ANALISIS POTENSI SUMBER ENERGY BARU PADA ALIRAN GAS BUANG KENDARAAN

ANALYSIS OF RENEWABLE ENERGY POTENTIAL SOURCES IN EXHAUST GAS FLOW VEHICLE

Wanda Afnison[(1)], Febri Prasetya [(2)], Wagino[(3)], Farid Maulana Hardi[(4)]
[(1), (2)]Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
[(3), (4)]Departemen Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
Kampus Air Tawar, Padang 25131, Indonesia
wandaafnison@ft.unp.ac.id
febriprasetya@ft.unp.ac.id
wagino@ft.unp.ac.id
faridmaulana_h@gmail.com

Abstrak

Aliran gas buang pada kendaraan memiliki potensi untuk kemudian dimanfaatkan kembali menjadi sumber energy baru pada kendaraan. Potensi energy ini dapat berupa pemanfaatan panas (thermal), tekanan (pressure) dan kecepatan aliran gas buang. Pada artikel ini khusus membahas dimana posisi konsentrasi pressure, velocity dan temperature gas buang yang terjadi. Data ini kemudian dapat dijadikan acuan dalam merancang dan menentukan jenis dan tipe mekanisme pemanen energy gas buang pada kendaraan. Input variable penelitian ini Temperature gas buang yang akan memasuki exhaust manifold diatur 15000K, tekanan gas buang yang memasuki exhaust manifold diatur 2 bar atau 200000 Pa, inlet mass flow 0.01kg/s, inlet volume flow 0.001m3/s, inlet velocity 3.143m/s, Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan dari segi aspek velocity aliran tertinggi dapat kita manfaatkan pada posisi pengukuran pada titik ukur 3, untuk temperature tertinggi dapat kita lihat pada titik ukur 2. Pada aspek pressure aliran gas buang dapat kita lihat terletak pada posisi pengukuran 4. Data simulasi diatas dapat dijadikan rujukan peneliti selanjutknya dalam menrancang mekanisme pemanfaatan aliran gas buang pada kendaraan baik itu yang berorientasi thermat (temperature), aliran (pressure dan velocity).

Kata Kunci : Pressure, Velocity, Temperature, Gas Buang

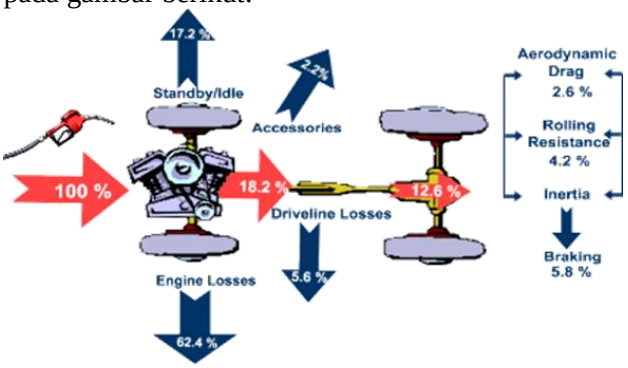
Abstract

The exhaust gas flow in vehicles has the potential to be reused as a new energy source for vehicles. This energy potential can be in the form of utilizing heat (thermal), pressure (pressure) and exhaust gas flow velocity. In this article specifically discusses where the concentration of pressure, velocity and temperature of the exhaust gas occurs. This data can then be used as a reference in designing and determining the type and type of exhaust gas energy harvesting mechanism on vehicles. The input variable for this research is the temperature of the exhaust gas that will enter the exhaust manifold is set at 15000K, the exhaust gas pressure entering the exhaust manifold is set at 2 bar or 200000 Pa, inlet mass flow is 0.01kg/s, inlet volume flow is 0.001m3/s, inlet velocity is 3.143m/s. s, Based on the simulation results carried out in terms of the highest flow velocity aspect, we can use it at the measurement position at measuring point 3, for the highest temperature we can see at measuring point 2. In the aspect of exhaust gas flow pressure, we can see it is located at measurement position 4. The simulation data above can be used as a reference for future researchers in designing a mechanism for utilizing exhaust flow in vehicles, both thermal (temperature), flow (pressure and velocity) oriented.

