

Studi Pengaruh Rasio Tekanan Kompresor *Turbocharger* Terhadap Kinerja Mesin Diesel

Matheus M. Dwinanto¹, Yeremias M. Pell¹, Arky B. J. Wadu¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana
Jl. Adi Sucipto, Penfui-Kupang, NTT 85001, Tlp: (0380)881597
E-mail: matheus.dwinanto@staf.undana.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan *turbocharger* di mesin-mesin diesel berukuran besar telah menjadi tuntutan karena dapat meningkatkan daya keluaran dan efisiensi mesin dengan memanfaatkan gas buang sisa hasil pembakaran (*exhaust gas*). *Turbocharger* merupakan sebuah peralatan untuk menambah asupan udara yang masuk ke dalam silinder dengan memanfaatkan energi gas buang hasil pembakaran. Adapun tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh perbedaan rasio tekanan *turbocharger* terhadap kinerja mesin diesel menggunakan perangkat lunak Diesel-RK. Mesin diesel yang diteliti adalah tipe 4D56 2.5L yang menggunakan *turbocharger* tunggal dengan maksimum daya 136 PS pada putaran 4000 rpm, dan torsi maksimum 324 Nm pada 2000 rpm. Rasio tekanan kompresor yang diteliti hanya 1,5 dan 2,5 yang dibandingkan dengan mesin diesel tanpa *turbocharger* (*Natural Aspirated/NA*). Kapasitas mesin 2477 cc, 4 silinder, dan rasio kompresi 18:1. Bahan bakar yang digunakan adalah Biodiesel SME (Soya Methyl Ester, C₁₅H₂₈) dengan angka setana 56,5. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan *turbocharger* akan menyebabkan peningkatan daya mesin, terutama pada rasio tekanan kompresor yang tinggi karena pengisian udara yang lebih besar bila dibandingkan dengan mesin diesel NA untuk rentang putaran mesin 750 rpm sampai dengan 5000 rpm. Untuk mesin diesel yang menggunakan *turbocharger*, BSFC akan berkurang dengan meningkatnya putaran mesin.

ABSTRACT

The use of a turbocharger in large diesel engines has become a demand because it can increase engine output and efficiency by utilizing exhaust gas from combustion (exhaust gas). Turbocharger is a device to increase the intake of air into the cylinder by utilizing the energy of exhaust gases from combustion. The purpose of this study is to analyze the effect of differences in the turbocharger pressure ratio on diesel engine performance using Diesel-RK software. The diesel engine under study is model 4D56 2.5L which uses a single turbocharger with maximum power of 136 PS at 4000 rpm and maximum torque of 324 N.m at 2000 rpm. The compressor pressure ratio under study was only 1.5 and 2.5 compared to a diesel engine without a turbocharger or natural aspirated engine (NA). The engine capacity is 2477 cc, 4 cylinders, and the compression ratio is 18:1. The fuel used is SME Biodiesel (Soya Methyl Ester, C₁₅H₂₈) with a cetane number of 56.5. The results of this study indicate that the use of a turbocharger will lead to an increase in engine power, especially at a high compressor pressure ratio due to the larger air filling when compared to the NA diesel engine for the engine speed range of 750 rpm to 5000 rpm. For diesel engines that use a turbocharger, the BSFC will decrease with increasing engine speed.

Keywords: compressor pressure ratio, turbocharger, diesel engine, performance

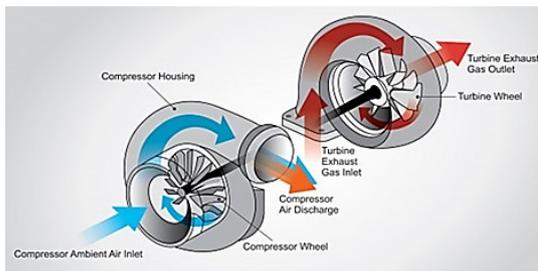
PENDAHULUAN

Dewasa ini, perkembangan penggunaan *turbocharger* di mesin-mesin diesel berukuran besar telah menjadi tuntutan karena dapat meningkatkan daya keluaran dan efisiensi mesin dengan memanfaatkan gas buang sisa hasil pembakaran (*exhaust gas*). *Turbocharger* merupakan sebuah peralatan

