

# ANALISIS ALIRAN MANIFOLD GAS BUANGPADA MESIN BENSIN 4 SILINDER DENGAN MENGGUNAKAN *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)*

Achmad Solaahuddin Shubhi<sup>1</sup>, Muhammad Firdaus Ubai Dillah<sup>2</sup>, Diva Arif Erdianto<sup>3</sup>,  
Muhammad Salman Alfarisi<sup>4</sup>, Trisma Jaya Saputra<sup>5</sup>

Jurusan Teknik Mesin SI, Fakultas Teknik, Universitas Tidar, Magelang, Jawa Tengah

<sup>1</sup> [achmadsolaahuddinshubhi@students.untidar.ac.id](mailto:achmadsolaahuddinshubhi@students.untidar.ac.id), <sup>2</sup>

[muhammad.firdaus.ubai.dullah@students.untidar.ac.id](mailto:muhammad.firdaus.ubai.dullah@students.untidar.ac.id), <sup>3</sup>

[diva.arief.erdianto@students.untidar.ac.id](mailto:diva.arief.erdianto@students.untidar.ac.id), <sup>4</sup> [salmanalfarisi2146@students.untidar.ac.id](mailto:salmanalfarisi2146@students.untidar.ac.id), <sup>5</sup>

[trismajayasaputra@untidar.ac.id](mailto:trismajayasaputra@untidar.ac.id).

## ABSTRAK

Manifold gas buang adalah bagian penting dari mesin pembakaran internal. Percobaan simulasi manifold gas buang rumit dan bergantung pada banyak parameter yaitu. tekanan, kecepatan, suhu gas buang, dll. Dalam percobaan ini, kinerja manifold gas buang mesin empat langkah, empat silinder, dengan percikan api dianalisis menggunakan tiga jenis bahan bakar (pertalite, pertamax, dan pertamax turbo). Untuk memperkirakan karakteristik aliran gas buang pada manifold. Manifold modeling menggunakan software Solidwork, dilanjutkan dengan analisis dan meshing di software Solidwork Flow Simulation. Profil kecepatan, tekanan dan suhu dibuat pada putaran mesin 1000 rpm. Kami merekomendasikan penggunaan Petalite pada mesin dengan pembakaran dalam dengan nilai kompresi 9.1, karena dengan penggunaan bahan bakar pertalite didapatkan nilai kecepatan serta temperatur maksimal, sehingga performa maksimal dapat diraih dengan penggunaan jenis bahan bakar ini.

**Kata kunci** : Manifold Gas Buang, Analisis CFD, Mesin Bensin, Kecepatan Aliran, Tekanan

## ABSTRACT

*The exhaust manifold is an important part of the internal combustion engine. Exhaust manifold simulation experiments are complicated and rely on many parameters viz. pressure, speed, exhaust gas temperature, etc. In this experiment, the performance of the exhaust gas manifold of a four-stroke, four-cylinder, engine with sparks was analyzed using three types of fuel (pertalite, Pertamina, and Pertamina turbo). To estimate the characteristics of the exhaust gas flow on the manifold. Manifold modeling using Solidwork software, followed by analysis and meshing in Solidwork Flow Simulation software. Speed, pressure and temperature profiles are created at 1000 rpm engine speed. We recommend using Petalite on internal combustion engines with a compression value of 9.1, because with the use of pertalite fuel maximum speed and temperature values are obtained, so that maximum performance can be achieved with the use of this type of fuel..*

**Keyword:** Exhaust Manifold, Analysis CFD, Gasoline Engine, Velocity, Pressure

## PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh peningkatan signifikan dari penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber tenaga utama menimbulkan dampak yang serius bagi kehidupan manusia. *Exhaust Manifold* berfungsi menangkap gas yang

dihasilkan selama proses pembakaran berlangsung untuk kemudian dilepaskan ke lingkungan. *Exhaust Manifold* merupakan salah satu komponen vital dari sebuah mesin pembakaran dalam, komponen ini memiliki fungsi yang kompleks dan berkaitan dengan banyak parameter seperti temperature, kecepatan gas buang, tekanan balik, dan

