

Analisis Laju Aliran Fluida pada *Prototype Intake Manifold Engine Yanmar L48N6* Berbahan *Carbon Fiber*

Kevin Firdaus Jalakusuma¹, Firman Yasa Utama^{2*}, Arya Mahendra Sakti³,
Andita Nataria Fitri Ganda⁴

^{1,2,3,4}Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia 60231

E-mail: [*firmanutama@unesa.ac.id](mailto:firmanutama@unesa.ac.id)

Abstrak: Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) adalah ajang untuk inovasi efisiensi energi dan ramah lingkungan yang diselenggarakan oleh Puspresnas Kemdikbudristek. Salah satu tim yang berpartisipasi adalah Tim Garnesa Racing Team dengan pencapaian konsumsi bahan bakar sebesar 165,25 km/l, 135 km/l, dan 112 km/l. Penurunan performa ini disebabkan oleh kinerja intake manifold yang kurang optimal melalui analisis aliran fluida. Penelitian ini bertujuan memodifikasi *intake manifold* dengan mempertimbangkan dimensi dan variabel aliran seperti tekanan dan kecepatan udara. Metode yang digunakan adalah analisis menggunakan *software* simulasi dengan model turbulensi *K-epsilon Reliaezable*. Bahan *intake manifold* yang digunakan adalah *Polyamide Carbon Fiber (Pa-Cf)* dengan kepadatan 1450 kg/m³, kepadatan udara 1.225 kg/m³, dan kecepatan awal 0,137 m/s. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa *intake manifold* modifikasi dengan panjang 8 cm memiliki kinerja lebih baik dibandingkan variasi lainnya, dengan tekanan $2,195 \times 10^5$ Pa dan kecepatan $6,088 \times 10^{-1}$ m/s. Kesimpulannya, variasi panjang 8 cm pada *intake manifold* dapat dijadikan referensi utama dalam pembuatan prototipe untuk meningkatkan kinerja mesin.

Kata kunci: Intake Manifold, Pressure, Velocity.

Abstract: The Energy Efficient Car Contest (KMHE) is an event for energy efficiency and environmentally friendly innovations organized by the Ministry of Education and Culture's Puspresnas. One of the participating teams is the Garnesa Racing Team with fuel consumption achievements of 165.25 km/l, 135 km/l and 112 km/l. This decrease in performance is caused by less than optimal intake manifold performance through fluid flow simulation. This research aims to modify the intake manifold by considering dimensions and flow variables such as pressure and air speed. The method used is analysis using simulation software with the *K-epsilon Reliable* turbulence model. The intake manifold material used is *Polyamide Carbon Fiber (Pa-Cf)* with a density of 1450 kg/m³, air density of 1,225 kg/m³, and an initial speed of 0.137 m/s. The results obtained show that the modified intake manifold with a length of 8 cm has better performance than other variations, with a pressure of 2.195×10^5 Pa and a speed of 6.088×10^{-1} m/s. In conclusion, variations in the length of 8 cm on the intake manifold can be used as the main reference in making prototypes to improve engine performance.

Keywords: Intake Manifold, Pressure, Velocity.

© 2024, JRM (Jurnal Rekayasa Mesin) dipublikasikan oleh ejournal Teknik Mesin Fakultas Vokasi UNESA.

PENDAHULUAN

Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) yang diselenggarakan oleh pusat Prestasi Nasional (Puspresnas) Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi (Kemdikbudristek) Republik Indonesia dengan bekerja sama dengan tuan rumah perguruan tinggi merupakan ajang kegiatan yang bertujuan untuk memacu inovasi dalam menghasilkan mobil yang efisien dalam penggunaan energi dan ramah lingkungan. Menurut (Reksowardojo et al., 2021) Tujuan dari KMHE adalah untuk mempromosikan teknologi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, serta untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya energi yang hemat dan efisien. Tim yang berpartisipasi dalam