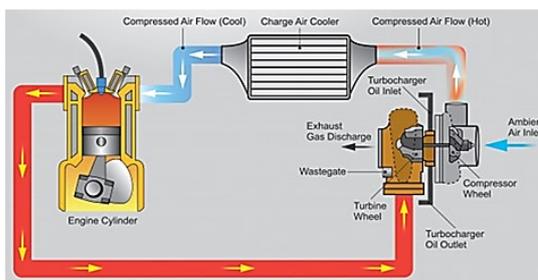
untuk menambah asupan udara yang masuk ke dalam silinder dengan memanfaatkan energi gas buang hasil pembakaran. Jika sebelumnya udara yang akan dimasukkan ke dalam silinder hanya mengandalkan kevakuman yang dibentuk dari pergerakan piston saat bergerak dari TMA (Titik Mati Atas) ke TMB (Titik Mati Bawah) atau saat langkah hisap, maka dengan *turbocharger* udara ditekan masuk ke

dalam silinder menggunakan kompresor yang diputar oleh turbin yang digerakkan oleh energi dari gas buang hasil pembakaran [1].

Turbocharger memberikan lebih banyak udara ke dalam ruang bakar sehingga pada akhirnya, menghasilkan lebih banyak daya dan torsi ketika piston diekspansi ke bawah oleh ledakan yang dihasilkan dari pembakaran. Hal ini dilakukan dengan mengompresi udara, sehingga udara lebih padat saat ditarik. *Turbocharger* adalah kompresor udara, yang meningkatkan tekanan udara di mesin dengan mengambil udara dari atmosfer sehingga rasio tekanan kompresor *turbocharger* sangat berpengaruh terhadap daya mesin diesel [2, 3].



Gambar 1. Komponen utama *turbocharger*



Gambar 2. Prinsip kerja *turbocharger*

Turbocharger merupakan salah satu perangkat dasar yang digunakan untuk meningkatkan daya keluaran dan sangat penting untuk digunakan di mesin diesel tugas berat (*heavy duty diesel engine*). Oleh karena itu, beberapa peneliti terdahulu telah mengkaji penggunaan *turbocharger* di mesin diesel diantaranya, analisis kinerja penggunaan *turbocharger* di mesin mobil diesel juga telah dilakukan menggunakan *dynamometer*. Hasil studi ini menunjukkan bahwa penggunaan

turbocharger akan menghasilkan torsi maksimum 18,31 N.m pada 2000 rpm dan tanpa *turbocharger* torsi maksimumnya 16,52 N.m pada 1800 rpm. Untuk maksimum daya dengan *turbocharger* dicapai 3800 rpm yaitu 57,24 kW dan tanpa *turbocharger* pada 3800 rpm yaitu 52,15 kW. Untuk konsumsi bahan bakar spesifik pada torsi maksimum dengan *turbocharger* sebesar 154,8 gr/ps.h dan tanpa *turbocharger* yaitu 172,3 gr/ps.h. Dengan *turbocharger* tekanan efektif rata-rata maksimum dicapai pada 2000 rpm yaitu 9,20 kg/cm² dan tanpa *turbocharger* pada 1800 rpm sebesar 8,30 kg/cm². Batas asap maksimum mesin yang menggunakan *turbocharger* adalah 2,07 g/m³ sedangkan pada mesin tanpa *turbocharger* hasilnya adalah 4,53 g/m³ [4].

Studi eksperimen juga telah dilakukan di mesin diesel 6 silinder dengan *turbocharger* yang bertujuan untuk meningkatkan daya mesin melalui penggantian *turbocharger* yang terpasang dengan yang dipilih, dan disesuaikan dengan benar. Hasil studi ini menunjukkan pemilihan dan/atau pencocokan *turbocharger* sangat penting untuk meningkatkan rasio daya terhadap berat juga untuk mengurangi biaya dan waktu evaluasi. Pencapaian teknis utama dari studi ini dapat diringkas sebagai berikut *turbocharger* tipe HX80 yang dipilih dan dicocokkan dengan benar untuk menggantikan *turbocharger* yang dipasang sebelumnya, memberikan parameter kinerja mesin yang lebih baik dan emisi yang relatif lebih rendah. Peningkatan tekanan maksimum di dalam silinder sebanyak 20% untuk semua beban. Peningkatan daya mesin maksimum sekitar 16,7% dan torsi mesin maksimum sekitar 17,2% sehingga mengarah ke traksi yang lebih baik, dan juga menurunkan BSFC mesin sebesar 5,8% [5].