parameter lainnya. Gas hasil pembakaran mesin yang terdiri atas beberapa silinder dikumpulkan pada *exhaust manifold* untuk kemudian disalurkan melalui saluran gas buang dan dikeluarkan ke lingkungan sekitar. Perforasi dari *exhaust manifold* pada kendaraan bermotor berkaitan erat dengan konsumsi bahan bakar dan efisiensi emisi dari kendaraan. Keterbatasan utama pada komponen *exhaust manifold* adalah terbatasnya ruang pada area disekitar mesin, sehingga kebutuhan akan sebuah *exhaust manifold* dengan laju aliran fluida yang baik pada saluran masuk katalis menjadi suatu hal yang menantang dan substansial. Telah banyak penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan desain geometris dari *manifold* untuk mengantisipasi rusaknya *manifold* akibat retakan dan deformasi plastis pada *manifold* akibat tingginya siklus panas yang ditimbulkan oleh aliran gas panas hasil dari pembakaran. Dengan menajalankan simulasi *computational fluid dynamics (cfd)* dengan memanfaatkan metode elemen hingga, dapat diperkirakan kemungkinan deformasi dan tegangan termal yang terjadi pada area *manifold*. Peneliti telah mengembangkan metode untuk memperkirakan performa dari *exhaust manifold* berdasarkan kinerja realisasi eksperimen dan analisa komputasi dari mesin pembakaran kompresi (*compression ignition*) [1].

(Hwang et al.) Melakukan penelitian dengan menganalisa *exhaust manifold* dari dua brand yang berbeda dengan memanfaatkan simulasi *computational fluid dynamics (CFD)*. Berdasarkan penelitian tersebut menunjukkan bahwa *exhaust manifold* yang dibuat dengan metode pengecoran menghasilkan keseragaman aliran yang lebih tinggi serta tekanan balik yang rendah dibandingkan *manifold* tipe *bending* [2]. Peneliti mempelajari efek dari pengaruh termal pada *exhaust manifold*. Analisa termal nonlinear dan kekuatan struktur dari mesin 4-langkah 4-silinder dilakukan dengan memanfaatkan analisis metode elemen hingga dan simulasi *computational fluid dynamics (CFD)*, berdasarkan hasil analisa dan simulasi didapatkan korelasi antara kegagalan komponen dan modifikasi desain yang telah diusulkan [3]. Peneliti juga melakukan identifikasi leleh termomekanik pada *exhaust manifold* yang terbuat dari baja

tahan karat serta model akurat dari perilaku *elastoviscoplastic*. [4].

Peneliti mempelajari realisasi eksperimen dampak dari geometri *manifold* pada ruang volumetric dan tekanan balik untuk mesin multi-silinder berbahan bakar bensin serta menentukan desain terbaik dari *exhaust manifold* untuk sehingga dapat memiliki kemampuan volumetrik yang optimal [5]. Para peneliti juga meneliti pemodelan delapan jenis *exhaust manifold* yang berbeda dalam hal kecepatan gas buang serta tekanan balik gas buang [6]. Peneliti juga melakukan analisa terhadap berbagai varian bentuk *exhaust manifold* dengan memanfaatkan program CFD [7]. Peneliti memperkirakan secara akurat kegagalan yang dapat terjadi pada *exhaust manifold* dengan menghilangkan kelemahan struktur *exhaust manifold* bermuatan dengan memanfaatkan metode optimalisasi desain [8]. Penelitian numerik satu dimensi dilakukan pada mesin berbahan bakar bensin untuk mempelajari pengaruh tipe geometri yang berbeda pada *exhaust manifold* [9]. Penelitian juga dilakukan pada desain-desain *exhaust manifold* terdahulu untuk dapat memahami dengan lebih baik mengenai pentingnya faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan pada proses desain [10]. Penelitian dilakukan terhadap dua model *exhaust manifold* untuk mengetahui tekanan balik serta kecepatan gas buang yang dihasilkan [11]. Berdasarkan penelitian disimpulkan bahwa terjadi peningkatan kecepatan aliran gas buang akibat pengurangan area saluran *manifold* [12].

