

Upaya Menurunkan Emisi NO_x *Engine* Diesel dengan Pengaplikasian Sistem Injeksi Bertingkat

M. Yasep Setiawan*¹, Masykur², Martias³, Wawan Purwanto⁴, Ahmad Arif⁵

^{1,3,4,5}Jurusan Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

²Jurusan Mesin, FTEKNIK UTU, Meulaboh

e-mail: *¹m.yasepsetiawan@ft.unp.ac.id, ²masykur@utu.ac.id, ³martiasft@gmail.com,
⁴wawan5527@ft.unp.ac.id, ⁵ahmadarif@ft.unp.ac.id.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menurunkan kadar emisi gas buang NO_x dari hasil pembakaran campuran bahan bakar dan udara pada engine diesel diamond di-800 dengan menggunakan bahan bakar biodiesel B20. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan melakukan modifikasi pada engine diesel Diamond di-800 sistem injeksi konvensional menjadi injeksi bertingkat atau split injection yang dikontrol secara elektronik. Pengujian dilakukan dengan kecepatan konstan 1500 rpm dan menggunakan beban listrik lampu variasi beban dengan 200 watt sampai dengan 2000 watt dengan interval 200 watt. Variasi pada sistem penginjeksian bahan bakar ke ruang bakar dengan variasi injeksi 100%-0%, injeksi 75%-25%, injeksi 50%-50%, dan injeksi 25%-75%. Hasil yang didapat dari penelitian ini adalah pengaplikasian injeksi bertingkat pada engine diesel diamond di-800 efektif untuk menurunkan emisi gas buang NO_x berturut-turut injeksi 75%-25%, injeksi 50%-50%, dan injeksi 25%-75% sebesar 46%, 56% dan 45% jika dibandingkan dengan injeksi tunggal atau single injection (variasi 100%).

Kata kunci—Injeksi Bertingkat, Emisi NO_x, Biodiesel, Motor Diesel

Abstract

This study aims to reduce levels of NO_x exhaust emissions from the combustion of a mixture of fuel and air in the diamond di-800 diesel engine using B20 biodiesel. This research was carried out experimentally by modifying the Diamond diesel engine in the conventional-800 injection system into split injection. The test was carried out with a constant speed of 1500 rpm and the use of an electrical load of 200 watts to 2000 watts of lamps with 200 watts of intervals. Variations of the fuel injection system into the combustion chamber with variations of 100%-0% injection, 75%-25% injection, 50%-50% injection, and 25%-75% injection. The results obtained from this study are the application of graded injection on the diamond diesel engine di-800 is effective for reducing NO_x emissions by 75%-25% injection, 50%-50% injection, and 25%-75% 46% injection, 56% and 45% when compared with single injection or single injection (100% variation).

Keywords—Split injection, NO_x Emission, Biodiesel, Diesel Engine

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan industri otomotif tidak sebanding dengan ketersediaan *fossil fuel* yang dewasa ini semakin menipis dimana *fossil fuel* masih menjadi sumber energi utama dari industri otomotif[1]. Banyak energi alternatif yang telah dikembangkan sebagai pengganti *fossil fuel* seperti biodiesel, ethanol, gas alam bahkan energi surya sekalipun dengan harapan dapat menggantikan *fossil fuel*. Salah satu energi alternatif yang sudah mulai banyak di gunakan di industri otomotif adalah biodiesel. Penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar alternatif diatur dalam PERMEN ESDM No.41 Tahun 2018 mengenai Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi.

Biodiesel tersusun dari *mono-alkilester* asam lemak rantai panjang yang berasal dari minyak hewani atau minyak nabati yang disebut B100[2]. Sifat dari biodiesel mirip seperti bahan bakar *engine* diesel (solar) sehingga biodiesel dapat dijadikan sumber energi alternatif bagi *engine* diesel.

