

PENGARUH MANIPULATOR TEKANAN BAHAN BAKAR MESIN DIESEL COMMON RAIL DITINJAU DARI KEBISINGAN & EMISI GAS BUANG

Ratna Monasari, Nike Nur Farida, Ahmad Hanif Firdaus

Teknik Otomotif Elektronik, Politeknik Negeri Malang

E-mail: rmonasari@polinema.ac.id, nfarida11@gmail.com, hanif.ahmad@polinema.ac.id

ABSTRAK

Transportasi merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari kemajuan peradaban manusia. Namun, seiring dengan peningkatan jumlah kendaraan hal ini juga berdampak pada meningkatnya polusi udara. Saat ini penggunaan motor diesel dari tahun ke tahun semakin meningkat. Selain memiliki banyak kelebihan, mesin diesel juga memiliki kekurangan yaitu suara dan tingkat kepekatan asap yang lebih tinggi dibandingkan dengan mesin bensin. Salah satu cara untuk mengurangi terjadinya berbagai macam pencemaran terutama pencemaran udara dan pencemaran yang berhubungan dengan tingkat kebisingan adalah dengan memasang manipulator pada sistem bahan bakar. Dengan cara ini diharapkan dapat mengubah masukan dari sensor agar dapat mengurangi atau menambah jumlah dan tekanan bahan bakar yang diinjeksikan sehingga dapat mengubah konsentrasi emisi gas buang dan tingkat kebisingan yang dihasilkan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Dari hasil penelitian tingkat kebisingan terendah pada bagian depan kendaraan sebesar 71 dB pada saat tegangan fuel pressure sensor diturunkan menjadi 0,2 V dari kondisi normal (1,08 V) pada 750 RPM (idle), sedangkan tingkat kebisingan terendah berada pada posisi bagian belakang kendaraan sebesar 69 dB saat tegangan fuel pressure sensor diturunkan menjadi 0,2 V dari normal pada 750 RPM. Dari data kebisingan dapat disimpulkan bahwa kebisingan di depan kendaraan lebih besar daripada di bagian belakang kendaraan. Hal ini terjadi karena bagian depan kendaraan paling dekat dengan mesin sehingga kebisingan yang terjadi lebih besar. Dari data densitas gas buang diperoleh presentase konsentrasi gas buang terendah sebesar 9,7% pada kondisi tegangan sensor tekanan bahan bakar diturunkan sebesar 0,2 V (1,08 V). Sedangkan densitas gas buang tertinggi sebesar 61,4% saat tekanan sensor bahan bakar dinaikkan sebesar 0,2 V (1,48 V). Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi tegangan tekanan bahan bakar maka densitas gas buang akan semakin tinggi (berbanding lurus).

Kata kunci: common rail, diesel, emission, manipulator

PENDAHULUAN

Transportasi menjadi salah satu bagian dalam mendukung perkembangan kemajuan peradaban manusia saat ini. Dengan semakin meningkatnya hal tersebut tentunya juga membawa dampak negatif yang tidak diinginkan. Meningkatnya jumlah kendaraan sebanding dengan jumlah polusi yang dihasilkan oleh gas buang kendaraan. Hal ini merupakan ancaman bagi kesehatan manusia maupun dampak lain terhadap lingkungan.

Usaha dalam penanganan polusi menjadi bahasan sampai tingkat PBB. Penanganan polusi udara menjadi salah satu tujuan global ke 13 *the seventeen sustainable development goals (SDGs)* yang dimylai pada tahun 2016 sampai 2030 yang mengharuskan setiap anggota negara PBB untuk segera melakukan aksi nyata dalam mengatasi terjadinya perubahan iklim beserta dampaknya

(UNESCO-UNEVOC, 2015; United Nations, 2017). Salah satu usaha yang dilakukan yaitu dengan mengurangi berbagai macam polusi, khususnya polusi udara dan polusi yang berkaitan dengan kebisingan.