Peneliti menggunakan bahan bakar bensin dengan angka oktan yang berbeda yakni pertalite dengan angka oktan 90, pertamax dengan angka oktan 92, dan pertamax turbo dengan angka oktan 98 untuk memperkirakan tekanan balik minimum, karakteristik termal karakteristik termal, proses pemodelan, simulasi, analisis dan *meshing* dari *exhaust manifold* dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak (*software*) SolidWorks ver.2022. Penelitian kali ini dilakukan untuk mengetahui performa dari *exhaust manifold* dengan melakukan simulasi dengan menggunakan bahan bakar dengan nilai oktan yang berbeda untuk mengetahui tekanan keluar, temperature, tekanan balik serta kecepatan yang dihasilkan oleh masing-masing variasi bahan bakar,

sehingga dapat menentukan bahan bakar yang paling sesuai berdasarkan performa maksimal dari *exhaust manifold*.

## METODE PENELITIAN

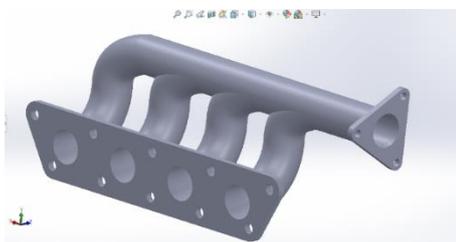
Pemodelan geometris dibuat berdasarkan desain asli dari *exhaust manifold* untuk mesin 4-langkah 4-silinder berbahan bakar bensin (spesifikasi mesin dijelaskan pada tabel 1) dengan menggunakan perangkat lunak SolidWorks. Pemodelan dari *Exhasut Manifold* dibentuk dari 3 komponen berbeda yang kemudian dirakit menjadi satu komponen utuh. Meshing dari model komponen *exhaust manifold* dibuat dengan Meshing tipe skema T-Grid.

### 2.1 Batasan Percobaan

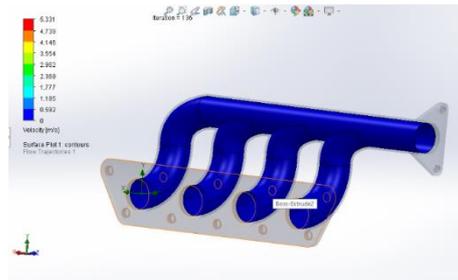
Untuk pemodelan pada pengujian ini, domain aliran, domain fisik dan batasan keadaan pengujian pada saluran masuk dan keluar pada *Exhaust Manifold* dijelaskan pada tabel 2 dan tabel 3. Untuk pemodelan dinding pada *Exhasut Manifold* menggunakan tipe Non-slip ( $u=v=0$ ), untuk mesh tetrahedral dan elemen statistic yang digunakan pada model ada 62383, Batas-batasan ini digunakan untuk menjalankan simulasi tekanan balik dan kecepatan buang pada saluran masuk dan keluar pada *exhaust manifold*.

### 2.2 Properti Bahan Bakar

Pada pengujian digunakan tiga tipe bahan bakar bensin dengan bilanagan iktan yang berbeda-beda untuk menganalisis kinerja dari *exhaust manifold*, karakteristik dari masing-masing bahan bakar dijelaskan pada tabel 4.



Gambar 1. Tampilan solid exhaust manifold



Gambar 2. Profil aliran fluida dalam manifold

Tabel 1. Spesifikasi Mesin

Tipe Mesin	4-Langkah, 4-Silinder segaris
Jenis Bahan Bakar	Bensin tanpa Timbal
Volume Silinder	1998 cm <sup>3</sup>
Jumlah Katup per Silinder	4 (Empat)
Bore	86 mm
Stroke	86 mm
Rasio Kompresi	9.8 : 1
Sistem Bahan Bakar	<i>Electronic Fuel Injection</i>
Katup Intake Buka (BTDC)	0° - 45°
Katup Intake Tutup (ATDC)	64° - 19°
Katuup Exhaust Buka (BTDC)	44°
Katup Exhasut Tutup (ATDC)	8°