Namun seiring dengan mulai banyaknya biodiesel digunakan sebagai energi alternatif pengganti solar dari *fossil fuel* yang merupakan bahan bakar utama dari *engine* diesel, biodiesel masih memiliki beberapa kekurangan salah satunya dapat meningkatkan emisi gas buang NOx (*nitrogen oksida*) sejalan dengan meningkatnya konsentrasi biodiesel dibandingkan bahan bakar *fossil fuel*[1]. Gas buang dari hasil pembakaran biodiesel jauh lebih baik dari gas buang pembakaran *fossil fuel*. Karakteristik gas buang biodiesel yang baik diantaranya; dapat meningkatkan emisi nitro oksida (NOx) sebesar 5-10%.[3]

Banyak literasi yang menyatakan efek penggunaan biodiesel atau campuran biodiesel pada peningkatan emisi gas buang NOx jika dibandingkan dengan penggunaan solar dari *fossil fuel*. Namun ada beberapa teori yang menyatakan bahwa tidak ada faktor tunggal yang bertanggung jawab terhadap efek NOx ini. Sebaliknya, banyak faktor yang mempengaruhi meningkatnya emisi gas buang NOx ini yaitu efek biodiesel pada waktu injeksi, penundaan pengapian, suhu nyala adiabatik, kehilangan panas radiasi, dan fenomena pembakaran lainnya[4].

Efek biodiesel lebih kecil dan lebih bervariasi untuk emisi gas buang NOx, meskipun umumnya emisi NOx sedikit meningkat seiring dengan penggunaan biodiesel. Peningkatan ini disebut sebagai “efek NOx biodiesel”. Penelitian ini dilakukan oleh EPA hampir satu dekade lalu, dan karena itu menyertakan data dari beberapa jenis mesin yang sekarang dianggap usang. Dalam penilaian terbaru yang difokuskan pada mesin model tahun 1987 keatas, menunjukkan bahwa biodiesel masih memberikan pengurangan yang signifikan dari HC, CO, dan PM, sementara emisi NOx meningkat[4][5][6].

Sejauh mana teori-teori ini berlaku juga bervariasi dengan teknologi mesin dan kondisi operasional. Sebagai contoh, mesin yang lebih tua yang memiliki sistem injeksi bahan bakar mekanis menunjukkan kemajuan yang tidak disengaja dalam waktu injeksi bahan bakar, karena modulus *bulk* yang lebih tinggi dari kompresibilitas biodiesel. *Engine* diesel modern yang dikontrol secara elektronik tidak lagi mengalami efek ini, tetapi mereka dapat menunjukkan efek NOx lainnya (baik positif maupun negatif) tergantung pada bagaimana sistem kontrol mesin merespons perubahan bahan bakar, seperti kandungan energi biodiesel yang lebih rendah dibandingkan diesel konvensional[4].

Beberapa peneliti berupaya mencari beberapa metode untuk menurunkan NOx, seperti yang dilakukan oleh S. H. Pourhoseini melakukan penelitian menggunakan *Nano fluid droplets* (NG) untuk menurunkan kadar emisi NOx dengan cara menurunkan temperatur pembakaran maksimum. Hasil penelitian ini menyatakan bahwa *Nano fluid droplets* (NG) mampu menurunkan emisi NOx sebesar 22,6 %. [7]

Vipin Dhyani dan K.A. Subramanian melakukan penelitian dengan pengaplikasian pendinginan EGR (*engine Gas Recirculation*) dan semprotan air pada ruang bakar (Hydrogen) untuk mengontrol anomali pembakaran (*backfire and knocking*) dan mengurangi emisi NOx.

Diamana pengaplikasian pendinginan EGR (*engine Gas Recirculation*) efektif untuk mengurangi emisi NOx[8].

Su Han Park dan Seung Hyun Yoon melakukan penelitian untuk mengurangi emisi gas buang dari mesin diesel berbahan bakar dimetil eter (DME) tanpa penurunan performa mesin. Penelitian menerapkan beberapa strategi injeksi bertingkat untuk mengurangi emisi Nox dan soot yaitu *pilot injection*, *injeksi split*, dan *advanced + post injection*. Hasil dari penelitian ini menyatakan bahwa injeksi bertingkat (*multiple injection*) efektif mengurangi kadar emisi Nox dan soot[9].