Kebisingan yang timbul dari kendaraan bermotor dapat menimbulkan dampak negatif bagi manusia maupun lingkungan [1]. Timbulnya stress, meningkatnya resiko penyakit jantung, stroke, gangguan tidur, gangguan pendengaran sampai kerusakan telinga permanen merupakan dampak yang bisa dirasakan manusia secara langsung [2], [3], [4]. Banyak faktor penyebab kebisingan, salah satunya dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Sumber kebisingan dari kendaraan bermotor berasal dari knalpot dan gesekan antar komponen mesin pada kendaraan [5], [6].

Selain menyebabkan kebisingan, penggunaan kendaraan bermotor juga salah satu sumber penyebab polusi udara. Emisi gas buang yang dihasilkan dari pembakaran pada kendaraan bermotor dapat menimbulkan berbagai penyakit khususnya pernafasan bagi makhluk hidup yang menghirupnya [7][8].

Pada saat ini penggunaan motor diesel setiap tahunnya mengalami peningkatan signifikan. Salah satu penggunaannya adalah di bidang transportasi, baik transportasi darat ataupun laut. Ada beberapa alasan mengapa mesin diesel cocok digunakan pada moda transportasi antara lain karena efisiensi yang tinggi, memiliki ketahanan (*durability*) dan keandalan (*reliability*) yang lebih baik dibandingkan dengan beberapa mesin penggerak yang lain. Selain itu dengan nilai efisiensi kalor yang lebih tinggi dibandingkan dengan mesin bensin, mesin diesel dianggap lebih ekonomis dalam penggunaan bahan bakar [9].

Selain kelebihan tersebut, terdapat beberapa kekurangan mesin diesel. Seperti tekanan pembakaran mesin diesel maksimal bernilai hamper dua kali dari mesin bensin. Hal ini menyebabkan getaran dan suara yang dihasilkan pada mesin diesel lebih tinggi dibandingkan dengan mesin bensin. Selain itu tingkat kepekatan asap (opasitas) mesin diesel juga lebih tinggi dari mesin bensin, khususnya mesin diesel konvensional.

Di Indonesia sudah ada regulasi yang mengatur tentang ambang batas kebisingan dan emisi. Regulasi mengenai ambang batas kebisingan diatur dalam Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 7 tahun 2009 tentang ambang batas kebisingan kendaraan bermotor tipe baru, kebisingan yang iizinkan untuk mobil kategori M1 (< 9 orang) adalah 90 dBA [9]. Sedangkan regulasi mengenai ambang batas emisi gas buang diatur dalam Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 05 Tahun 2006. Kendaraan diesel dengan bobot <3,5ton tahun pembuatan kurang dari 2010 opasitas yang diijinkan 70%, bobot <3,5ton tahun pembuatan diatas 2010 tingkat opasitas yang diijinkan 40% [11].

Dari peraturan tersebut maka perlu dilakukan pengembangan dari sisi teknologi untuk mengurangi tingkat kebisingan serta tingkat opasitas gas buang yang dihasilkan oleh mesin diesel. Salah satunya adalah perkembangan mesin diesel dari konvensional menjadi *common rail*. Mesin *Common rail* sendiri merupakan jenis mesin diesel dimana pengaturan sistem bahan bakarnya dikontrol secara elektrikal sehingga bisa mendapatkan pembakaran yang sempurna. Mesin diesel *common rail* berpusat pada *Engine Control Unit (ECU)*. ECU mengontrol jumlah dan tekanan bahan bakar yang dikirim ke mesin pada saat penginjeksian berdasarkan karakteristik kerja mesin berdasarkan inputan dari sensor. Mesin diesel *common rail* diklaim mampu meningkatkan performa kendaraan, mengurangi *noise* serta menurunkan tingkat kepekatan (opasitas) emisi gas buang (*Common Rail Bosch*, Tanpa tahun)

Sistem kontrol bahan bakar pada *common rail* merupakan jantung dari kendaraan. *Injection pump* tidak dipakai lagi pada sistem ini digantikan oleh *supply pump* tipe *plunger* yang dibuat untuk mensuplai bahan bakar bertekanan tinggi ke *rail*. *Feed pump* dipasang di bagian dalam *supply pump* untuk menghisap bahan bakar yang berasal dari tangki ke *plunger chamber*. Komponen *supply pump* juga dilengkapi dengan *suction control valve (SCV)* yang berfungsi untuk

mengontrol suplai bahan bakar bertekanan tinggi ke *fuel rail* dan *fuel temperature* sensor untuk mendeteksi temperatur bahan bakar.