kegiatan ini salah satunya adalah Tim Garnesa Racing Team yang merupakan tim mobil di bawah naungan Universitas Negeri Surabaya (UNESA). Dimana tim garnesa mengikuti beberapa ajang kontes mobil hemat energi di ajang Internasional dan Nasional. Adapun anggota garnesa terdiri dari mahasiswa berbagai program studi yang ada di unesa termasuk dibidang keilmuan teknik atau teknik mesin. Sedangkan di garnesa terdapat divisi technical yang mencakup divisi *engine*, *body*, *chasis*, dan *electrical* serta divisi *non-technical*. Mesin yang digunakan yaitu mesin diesel *yanmar L48N6*. Mesin ini menggunakan silinder tunggal empat langkah berpendingin udara dengan sistem injeksi langsung atau *Direct Injection*. Berkapasitas 219 cc dengan tenaga mencapai 4,1-4,6 HP. Dalam 2 tahun terakhir pencapaian yang telah

diraih oleh Garnesa Racing Team menggunakan mesin *yanmar L48N6* yaitu pada Kontes Mobil Hemat Energi (KMHE) di tahun 2022 pencapaian konsumsi bahan bakar sebesar 165,25 km/l, lalu di *Shell Eco-marathon* (SEM) pada tahun 2022 mengalami penurunan pencapaian konsumsi bahan bakar sebesar 136 km/l, dan di SEM 2023 mengalami penurunan pada konsumsi bahan bakar sebesar 112 km/l. Hal ini menjadi salah satu masalah yang perlu dicarikan solusinya, salah satunya pada divisi *engine*. Sejauh ini, setelah dilakukan pengecekan melalui perangkat lunak dan pengalaman praktis, hasil penelitian menunjukkan bahwa penyebab utama penurunan pencapaian terletak pada kinerja *intake manifold* yang kurang optimal, yang telah diidentifikasi melalui analisis aliran fluida.

Intake manifold berperan dalam mengatur aliran udara yang masuk ke ruang bakar mesin diesel. Untuk meningkatkan performa dan efisiensi mesin. Bentuk *intake manifold* menjadi fokus perhatian yang perlu disesuaikan dengan baik (Hotama, 2011). Campuran bahan bakar dan udara yang masuk ke ruang bakar memegang peranan penting dalam proses pembakaran, sehingga menghasilkan konsumsi bahan bakar terbaik. Dalam rangka modifikasi pembuatan *intake manifold* harus mengetahui variabel-variabel dalam laju aliran fluida. Dengan mengubah ukuran dan bentuk *intake manifold* harapannya bisa meningkatkan kinerja mesin dan efisiensi konsumsi bahan bakar.

Dari permasalahan diatas, maka peneliti memiliki ide untuk membuat beberapa desain *intake manifold* dengan *software Inventor*. Kemudian dari beberapa desain yang telah dibuat lalu dianalisis menggunakan *software* simulasi. Hasil yang diperoleh akan menampilkan aliran fluida dengan beberapa variabel pendukungnya seperti tekanan, kecepatan dan beberapa model laju aliran fluida yaitu *inviscid*, laminar dan turbulen.

DASAR TEORI

A. Mesin Yanmar L48N

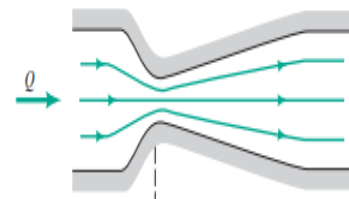
Mesin diesel *Yanmar L48N* adalah bagian jajaran dari mesin buatan Yanmar. Mesin ini memiliki daya maksimum sebesar 3,1 kW dengan kecepatan putaran 3600 rpm, memastikan kinerja optimal yang berkontribusi pada efisiensi pembakaran bahan bakar diesel. Torsi maksimum yang dihasilkan adalah 11,9 N-m pada 2600 rpm, yang menunjukkan kekuatan mesin ini dalam aplikasi yang membutuhkan tenaga besar, serta menggunakan *electric starter* dan baterai 12V - 36AH untuk kemudahan pengoperasian. Berat kering mesin ini adalah 32,0 kg, membuatnya cukup ringan untuk berbagai aplikasi.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Septian Effendi dan Prijo Budijono (2023). Mesin *Yanmar L48N* menunjukkan performa yang luar biasa dengan konsumsi bahan bakar

spesifik ideal mesin ini berada pada rentang putaran 2800-3600 rpm. Hal ini menunjukkan efisiensi bahan bakar yang optimal dalam kondisi operasional tertentu. Performa mesin *Yanmar L48N* dipengaruhi oleh beberapa komponen, salah satunya adalah *intake manifold*. Konsumsi bahan bakar spesifik yang dihasilkan adalah 261,87 g/kWh pada putaran 3300 rpm.