Keywords : *Pressure, Velocity, Temperature, Exhaust Gas*

I. Pendahuluan

Berdasarkan data yang dihimpun oleh United States Department Of Technology, hanya 15% dari total energi bahan bakar yang digunakan untuk menggerakan kendaraan (Afnison et al., 2020, 2021; Afnison & Hidayat, 2021; Fadhil et al., 2020; Wagino et al., 2020). SIsanya terbuang dalam bentik engne losses, driveline losses, aerodynamic drag dan rolling resistance. Lebih lengkapnya dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 1.1: Fuel *energy losses* in a vehicle

Mengacu kepada gambar 1.1 dapat kita lihat bahwa sektor engine losses memiliki nilai losses of energy terbesar dengan 62.4%. Losses pada engine (Afnison W., Alwi E., Maksum H., Setiawan M.Y., 2019; Afnison W., Amin B., 2017; Afnison W., Guntur H.L., 2015; Hidayat et al., 2020; Maksum H., Purwanto W., Afnison W., 2018; Setiawan M.Y., Purwanto W., Afnison W., 2019)dapat berupa mechanis friction, brake power dan exhaust heat. Pelepasan panas mesin berupa gas buang mekanis memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber energy baru agar efisiensi energy kendaraan meningkat. Salah satunya adalah dengan memanfaatkan panas, aliran dan tekanan gas buang(Adhitya et al., 2020; Gesekan et al., 2017; Septriana et al., 2017; Siregar et al., 2020; Weiss & Jalilian, 2015).

Pada penelitian ini dilakukan simulasi terkait 3 variabel diatas sehingga dapat mengetahui potensi pemanfaatan energy yang mampu dioptimalkan pada mekanisme gas buang pada kendaraan.

memenggunakan mekanisme Electric Turbo Compounding (ETC). Mekanisme ETC ini memanfaatkan aliran gas buang untuk memutar electric generator sehingga menghasilkan arus listrik. Arus listrik yang dihasilkan dapat digunakan untuk kebutuhan charging system pada kendaraan.

II. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan metode simulasi. Penelitian simulasi merupakan metode penelitian yang mencari gambaran melalui sebuah sistem bersekala kecil atau sederhana dimana didalam penelitian tersebut dilakukan manipulasi atau control untuk melihat pengaruhnya. Adapun yang menjadi objek dari penelitian ini adalah mekanime aliran gas buang pada kendaraan. Mekanisme aliran gas buang kemudian dilakukan simulasi aliran yang kemudian dilihat potensi energy yang mampu diambil dari proset tersebut. Peneliti menargetkan tiga variable yang dijadikan acuan dalam simulasi ini yaitu: pressure, temperature dan velocity. Ketiga variable ini berpotensi untuk dijadikan sumber energy baru pada kendaraan.

1. Variabel acuan

Peneliti menargetkan tiga variable yang dijadikan acuan dalam simulasi ini yaitu: pressure, temperature dan velocity.

a. Temperature
   Temperature adalah derajat tingkatan panas atau dingin suatu benda. Pada bagian ini akan dibahas bagaimana ditribusi panas sepanjang aliran gas buang.
b. Velocity
   Kecepatan merupakan besaran vector yang menunjukan seberapa cepat benda berpindah. Dalam hal ini akan dilihat kecepatan aliran gas buang yang melalui setiap penampang knalpot

$$V = \frac{s}{t}$$

   Dimana V= kecepatan (m/s)
   S= jarak (m)
   t= Waktu (s)
c. Pressure
   Tekanan pada gas buang terjadi diakibatkan oleh perbedaan profil penampang knalpot. Distribusi tekanan gas buang sangat mempengaruhi banyak hal terkait temperature, kecepatan aliran dan bahkan proses pembakaran pada raung bakar. Tekanan dapat didefenisikan sebagai gaya per satuan luas.

$$P = \frac{f}{A}$$

   Dimana P= tekanan (N/m2)
   f= gaya (N)
   A= luas penampang (m2)