Output sensor SCV berupa tegangan antara 0 -5 volt. Pada saat ada inputan/ masukan dari sensor, ECU akan mengolah data dan menentukan jumlah bahan bakar bertekanan tinggi yang akan diinjeksikan. ECU dapat menentukan jumlah bahan bakar karena dalam ECU sudah terdapat program yang dapat mengkalkulasi jumlah bahan bakar sesuai dengan inputan dari sensor. Dalam program tersebut sudah terdapat range atau ukuran yang sudah dipatenkan oleh perusahaan yang mengeluarkan produk tersebut. Sehingga jumlah dan tekanan bahan bakar yang dibutuhkan pada kondisi apapun sudah ditentukan. Hal itulah yang menjadi alasan perlunya dibuat manipulator pada sensor kontrol bahan bakar agar dapat merubah output dari sensor agar dapat mengurangi atau menambah jumlah dan tekanan bahan bakar yang diinjeksikan sehingga dapat merubah konsentrasi emisi buang serta mengukur tingkat kebisingan yang ditimbulkan.

Penelitian tentang alat manipulator sensor bahan bakar pada mesin diesel *common rail* ini merupakan penelitian mula yang disusun oleh peneliti. Kedepannya peneliti akan mengembangkan penelitian serupa dengan variabel penelitian yang dikembangkan, seperti melihat pengaruh konsumsi bahan bakar, daya dan torsi yang dihasilkan oleh alat manipulator sensor tersebut.

Beberapa penelitian sebelumnya terkait alat manipulator sensor yakni: pada tahun 2011, terdapat penelitian oleh Chandra Gunawan yang melakukan penelitian mengenai rancang bangun manipulator sensor MAP (*Manifold Absolute Pressure*) terhadap konsentrasi gas buang pada mesin bensin multisiylinder [12]. Dalam penelitian tersebut menggunakan potensiometer untuk menambahkan atau mengurangi tegangan output dari sensor MAP. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa manipulasi tegangan MAP dengan cara mengurangi tegangan akan membuat konsentrasi HC lebih tinggi, meningkatkan konsumsi bahan bakar, dan membuat konsentrasi gas CO menjadi lebih rendah dibanding dengan kondisi normal tanpa manipulasi.

Di tahun 2019 terdapat penelitian yang dilakukan oleh M. Alimi Syuhada, dkk, pada penelitian ini peneliti melakukan pembatasan tegangan output sensor O₂ menggunakan *microcontroller* pada sepeda motor 4 langkah. Dari penelitian ini diperoleh hasil, dengan pembatasan tegangan output pada sensor O₂ diperoleh peningkatan daya sebesar 9,2%; peningkatan torsi sebesar 44,15%; peningkatan konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang HC dan CO yang dihasilkan oleh kendaraan [13].

Pada tahun 2019 juga dilakukan penelitian mengenai aplikasi manipulator sensor *Engine Coolant Temperature (ECT)* oleh Firdaus Jauhari. Alat manipulator dibuat untuk memanipulasi luaran dari sensor ECT yang diatur untuk mendapatkan konsumsi bahan bakar yang lebih ekonomis dan tingkat emisi gas buang yang lebih rendah. Hasil penelitian didapatkan bahwa penggunaan manipulator sensor menghasilkan konsumsi bahan bakar yang lebih irit. Selain itu kadar CO, CO₂, dan HC yang dihasilkan menurun [14].

Tahun 2020, dilakukan penelitian dengan menggunakan manipulator sensor O₂ yang bertujuan untuk menaikkan performa *scooter* dengan mode transmisi matic 4 langkah. Pada penelitian ini peneliti ini dilakukan dengan tetap memasang O₂ sensor dan ditambahkan pemasangan resistor sehingga tegangan output sensor O₂ dapat dimanipulasi sebelum diterima ECU. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan manipulator sensor O₂ dapat digunakan untuk menaikkan performa pada *scooter* dengan mode transmisi matic 4 langkah. [15].