Selain itu Su Han Park juga melakukan penelitian bersama Hyung Jun Kim, Dal Ho Shin, Jong-Tae Lee untuk mengetahui karakteristik pembakaran dan emisi gas buang dengan menerapkan berbagai strategi *split-injection* (injeksi bertingkat) untuk menentukan injeksi yang optimal meningkatkan efisiensi bahan bakar dan mengurangi emisi gas buang, dibandingkan dengan pembakaran *single injection* (injeksi tunggal) pada *engine* diesel silinder tunggal. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa *split-injection* dapat meningkatkan BSFC dan menurunkan emisi NOx, Co dan HC[10].

Selain itu banyak penelitian lain yang juga menyatakan bahwa injeksi bertingkat atau *split-injection* atau *multiple injection* efektif menurunkan emisi gas buang NOx[11][12][13][14][15]. Upaya untuk menurunkan kadar NOx pada motor bakar 4 langkah juga masih masih terus dilakukan oleh berbagai pihak dengan berbagai metode yang digunakan.

Melihat pentingnya menurunkan kadar NOx pada motor diesel 4 tak, maka penulis melakukan penelitian untuk menurunkan kadar NOx dengan menggunakan sitem injeksi bertingkat yang di variasikan volume bahan bakar (biodiesel B20) pada injeksi pertama dan kedua dengan jeda waktu 2.4 ms antara injeksi pertama dan injeksi ke dua. Varisi yang akan di gunakan dalam penelitian ini berturut-turut injeksi bertingkat 100%-0%, injeksi 75%-25%, injeksi 50%-50%, dan injeksi 25%-75%.

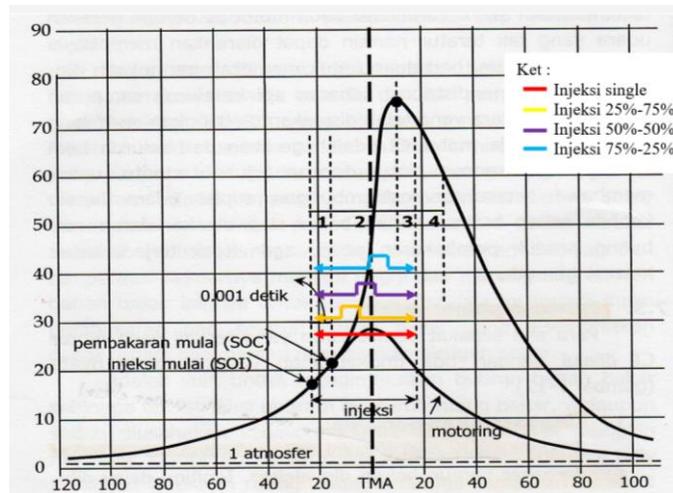
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penlitian eksperimen dengan menggunakan dua teknis pengukuran yaitu *direct measurement* dan *indirect measurement*. Pengukuran langsung (*direct measurement*) dilakukan untuk mendapatkan data temperature *engine*, oli dan pendinginan sedangkan untuk mendapatkan kadar emisi NOx dilakukan pengukuran tak langsung (*indirect measurement*) dimana kadar emisi yang didapat dari hasil pengukuran harus dilakukan uji di labor kimia untuk mendapatkan data yang akurat.

2.1. Metode dan Paramater yang diukur

Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi emisi NOx dari *engine* diesel Diamond tipe di-800 yang telah dimodifikasi dengan menggunakan bahan bakar biodiesel B20. Metode yang akan digunakan dalam pengujian adalah dengan menggunakan pengujian kecepatan konstan (*constant speed test*). Dimana putaran mesin dinaikkan mencapai putaran optimum. Kemudian generator dinyalakan dan diberikan bebanan berupa lampu. Setelah itu dilakukan pengukuran tegangan dan arus output dari generator, pengukuran kadar emisi NOx dan pengukuran temperatur *engine*, temperatur oli pelumas, dan temperatur radiator. Pada penelitian ini akan diberikan variasi dari injeksi bertingkat 100%, 75%-25%, 50%-50% dan 25%-75% dengan menggunakan bahan bakar biodiesel B20.