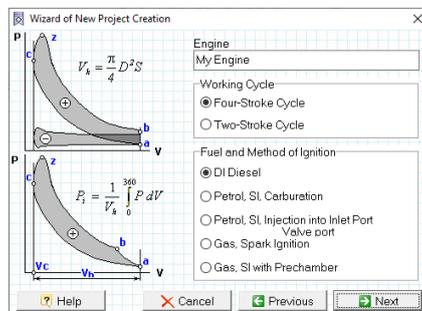
Studi eksperimen tentang pengaruh penggunaan *turbocharger* terhadap unjuk kerja mesin diesel Mitsubishi tipe L300. Disimpulkan bahwa penggunaan *turbocharger* di mesin diesel tersebut akan menghasilkan torsi dan daya yang lebih besar daripada tanpa *turbocharger* [6]. Pada tahun 2020, sebuah studi penggunaan *turbocharger* di mesin diesel 6 silinder juga telah dilakukan untuk mengetahui peningkatan daya mesin

tersebut. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemakaian *turbocharger* akan meningkatkan kinerja mesin, karena panas buang dapat dimanfaatkan kembali. Penggunaan *turbocharger* dapat menaikkan tekanan dan temperatur pembakaran yang tinggi. Untuk dapat meningkatkan daya motor diesel dapat digunakan *turbocharger* [7]. Hal inilah yang mendorong dilakukan penelitian ini menganalisis pengaruh rasio tekanan kompresor turbocharger terhadap kinerja mesin diesel berbasis perangkat lunak Diesel-RK.

METODE PENELITIAN

Simulasi pengaruh rasio tekanan kompresor turbocharger terhadap kinerja mesin diesel menggunakan perangkat lunak Diesel-RK. Untuk menunjang penelitian ini maka dilakukan pengumpulan data dari berbagai sumber berupa jurnal dan katalog tentang spesifikasi mesin diesel 4D56 2.5L. Adapun data spesifikasi 4D56 2.5L disajikan pada Tabel 1.

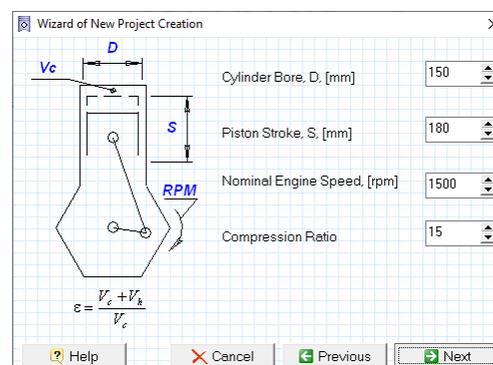
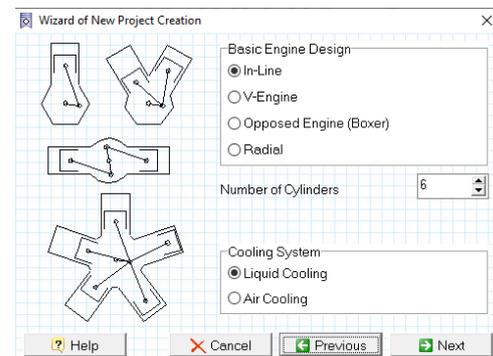
Data yang telah diperoleh dari berbagai sumber baik cetak maupun elektronik dipilih mana yang diperlukan. Kemudian data yang diperlukan dimasukkan (*input*) pada masing masing jendela yang disesuaikan dengan masukan yang ada pada perangkat lunak Diesel-RK. Detail pengisian semua parameter sangat mempengaruhi hasil dari simulasi sehingga untuk data detail mesin diesel yang disimulasikan harus diisi pada jendela-jendela pada perangkat lunak Diesel-RK.