2. Input parameter

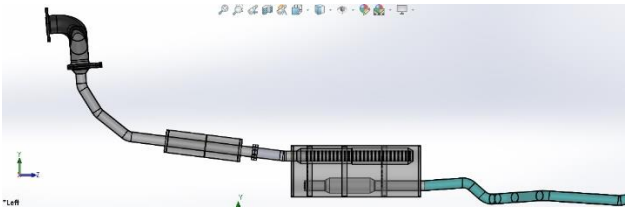
Input parameter merupakan kondisi yang diatur pada tahap awal simulasi dilakukan atau yang lebih sering disebut dengan *Initial Condition.* Pengkondisian awal ini penting dilakukan agar hasil simulasi yang dilakukan mendekati data real nantinya. Dalam menentukan kondisi awal ini penulis mengacu kepada Marupilla Akhil Teja, dkk, Berikut penentuan kondisi awal untuk proses simulasi aliran gas buang:

a. Temperature gas buang yang akan memasuki exhaust manifold diatur 15000K, tekanan gas buang yang memasuki exhaust manifold diatur 2 bar atau 200000 Pa, sedangkan untuk laju aliran

diatur dengan tiga keadaan dibawah.
b. Input Inlet mass flow 0.01kg/s
c. Input inlet volume flow 0.001m3/s
d. Input inlet velocity 3.143m/s

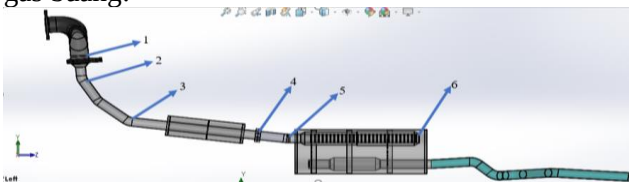
III. Hasil dan Pembahasan

Tahapan penelitian ini diawali dengan melakukan perancangan model 3D dari knalpot sebagai media pengaliran gas buang. Berikut rancangan model 3D knalpot dengan dan tanpa mekanisme ETC:



Gambar 2.1: Rancangan knalpot 3 dimensi

Tahapan selanjutnya adalah melakukan proses simulasi aliran gas buang pada model diatas. Terdapat 3 parameter yang dilihat dari proses simulasi ini diantaranya: tekanan (Pressure), suhu (Temperature) dan kecepatan (Velocity) aliran gas buang. Untuk input parameter yang diberikan adalah: inlet mass flow 0.01kg/s, inlet velocity 3.143m/s, inlet volume flow 0.001m3/s. Dalam melakukan pengujian dilakukan pengukuran pada 6 titik posisi pada knalpot. Berikut titik posisi pengukuran aliran gas buang:

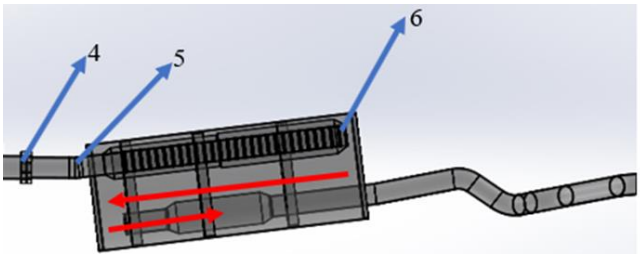


Gambar 2.2: Titik pengambilan data aliran gas buang

Berikut pertimbangan dalam menentukan titik pengujian:

a. Titik 1 sebelum sambungan ke exhaust manifold, lokasi ini dipilih untuk mengamati bagaimana keadaan fluida gas buang sebelum memasuki pipa knalpot
b. Titik 2 setelah sambungan exhaust manifold dengan pipaknalpot, pemilihan posisi ini dengan tujuan agar dapat mengetahui keadaan gas buang setelah memasuki pipa pembuangan.
c. Titik 3 dapat dilihat pada gambar, posisi ini dipilih karena pipa diantara dengan titik 2 dan 3 akan di potong dan dipasangkan mekanisme ETC, sehingga posisi ini sebagai pembanding dengan keadaan setelahnya.
d. Titik 4 antara sambungan silencer dan mufler saluran pembuangan
e. Titik 5 sebelum gas buang memasuki mufler saluran gas buang
f. Titik 6 diakhir pipa pertama mufler