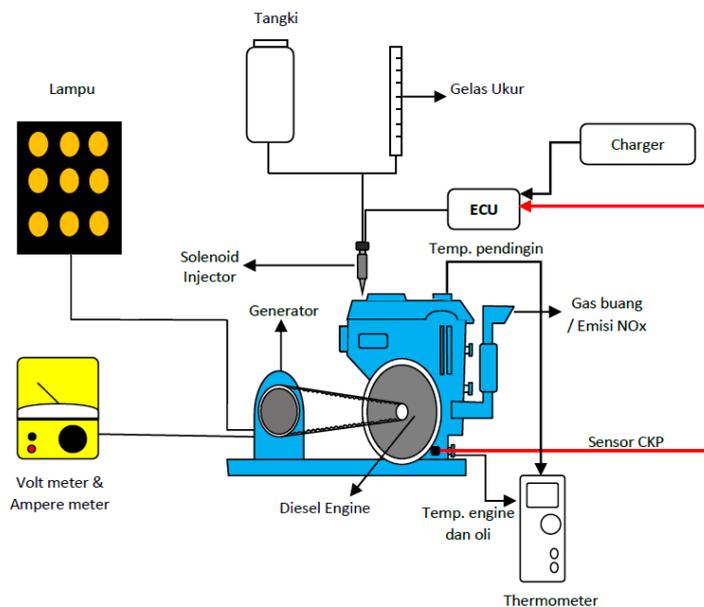
Untuk menciptakan injeksi bertikat pada *engine* diesel Diamond di-800 terlebih dahulu *engine* dimodifikasi dengan menggunakan injector solenoid yang dikontrol oleh ECU. ECU diprogram untuk menghasilkan 4 variasi injeksi bertingkat 100%, 75%-25%, 50%-50% dan 25%-75%. Sensor CKP dipasang didekat flywheel untuk mendeteksi sudut saat penginjeksian bahan bakar ke ruang bakar yang nantinya informasi tersebut akan di teruskan ke ECU.



Gambar 1. Grafik P-θ skema injeksi bertingkat

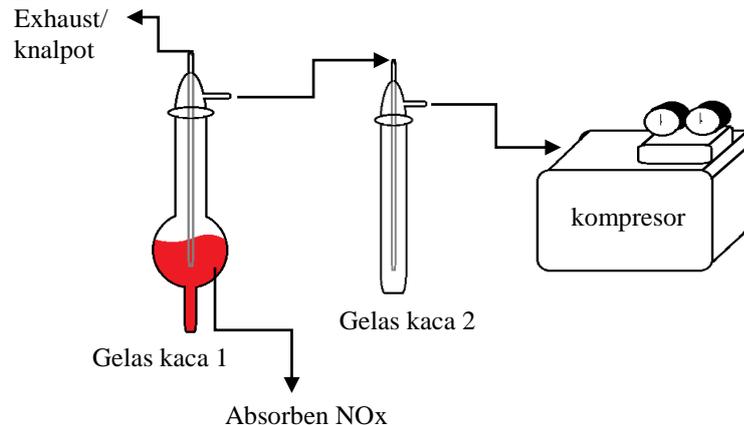
2.2. Skema Penelitian

Berikut ini adalah gambar skema pemasangan alat ukur peralatan yang digunakan dalam penelitian ini :



Gambar 2. Skema alat ukur penelitian

Alat ukur yang digunakan untuk mengukur kadar emisi NO_x dalam penelitian ini adalah indirect NO_x emission, dimana terdiri dari gelas kaca/boll, pompa dan pipa penghubung. Alat ini menggunakan absorbent NO_x untuk menangkap emisi NO_x yang dihasilkan oleh mesin. Berikut skema alat ukur ini :



Gambar 3. skema alat ukur emisi NOx

2.3. Prosedur Pengambilan Data

Setelah *engine* diesel dan generator terpasang dalam kondisi baik, lakukan persiapan pengujian :

1. Pemeriksaan volume oli pelumas, saringan bahan bakar, saringan oli, sistem kelistrikan dan panel lampu beban.
2. Periksa peralatan dan alat ukur yang akan digunakan.
3. Buka kran saluran bahan bakar *engine*
4. Panaskan *engine* sampai mencapai suhu kerja (± 5 menit).