Tabel 2. Batasan keadaan pengujian

Inlet	
Tipe	<i>Mass Flow Inlet</i>
Outlet	
Tipe	Out Flow
Dinding Luar	
Perpindahan Panas	Konveksi
Massa dan Momentum	Dinding Tanpa Slip

Tabel 3. Domain Fisik

Domain Gas Buang	
Tipe	Fluida
Analisis	Kondisi Tunak (steady state)
Material	Gas Buang

Model Turbulen	SST
Domain Tabung Saluran Gas Buang	
Tipe	Padat
Analisis	Kondisi Tunak (Steady state)
Material	Baja
Gerakan	Stasioner

Tabel 4. Karakteristik bahan bakar

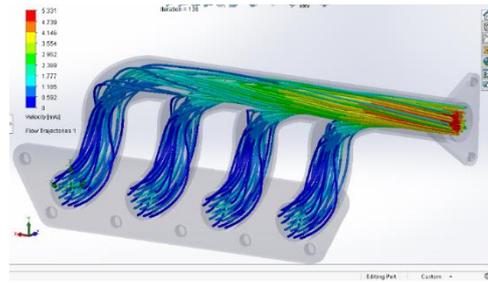
	Oktan 90	Oktan 92	Oktan 98
Bilangan Oktan	90	92	98
Densitas (Kg/l)	0,7329	0,7687	0,7427
Berat Jenis (Kg/m <sup>3</sup> )			
Nilai Kalori (Kj/Kg)	44214,64	45239,56	45718,32

## HASIL DAN PEMBAHASAN

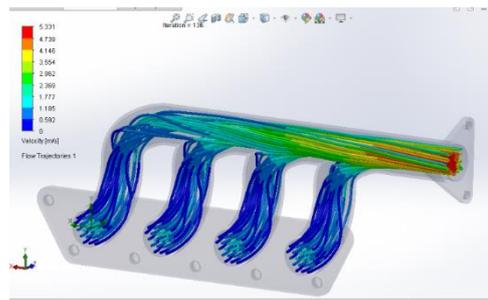
Berdasarkan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) yang sudah dilakukan didapatkan hasil sebagai berikut

### 3.1 Profil Kecepatan

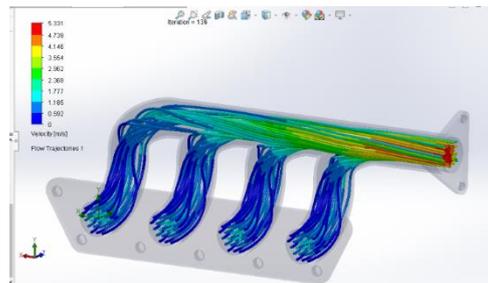
Berdasarkan yang ditunjukkan pada angka kecepatan manifold, kecepatan inlet menggunakan putaran mesin 1000 rpm hampir sama. Kecepatan gas menurun pada arah z depan, dimana kecepatan saat masuk adalah 0,6 m/s. Kecepatan sesuai kondisi batas di empat bagian inlet adalah 0,6 m/s. Terlihat pada semua jenis bahan bakar bahwa kecepatan gas terus meningkat hingga tekanan keluar terjadi. Jadi pada 1000 rpm Pertalite memiliki nilai kecepatan terluas 0,8 m/s, Pertamax memiliki nilai kecepatan terluas 0,7 m/s, sedangkan pertamax turbo memiliki nilai kecepatan terluas 0,6 m/s.



Gambar 3. Profil kecepatan aliran exhaust manifold menggunakan pertalite pada 1000 rpm.



Gambar 4. Profil kecepatan aliran exhaust manifold menggunakan pertamax pada 1000 rpm.



Gambar 5. Profil kecepatan aliran exhaust manifold menggunakan pertamax turbo pada 1000 rpm.