Titik 6 dipilih sebagai acuan terakhir karena setelah gas buang melewati titik 6 maka gas buang akan tertahan dan bergerak kearah sebaliknya melewati beberapa plat mufler, dan pada akhirnya mengalir menuju saluran buang, sehingga diperkirakan jika menempatkan titik baru setelah titik 6 maka data yang di hasilkan kurang presisi. Alur pergerakan gas buang di mufler dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.3: Aliran gas buang dalam muffler

Tanda panah merah menujukan arah gerak fluida gas buang di dalam muffler setelah keluar dari titik 6 .Dengan pertimbangan tersebut titik uji yang dipilih berakhir pada titik 6. Parameter yang dijadikan untuk input di dapat dari penelitian yang dilakukan oleh Marupilla Akhil Teja, dkk. hasil simulasi dapat dilihat pada tabel yang disajikan dibawah:

A. Hasil simulasi dengan input Inlet mass flow 0.01kg/s

Dari simulasi yang telah dilakukan terhadap aliran gas buang dengan Inlet mass flow 0.01kg/s dapat dilihat pada tabel dibawah:

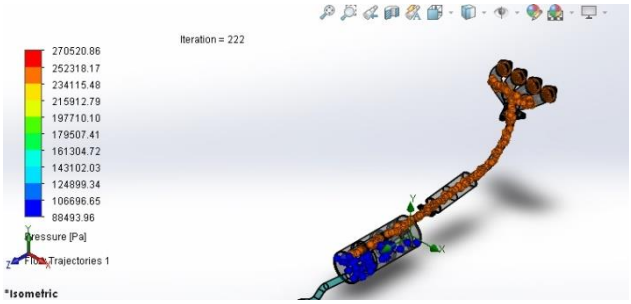
Tabel 2.1 Data simulasi aliran dengan input inlet mass flow 0.01 Kg/s

INLET MASS FLOW 0.01kg/s				
TITIK UJI	Uji 1 Pressure [Pa]	Uji 2 Pressure [Pa]	Uji 3 Pressure [Pa]	Average
1	251203	250624	250937	250921
2	251198	250604	250926	250909
3	250936	250352	250667	250652
4	250746	250175	250483	250468
5	250716	250147	250455	250439
6	148002	147800	147903	147901
TITIK UJI	Temp (Fluid) [K]	Temp (Fluid) [K]	Temp (Fluid) [K]	Average
1	1435	1435	1436	1435
2	1443	1444	1444	1444
3	1420	1420	1421	1420
4	1390	1391	1392	1391
5	1380	1381	1383	1381
6	1312	1313	1315	1313

TITIK UJI	Velocity [m/s]	Velocity [m/s]	Velocity [m/s]	Average
1	17.66	17.13	17.97	17.58
2	17.55	17.34	17.42	17.44
3	25.26	25.49	25.22	25.32
4	21.93	22.06	22.04	22.01
5	21.73	21.80	21.74	21.76
6	11.07	11.49	10.73	11.10

Dari table diatas dapat divisualisasikan dalam gambar berikut:

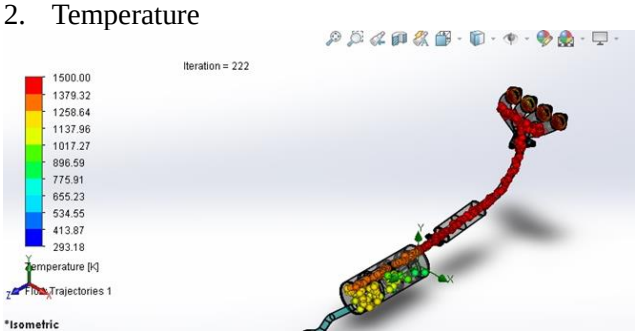
1. Pressure



Gambar 2.4: Distribusi tekanan gas buang dengan itake parameter 0.01kg/s

Dari tabel dan gambar yang ada tekanan pada sistem memiliki nilai tekanan yang terus berkurang dimulai dari titik satu terus berkurang hingga titik 6. Tekanan terbesar terdapat pada exhaust manifold.

