flow that produces vortices. The results of the study show that based on the variable pump bay width, the average velocity distribution entering the pump bay is still in accordance with the recommended standard, which is below 0.5 m/s. The pump bay with a width of 3 meters has the highest average velocity compared to other pump bays. Based on the variable pump bay width and the use of anti-vortex devices, it is concluded that the pump intake design with anti-vortex devices has a more uniform flow distribution. However, in a pump bay with a width of 3 meters, even though an anti-vortex device is used, the flow distribution remains non-uniform because the geometric width of 3 meters is not sufficient.

Keywords: *computational fluid dynamic (CFD), velocity distribution, pump intake, anti-vortex device, pump bay*

Abstrak

Kesalahan dalam desain intake pompa sering disebabkan oleh geometri yang salah, perendaman tidak memadai, dan distribusi kecepatan tidak merata, yang menyebabkan getaran, kebisingan, berkurangnya debit, *head*, dan efisiensi pompa. Penelitian ini bertujuan untuk: 1) mempelajari pengaruh variabel lebar *pump bay* 3 meter, 4 meter dan 5 meter terhadap aliran fluida pada *intake* pompa. 2) mempelajari pengaruh variabel lebar *pump bay* 3 meter, 4 meter dan 5 meter dengan *anti-vortex device* terhadap aliran fluida pada *intake* pompa. Metode penelitian ini menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD) dengan mesh tetrahedral karena bentuk dan geometri intake pompa yang rumit. Model turbulensi k- ϵ Realizable digunakan untuk menganalisis aliran yang menghasilkan pusaran. Hasil penelitian menunjukkan berdasarkan variabel lebar *pump bay* distribusi kecepatan rata-rata yang memasuki *pump bay* masih sesuai standard yang direkomendasikan yaitu dibawah 0,5 m/s. *Pump bay* dengan lebar 3 meter memiliki kecepatan rata-rata yang paling tinggi dibandingkan dengan *pump bay* lainnya. Berdasarkan variabel lebar *pump bay* dan penggunaan *anti-vortex device*, disimpulkan bahwa desain intake pompa dengan *anti-vortex device* memiliki distribusi aliran yang lebih seragam. Namun, pada *pump bay* dengan lebar 3 meter, meskipun menggunakan *anti-vortex device*, distribusi aliran tetap tidak seragam karena lebar geometri 3 meter belum mencukupi.

Kata kunci: *computational fluid dynamic (CFD), distribusi kecepatan, pump intake, anti-vortex device, pump bay*

1. Pendahuluan

Efisiensi dan keandalan sistem pompa sangat dipengaruhi oleh desain geometris dari *pump intake*, yang mencakup berbagai elemen seperti lebar *pump bay* dan penggunaan perangkat *anti-vortex device*. Struktur *intake* harus dirancang secara akurat untuk menghindari pembentukan pusaran dan *vortex* yang tidak diinginkan

[1]. Kecepatan rata-rata yang memasuki *pump bay* harus dibawah 0,5 m/s [2]. Desain hidraulik bak penampung yang dipompa harus menghindari terjadinya pusaran udara, karena pusaran ini dapat memengaruhi kinerja dan efisiensi pompa [3].

Desain yang tepat dari bak penampung *intake* sangat penting untuk menghindari pembentukan pusaran udara

atau pusaran air yang dapat mengganggu kinerja pompa [4]. Distribusi kecepatan yang tidak merata di *intake* menyebabkan ketidakstabilan hidrolis pada unit pompa, yang dapat mengakibatkan kegagalan dan kerusakan peralatan serta kesulitan dalam operasi dan pemeliharaan [5].

Gangguan dalam distribusi kecepatan menyebabkan ketidakstabilan hidrolis pada unit pompa, yang mengarah pada kegagalan, kerusakan, serta kesulitan operasi dan pemeliharaan [6]. Pusaran air di *intake* pompa dapat menyebabkan penurunan kinerja unit pompa [7]. Pusaran permukaan bebas pada *intake* pompa dapat menyebabkan berbagai masalah seperti kebisingan, getaran berlebihan, kerusakan struktur pompa, dan penurunan efisiensi serta aliran untuk turbin hidro [8]. pusaran muncul dan berkembang dalam sistem pemompaan bawah tanah, yang dapat mempengaruhi efisiensi dan kinerja pompa [9]. Pusaran air permukaan bebas merupakan kejadian umum yang tidak diinginkan pada *intake* hidrolis yang dapat menyebabkan dampak merugikan yang serius pada perangkat mekanis seperti turbin dan pompa [10]. Pusaran juga dapat menyebabkan pompa mengalami kavitasi. Sinyal getaran merupakan parameter yang sering digunakan dalam melakukan deteksi kavitasi [11].

Area masuk dan filtrasi kecil dari cekungan ke dasar *forebay intake* dapat menyebabkan terbentuknya *outlet jet* dan aliran superkritis [12]. Gradien kecepatan yang besar di area pusaran merupakan faktor kunci dalam pembentukan Pusaran Air Vortex di bak pompa [12]. Penggunaan perangkat *anti vorteks* menjadi kritis untuk mengendalikan dan mengurangi pembentukan pusaran di intake pompa [13]. Fluktuasi kecepatan, lokasi pembentukan pusaran, dan profil pusaran yang diprediksi oleh CFD sejalan dengan hasil eksperimen fisik [14]. Kelayakan penggunaan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) sebagai alternatif untuk desain intake pompa dievaluasi dengan tujuan untuk mengurangi kebutuhan akan eksperimen fisik yang

mahal dan memakan waktu [15]. Dari hasil penelitian CFD layak untuk digunakan.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk memahami dinamika aliran di dalam *pump bay*, namun ada beberapa aspek yang masih memerlukan eksplorasi lebih lanjut. Meskipun penggunaan *anti-vortex device* dapat meningkatkan keseragaman aliran, lebar *pump bay* yang tidak memadai masih dapat menyebabkan terjadinya vorteks dan distribusi kecepatan yang tidak merata. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh lebar *pump bay* 3 meter, 4 meter, dan 5 meter terhadap aliran fluida di *intake* pompa dan pengaruh lebar *pump bay* 3 meter, 4 meter, dan 5 meter dengan perangkat anti-vortex pada aliran fluida di *intake* pompa.

2. Metode Penelitian

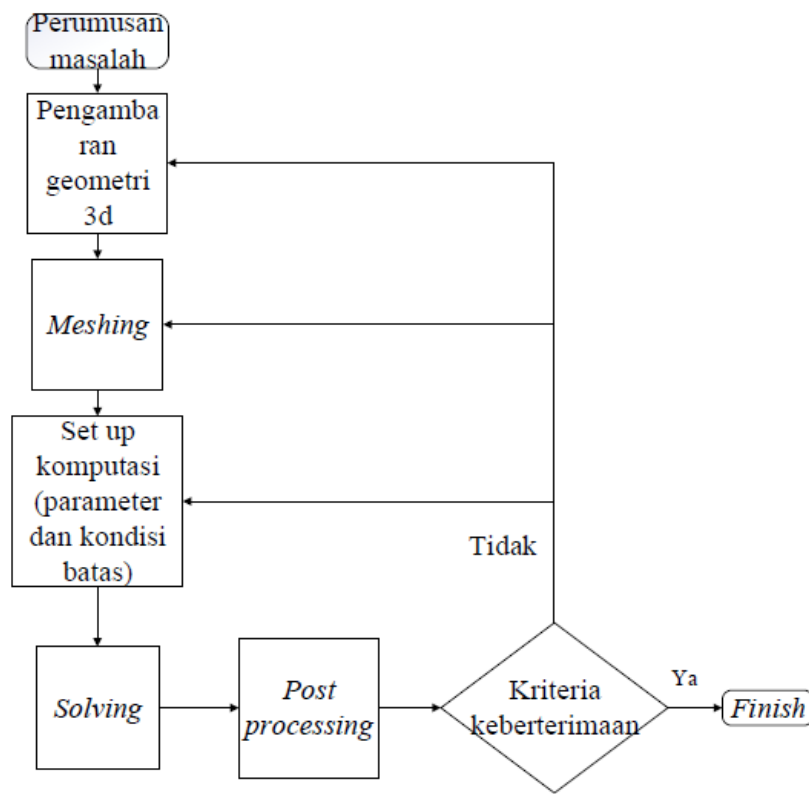
Metode penelitian ini menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk memodelkan secara akurat perilaku aliran fluida dan menganalisis distribusi kecepatan di *intake* pompa. Gambar 1 menunjukkan diagram alir penelitian yang dilakukan. Pertama, perumusan masalah merupakan langkah awal dalam penelitian di mana masalah yang akan diselesaikan atau pertanyaan yang akan dijawab melalui penelitian ditetapkan dengan jelas. Ini menjadi landasan untuk seluruh penelitian yang dilakukan.