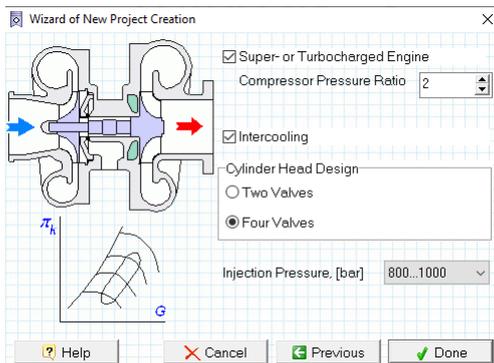
Gambar 3. Pemilihan tipe mesin

Tabel 1. Spesifikasi mesin diesel 4D56 2.5L

No	Spesifikasi	Nilai
1	Jumlah Silinder	4
2	Jumlah Katup	8
3	Volume silinder (cm ³)	2477
4	Diameter x Panjang Langkah (mm)	91,1 x 95
5	Tipe Mesin	Mesin Segaris (<i>in-line</i>)
6	Rasio Kompresi	18 : 1
7	Maksimum Daya Luaran	100 kW (136 PS) pada 4000 rpm
8	Maksimum Torsi	324 N.m (33 kg.m) pada 2000 rpm
9	Jumlah Injektor per Silinder	1
10	Combustion Chamber	<i>Vortex chamber type</i>
12	Fuel System	<i>2nd Generation Common Rail Direct Injection (CRDi)</i>



Gambar 4. Penentuan spesifikasi mesin



Gambar 5. Spesifikasi turbocharger.

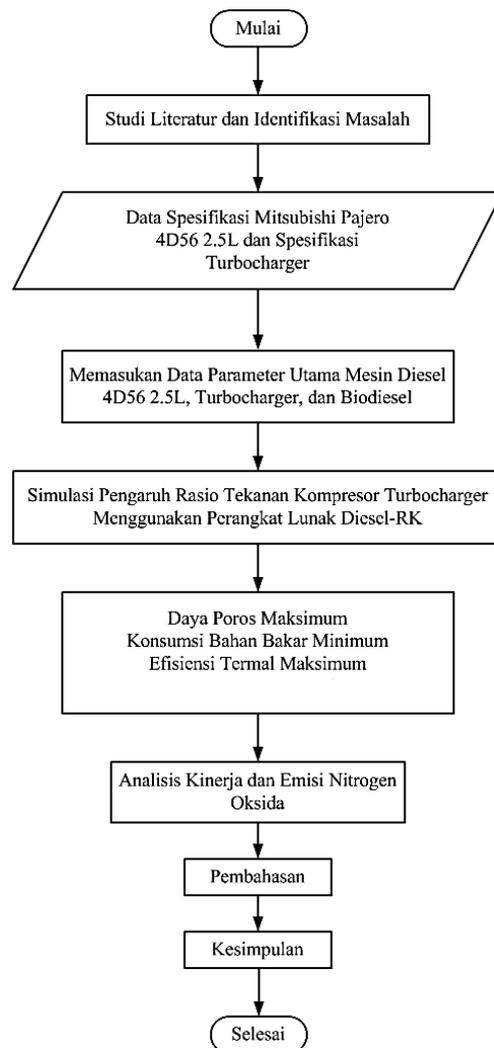
Teknik Analisis Data

Tahap ini merupakan tahap analisis data hasil simulasi yang telah dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Diesel-RK. Parameter kinerja yang paling menarik dari analisis mesin diesel dengan *turbocharger* adalah daya mesin (*brake horse power*), konsumsi bahan bakar spesifik (*brake specific fuel consumption*), dan efisiensi termal (*brake thermal efficiency*).

Tahap akhir dari penelitian ini adalah kesimpulan hasil penelitian. Setelah model mesin diesel dengan *turbocharger* dianalisis maka akan diperoleh pengaruh rasio tekanan kompresor *turbocharger* terhadap kinerja sehingga bisa dijadikan kesimpulan.