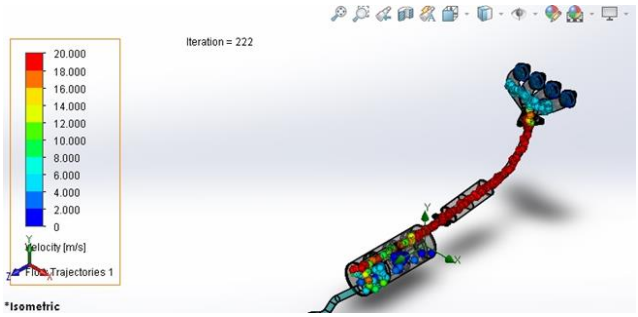
2. Temperature



Gambar 2.5: Distribusi temperatur gas buang

Seperti data yang ada di tabel dan gambar yang tertera di atas nilai dari temperature gas buang semakin turun jika di bandingkan dengan suhu saat berada di exhaust manifold. Penurunan temperature dipengaruhi oleh temperatur lingkungan yang jauh lebih rendah dibandingkan temperature sistem, sehingga pada akhirnya temperature gas buang saat keluar dari pipa pembuangan sudah mendekati dengan temperatur lingkungan.

3. Velocity



Gambar 2.6: Kecepatan aliran gas buang pada exhaust manifold

Seperti pada gambar kecepatan aliran gas buang saat masih di exhaust manifold rendah, namun saat memasuki pipa pembuangan kecepatan gas buang mulai meningkat. Peningkatan kecepatan terjadi karena perubahan ukuran penampang, hal ini sesuia dengan hukum bernouli.

B. Data simulasi dengan input inlet velocity 3.143m/s

Setelah melakukan simulasi sebanyak 3 kali dengan inlet velocity 3.143m/s di dapatkan hasil dilihat pada tabel dibawah:

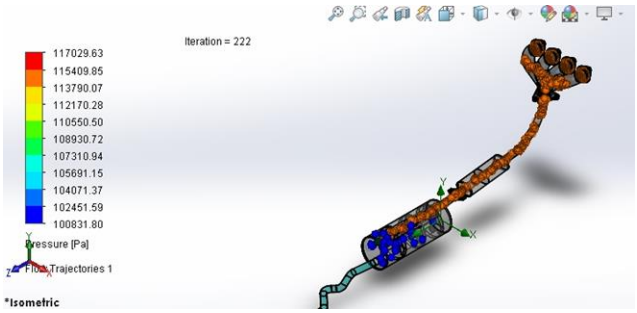
Tabel 2.2: Data simulasi aliran gas buang dengan input inlet velocity 3.143 m/s

INLET VELOCITY 3.143m/s				
TITIK UJI	UJI 1 Pressure [Pa]	UJI 2 Pressure [Pa]	UJI 3 Pressure [Pa]	Average
1	114204	114210	114200	114205
2	114204	114210	114200	114205
3	114176	114180	114171	114176
4	114160	114163	114153	114159
5	114157	114161	114150	114156
6	105269	105272	105271	105271
TITIK UJI	Temperature (Fluid) [K]	Temperature (Fluid) [K]	Temperature (Fluid) [K]	Average
1	1378	1378	1378	1378
2	1385	1385	1386	1385
3	1337	1337	1336	1337
4	1282	1281	1282	1281
5	1260	1260	1260	1260
6	1080	1077	1079	1079
TITIK UJI	Velocity [m/s]	Velocity [m/s]	Velocity [m/s]	Average
1	8.67	8.67	8.47	8.60
2	8.10	8.03	7.99	8.04
3	11.44	11.47	11.47	11.46
4	9.81	9.85	9.87	9.84
5	9.58	9.60	9.62	9.60

6	2.98	3.05	3.21	3.08

Data table kemudian dapat di visualisasikan sbb:

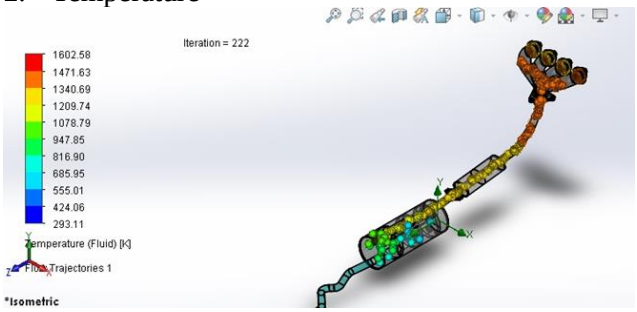
1. Pressure



Gambar 2.7: Distribusi tekanan pada gas buang

Dari tabel dan gambar yang telah ada dapat disimpulkan dengan memasukan input kecepatan gas buang dengan kecepatan 3.143m/s diperoleh nilai kecepatan kecil dari 110000 pa, yang mana jauh lebih kecil dengan input tekana yang dimasukan sebesar 200000 pa.