Dari penelitian-penelitian diatas, masih belum ada yang menggunakan alat manipulator pada mesin diesel, utamanya untuk memanipulasi variasi tegangan yang keluar dari sensor tekanan bahan bakar sehingga peneliti tertarik untuk mengambil judul tersebut. Diharapkan jika penelitian ini dapat dilakukan, dengan adanya alat manipulator tekanan bahan bakar pada mesin diesel akan perubahan voltase dari sensor dan dapat diketahui perubahan pada tingkat

kebisingan serta emisi gas buang antara mesin yang tanpa manipulator dan mesin dengan manipulator.

Pembeda antara penelitian ini dan penelitian lain ialah pada penelitian ini menggunakan objek penelitian mesin pada kendaraan diesel *common rail* dimana pada kendaraan diesel memiliki tingkat kepekatan gas buang (opasitas) yang lebih tinggi dari kendaraan mesin bensin. Sehingga apabila terjadi penurunan kepekatan gas buang pada mesin diesel yang telah dipasang manipulator, maka penelitian tersebut dapat dikembangkan lebih jauh lagi.

METODE PENELITIAN

2.1 Alur Penelitian

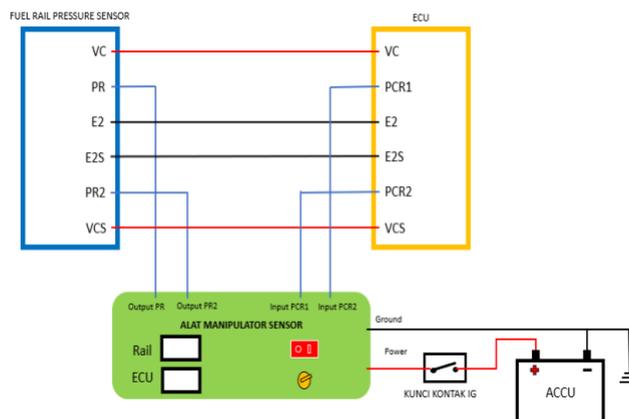


Gambar 1. Flowchart Alur Penelitian

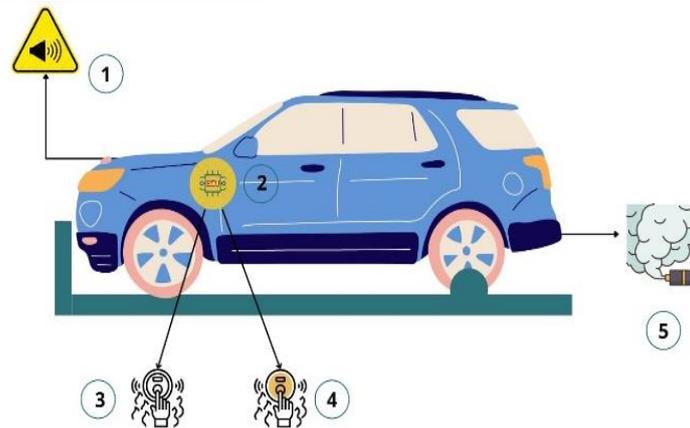
2.2. Variabel

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah output voltase alat manipulator tekanan bahan bakar pada voltase normal (1,28 V), diturunkan 0,1 V (1,18 V), diturunkan 0,2 V (1,08 V), dinaikkan 0,1 V (1,38 V), dinaikkan 0,2 V (1,48 V). Sedangkan untuk variable terkontrol adalah kendaraan uji menggunakan diesel common rail 2 KD dengan bahan bakar pertalite dex dan kondisi tanpa beban.

2.3. Rangkaian Alat



Gambar 2. Rangkaian Kelistrikan Alat Manipulator Tekanan Bahan Bakar pada Kendaraan



Gambar 3. Tampilan pengujian alat manipulator tekanan bahan bakar dan pengambilan data.

Keterangan

1. Alat *Sound Level Meter*
2. *ECU*
3. Alat Manipulator sensor tekanan bahan bakar
4. *Scan tool*
5. *Smoke Tester*

Pengambilan data dilakukan dengan cara melakukan tes kebisingan kendaraan, tes kepekatan gas buang kendaraan serta dengan scan tool menggunakan mode *current* data dalam keadaan tanpa beban (AC). Alat yang dipakai untuk pengambilan data ialah *sound level meter* untuk mengukur tingkat kebisingan kendaraan, *smoke tester* ialah alat untuk mengecek kepekatan emisi gas buang pada kendaraan diesel.