B. Aliran Fluida

Fluida adalah suatu zat yang mengalami deformasi terus-menerus akibat penerapan tegangan geser (*tangensial*), tidak peduli seberapa kecil tegangan gesernya. Karena gerakan fluida berlanjut di bawah penerapan tegangan geser, juga dapat mendefinisikan fluida sebagai zat apa pun yang tidak dapat menahan tegangan geser ketika diam. Oleh karena itu, cairan dan gas (atau uap) adalah bentuk, atau fase, yang dapat diambil oleh fluida. (Young et al., 2011)



Gambar 1. Aliran fluida menggunakan Hukum Bernoulli. (Young et al., 2011)

Prinsip dasar dalam laju aliran fluida yang sering digunakan adalah Hukum Bernoulli. Hukum ini menjelaskan hubungan antara tekanan, kecepatan, dan ketinggian dalam aliran fluida. Prinsip ini berlaku pada aliran fluida yang tidak memiliki kerugian energi secara signifikan (tanpa gesekan atau perpindahan panas yang signifikan).

Berikut beberapa rumus yang akan digunakan :

1. Kecepatan awal (V_1)

$$V = \frac{\text{stroke} \times \text{RPM}}{30000} \times \left(\frac{\text{bore}}{\phi \text{ port inlet}} \right)^2 \quad (1)$$

Dimana :

V = Kecepatan aliran udara (m/s)

Stroke = Panjang langkah piston (m)

Rpm = kecepatan rotasi mesin (*rotations per minute*)

Bore = diameter silinder mesin (m)

ϕ port Inlet= diameter port masuk (m)

2. Kecepatan akhir (V_2)

$$\rho_1 \times A_1 \times V_1 = \rho_2 \times A_2 \times V_2 \quad (2)$$

Dimana :

ρ_1 dan ρ_2 = kerapatan (densitas) fluida.

A_1 dan A_2 = luas penampang di dua titik yang berbeda.

V_1 dan V_2 = kecepatan aliran di dua titik yang berbeda

3. Tekanan akhir (P_2)

$$p_1 + \frac{1}{2} v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} v_2^2 \quad (3)$$

Dimana :

p_1 = tekanan pada titik 1 (pa)

v_1 = kecepatan pada titik 1 (m/s)

p_2 = tekanan pada titik 2 (pa)

v_2 = kecepatan pada titik 2 (m/s)

Pemahaman mengenai aliran fluida menjadi lebih kompleks ketika kita mempertimbangkan model-model turbulensi. Menurut (Canonsburg, 2010) aliran turbulen, yang ditandai oleh pergerakan partikel-partikel fluida yang sangat acak dan tidak teratur, dapat menghasilkan tingkat kompleksitas yang tinggi dalam analisis perilaku fluida. Sehingga dalam analisis aliran fluida dapat mencakup berbagai model turbulensi. Model $k-\epsilon$ *Realizable* adalah Model yang dibuat untuk mengatasi kekurangan model $k-\epsilon$ standar dalam meramalkan aliran turbulen yang rumit dengan gradien kecepatan yang signifikan. Model $k-\epsilon$ *realizable* memiliki kinerja terbaik di antara model $k-\epsilon$ lainnya (standar dan RNG) untuk beberapa validasi termasuk aliran terpisah. Dengan memasukkan faktor tambahan tertentu dan mengubah persamaan transportasi, model $k-\epsilon$ *Realizable* meningkatkan beberapa elemen dari model k tradisional.