Kedua, penggambaran geometri 3D dilakukan menggunakan perangkat lunak pemodelan 3D. Proses ini penting untuk memvisualisasikan secara akurat geometri dari intake pompa yang akan disimulasikan.

Ketiga, tahap meshing dilakukan untuk membagi domain yang kompleks menjadi elemen-elemen mesh yang lebih sederhana. Meshing ini penting dalam simulasi komputasi untuk memungkinkan analisis berbasis elemen hingga yang akurat.

Keempat, setup komputasi dilakukan di mana parameter-parameter simulasi seperti kecepatan aliran awal, jenis fluida, dan kondisi batas seperti *inflow*, *outflow*, *wall*, dan kondisi batas lainnya ditentukan. Langkah ini penting dalam persiapan

simulasi CFD untuk menentukan bagaimana aliran fluida akan dimodelkan dalam domain numerik.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Kelima, tahap *solving* melibatkan penyelesaian numerik dari persamaan dasar aliran fluida dalam domain numerik yang telah dimodelkan. Ini dilakukan untuk mendapatkan solusi yang mendekati perilaku aliran sebenarnya dalam kondisi yang diinginkan.

Keenam, *post processing* adalah langkah setelah *solving* di mana data hasil simulasi CFD dianalisis, divisualisasikan, dan diinterpretasikan. Tujuan dari *post processing* adalah untuk memahami lebih dalam perilaku aliran fluida yang terjadi dalam simulasi.

Terakhir, kriteria keberterimaan digunakan untuk mengevaluasi apakah pola aliran yang dihasilkan memenuhi standar atau kriteria yang telah ditetapkan. Dalam penelitian ini, kriteria keberterimaan mengacu pada standar yang relevan yaitu ANSI/HI.

3. Hasil dan Pembahasan

Pola geometri dari bak pompa terdiri dari enam skenario yang berbeda. Skenario ini bertujuan untuk menggambarkan bentuk-bentuk aliran, dan distribusi kecepatan saat aliran memasuki intake pompa. Geometri bak pompa memiliki variasi lebar, yaitu 3m, 4m, dan 5m. Selain itu, setiap variasi lebar dievaluasi dengan penggunaan anti vortex device dan tanpa anti vortex device

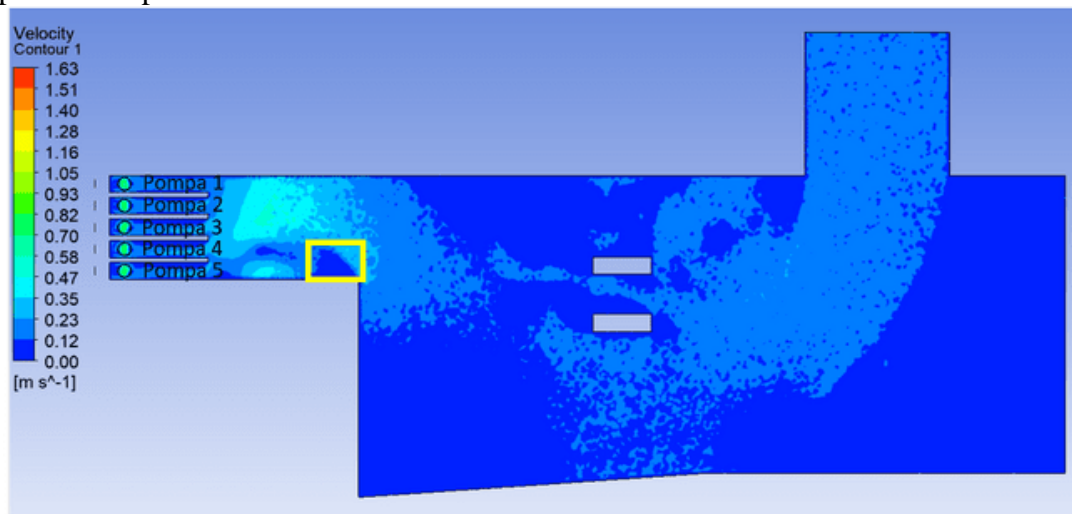
3.1 Skenario Pertama (*Pump bay dengan lebar 3m tanpa anti-vortex device*)

Gambar 2 menunjukkan kontur kecepatan saat kelima pompa beroperasi bersamaan. Tampak zona aliran stagnan dalam kotak kuning, terjadi karena sudut tajam yang dilalui fluida, namun masih jauh dari mulut pompa.

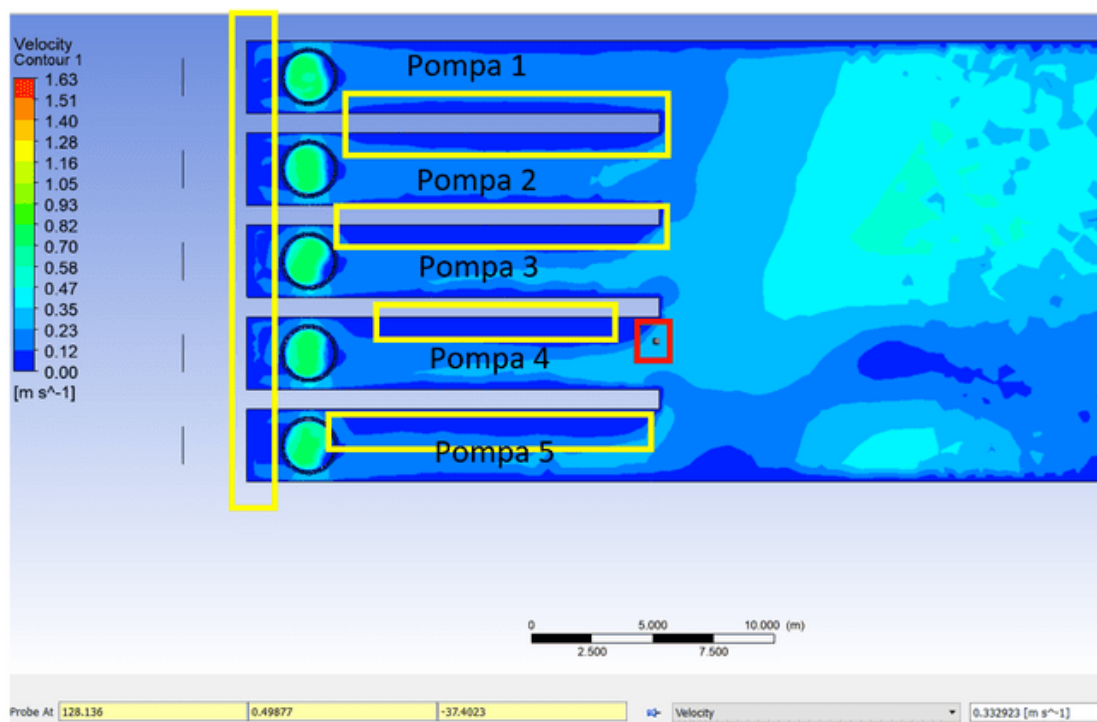
Gambar 3 memperlihatkan lebih jelas dalam kotak kuning aliran stagnan dengan

kecepatan mendekati nol di pintu masuk pump bay dan di belakang pompa distribusi aliran yang tidak seragam. Aliran stagnan ini bisa menyebabkan pengendapan partikel dan penurunan performa sistem.

Dari probe dalam kotak merah di Gambar 3, kecepatan di pintu masuk pump bay adalah 0,33 m/s, masih di bawah batas maksimum 0,5 m/s menurut HI [2].