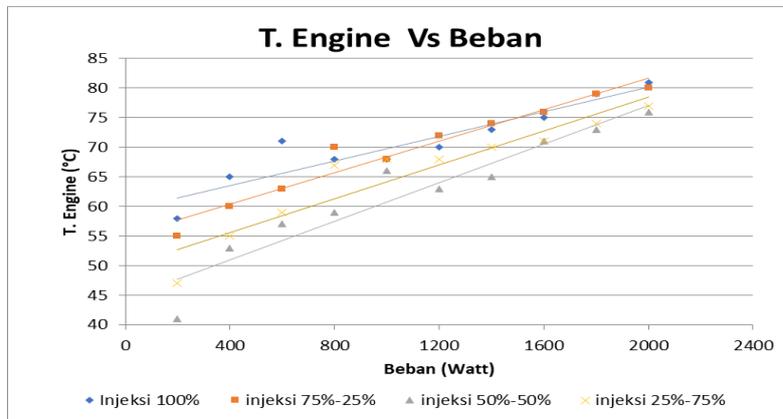
Pengujian dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

1. Setelah *engine* mencapai kondisi kerja, hidupkan gerator dan berikan beban pada genset dengan cara menyalakan 1 buah lampu (200 watt)
2. Lakukan pengukuran tegangan (voltmeter) *output* generator.
3. Lakukan pengukuran kuat arus (ampere) *output* generator.
4. Lakukan pengukuran kadar emisi NOx
5. Naikkan beban secara bertahap dari 200 watt sampai 2000 watt dengan rentang (*range*) 400 watt dan lakukan pengukuran poin 2, 3 dan 4 disetiap rentang tersebut.
6. Setelah pengukuran dan pengambilan data selesai, turunkan beban secara bertahap.
7. Matikan generator
8. *Matikan engine*
9. Tutup saluran bahan bakar

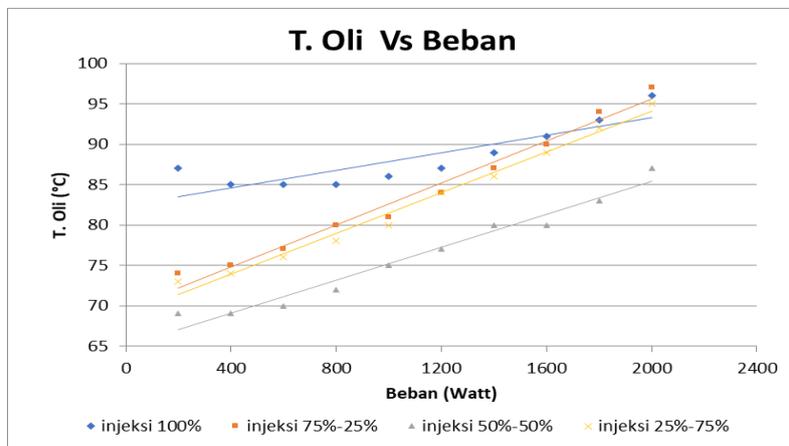
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

NOx akan terbentuk karena terjadinya reaksi antara nitrogen (N₂) dan Oksigen (O₂) yang disertai suhu pembakaran yang tinggi. Oksida nitrogen (NOx) maksimum dekat dengan reaksi stoikiometri, tetapi segera menurun bila kondisi pembakaran tambah kaya atau tambah miskin.