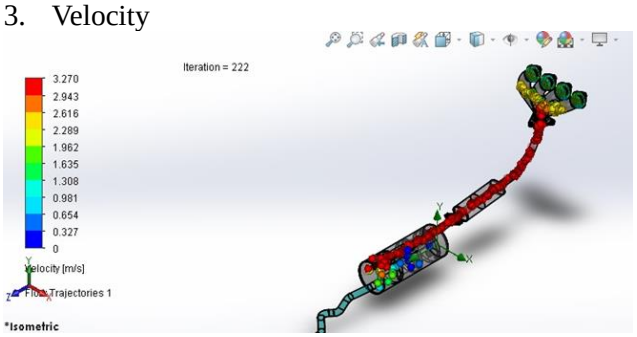
2. Temperature



Gambar 2.8: Temperatur gas buang dengan velocity intake parameter *3.143m/s*

Nilai temperature yang diperoleh hampir sama dengan input nilai input temperatur , nilai dari temperature gas buang semakin turun jika di bandingkan dengan suhu saat berada di exhaust manifold.

3. Velocity



Gambar 2.9. kecepatan gas buang dengan intake parameter 3.143m/s

Seperti pada gambar kecepatan aliran gas buang saat masih di exhaust manifold rendah, namun saat memasuki pipa pembuangan kecepatan gas buang mulai meningkat, hingga saat gas buang memasuki mufler kacepatan gas buang mulai menurun karena tertahan di ujung pipa mufler.

C. Simulasi aliran dengan input inlet volume flow 0.001m3/s

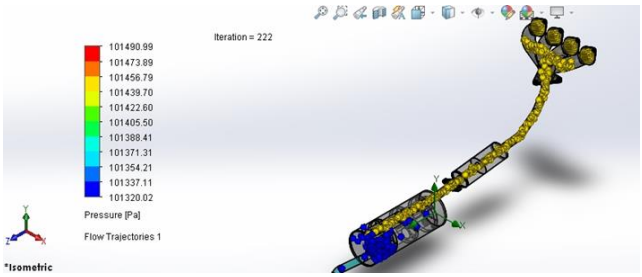
Nilai dari inlet volume flow yang dimasukan 0.001m3/s, nilai ini dapat setelah melakukan simulasi dengan inlet velocity 3.143m/s di dapat nilai volume flow sebesar 0.0008 m3/s nilai tersebut di bulatkan menjadi 0.001 m3/s, tujuan menambahkan inlet parameter ini adalah agar di dapat pembanding yang lebih banyak tekait penelitian yang di jalankan. Untuk hasil penelitian dapat dilihat pada tabel dibawah,

Tabel 2.3: Data dimulasi dengan inlet volume flow 0.001m^3/s

INLET VOLUME FLOW 0.001m^3/s				
TITIK UJI	UJI 1 Pressure [Pa]	UJI 2 Pressure [Pa]	UJI 3 Pressure [Pa]	Average
1	101448	101449	101448	101448
2	101448	101448	101448	101448
3	101448	101448	101447	101448
4	101447	101447	101447	101447
5	101447	101447	101447	101447
6	101362	101362	101362	101362
TITIK UJI	Temperature (Fluid) [K]	Temperature (Fluid) [K]	Temperature (Fluid) [K]	rata-rata
1	1210.71	1210.10	1209.53	1210.12
2	1157.51	1157.84	1156.64	1157.33
3	1065.65	1065.12	1065.40	1065.39
4	903.49	902.38	902.92	902.93
5	844.83	843.84	844.30	844.32
6	574.01	573.53	573.84	573.79
TITIK UJI	Velocity [m/s]	Velocity [m/s]	Velocity [m/s]	rata-rata
1	0.89	0.90	0.89	0.89
2	0.92	0.92	0.92	0.92
3	1.22	1.22	1.22	1.22
4	0.92	0.92	0.92	0.92
5	0.85	0.85	0.85	0.85
6	0.23	0.23	0.22	0.23