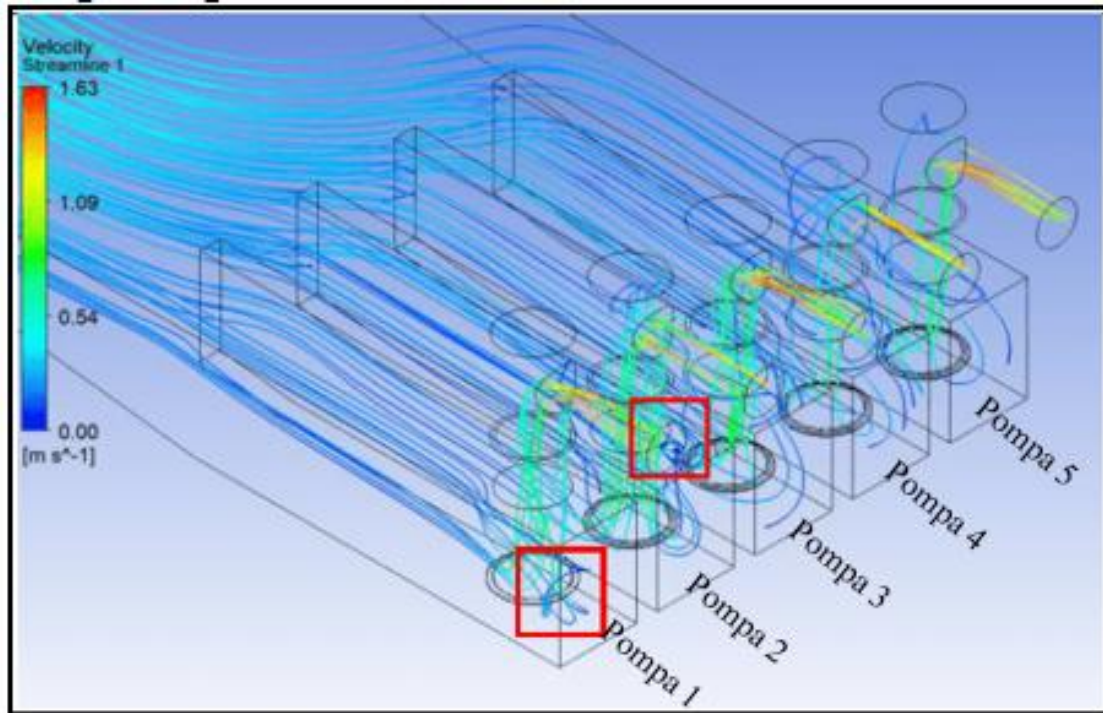
Gambar 2. Distribusi kontur kecepatan pada pump bay lebar 3m tanpa anti vortex device



Gambar 3. Perbesaran gambar pump bay lebar 3m tanpa anti vortex device

Gambar 4 menunjukkan *air entrance vortex* signifikan di pompa No. 2 dan pusaran di pompa 1, sementara pompa lainnya tidak mengalaminya. Vortex ini dapat menyebabkan kavitasi, kerusakan impeller, penurunan kinerja, peningkatan kebisingan, tekanan tidak merata, getaran,

dan turbulensi yang mempercepat keausan komponen dan mengurangi efisiensi serta umur pompa. Meskipun fenomena *submergence vortex* tidak terlihat, *air entrance vortex* tetap perlu diatasi untuk mengoptimalkan kinerja dan keandalan sistem intake pompa.

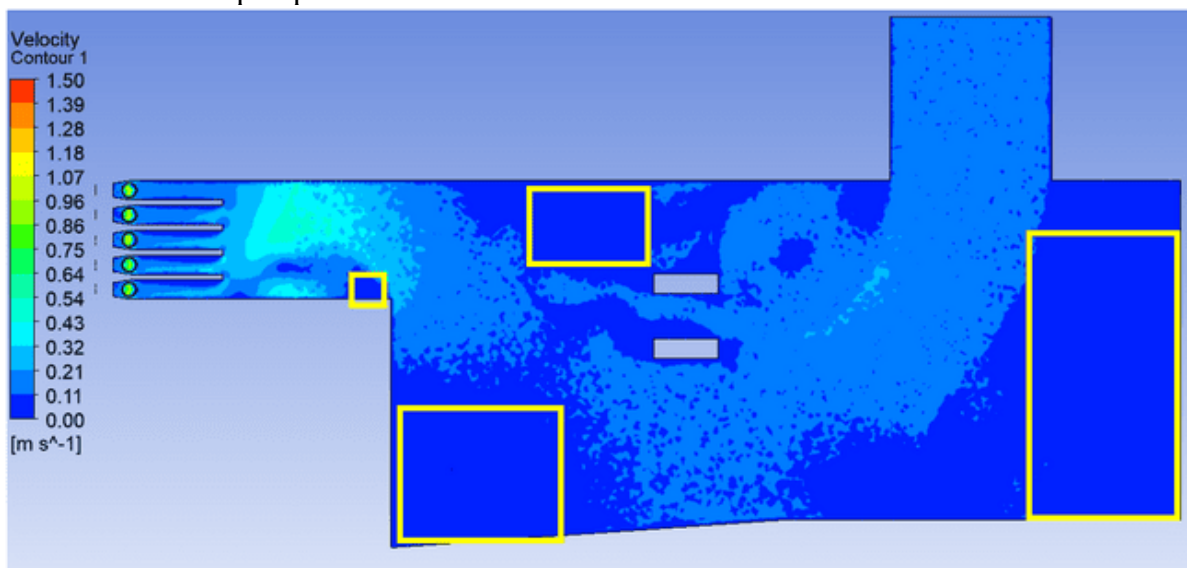


Gambar 4. Kontur *streamline* kecepatan di sekitar intake pompa, *pump bay* lebar 3m tanpa *anti vortex device*

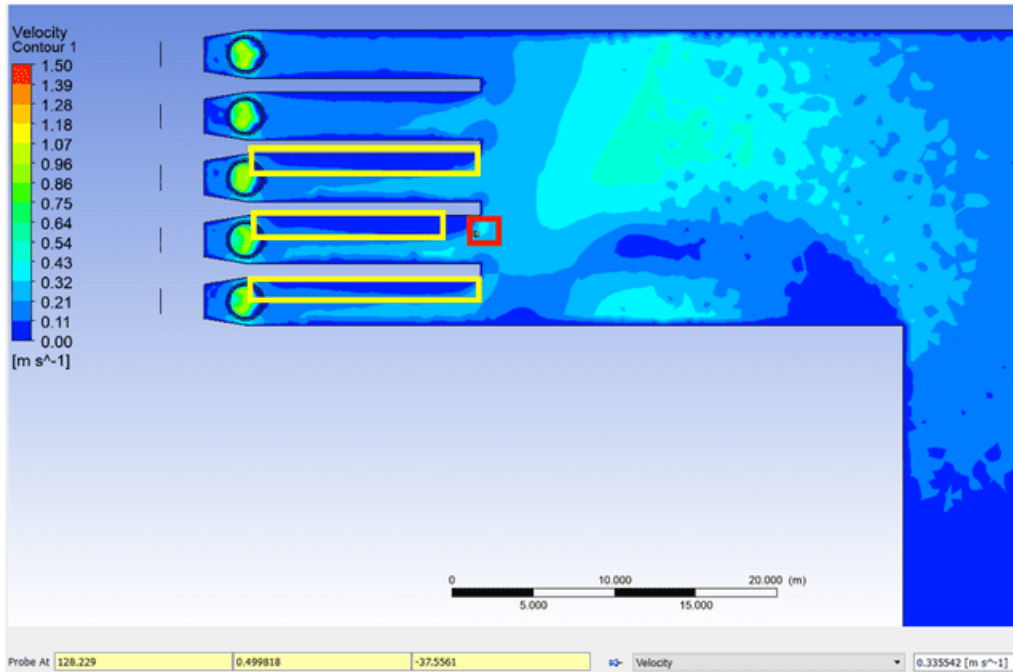
3.2 Skenario Kedua (*pump bay* dengan lebar 3m dengan *anti-vortex device*)

Gambar 5 menunjukkan kontur kecepatan saat kelima pompa beroperasi, dengan zona aliran stagnan dalam kotak kuning akibat sudut tajam aliran fluida, namun tidak terlalu berpengaruh karena jauh dari mulut pompa. Gambar 6

memperlihatkan aliran stagnan dengan kecepatan rendah di pintu masuk *pump bay*, tetapi di belakang pompa, aliran lebih seragam akibat *anti-vortex device*. Kecepatan di pintu masuk *pump bay* adalah 0,33 m/s, di bawah batas maksimum 0,5 m/s menurut HI [2].