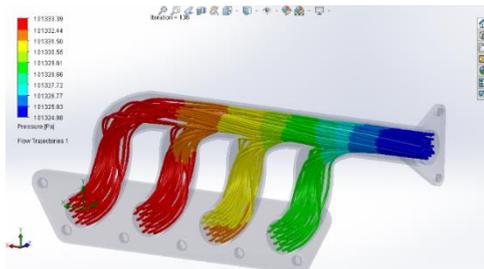
### 3.2 Profil Tekanan

Berdasarkan simulasi yang sudah dilakukan, diketahui bahwa terjadi penurunan tekanan dari saluran masuk hingga saluran keluar pada seluruh jenis bahan bakar, penurunan ini dapat diketahui dengan memeriksa nilai kontur tekanan. Kondisi penurunan tekanan ini diperlukan bagi gas buang agar dapat mengalir keluar melalui saluran keluar. Pada hasil simulasi yang telah dilakukan diketahui bahwa tekanan tertinggi terjadi dua saluran masuk pertama, pada kedua saluran ini nilai tekanan yang didapatkan hampir sama dan kemudian terjadi penurunan nilai tekanan pada saluran

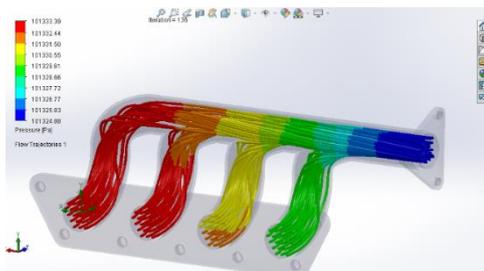
keluar. Kondisi ini dapat ditemukan pada seluruh jenis bahan bakar yang digunakan baik pada pertalite, pertamax dan pertamax turbo. Pada gambar terlihat bahwa terdapat sedikit tekanan balik yang terjadi pada saluran nomor 3. Pada simulasi yang dilakukan diketahui bahwa tekanan terbesar pada *exhaust manifold* dihasilkan oleh bahan bakar pertalite yakni, sebesar 123400 Pa, sedangkan untuk bahan bakar pertamax dihasilkan figur tekanan yang sedikit lebih rendah yaitu sebesar 118600 Pa, dan teknan terendah dihasilkan dengan penggunaan pertamax turbo yaitu sebesar 114200 Pa.



Gambar 6. Profil tekanan exhaust manifold menggunakan pertalite pada 1000 rpm.



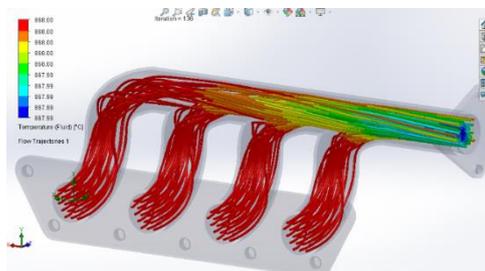
Gambar 7. Profil tekanan exhaust manifold menggunakan pertamax pada 1000 rpm.



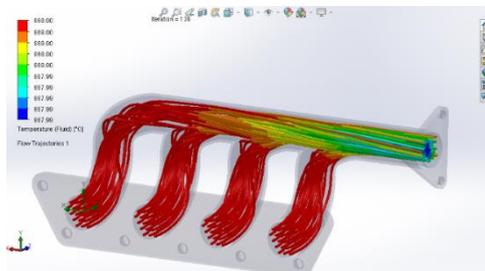
Gambar 8. Profil tekanan exhaust manifold menggunakan pertamax turbo pada 1000 rpm.