Data simulasi diatas dapat dilihat pada gambar berikut:

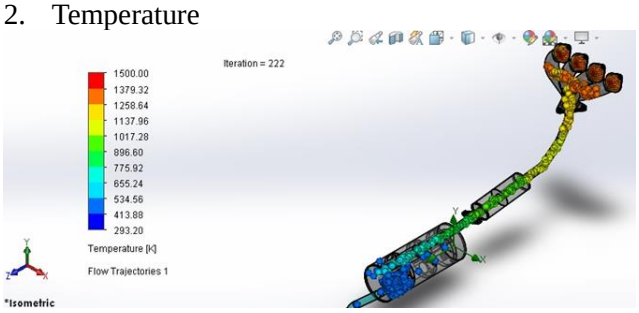
1. Pressure



Gambar 2.10: Pressure dengan inlet volume flow 0.001m3/s

Dari tabel dan gambar yang ada tekanan pada sistem memiliki nilai tekanan yang terus berkurang dimulai dari titik satu terus berkurang hingga titik 6.

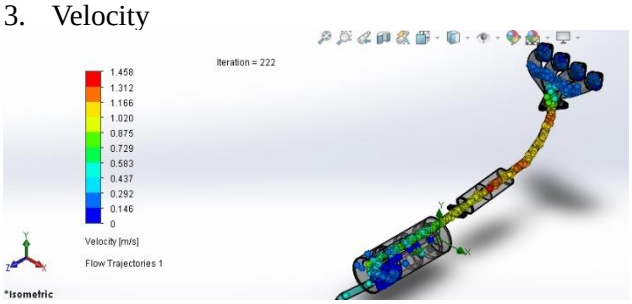
2. Temperature



Gambar 2.11: Temperature dengan inlet volume flow 0.001m3/s

Nilai temperature yang diperoleh hampir sama dengan input nilai input temperatur , nilai dari temperature gas buang semakin turun jika di bandingkan dengan suhu saat berada di exhaust manifold

3. Velocity



Gambar 2.12: Velocity dengan inlet volume flow 0.001m3/s

Seperti pada gambar kecepatan aliran gas buang saat masih di exhaust manifold rendah, namun saat memasuki pipa pembuangan kecepatan gas buang mulai meningkat, hingga saat gas buang memasuki muffler kacapatan gas buang mulai menurun karena tertahan di ujung pipa muffler

IV. Kesimpulan

Berdasarkan data simulasi diatas dapat kita simpulkan bahwa aliran gas buang pada knalpot memiliki potensi sumber energy baru yang bias kita manfaatkan sebagai sumber energy baru pada kendaraan. Berdasarkan variable acuan velocity, temperature dan pressure maka dapat kita lihat bahwa dari segi aspek velocity aliran tertinggi dapat kita manfaatkan pada posisi pengukuran pada titik ukur 3, untuk temperature tertinggi dapat kita lihat pada titik ukur 2. Pada aspek pressure aliran gas buang dapat kita lihat terletak pada posisi pengukuran 4. Data simulasi diatas dapat dijadikan rujukan peneliti selanjutknya dalam menrancang mekanisme pemanfaatan aliran gas buang pada kendaraan baik itu yang berorientasi thermat (temperature), aliran (pressure dan velocity).

Referensi

Adhitya, M., Siregar, R., Sumarsono, D. A., Nazaruddin, Heryana, G., Prasetyo, S., & Zainuri, F. (2020). Experimental analysis in the test rig to detect temperature at the surface disc brake rotor using rubbing thermocouple. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, *2*(5–104), 6–11. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.191949

Afnison W., Alwi E., Maksum H., Setiawan M.Y. (2019). Development of the Electromagnetic Regenerative Shock Absorber as an Energy Harvesting Tool for Vehicles. *Motivection : Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, *Volume : 1*(Number : 3, 2019), 71–82. http://motivection.imeirs.org/index.php/motivection/article/view/26/15