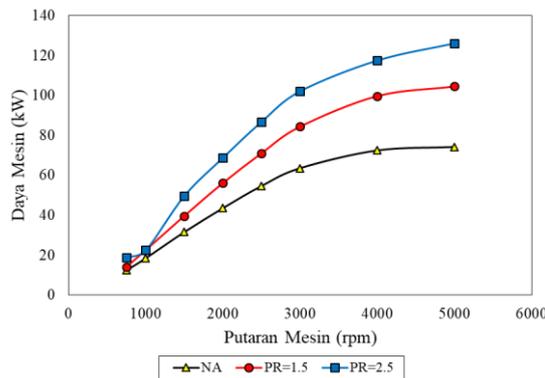
HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 7 menunjukkan pengaruh perubahan rasio tekanan kompresor *turbocharger* terhadap daya mesin. Terlihat bahwa dengan meningkatnya rasio tekanan kompresor maka daya mesin diesel juga akan mengalami peningkatan. Misalnya mesin diesel dengan NA pada 2500 rpm, daya mesin yang dihasilkan 54,7 kW, dan bila menggunakan *turbocharger* dengan PR = 1,5 maka daya mesin akan meningkat menjadi 71,2 kW atau dayanya meningkat sekitar 29,6%.



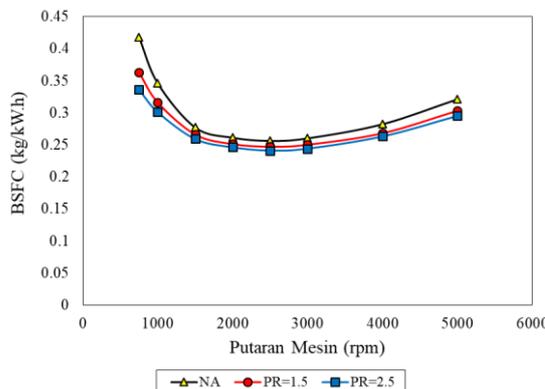
Gambar 6. Diagram alir penelitian.

Peningkatan daya mesin yang lebih besar dapat dicapai dengan meningkatkan rasio tekanan *turbocharger* menjadi 2,5, di mana daya mesin akan meningkat menjadi 86,8 kW atau meningkat sekitar 58% bila dibandingkan dengan mesin NA pada putaran mesin yang sama. Dengan peningkatan rasio tekanan kompresor maka akan lebih banyak udara yang terisi untuk proses pembakaran, yang selanjutnya akan cenderung meningkatkan efisiensi pembakaran.



Gambar 7. Hubungan daya mesin dan putaran mesin

Gambar 7 juga menunjukkan bahwa ketika putaran mesin meningkat maka daya mesin akan meningkat secara kontinyu, terutama pada putaran mesin 750 rpm sampai dengan 4000 rpm. Daya mesin cenderung stabil pada putaran mesin 4000 rpm sampai dengan 5000 rpm. Dengan kata lain, efisiensi volumetrik mesin akan meningkat dengan meningkatnya putaran mesin, dan akan mencapai nilai maksimum kira-kira pada 4000 rpm dan kemudian stabil. Sebenarnya, efisiensi volumetrik yang lebih besar berarti udara segar berlebih akan dimasukkan ke dalam silinder sehingga akan lebih banyak oksigen yang tersedia untuk proses pembakaran. Efisiensi volumetrik tinggi akan meningkatkan daya mesin.