### 3.3 Profil Temperatur

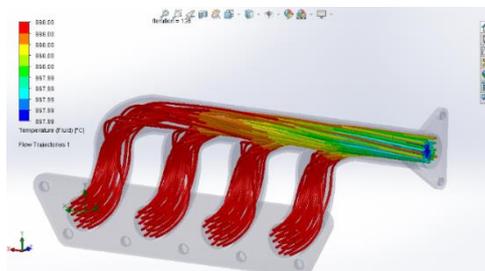
Dengan mengamati temperatur yang dihasilkan pada simulasi, dapat terlihat bahwa temperatur pada keempat saluran masuk memiliki nilai yang sama, hal tersebut karena gas panas hasil pembakaran keluar dari silinder mesin dengan laju dan kapasitas panas yang sama karena kondisi pembakaran yang sama pada setiap silinder. Berdasarkan hasil simulasi didapatkan bahwa pertalite menghasilkan temperature tertinggi pada 868°C pada 1000 rpm, sedangkan pertamax menghasilkan temperatur 864°C pada 1000 rpm, dan pertamax turbo menghasilkan temperatur terendah pada 812°C pada 1000 rpm.



Gambar 9. Profil temperature exhaust manifold menggunakan pertalite pada 1000 rpm.



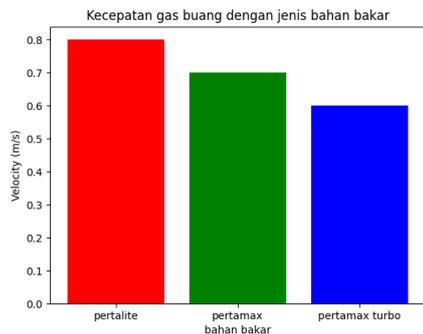
Gambar 10. Profil temperature exhaust manifold menggunakan pertamax pada 1000 rpm.



Gambar 11. Profil temperature exhaust manifold menggunakan pertamax turbo pada 1000 rpm.

### 3.4 Hubungan antara bahan bakar dengan kecepatan aliran

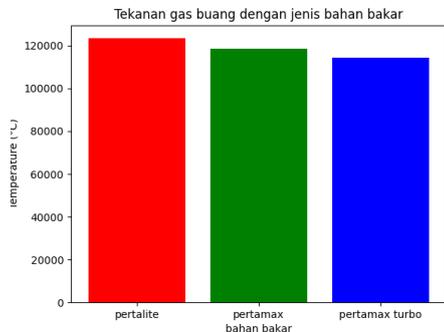
Gambar 12 menunjukkan hubungan antara jenis bahan bakar dan kecepatan aliran gas buang di pintu masuk manifold silinder. Terlihat bahwa penggunaan pertalite menghasilkan velocity gas buang tertinggi (sekitar 0.8 m/s) pada putaran mesin (1000 rpm), sedangkan penggunaan bahan bakar pertamax menghasilkan velocity gas buang lebih rendah dari pertalite dan velocity gas buang lebih tinggi daripada pertamax turbo.



Gambar 12. Grafik hubungan kecepatan aliran dengan jenis bahan bakar.

### 3.5 Hubungan antara bahan bakar dengan tekanan

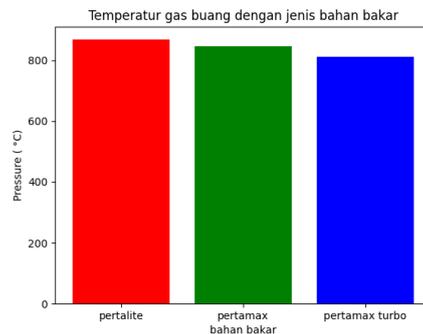
Gambar 13 menunjukkan hubungan antara jenis bahan bakar dan tekanan gas buang di pintu masuk manifold silinder. Terlihat bahwa penggunaan pertalite menghasilkan tekanan gas buang tertinggi (sekitar 123400 Pa) pada putaran mesin (1000 rpm), sedangkan penggunaan bahan bakar pertamax menghasilkan tekanan gas buang lebih rendah dari pertalite dan tekanan gas buang lebih tinggi daripada pertamax turbo.



Gambar 13. Grafik hubungan tekanan dengan jenis bahan bakar.

### 3.6 Hubungan antara bahan bakar dengan temperatur

Gambar 14 menunjukkan hubungan antara jenis bahan bakar dan temperature gas buang di pintu masuk manifold silinder. Terlihat bahwa penggunaan pertalite menghasilkan temperatur gas buang tertinggi (sekitar 868°C) pada putaran mesin (1000 rpm), sedangkan penggunaan bahan bakar pertamax menghasilkan temperatur gas buang lebih rendah dari pertalite dan tekanan gas buang lebih tinggi daripada pertamax turbo.