Afnison W., Amin B. (2017). DISTRIBUTION OF VISCOUS, FRICTION AND ELECTRIC DUMPING ON REGENERATIVE SHOCK ABSORBER (RSA) TYPE HYDRAULIC ELECTRO MECHANIC SHOCK ABSORBER (HEMSA). *INVOTEK: Jurnal Inovasi Vokasional Dan Teknologi*, *17*(2), 45–51. http://invotek.ppj.unp.ac.id/index.php/invotek/article/view/72/27

Afnison W., Guntur H.L. (2015). Study of Double Cylinder Actuator Regenerative Shock Absorber With Oil Viscosity Variations. *Seminar Nasional Teknologi (SENATEK) ITN MALANG 2015*, *ISSN:2407*-(ISSN:2407-7534), 186–193. https://ejournal.itn.ac.id/index.php/senatek/article/download/1197/805

Afnison, W., Alwi, E., Amin, B., Maksum, H., Purwanto, W., & Kurniawan, F. (2021). Optimization study of electric regenerative shock absorber (Ersa) using taguchi method. *International Review of Mechanical Engineering*, *15*(6), 317–324. https://doi.org/10.15866/ireme.v15i6.20621

Afnison, W., & Hidayat, N. (2021). *Analysis Thermal Pada Solid dan Ventilated Disk Brake Pada Mobil Hemat Energi Pagaruyuang Team UNP*. *7*(1), 44–49.

Afnison, W., Maksum, H., & Hidayat, N. (2020). The Effect of Vibration Energy Harvester Mechanism Toward the Shock Absorber Efficiency. *Journal of Physics: Conference Series*, *1594*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1594/1/012034

Fadhil, A., Maksum, H., & Afnison, W. (2020). Optimasi Electromagnetic Regenerative Shock Absorber (ERSA) Tipe Magnet Batang Alnico pada Suspensi Belakang Multi Purpose Vehicle (MPV). *AEEJ : Journal of Automotive Engineering and Vocational Education*, *1*(1), 21–30. https://doi.org/10.24036/aeej.v1i1.3

Gesekan, A., Hidrolis, P., Cakram, R. E. M., Pada, T., Roda, K., Dengan, E., & Hingga, M. E. (2017). *1. PENDAHULUAN Rem merupakan suatu komponen*. 667–678.

Hidayat, N., Setiawan, M. Y., Arif, A., & Afnison, W. (2020). Comparison of Effectiveness in Straight-Fin Radiator Types with variations in Time and cooling air velocity. *Journal of Physics: Conference Series*, *1594*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1594/1/012032

Maksum H., Purwanto W., Afnison W. (2018). DESIGN OF ELECTROMAGNETIC REGENERATIVE SHOCK ABSORBER AS A TOOL OF HARVESTING VIBRATION ENERGY ON VEHICLE. *International Journal of GEOMATE*, *15*(50), 1–7. https://www.geomatejournal.com/sites/default/files/articles/1-7-53930-Hasan-Oct-2018.pdf

Septriana, H. W., Haryadi, G. D., & Ariyanto, M. (2017). Pembuatan dan Pengujian Alat Pengukur Temperatur pada Rem Tromol Kendaraan Roda Dua dengan Remote Measuring System. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Diponegoro*, *5*(1), 66–72.

Setiawan M.Y., Purwanto W., Afnison W., H. N. (2019). *Modeling for a High Reynolds Rate Analisa Numerik Aliran Fluida pada Dinding Silinder Sirkular dengan Pemodelan K-ε untuk Bilangan Reynolds yang Tinggi*. 81–88.

Siregar, R., Adhitya, M., Sumarsono, D. A., Nazaruddin, Heryana, G., & Zainuri, F. (2020). Study the brake performance of a passenger car based on the temperature that occurs in each brake unit. *AIP Conference Proceedings*, *2227*(May). https://doi.org/10.1063/5.0003747

Wagino, Alwi, E., Amin, B., & Afnison, W. (2020). Electric turbo compounding (ETC) as exhaust energy recovery system on vehicle. *International Journal of GEOMATE*, *19*(71), 228–234. https://doi.org/10.21660/2020.71.62346

Weiss, J., & Jalilian, H. (2015). The University of Bradford Institutional Repository. *Manufacturing as an Engine of Growth*, *67*(10), 26–37. https://doi.org/10.1093/bjsw/bcs140.