C. Intake Manifold

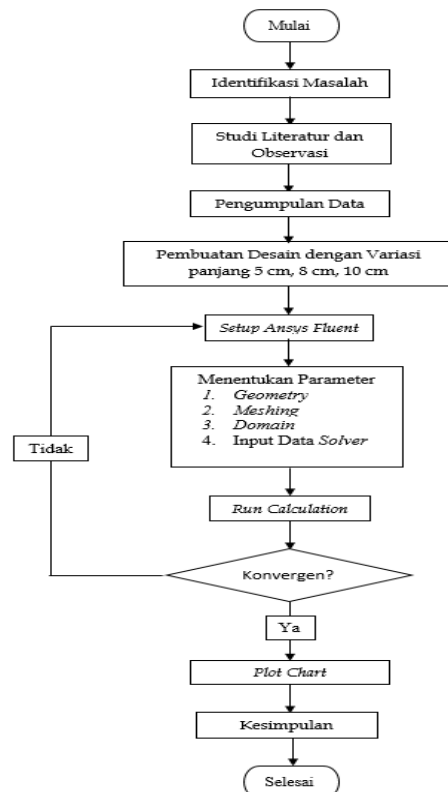
Di bidang teknik otomotif *Inlet manifold* atau *intake manifold* adalah Komponen mesin yang mengalirkan campuran bahan bakar/udara ke silinder. Tujuan utama *intake manifold* adalah untuk mendistribusikan campuran bahan bakar/udara secara merata ke setiap *port intake* di kepala silinder (atau hanya udara di mesin injeksi langsung) (Valiavalappil, 2021).



Gambar 2. Intake Manifold Original

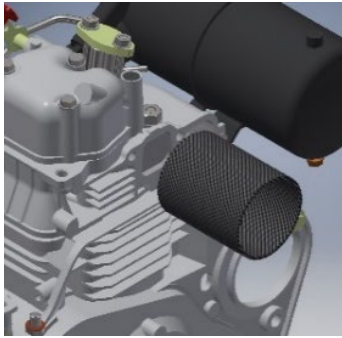
Desain dan orientasi *intake manifold* merupakan faktor utama dalam efisiensi volumetrik sebuah mesin. *Manifold* berperforma tinggi menampilkan bentuk halus dan transisi moderat antara segmen yang berdekatan, yang mencegah perubahan kontur mendadak yang menyebabkan pengurangan tekanan yang mengurangi jumlah udara (dan/atau bahan bakar) yang masuk ke ruang bakar.

METODE



Gambar 3. Flowchart Penelitian

Metode penelitian yang akan digunakan adalah metode uji analisis dengan mendefinisikan masalah yang dihadapi melalui mencari bahan literatur / data yang relevan untuk penelitian. Pengumpulan data dalam penelitian ini diperoleh dari peneliti dan subjek penelitiannya, datanya berupa dokumentasi, data laporan yang sudah tercantum dalam jurnal yang dibuat dan data-data lain dari hasil penelitian. Data dimensi *Intake Manifold* yang didapat akan digunakan setelah itu. Lalu dibuat menggunakan *software Autodesk Inventor* untuk pembuatan desain. Model 3D dari *intake manifold* dirancang dengan mempertimbangkan dimensi dan fitur yang diinginkan.

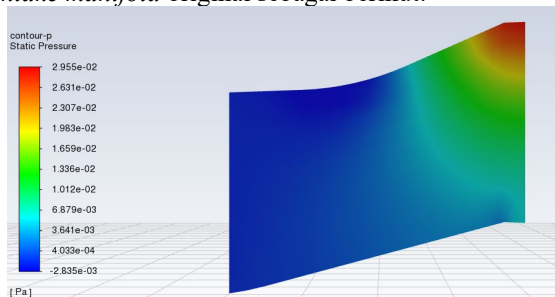


Gambar 4. Salah Satu Desain 3D Intake Manifold

Desain akhir yang telah dibuat di *autodesk inventor* kemudian diekspor kedalam format yang kompatibel dan diimpor kedalam *software* simulasi untuk pengujian lebih lanjut. Selanjutnya, dilakukan pengujian analisis aliran fluida menggunakan *software* simulasi untuk mengevaluasi kinerja desain *intake manifold* tersebut. Setelah itu diambil analisis data dengan menggunakan teknik data kuantitatif dari hasil terbaik dengan hasil penelitian berupa tekanan (*pressure*) dan kecepatan aliran fluida yang masuk (*velocity*).