Setelah alat modifikasi sensor tekanan bahan bakar terpasang, langkah pertama yang dilakukan adalah dengan mengambil kebisingan kendaraan pada kondisi normal voltase sebesar 1,28 V (tidak dilakukan perlakuan penambahan atau pengurangan *voltase*). Alat *sound level meter* diletakkan pada depan kendaraan, bagian tengah dengan keadaan kap mobil di tutup, serta di belakang kendaraan, bagian tengah bawah (sejajar dengan knalpot). Titik kebisingan yang di ambil pada RPM 750 (posisi idle), 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, dan 4000. Setelah data kebisingan kendaraan pada posisi normal diambil, selanjutnya mengambil data kebisingan kendaraan saat dengan voltase yang sudah diturunkan yakni pada posisi 1,08V dan 1,18V dan voltase dinaikkan pada posisi 1,38V dan 1,48V dengan letak alat dan RPM yang sama saat pengambilan data normal.

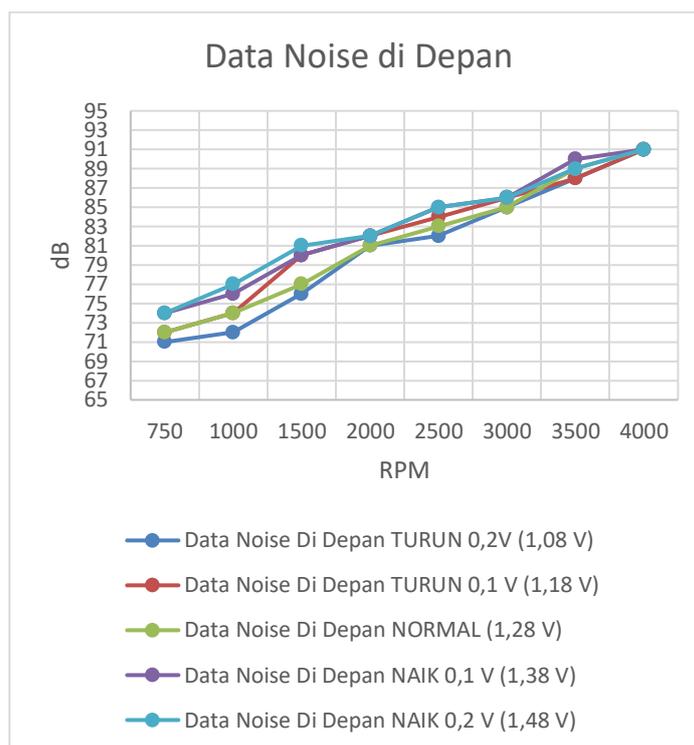
Pengambilan data yang kedua menggunakan alat *smoke tester* untuk mengetahui kepekatan gas buang kendaraan diesel. Setelah alat modifikasi sensor tekanan bahan bakar terpasang pada kendaraan maka diambil data kepekatan gas buang kendaraan pada kondisi normal voltase sebesar 1,28 V (tidak dilakukan perlakuan penambahan atau pengurangan *voltase*). *Probe* alat *smoke tester* diletakkan di dalam knalpot. Lalu kendaraan digas *full throttle* 1x, maka sampel kepekatan gas buang akan terdeteksi oleh alat. Sampel kepekatan diambil sampai 5x namun hanya 3 data yang diambil oleh alat untuk dirata-rata. Pengambilan data gas buang kendaraan diambil pada posisi voltase diturunkan 1,08V dan 1,18V serta dinaikkan pada voltase 1,38 dan 1,48 volt.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Data Kebisingan Kendaraan.