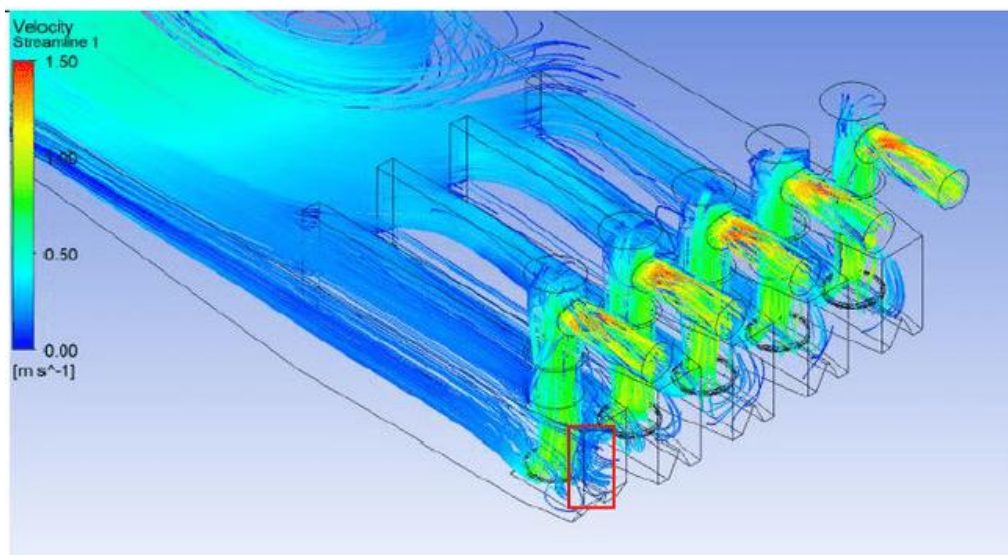
Gambar 5. Distribusi kontur pada *pump bay* lebar 3m dengan *anti vortex device*



Gambar 6. Perbesaran gambar *Pump Bay* lebar 3m dengan *Anti-vortex Device*

Gambar 7. dilihat dari garis aliran menunjukkan bahwa tidak terdapat *air entrance vortex* dan *submergence vortex* di sekitar intake pompa. Tetapi dari garis aliran terlihat bahwa di belakang pompa terjadi

pusaran yang cukup besar pada pompa 1. Pada pompa 2, 3, 4, dan 5 garis aliran yang berkelak-kelok menunjukkan bahwa terjadi turbulensi.



Gambar 7. Kontur *streamline* kecepatan di sekitar intake pompa, *pump bay* dengan lebar 3m dengan *anti vortex device*

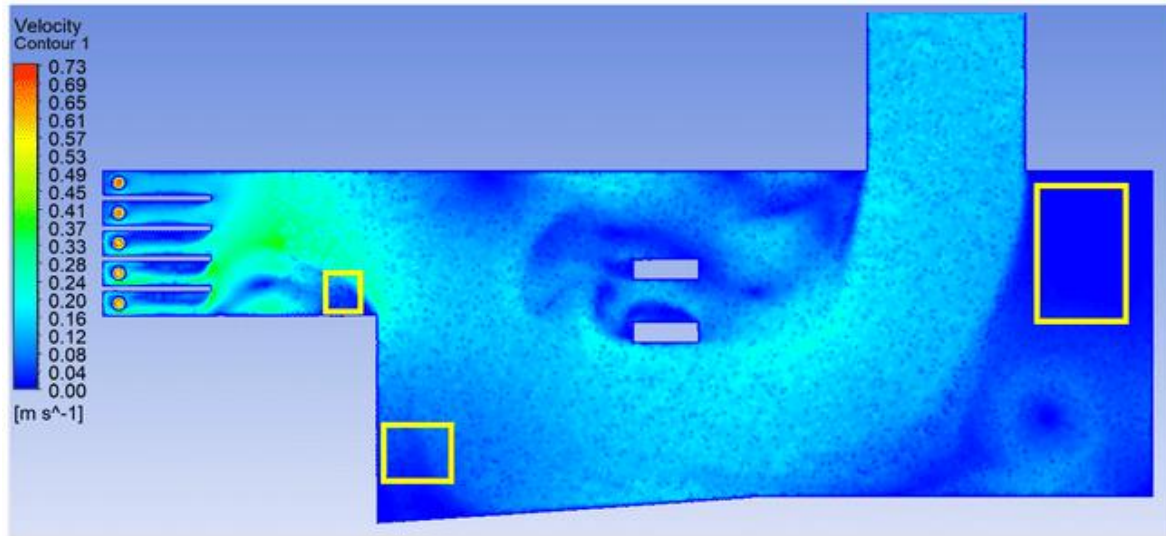
3.3 Skenario Ketiga (*pump bay* dengan lebar 4m tanpa *anti-vortex device*)

Gambar 8 menunjukkan kontur kecepatan saat kelima pompa beroperasi,

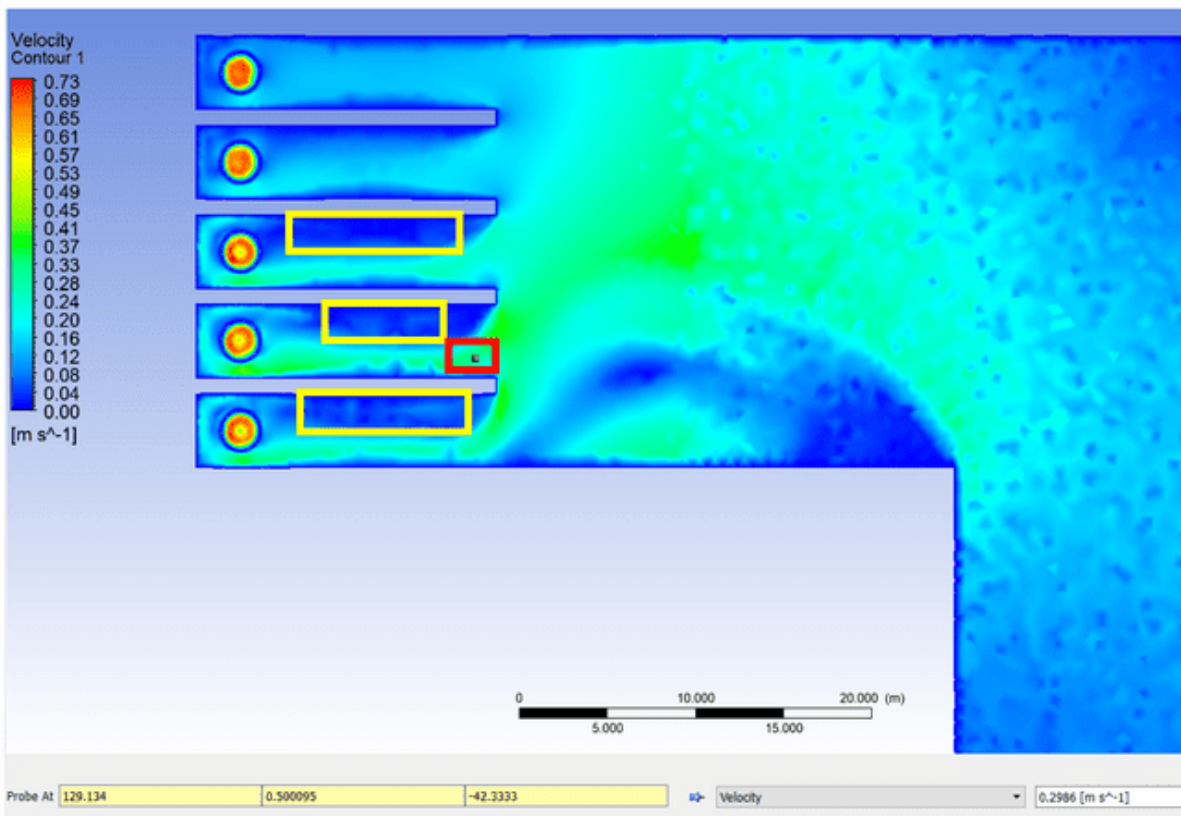
dengan zona aliran stagnan dalam kotak kuning. Gambar 9 memperjelas aliran stagnan berkecepatan rendah di pintu masuk *pump bay*, tetapi tidak terlalu besar di

belakang pompa karena lebar *pump bay* yang lebih besar. Probe pada kotak merah di Gambar 9 menunjukkan kecepatan pintu

masuk *pump bay* 0,29 m/s, masih di bawah batas maksimum 0,5 m/s menurut HI [2].