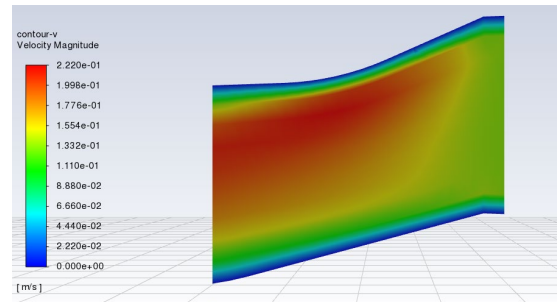
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian analisis Laju Aliran Fluida *Prototype Intake Manifold Engine Yanmar L48N6* yang menggunakan *software* simulasi diperoleh berdasarkan analisis laju aliran fluida menggunakan *software* simulasi. Sebelum dilakukan penelitian analisis laju aliran fluida pada prototipe *intake manifold*, didapat hasil analisis laju aliran fluida pada *intake manifold* original sebagai berikut:



Gambar 5. Hasil Pressure Intake manifold original

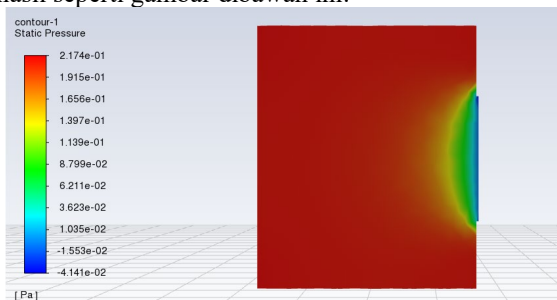
Pada gambar 5 kontur tekanan aliran fluida ditampilkan dalam skala warna yang dimana setiap warna menunjukkan distribusi tekanan. Area dengan warna yang lebih tinggi menandakan tekanan lebih tinggi, sedangkan area yang lebih rendah menunjukkan tekanan yang lebih rendah. Pada hasil analisis diatas diperlihatkan posisi pada *intake manifold* yaitu tampak samping sehingga dapat memudahkan memahami hasil analisis laju aliran fluida. Di dapat bahwa tekanan yang paling tinggi berada di ujung atas tempat posisi *inlet* dan semakin mendekati outlet tekanan mengalami perubahan yang signifikan sehingga tekanan terendah cenderung menguasai seluruh area.



Gambar 6. Hasil Velocity Intake manifold original

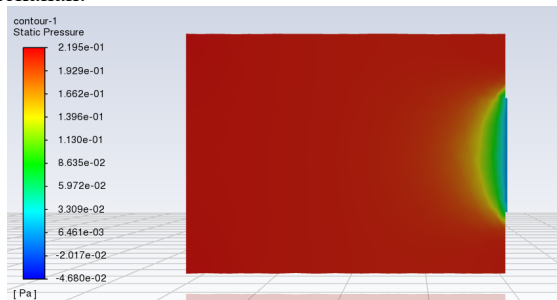
Sedangkan pada gambar 6 kontur kecepatan menunjukkan distribusi kecepatan diseluruh wilayah analisis. Warna merah mengindikasikan kecepatan yang lebih tinggi dan warna biru menunjukkan kecepatan yang lebih rendah. Pada gambar diatas menunjukkan bahwa kecepatan pada *intake manifold original*, yang dimana ketika udara masuk distribusi kecepatan mengalami peningkatan yang stabil seiring berjalannya waktu semakin mendekati area *outlet* semakin tinggi kecepatan yang didapat.

Hasil analisis visual pada *intake manifold original* menjadi landasan penting untuk perbandingan dengan hasil analisis intake manifold variasi panjang 5 cm, 8 cm, dan 10 cm. Sehingga hasil analisis laju aliran fluida *intake manifold* dengan variasi panjang didapat hasil seperti gambar dibawah ini:



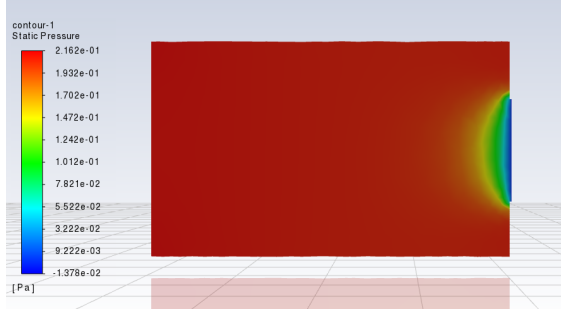
Gambar 7. Hasil Pressure Intake manifold 5 cm