Tabel 1. Data Noise di Depan

RPM	Turun 0,2V (1,08 V)	Turun 0,1V (1,18 V)	Normal (1,28 V)	Naik 0,1V (1,38 V)	Naik 0,2V (1,48 V)
750 (idle)	71	72	72	74	74
1000	72	74	74	76	77
1500	76	80	77	80	81
2000	81	82	81	82	82
2500	82	84	83	85	85
3000	85	86	85	86	86
3500	88	88	89	90	89
4000	91	91	91	91	91



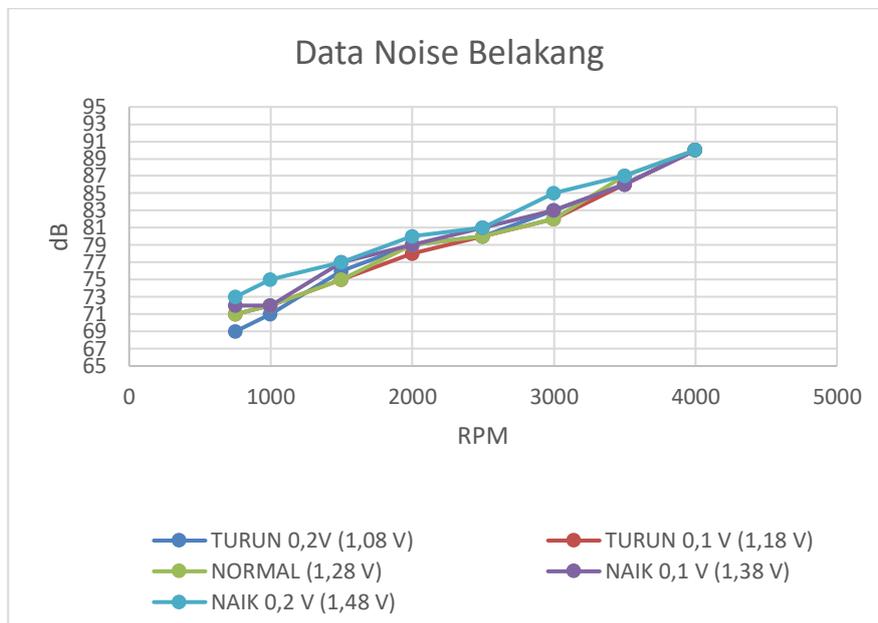
Gambar 4. Grafik noise di depan kendaraan

Tingkat kebisingan paling rendah pada data noise di depan kendaraan ialah pada 71 dB ketika voltase sensor tekanan bahan bakar diturunkan hingga 0,2 V dari kondisi normal (1,08V) pada RPM 750 (idle). Pada RPM 2000 tingkat kebisingan yang paling rendah adalah 81 dB pada kondisi normal (1,28 V) dan diturunkan 0,2 v (1,08V). Sedangkan pada RPM 4000 menunjukkan tingkat kebisingan yang sama dengan tingkat kebisingan tertinggi pada semua titik uji, yakni pada 91dB.

Tabel 2. Data Noise di Belakang

RPM	Turun 0,2V (1,08 V)	Turun 0,1V (1,18 V)	Normal (1,28 V)	Naik 0,1V (1,38 V)	Naik 0,2V (1,48 V)
750 (idle)	69	71	71	72	73
1000	71	72	72	72	75
1500	76	75	75	77	77
2000	79	78	79	79	80

2500	80	80	80	81	81
3000	83	82	82	83	85
3500	86	86	87	86	87
4000	90	90	90	90	90



Gambar 5. Grafik noise di belakang kendaraan

Tingkat kebisingan paling rendah pada data kebisingan di belakang kendaraan ialah pada 69 dB ketika voltase sensor tekanan bahan bakar diturunkan hingga 0,2 V dari kondisi normal (1,08V) pada RPM 750 (idle). Pada RPM 2000 tingkat kebisingan yang paling rendah adalah 78 dB pada kondisi diturunkan 0,1V (1,18 V). Sedangkan pada RPM 4000 menunjukkan tingkat kebisingan yang sama dengan tingkat kebisingan tertinggi pada semua titik uji, yakni pada 90 dB.