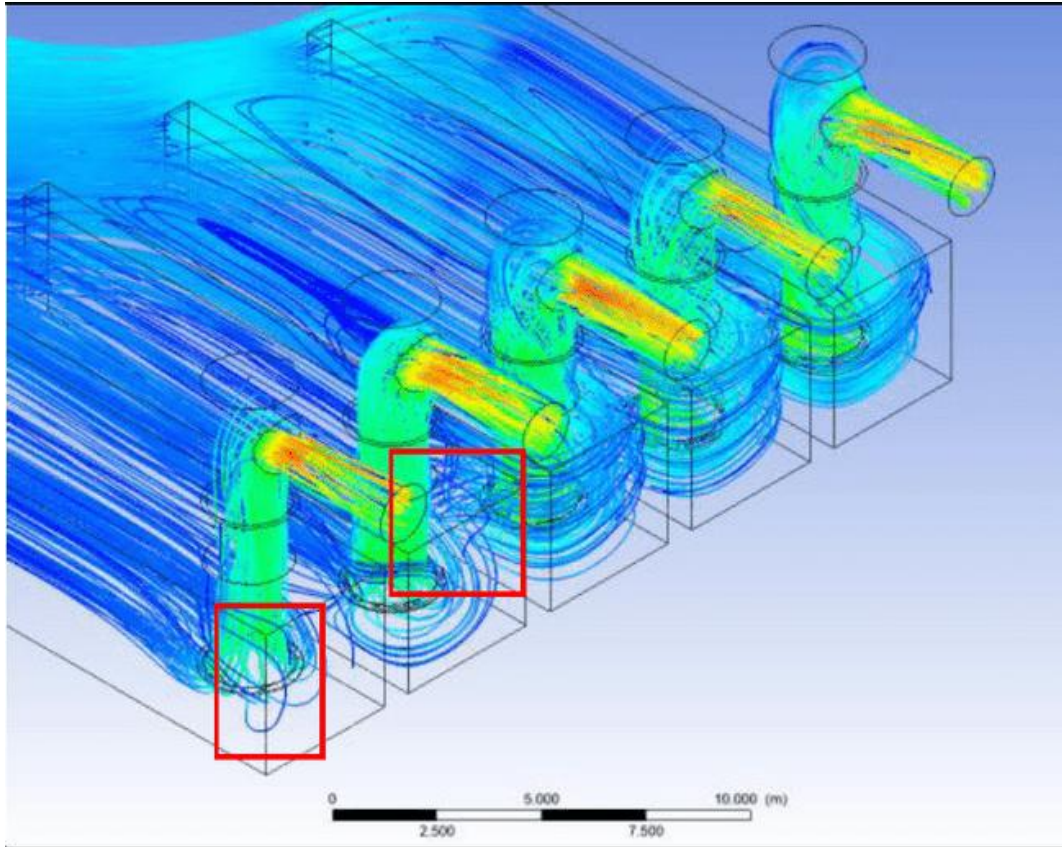
Gambar 8. Distribusi kontur kecepatan pada *pump bay* lebar 4m tanpa *anti vortex device*



Gambar 9. Perbesaran gambar *pump bay* lebar 4m tanpa *anti vortex device*

Gambar 10. dilihat dari garis aliran menunjukkan bahwa tidak terdapat air entrance vortex dan submergence vortex di sekitar intake pompa. Tetapi dari garis aliran terlihat bahwa pada pompa 1 garis aliran

berkelak-kelok yang menandakan terjadinya turbulensi sedangkan pada pompa 2 terlihat pusaran namun dengan ukuran tidak terlalu besar. Pada pompa 3, 4, dan 5 terlihat bahwa garis aliran relatif lebih seragam.



Gambar 10. Kontur *streamline* kecepatan di sekitar intake pompa, pump bay lebar 4m dengan *anti vortex device*.

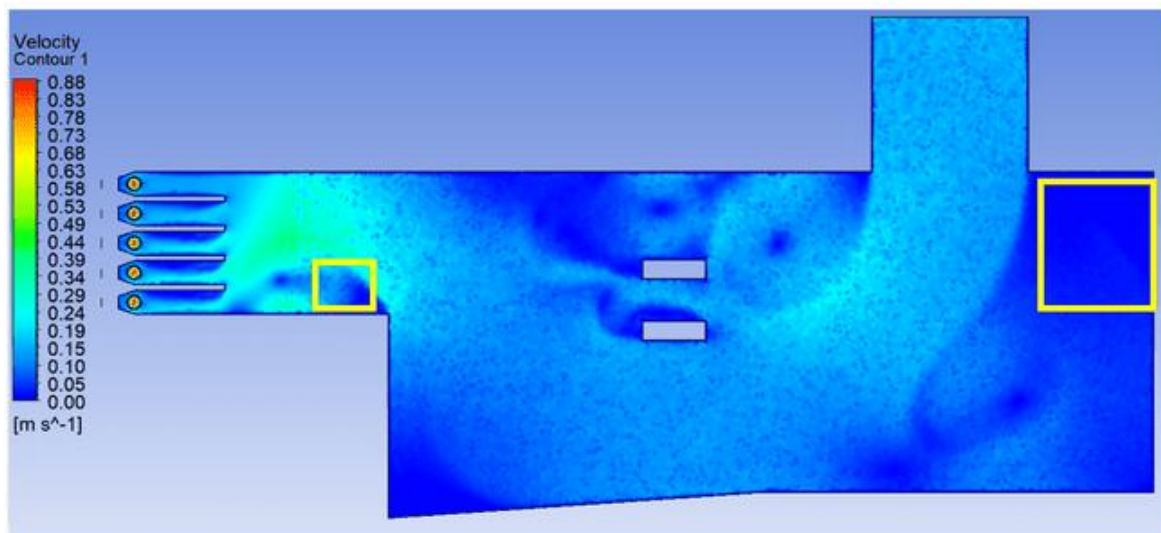
3.4 Skenario Keempat (*pump bay* dengan lebar 4m dengan *anti-vortex device*)

Gambar 11 menunjukkan kontur kecepatan saat kelima pompa beroperasi, dengan zona aliran stagnan dalam kotak kuning.

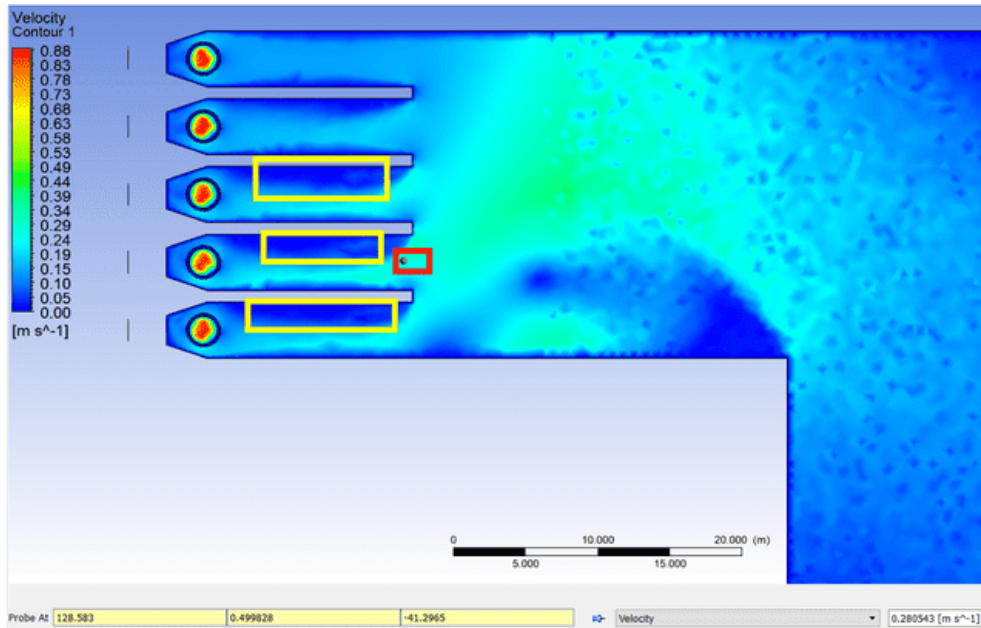
Gambar 12 memperlihatkan aliran stagnan berkecepatan rendah di pintu masuk

pump bay, tanpa adanya aliran stagnan di belakang pompa akibat penggunaan *anti-vortex device* dan ukuran *pump bay* yang lebih besar daripada *pump bay* 3m.

Probe pada kotak merah di Gambar 12 menunjukkan kecepatan pintu masuk *pump bay* 0,28 m/s, masih di bawah batas maksimum 0,5 m/s menurut HI [2].