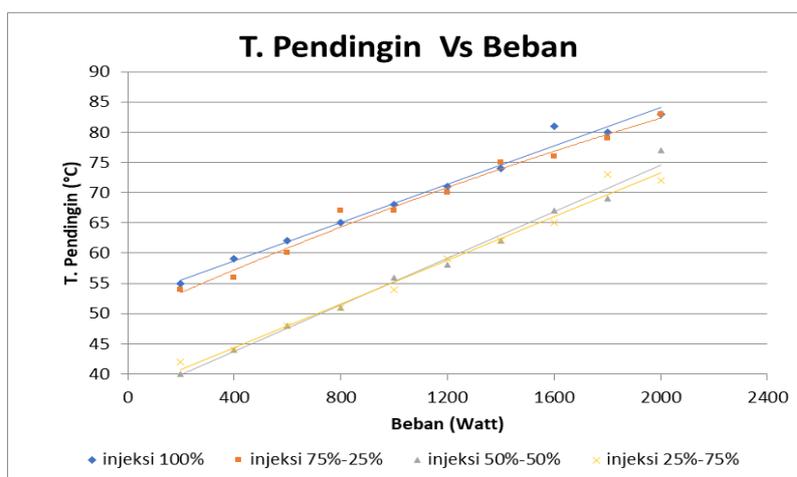
Pada gambar 4 berikut ini terlihat bahwa injeksi satu tingkat memiliki kadar emisi NOx yang tertinggi jika dibandingkan dengan injeksi bertingkat. Hal ini dikarenakan temperatur tinggi pada injeksi satu tingkat yang menyebabkan banyaknya terbentuk emisi NOx. Hal ini terlihat dari grafik temperatur *engine* (Gambar 4), pendingin (Gambar 5) dan oli (Gambar 6), dimana injeksi satu tingkat (*single injection*) memiliki temperatur yang lebih tinggi dibandingkan injeksi bertingkat.



Gambar 4. Grafik temperatur *engine* terhadap beban



Gambar 5. Grafik temperature oli terhadap beban

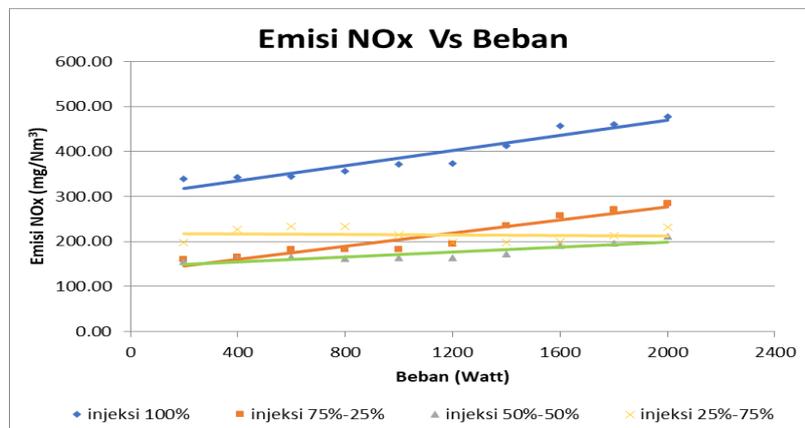


Gambar 6. Grafik temperatur pendingin terhadap beban

Dari grafik dari Gambar 4,5 dan 6 di atas terlihat bahwa temperature *engine*, temperature oli dan temperature pendingin cenderung naik seiring dengan bertambahnya beban.

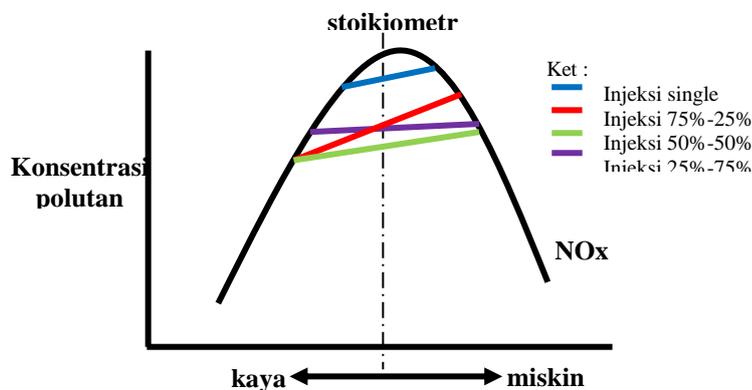
Hal ini disebabkan karena jumlah kebutuhan bahan bakar meningkat seiring meningkatnya daya dari *engine* agar dapat mengatasi kenaikan beban. Dengan meningkatnya jumlah bahan bakar yang diinjeksikan kedalam ruang bakar akan menimbulkan pembakaran yang semakin besar dan menyebabkan temperature di dalam ruang bakar juga akan meningkat. Seiring dengan meningkatnya temperatur di dalam ruang bakar juga berpengaruh pada beban pendinginan yang semakin besar mengakibatkan temperatur pada *engine*, oli pelumas dan pendingin juga mengalami peningkatan meskipun tidak terlalu signifikan.