Pada gambar 7 menunjukkan hasil analisis aliran fluida tekanan *Intake manifold* 5 cm. Terdapat tekanan yang sangat besar pada seluruh area *intake manifold*. Terutama pada bagian *inlet* dan semakin mendekati area *outlet* penurunan tekanan semakin turun drastis. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan panjang 5 cm memiliki dampak yang signifikan dibandingkan dengan *intake manifold original* terhadap distribusi tekanan.



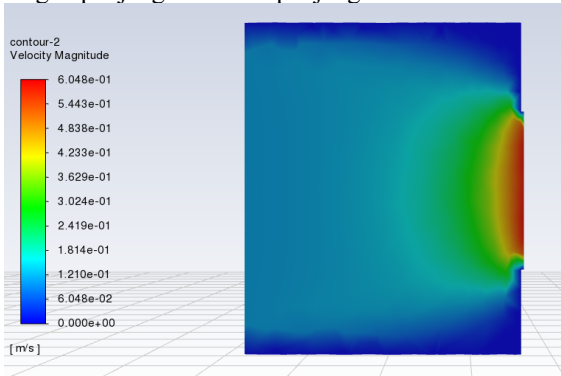
Gambar 8. Hasil Pressure Intake manifold 8 cm

Pada gambar 8 merupakan hasil analisis dari *Intake manifold* 8 cm. Dimana distribusi tekanan pada *intake* tersebut sangat tinggi diseluruh area *intake manifold* dibandingkan sebelumnya. Dan pada area outlet penurunan tekanan menurun drastis dan cenderung tidak terlalu luas. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa tekanan pada panjang 8 cm memiliki dampak yang signifikan dibandingkan dengan *intake manifold original* dan lebih baik dibandingkan panjang 5 cm dalam distribusi tekanan.



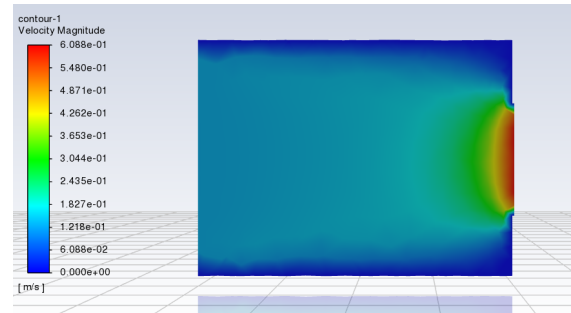
Gambar 9. Hasil Pressure Intake manifold 10 cm

Pada gambar 9 adalah hasil analisis aliran fluida pada *Intake manifold* 10 cm. Pada analisis tersebut kontur tekanan lebih rendah dibandingkan dengan *Intake manifold* 8 cm dan *Intake manifold* 5 cm. Serta di area *outlet* tekanan mengalami penurunan konsisten dan penurunan tekanan terendah lebih luas dibandingkan dengan *intake manifold* lainnya. Sehingga *Intake manifold* 10 cm memiliki dampak yang signifikan dari pada *intake manifold original*, tetapi kontur kecepatan lebih rendah dibandingkan dengan panjang 8 cm dan panjang 5 cm.



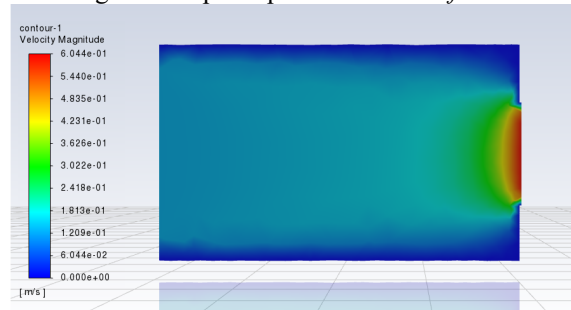
Gambar 10. Hasil Velocity Intake manifold 5 cm

Pada gambar 10 menunjukkan hasil analisis aliran fluida kecepatan *Intake manifold* 5 cm. Pada gambar tersebut terjadi perubahan kecepatan yang stabil pada area *inlet* dan seiring berjalannya waktu pada area outlet terjadi perubahan yang drastis dan kecepatan menjadi lebih tinggi.