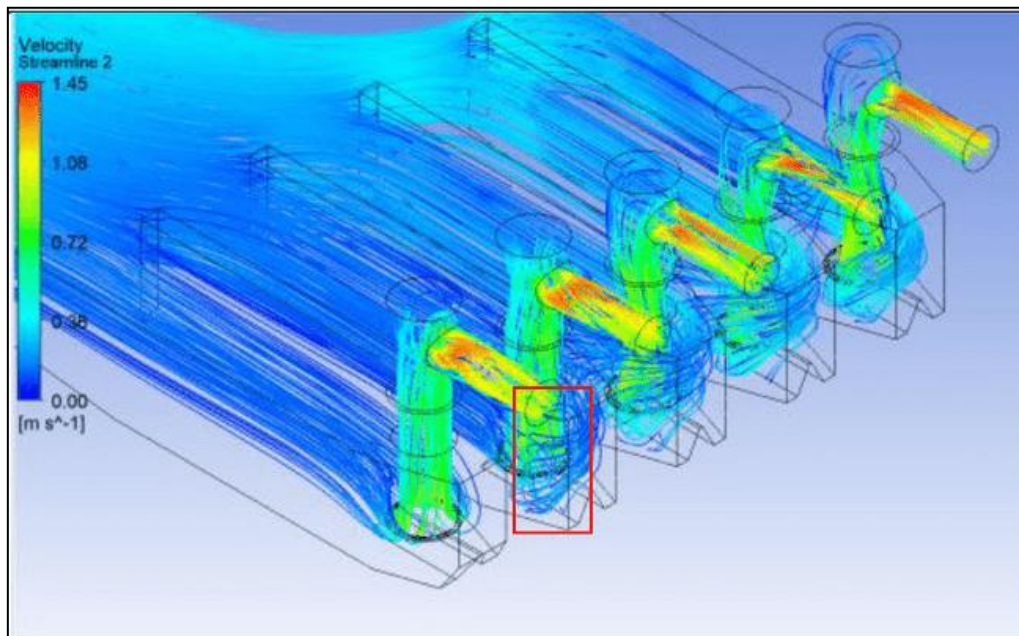
Gambar 11. Distribusi kontur kecepatan pada *pump bay* lebar 4m *anti vortex device*



Gambar 12. Perbesaran gambar *pump bay* lebar 4m dengan *anti vortex device*

Gambar 13. dilihat dari garis aliran menunjukkan bahwa tidak terdapat *air entrance vortex* dan *submergence vortex* di sekitar intake pompa. Tetapi dari garis aliran terlihat bahwa pada pompa 2 terlihat

terdapat pusaran. Garis aliran berkelak-kelok di pompa 1, 3, 4, dan 5 yang menandakan terjadinya turbulensi.



Gambar 13. Kontur *streamline* kecepatan di sekitar intake pompa, *pump bay* lebar 4m dengan *anti vortex device*

3.5 Skenario Kelima (*pump bay* dengan lebar 5m tanpa *anti-vortex device*)

Gambar 14 menunjukkan kontur kecepatan saat kelima pompa beroperasi,

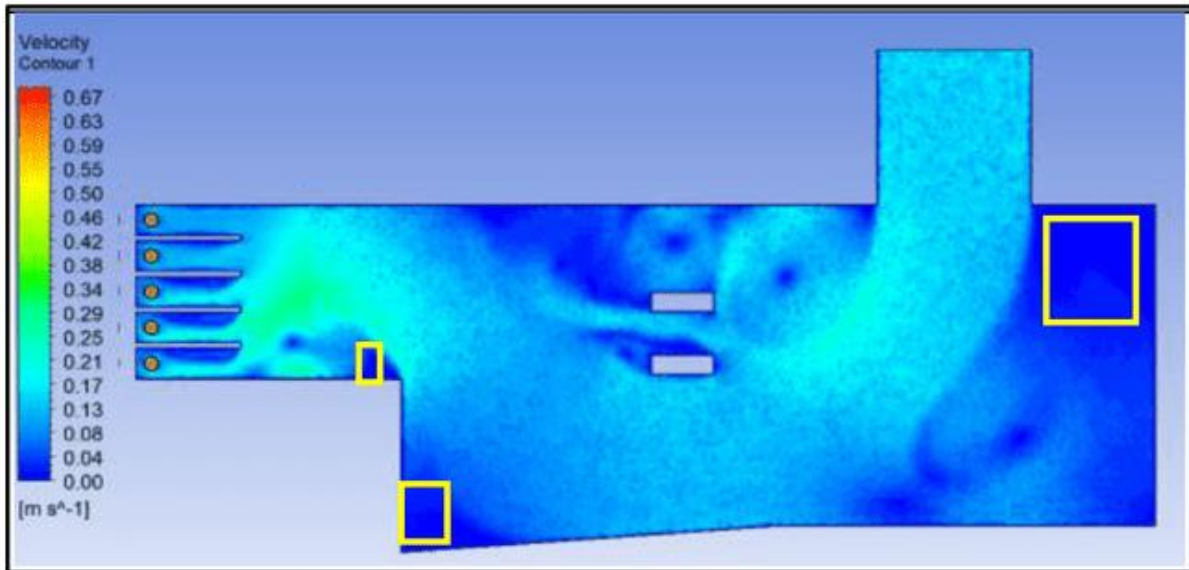
dengan zona aliran stagnan dalam kotak kuning.

Gambar 15 memperlihatkan aliran stagnan berkecepatan rendah di pintu masuk *pump bay*, dengan sedikit aliran stagnan di

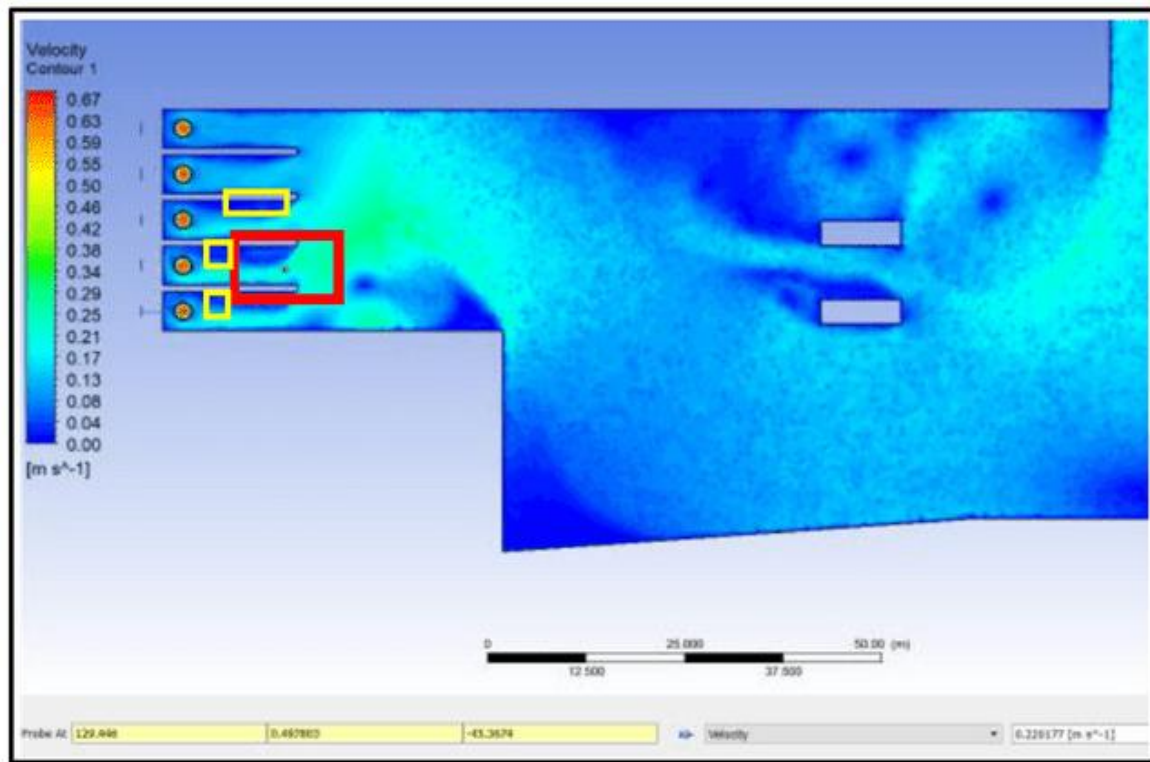
belakang pompa karena lebar *pump bay* yang besar.

Probe pada kotak merah di Gambar 15 menunjukkan kecepatan pintu masuk *pump*

bay 0,22 m/s, masih di bawah batas maksimum 0,5 m/s menurut HI [2].