Dari ketiga Gambar diatas terlihat bahwa injeksi satu tingkat (100%) memiliki temperatur *engine*, oli dan radiator (pendingin) lebih tinggi dibanding injeksi bertingkat. Kemudian diikuti injeksi 75%-25%, 25%-75% dan 50%-50%.



Gambar 7. Grafik emisi NOx terhadap beban

Pada Gambar 7 diatas terlihat bahwa injeksi bertingkat 25%-75% pada beban rendah (<1200 watt) memiliki kadar emisi NOx lebih tinggi dari pada injeksi bertingkat 72%-25% dan lebih rendah dari injeksi 75%-25% ketika beban tinggi (>1200 watt). Secara teori seharusnya injeksi bertingkat 25%-75% memiliki kadar emisi NOx lebih rendah dari pada injeksi bertingkat 72%-25% dikarenakan seperti terlihat pada Gambar 4, temperatur *engine* injeksi 25%-75% lebih rendah dari pada injeksi 75%-25%. Hal ini dikarenakan injeksi bertingkat 75%-25% memiliki campuran udara dan bahan bakar yang miskin tetapi lebih kaya dari pada injeksi bertingkat 25%-75%. Hal tersebut dapat dilihat dari gambar berikut ini:



Gambar 8. Grafik tipikal polutan NOx

Gambar 8 mengilustrasikan penyebab perbedaan yang mencolok dari injeksi 100% dengan injeksi 75%-25% yang memiliki temperatur *engine* yang hampir sama (Gambar 1). Hal

ini disebabkan karena campuran udara dan bahan bakar injeksi 100% yang miskin tetapi lebih kaya dari pada injeksi 75%-25% atau campuran udara dan bahan bakar injeksi 100% yang kaya tetapi lebih miskin dari pada injeksi 75%-25%. Seperti terlihat pada Gambar 5.

Dari Gambar 7 dapat kita ambil kesimpulan bahwa injeksi bertingkat efektif mengurangi emisi Nox, berturut-turut injeksi 75%-25%, injeksi 50%-50%, dan injeksi 25%-75% sebesar 46%, 56% dan 45% jika dibandingkan dengan injeksi tunggal atau single injection (variasi 100%). Tetapi injeksi bertingkat 75%-25% lebih optimal untuk dijadikan pengganti injeksi satu tingkat (*single*)[1]. Hal ini ditinjau dari beberapa faktor seperti unjuk kerja, produk emisi NOx, getaran mesin, dan lain-lain.

4. KESIMPULAN

1. Temperatur *engine*, temperatur oli pelumas dan temperatur pendingin cenderung menurun pada injeksi bertingkat dibandingkan injeksi satu tingkat.
2. Pengaplikasian injeksi bertingkat efektif mengurangi emisi Nox, berturut-turut injeksi 75%-25%, injeksi 50%-50%, dan injeksi 25%-75% sebesar 46%, 56% dan 45% jika dibandingkan dengan injeksi tunggal atau single injection (variasi 100%)
3. Injeksi bertingkat 75%-25% lebih optimal untuk dijadikan pengganti injeksi satu tingkat (*single*) ditinjau dari beberapa faktor seperti unjuk kerja, produk emisi NOx, getaran mesin, dan lain-lain.