Gambar 11. Hasil Velocity Intake manifold 8 cm

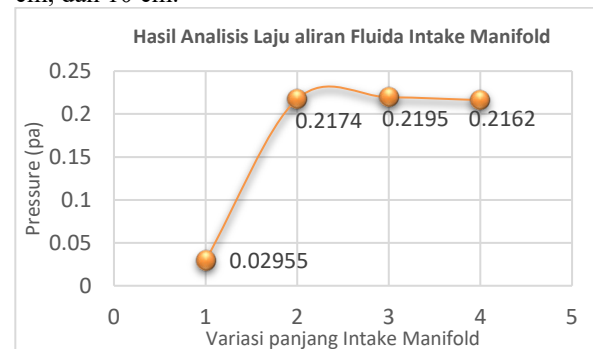
Pada gambar 11 merupakan hasil analisis kecepatan dari *Intake manifold* 8 cm. Dimana distribusi kecepatan pada area *intake* stabil, seiring berjalannya waktu distribusi kecepatan pada area *outlet* berubah secara signifikan dan kecepatan tertinggi pada *Intake manifold* 8 cm lebih besar dibandingkan kecepatan pada *Intake manifold* 5 cm.



Gambar 12. Hasil Velocity Intake manifold 10 cm

Pada gambar 12 adalah hasil analisis aliran fluida pada *Intake manifold* 10 cm. Pada analisis tersebut kontur kecepatan pada area *inlet* dalam keadaan stabil dan seiring berjalannya waktu pada area *outlet* distribusi kecepatan mengalami perubahan yang signifikan. Tetapi, kecepatan tertinggi pada *Intake manifold* 10 cm lebih kecil dibandingkan dengan *Intake manifold* 5 cm dan *Intake manifold* 8 cm.

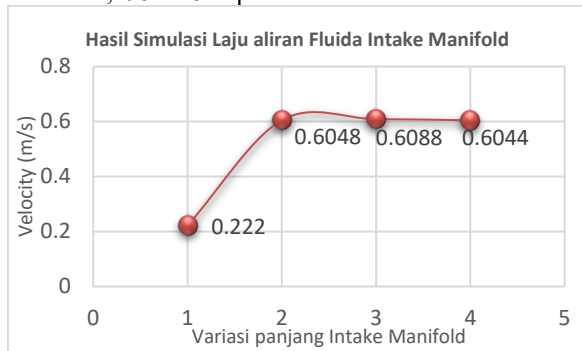
Dari beberapa hasil analisis laju aliran fluida yang sudah dibuat akan dibentuk grafik. Grafik di bawah ini menggambarkan perbedaan antara hasil analisis antara *intake manifold* ori dan variasi modifikasi dengan panjang *intake manifold* 5 cm, 8 cm, dan 10 cm.



Gambar 13. Grafik Chart Hasil Analisis Laju Aliran Fluida Pressure

Pada gambar grafik diatas menunjukkan bahwa tekanan tertinggi yang didapat pada *intake*

manifold original sebesar $2,955 \times 10^{-2}$ pa, pada intake manifold 5 cm sebesar $2,174 \times 10^{-1}$ pa, pada intake manifold 8 cm sebesar $2,195 \times 10^{-1}$ pa, dan intake manifold 10 cm sebesar $2,162 \times 10^{-1}$ pa. Dari beberapa hasil analisis laju aliran fluida diatas didapat bahwa tekanan pada model intake manifold modifikasi panjang lebih baik dibandingkan dengan intake manifold original dan tekanan tertinggi yang dapat dijadikan referensi pembuatan prototipe yaitu model intake manifold variasi panjang 8 cm dengan tekanan sebesar $2,195 \times 10^{-1}$ pa.