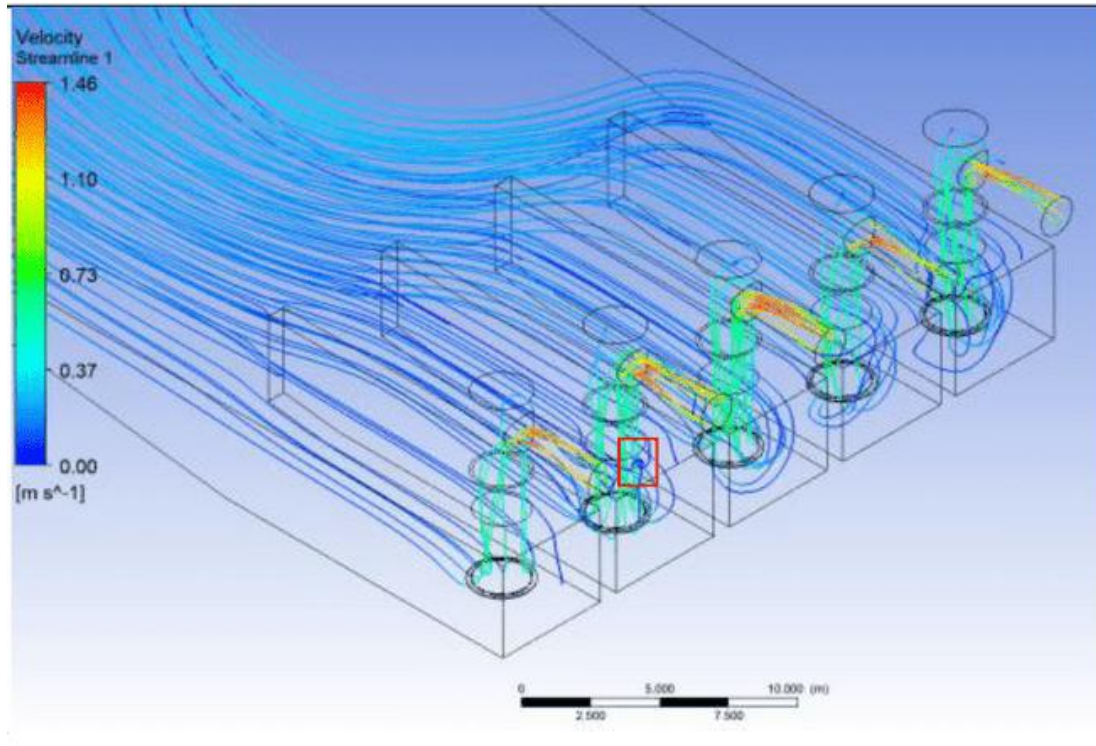
Gambar 14. Distribusi kontur kecepatan pada *pump bay* lebar 5m tanpa *anti vortex device*



Gambar 15. Perbesaran gambar *pump bay* lebar 5m tanpa *anti vortex device*

Gambar 16. dilihat dari garis aliran menunjukkan bahwa terdapat *air entrance vortex* pada pompa 2 tetapi tidak terlihat adanya *submergence vortex*. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwa *air-*

entrance vortex ini sangat berbahaya bagi pompa. Pada pompa 1, 3, 4, dan 5 tidak terlihat terjadi *air-entrance vortex* namun di belakang pompa terlihat bahwa garis aliran berbentuk pusaran.



Gambar 16. Kontur *streamline* kecepatan di sekitar intake pompa, *pump bay* lebar 5m dengan *anti vortex device*.

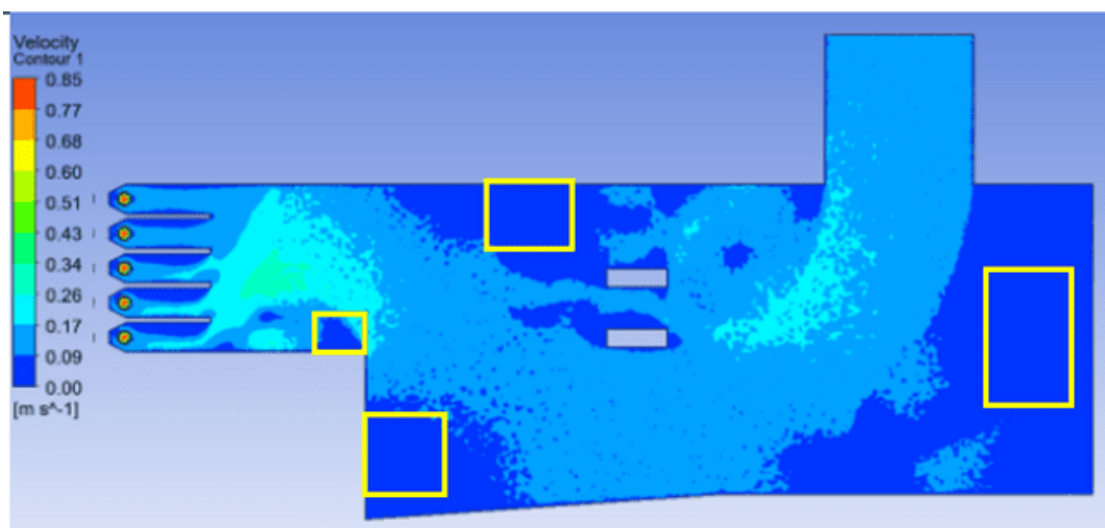
3.6 Skenario Keenam (*pump bay* dengan lebar 5m dengan *anti-vortex device*)

Gambar 17 menunjukkan kontur kecepatan saat kelima pompa beroperasi, dengan zona aliran stagnan dalam kotak kuning.

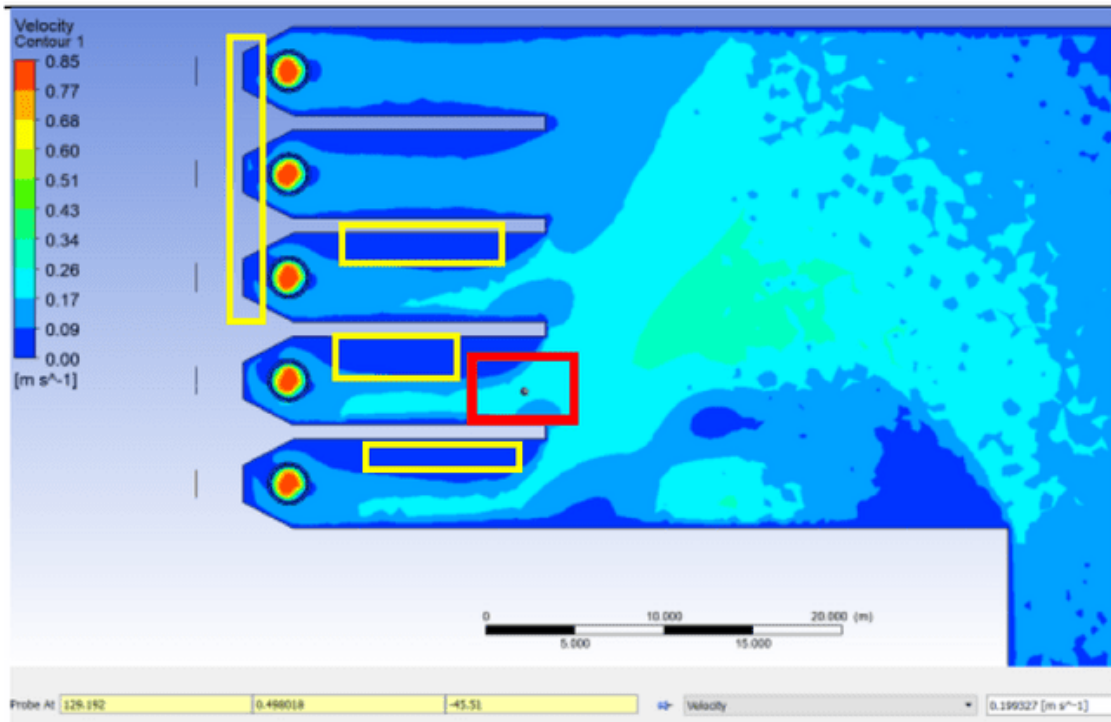
Gambar 18 memperlihatkan aliran stagnan berkecepatan rendah di pintu masuk

pump bay, sedikit aliran stagnan di belakang pompa karena lebar *pump bay* yang besar.

Probe pada kotak merah di Gambar 18. menunjukkan kecepatan pintu masuk *pump bay* 0,22 m/s, masih di bawah batas maksimum 0,5 m/s menurut HI [2].