5. SARAN

Ada beberapa poin yang perlu dilakukan untuk penelitian selanjutnya sehingga dapat lebih mengoptimalkan dalam mengurangi emisi NOx, yaitu :

1. Perlu dilakukan modifikasi lebih lanjut terhadap engine diesel Diamond di-800 dengan pengaplikasian sistem pengumpul tekanan bahan bakar sehingga tekanan bahan bakar yang akan di injeksikan ke dalam ruang bakar dapat dikontrol.
2. Menambah variasi bahan bakar campuran biodiesel yang digunakan seperti B30, B40, B50 dan seterusnya

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Y. Setiawan and D. Sungkono K, "KARAKTERISASI UNJUK KERJA MESIN DIAMOND TYPE Di 800 DENGAN SISTEM INJEKSI BERTINGKAT MENGGUNAKAN BIODIESEL B-20," in *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XIX*, 2013, no. November, pp. 1–8.
- [2] "ASTM Committee D02 on Petroleum Products and Lubricants and D.N.- A.G.T.a.M.F. Subcommittee D02.E0 on Burner, Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels. D6751-08. 10-13-2008. West Conshohocken, PA, USA, ASTM ."
- [3] A. N. Alamsyah, *Biodiesel Jarak Pagar*. Bogor: Agromedia Pustaka, 2006.
- [4] S. K. Hoekman and C. Robbins, "Review of the effects of biodiesel on NOx emissions," *Fuel Process. Technol.*, vol. 96, pp. 237–249, 2012.
- [5] "U.S.EPA, A comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emissions, EPA420-P-02-001, Environmental Protection Agency, Ann Arbor, MI, U.S, 2002."
- [6] "S.K. Hoekman, A. Broch, C. Robbins, E. Cenicerros, Investigation of biodiesel chemistry, carbon footprint and regional fuel quality, CRC Project AVFL-17a, 2011."
- [7] S. H. Pourhoseini, "Enhancement of radiation characteristics and reduction of NOx

- emission in natural gas flame through silver-water nanofluid injection,” *Energy*, vol. 194, p. 116900, 2020.
- [8] V. Dhyani and K. A. Subramanian, “Control of backfire and NOx emission reduction in a hydrogen fueled multi-cylinder spark ignition *engine* using cooled EGR and water injection strategies,” *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 44, no. 12, pp. 6287–6298, 2019.
- [9] S. H. Park and S. H. Yoon, “Injection strategy for simultaneous reduction of NOx and soot emissions using two-stage injection in DME fueled *engine*,” *Appl. Energy*, vol. 143, no. x, pp. 262–270, 2015.
- [10] S. H. Park, H. J. Kim, D. H. Shin, and J. T. Lee, “Effects of various split injection strategies on combustion and emissions characteristics in a single-cylinder diesel *engine*,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 140, pp. 422–431, 2018.
- [11] Z. Han, A. Uludogan, G. J. Hampson, and R. D. Reitz, “Mechanism of soot and NOx emission reduction using multiple-injection in a diesel *engine*,” *SAE Tech. Pap.*, 1996.
- [12] C. Y. Choi and R. D. Reitz, “Experimental study on the effects of oxygenated fuel blends and multiple injection strategies on DI diesel *engine* emissions,” *Fuel*, vol. 78, no. 11, pp. 1303–1317, 1999.
- [13] I. Fatmahardi, “Simulasi Numerik Pembakaran Sistem Injeksi Single dan Sistem Injeksi 2 Tingkat pada Semprotan Bebas dan pada Ruang Bakar Mesin Diesel Caterpillar 3406 serta Pengaruhnya terhadap Emisi Gas NO,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2012.
- [14] Y. Hotta, M. Inayoshi, K. Nakakita, K. Fujiwara, and I. Sakata, “Achieving lower exhaust emissions and better performance in an HSDI diesel *engine* with multiple injection,” *SAE Tech. Pap.*, vol. 37, no. 3, pp. 9–16, 2005.
- [15] A. Uludogan, J. Xin, and R. D. Reitz, “Exploring the use of multiple injectors and split injection to reduce di diesel *engine* emissions,” *SAE Tech. Pap.*, 1996.
-