Gambar 14. Grafik Chart Hasil Analisis Laju Aliran Fluida Velocity

Grafik menunjukkan kecepatan tertinggi yang diperoleh oleh intake manifold original sebesar $2,22 \times 10^{-1}$ m/s, pada intake manifold 5 cm didapat sebesar $6,048 \times 10^{-1}$ m/s, pada intake manifold 8 cm didapat sebesar $6,088 \times 10^{-1}$ m/s dan pada intake manifold 10 cm kecepatan tertinggi didapat sebesar 6,044 m/s. Dari beberapa hasil diatas menunjukkan bahwa hasil distribusi kecepatan pada intake manifold modifikasi variasi panjang mengalami perubahan yang signifikan dibandingkan model intake manifold original dan kecepatan tertinggi yang dapat dijadikan referensi pembuatan prototipe yaitu model intake manifold variasi panjang 8 cm dengan kecepatan sebesar $6,088 \times 10^{-1}$ m/s.

SIMPULAN

1. Berdasarkan analisis laju aliran fluida menggunakan software simulasi dengan parameter yang digunakan model turbulensi K-epsilon Reliaezable, Bahan yang digunakan yaitu Polyamide Carbon Fiber (Pa-Cf) dengan densitas 1450 kg/m³, densitas udara yang digunakan sebesar 1.225 kg/m³, dan kecepatan awal (velocity) sebesar 0,137 m/s.
2. Berdasarkan hasil analisis laju aliran fluida pada intake manifold original, variasi panjang 5 cm, 8 cm, 10 cm. Didapat intake manifold modifikasi dengan variasi panjang 8 cm memiliki kinerja lebih baik dibandingkan intake manifold modifikasi lainnya dengan tekanan dan kecepatan didapat sebesar $2,195 \times 10^{-1}$ pa dan $6,088 \times 10^{-1}$ m/s

REFERENSI

- Arifin, B. (2020). *Pengujian Mesin Yanmar L48 pada Daerah Operasi Econo-Drive*. 16–19.
- Canonsburg, T. D. (2010). *ANSYS Workbench User 's Guide*. 15317(November), 724–746.
- Hotama, M. (2011). *Studi Karakteristik Laju Aliran Campuran Udara Dan Bahan Bakar Pada Beberapa Variasi Intake Manifold Motor Yamaha Vega*. 2–7.
- Li, Z., & Li, X. (2020). Structural Design and CFD Analysis of Engine Plastic Intake Manifold. *Journal of Physics: Conference Series*, 1605(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1605/1/012084>
- Prichard, P., & Leylegian, J. (2006). *INTRODUCTION TO FLUID MECHANICS* (8th ed., Vol. 91). John Wiley & Sons, Inc.
- Reksowardojo, I. K., Firmansyah, E., Dwiyanoro, B. A., Widhiyanuriyawan, D., Baskoro, A. S., & Witantyo. (2021). Pedoman Kontes Mobil Hemat Energi Tahun 2021. *Pedoman Kontes Mobil Hemat Energi*, 5.
- Sarfaraaj, S., Gajinkar, A., Khare, I., Singh, M., & Jadhav, H. (2020). Selection of Additive Manufacturing Technology for Optimized Intake Manifold: a Review. *PalArch's Journal of Archaeology of Egypt / Egyptology*, 17(9 SE-), 4270–4300. Diambil dari <https://archives.palarch.nl/index.php/jae/article/view/4602>
- Septian Effendi, A., & Prijo Budijono, A. (2023). ANALISIS CELAH KATUP INTAKE DAN PANJANG INTAKE MANIFOLD TERHADAP PERFORMA MESIN YANMAR L48N6. *JURNAL TEKNIK MESIN*, Vol 11 No, 6–11.
- Valiavalappil, A. (2021). Numerical and computational fluid dynamics analysis of airflow in the air intake manifold of a 1.8L engine with respect to different intake velocity. *Yanbu Journal of Engineering and Science*, 18(1), 1–9. <https://doi.org/10.53370/001c.28092>
- Williams, C. B., & Ilardo, R. (2010). Design and manufacture of a Formula SAE intake system using fused deposition modeling and fiber-reinforced composite materials. *Rapid Prototyping Journal*, 16(3), 174–179. <https://doi.org/10.1108/13552541011034834>
- Young, D., Bruce, M., Okiishi, T., & Huebsch, W. (2011). *Introduction to Fluid Mechanics* (5th ed.; J. Welter, ed.). Jhon Wiley & Sonc Inc.