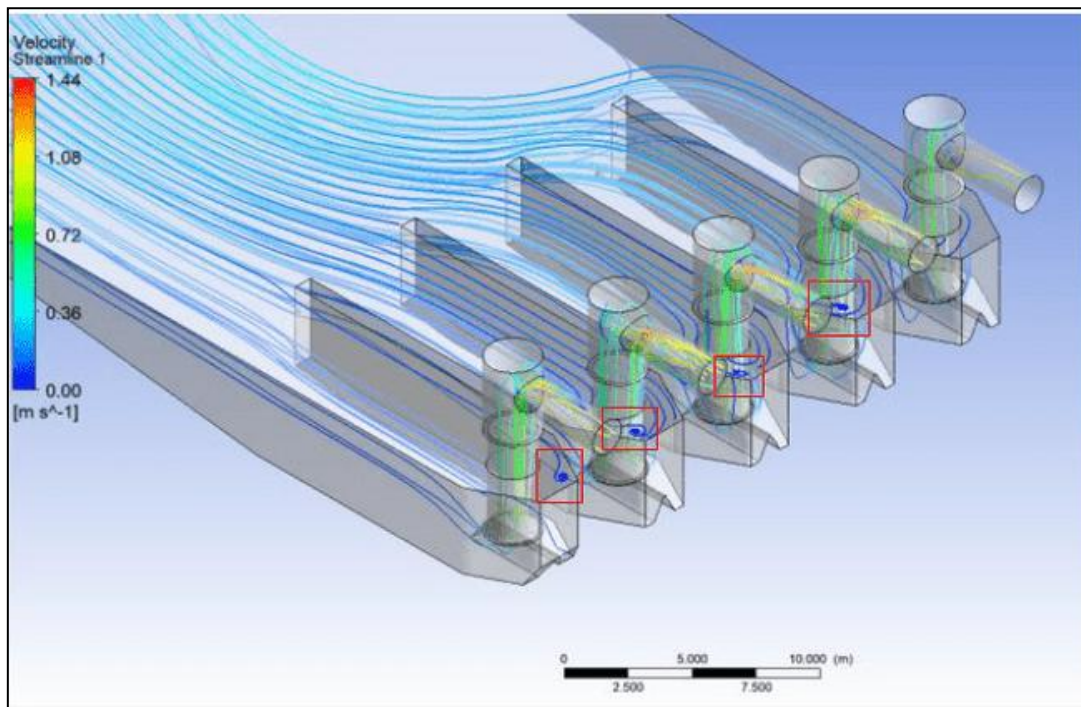
Gambar 17. Distribusi kontur kecepatan pada *pump bay* lebar 5m dengan *anti vortex device*.



Gambar 18. Perbesaran gambar *pump bay* lebar 5m dengan *anti vortex device*.

Gambar 19. dilihat dari garis aliran menunjukkan bahwa terdapat *air entrance vortex* pada pompa 1, 2, 3, dan 4 tetapi tidak

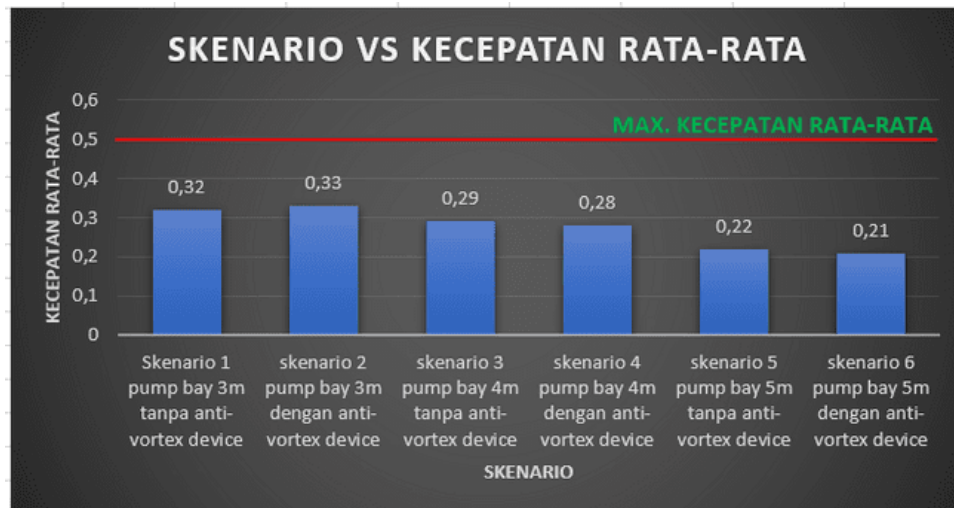
terlihat adanya *submergence vortex*. Pada pompa 5 tidak terlihat adanya *air entrance vortex* dan *submergence vortex*.



Gambar 19. Kontur streamline kecepatan di sekitar intake pompa, *pump bay* dengan lebar 4m dengan *anti vortex device*.

Gambar 20. menunjukkan perbandingan antara keenam skenario

dengan besar kecepatan rata-rata yang memasuki *pump bay*.



Gambar 20. Skenario simulasi vs Kecepatan rata-rata

4. Kesimpulan

Berdasarkan variabel lebar pump bay, distribusi kecepatan rata-rata masuk ke *pump bay* masih memenuhi standar dengan nilai di bawah 0,5 m/s. *Pump bay* berlebar 3m memiliki kecepatan rata-rata tertinggi dibandingkan yang lain. Meskipun demikian, geometri dengan penampang tajam dapat menghasilkan turbulensi, pusaran, dan distribusi kecepatan yang tidak merata.

Penggunaan anti-vortex device pada desain intake pompa meningkatkan distribusi aliran yang lebih seragam, tetapi pada pump bay berlebar 3m, distribusi aliran masih tidak merata karena geometri yang kurang memadai.

Hasil simulasi skenario ini memberikan hasil yang akurat. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan mempertimbangkan penelitian lebih lanjut untuk menentukan lebar pump bay yang optimal, menghilangkan sudut tajam yang berpotensi menyebabkan pusaran di dalam pump bay, dan melakukan eksperimen model untuk meningkatkan akurasi penelitian.

Referensi

- [1] Yang, M., Liu, S., Xu, W. H., & Xu, J. Y. (2020). Numerical and experimental studies of an oil slick recovery method that uses a free surface vortex. *Acs Omega*, 5(48), 31332-31341.
- [2] Hydraulic Institute. (2012). *Pump intake design (ANSI/HI 9.8-2012)*. Hydraulic Institute.
- [3] Al-Khateeb, H. H., and AL-THAMIRY, H. A., 2021. Air Entrained Vortex Occurrence at Sump for Inclined Multiple Intake Pipes Using CFD. *J. Eng. Sci. Technol., Special Issue on DMPCE2021*, 93-104
- [4] Song, X., & Liu, C. (2021). Experimental study of the floor-attached vortices in pump sump using V3V. *Renewable Energy*, 164, 752-766.
- [5] Ghanem, A. (2020). Optimum design of pump intake using CFD for improving hydraulic performance. *Applications of Modelling and Simulation*, 4, 57-63.
- [6] Ghanem, A. et al., 2020. Predicting and Improving Hydraulic Performance of Pumping Suction Intakes by Computational Fluid Dynamics (CFD). Available at SSRN 3732019
- [7] Song, X., Liu, C., & Wang, Z. (2022). Study on the vortex in a pump sump and its influence on the pump unit. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(1), 103.
- [8] Kadhim, A. F., & Al Thamiry, H. A. (2020). Computation of critical submergence depth to avoid surface

- vortices at vertical pumps intakes. *Journal of Engineering*, 26(8), 59-68.
- [9] Guo, M., Zuo, Z., Liu, S., Zou, H., Chen, B., & Li, D. (2020). Experimental vortex flow patterns in the primary and secondary pump intakes of a model underground pumping station. *Energies*, 13(7), 1790.
- [10] Domfeh, M. K., Gyamfi, S., Amo-Boateng, M., Andoh, R., Ofosu, E. A., & Tabor, G. (2020). Numerical simulation of an air-core vortex at a hydraulic intake using OpenFOAM. *Scientific African*, 8, e00389.
- [11] Kamiel, B. P., Ahmad, Y., & Krisdiyanto, K. (2020). Deteksi kavitasi menggunakan linear discriminant analysis pada pompa sentrifugal. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 9(2).
- [12] Yamini, O. A., Movahedi, A., Mousavi, S. H., Kavianpour, M. R., & Kyriakopoulos, G. L. (2022). Hydraulic performance of seawater intake system using CFD modeling. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(7), 988.
- [13] Fattah, S. A., Teaima, I. R., & Hashem, M. A. (2020). Computational Fluid Dynamics (CFD) for Predicting and Enhancing Intake Flow Problems of Pumping Stations.
- [14] Ajai, S. et al., 2019. Vortex prediction in a pump intake system using Computational Fluid Dynamics. *IJITEE* 8: 3158-3163.
- [15] Arocena, V. M., Abuan, B. E., Reyes, J. G. T., Rodgers, P. L., & Danao, L. A. M. (2020). Reduction of entrained vortices in submersible pump suction lines using numerical simulations. *Energies*, 13(22), 6136.
- [16] Gadekar, S. N., Asmar, Y. A., & Fulmamdikar, R. A. (2020). Recent Developments In Avd's And Pump Intake Systems–Review Paper. *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*, 1-5.