Dari data kebisingan di atas dapat disimpulkan jika kebisingan di arah depan kendaraan lebih besar daripada kebisingan di arah belakang kendaraan. Hal tersebut dikarenakan bagian depan kendaraan adalah bagian yang paling dekat dengan engine sehingga menimbulkan kebisingan yang lebih besar. Pada pengujian kebisingan terdapat kecenderungan rata-rata tingkat kebisingan akan naik jika voltase pada sensor tekanan bahan bakar dinaikkan. Hal tersebut karena semakin tinggi voltase tekanan bahan bakar akan menyebabkan tekanan bahan bakar akan naik, jika tekanan bahan bakar naik maka kerja komponen sistem bahan bakar akan bekerja melebihi kapasitas, yang mana jika terus menerus terjadi akan membuat keausan pada komponen lebih cepat (semakin tinggi tingkat kebisingan berbanding lurus dengan cepatnya keausan). Sehingga disarankan jika menginginkan keawetan komponen maka dapat dilakukan dengan merendahkan voltase tekanan bahan bakar dari kondisi normalnya. Namun hal ini memerlukan penelitian dan kajian lebih lanjut.

2. Data Kepekatan Gas Buang Kendaraan

Tabel 3. Data Kepekatan Gas Buang

Voltase	1,08 (Turun 0,2 V)	1,18 (Turun 0,1 V)	1,28 (Normal)	1,38 (Naik 0,1)	1,48 (Naik 0,2)
---------	-----------------------	-----------------------	------------------	--------------------	--------------------

Kepekatan 1	9,1	9,7	17,7	45,3	59,9
Kepekatan 2	11	10,1	18,3	48,3	61,5
Kepekatan 3	8,7	10,5	16,8	45,7	62,5
Rata-rata	9,7	10,2	17,6	46,5	61,4

* Data di atas dalam persen kepekatan.

Dari data kepekatan gas buang di atas dapat dilihat jika persen kepekatan gas buang paling rendah ada pada 9,7% yakni pada kondisi jika voltase sensor tekanan bahan bakar diturunkan 0,2 V (1,08 V). Sedangkan kepekatan gas buang paling besar adalah 61,4% saat tekanan sensor bahan bakar dinaikkan 0,2 V (1,48 V). Sehingga dapat disimpulkan jika voltase tekanan bahan bakar semakin dinaikkan maka kepekatan gas buang akan semakin tinggi (berbanding lurus).

SIMPULAN

Berdasarkan data hasil penelitian yang telah dilakukan dan dilakukan Analisa terhadap alat manipulator tekanan bahan bakar pada mesin diesel common rail, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Rancangan alat manipulator tekanan bahan bakar pada mesin diesel common rail ialah dengan cara merubah tegangan output sensor tekanan bahan bakar dengan melalui rangkaian elektronik. Rangkaian elektronik tersebut berfungsi sebagai masukan dari ECU. Pada rangkaian elektronik tersebut, voltase input sensor tekanan bahan bakar dirubah-rubah sesuai dengan voltase yang diinginkan oleh peneliti.
2. Terdapat perbedaan data tentang kebisingan antara kendaraan yang tidak dipasang alat manipulator dengan kendaraan yang di pasang alat manipulator. Tingkat kebisingan paling rendah pada data noise di depan kendaraan ialah pada 71 dB ketika voltase sensor tekanan bahan bakar diturunkan hingga 0,2 V dari kondisi normal (1,08V) pada RPM 750 (idle). Tingkat kebisingan paling rendah pada data kebisingan di belakang kendaraan ialah pada 69 dB pada ketika voltase sensor tekanan bahan bakar diturunkan hingga 0,2 V dari kondisi normal (1,08V) pada RPM 750 (idle). Dari data kebisingan di atas dapat disimpulkan jika kebisingan di arah depan kendaraan lebih besar daripada kebisingan di arah belakang kendaraan. Hal tersebut dikarenakan bagian depan kendaraan adalah bagian yang paling dekat dengan engine sehingga menimbulkan kebisingan yang lebih besar. Pada pengujian kebisingan terdapat kecenderungan rata-rata tingkat kebisingan akan naik jika voltase pada sensor tekanan bahan bakar dinaikkan.
3. Terdapat perbedaan kepekatan emisi gas buang antara antara kendaraan yang tidak dipasang alat manipulator dengan kendaraan yang di pasang alat manipulator. Dari data kepekatan gas buang di atas dapat dilihat jika persen kepekatan gas buang paling rendah ada pada 9,7% yakni pada kondisi jika voltase sensor tekanan bahan bakar diturunkan 0,2 V (1,08 V). Hal tersebut dikarenakan jika voltase bahan bakar dinaikkan maka tekanan bahan bakar akan lebih tinggi, maka volume semprotan menjadi lebih banyak sehingga perbandingan campuran antara udara dan bahan bakar menjadi tidak ideal (lebih banyak bahan bakar). Hal tersebut berdampak pada pembakaran gas buang menjadi lebih pekat.