Gambar 14. Grafik hubungan temperatur dengan jenis bahan bakar.

## SIMPULAN

Dengan menggunakan metode simulasi CFD, karakteristik gas buang yang dihasilkan oleh mesin mobil dengan pengapian busi yang diuji diuraikan dibawah ini:

1. bahan bakar memiliki efek terhadap pada kinerja manifold.
2. pertalite memiliki kecepatan aliran tertinggi pada gas buang dibandingkan dengan pertamax dan pertamax turbo.
3. pertalite memberikan tekanan keluar tertinggi di outlet manifold sedangkan pertamax memberikan tekanan yang lebih rendah daripada pertalite tetapi lebih tinggi dari pertamax turbo.
4. suhu outlet tertinggi ada pada pertalite dan terendah pada pertamax turbo pada 1000 rpm.
5. Kecepatan aliran gas buang pada putaran mesin dari 1000 tertinggi dengan menggunakan pertalite dan terendah dengan pertamax turbo.

Berdasarkan beberapa kesimpulan di atas, kami merekomendasikan penggunaan Petalite pada mesin dengan pembakaran dalam dengan nilai kompresi 9.1, karena dengan penggunaan bahan bakar petalite didapatkan nilai kecepatan serta temperatur maksimal, sehingga performa maksimal dapat diraih dengan penggunaan jenis bahan bakar ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Deger, Y. 2004. Coupled CFD -FE-Analysis for the Exhaust Manifold of a Diesel Engine, 23–27.
- [2] Hwang, I.G., Myung, C.L., Park, S., In, C.B., Yeo, G.K. 2010. Theoretical and Experimental Flow Analysis of Exhaust Manifolds for PZEV, SAE Tech. Pap. Ser., 1, 724.
- [3] Londhe, A., Yadav, V. Thermo-Structural Strength Analysis for Failure Prediction and Concern Resolution of an Exhaust Manifold.
- [4] Rathnaraj, J.D. 2012. Thermomechanical Fatigue Analysis of StainlessSteel Exhaust Manifolds, 2(2), 265–267.
- [5] Umesh, K., Pravin, V., Rajagopal, K. 2013. CFD Analysis of Exhaust Manifold of Multi-Cylinder Si Engine to Determine Optimal Geometry for Reducing Emissions, Int. J. Automob. Eng. Res. Dev., 3(4), 45–56.
- [6] Umesh, K., Pravin, V., Rajagopal, K. 2013. CFD Analysis and Experimental Verification of Effect of Manifold Geometry on Volumetric Efficiency and Back Pressure for Multi-cylinder SI Engine, Int. J. Eng. Sci. Res., 3(7), 342–353.
- [7] V.K.P., Umesh, K.R.K.S. 2013. Experimental Analysis of Optimal Geometry for Exhaust Manifold\Nof Multi-Cylinder Si Engine for Optimum Performance, Int. J. Automob. Eng. Res. Dev., 3(4), 11–22.
- [8] Gocmez, T., Deuster, U. 2009. Designing Exhaust Manifolds Using Integral Engineering Solutions, Retrieved, 1(29), 2015.
- [9] de Souza, G.R., Pellegrini, C., Ferreira, S.L., Soto Pau, F., Armas, O. 2019. Study of intake manifolds of an internal combustion engine: A new geometry based on experimental results and numerical simulations, Therm. Sci. Eng. Prog., 9, 248–258.
- [10] Raghuwanshi, G., Kakirde, A., Sharma, S. 2018. Design and Analysis of Exhaust Manifold Comparing Different Specifications, Int. J. Eng. Trends Technol., 62(1), 42–45.
- [11] Manikandan, P., Samuel, A. CFD Analysis of Exhaust Manifold, 257– 261.
- [12] Srivastava, A. 2017. A Literature Review on Exhaust Manifold Optimisation and Structural Analysis through F.E.A Approach, 3, 727–729.