DAFTAR PUSTAKA

Nisa I.F., Warju, (2019). "Pengaruh variasi bentuk exhaust manifold pada diesel particulate trap berbahan dasar kuningan dan wire mesh stainless steel terhadap performa mesin diesel 4

- langkah." *Jurnal Teknik Mesin* 7(3): 65–72.
- Basner M., Babisch W., Davis A., Brink M., Clark C., Janssen S., Stansfeld S. (2014) "Auditory and non-auditory effects of noise on health." *Lancet* (London, England) 383(9925): 1325–1332.
- Brown A.L. (2015) "Effects of road traffic noise on health: from burden of disease to effectiveness of interventions." *Procedia Environmental Sciences* 30: 3–9.
- Singh D., Kumari N., Sharma P. (2018) "A review of adverse effects of road traffic noise on human health." *Fluctuation and Noise Letters* 17(01): 1830001.
- Tambe M.P., Sanadi S., Gongale C., Patil S., Nikam S., Professor A. (2016) "Analysis of exhaust system-semi active muffler." *International Journal of Innovative Research in Science Monthly Peer Reviewed Journal* 5(2): 1366–1376.
- Yao J., Xiang Y., Qian S., Wang S. (2017) "Radiation noise separation of internal combustion engine based on gammatone-robustica method." *Shock and vibration*: 1–14.
- Warju. (2013). "Teknologi Reduksi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor (Pertama)." Unesa University Press.
- Monasari, R., Qosim, N., Kasijanto. (2020). "Analisa Emisi Campuran Bahan Bakar Bensin-Bioetanol dengan Zat Aditif Pada Performa Mesin Spark Ignition 125 cc." *Seminar Nasional Teknologi Terapan (Mesin) Vol 6*: 28-32
- Muliatna, I. M., Wijanarko, D. V., & Warju. (2018). "Kemampuan Teknologi Diesel Particulate Trap (DPT) Berbahan Dasar Kuningan dan Glasswool Terhadap Reduksi Kebisingan Mesin Diesel Isuzu C190." *Seminar Nasional Hasil Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat (PPM) 2018*: 669–679.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 7 tahun 2009 tentang ambang batas kebisingan kendaraan bermotor.
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 05 Tahun 2006 tentang ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor.
- Gunawan, C. (2011). "Rancang Bangun Manipulator Sensor MAP (Manifold Absolute Pressure) terhadap Konsentrasi Emisi Gas Buang pada Mesin Bensin Multisilinder." *Nurseline Journal* vol. No. 1: 18-23.
- Syuhada, M.A., dkk. (2019). "Pengaruh Pembatasan Tegangan Output Sensor O2 Menggunakan Mikrokontroler terhadap Daya, Torsi, Pemakaian Bahan Bakar, dan Emisi Gas Buang pada Sepeda Motor 4 Langkah." *RanahResearch: Journal of Multidisciplinary Research and Development* vol.1 (3): 40-44.
- Jauhari, M.F., dkk. (2019). "Aplikasi Manipulator Sensor Engine Coolant Temperature terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Emisi Gas Buang." *Prosiding SNRT (Seminar Nasional Riset Terapan). Politeknik Negeri Banjarmasin 7 November 2019*: 25-31.
- Zein, R.S. (2020). "Optimasi Penggunaan Manipulator pada Sensor O2 untuk Menaikkan Performa Scooter dengan Mode Transmisi Matic 4 Langkah." *Teknoviz: Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin Vol 10 (3)*: 40-44
- Warju. (2013). "Teknologi Reduksi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor (Pertama)." Unesa University Press.