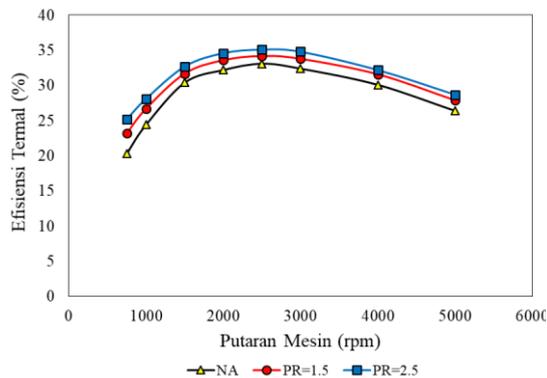


Gambar 8. Hubungan konsumsi bahan bakar spesifik dan putaran mesin

Gambar 8 menunjukkan pengaruh perubahan rasio tekanan kompresor turbocharger terhadap BSFC, di mana terlihat bahwa dengan meningkatnya rasio tekanan kompresor maka BSFC akan mengalami penurunan. Misalnya, pada 4000 rpm untuk mesin diesel tanpa turbocharger (NA), BSFC adalah 0,282 kg/kW.h, dan bila menggunakan turbocharger dengan rasio tekanan kompresor 1,5 maka BSFC akan menurun menjadi 0,268 kg/kW.h atau berkurang sekitar 4,96%. Penurunan lebih lanjut untuk BSFC dapat dicapai dengan meningkatkan rasio tekanan kompresor turbocharger menjadi 2,5 di mana BSFC akan menjadi 0,263 kg/kW.h atau berkurang sekitar 6,73% bila dibandingkan dengan mesin NA pada putaran mesin yang sama. Konsumsi bahan bakar spesifik tertinggi terjadi pada putaran mesin rendah dan tinggi.

Konsumsi bahan bakar spesifik berbeda dengan daya mesin diesel, dan berbanding terbalik. Dari Gambar 7 dan 8 terlihat bahwa BSFC meningkat dengan penurunan daya mesin, dan pada putaran mesin rendah, daya mesin adalah minimum tetapi BSFC adalah yang tertinggi. Pada putaran mesin menengah, daya mesin yang dihasilkan adalah yang paling tinggi tetapi BSFC adalah yang paling rendah.

Kecenderungan ini sama terlihat pada putaran mesin tinggi. Namun, ketika daya mesin yang dihasilkan meningkat, BSFC menurun tajam untuk semua rasio tekanan kompresor turbocharger. Sebagai contoh, daya mesin untuk PR = 1,5 dan 1500 rpm. Daya mesin sama dengan 39,7 kW dan BSFC adalah 0,266 kg/kW.h. Pada putaran mesin 3000 rpm, daya mesin meningkat menjadi 84,4 kW sedangkan BSFC menurun menjadi 0,25 kg/kW.h. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa pada daya mesin tinggi akan menghasilkan BSFC yang lebih rendah. Pada rasio tekanan yang sama yaitu PR = 1,5 daya mesin pada 5000 rpm akan berkurang menjadi 104,5 kW, sedangkan BSFC meningkat menjadi 0,303 kg/kW.h.



Gambar 9. Hubungan efisiensi termal dan putaran mesin

Gambar 9 menunjukkan hubungan efisiensi termal dan putaran mesin diesel. Efisiensi termal merupakan perbandingan antara daya keluaran mesin dengan daya masukan di mana daya masukan berupa energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar. Untuk efisiensi termal, masukan (Q_{in}) ke mesin adalah kalor atau kandungan kalor dari bahan bakar yang dikonsumsi sedangkan keluaran adalah kerja dihasilkan (W_{out}) dan kalor yang hilang (Q_{out}). Kalor yang hilang terdiri dari panas gas buang, panas yang hilang karena air pendingin mesin, dan konduksi termal melalui blok mesin. Ketika dinyatakan efisiensi sebagai persentase, efisiensi termal harus berada di antara 0% dan 100%, dan karena terdapat beberapa kerugian seperti gesekan, kehilangan kalor, dan faktor lainnya, efisiensi termal mesin biasanya kurang dari 100%.

Gambar 9 menunjukkan pengaruh putaran mesin terhadap efisiensi termal pada rasio tekanan kompresor *turbocharger* yang berbeda. Gambar ini menunjukkan kondisi pengaturan mesin terbaik adalah pada PR = 2,5. Misalnya, pada mesin NA dengan 3000 rpm, efisiensi termal memiliki nilai 32,4%, dan pada PR = 1,5 efisiensi termal meningkat menjadi 33,8% sedangkan pada PR = 2,5 menjadi 34,8%. Efisiensi termal terbesar dicapai pada pengaturan PR = 2,5 yang nilai 34,8%, di mana kenaikannya sekitar 7,4% jika dibandingkan dengan mesin diesel NA. Dari hasil yang disajikan pada Gambar 9 jelas

bahwa ketika rasio tekanan kompresor *turbocharger* meningkat, efisiensi termal juga akan meningkat. Secara umum, mesin diesel dengan *turbocharger* menunjukkan efisiensi termal yang lebih tinggi daripada mesin diesel NA karena udara yang diisi lebih banyak sehingga daya keluaran dan efisiensi pembakaran juga meningkat.

Gambar 9 juga menunjukkan bahwa pada putaran mesin rendah (kurang dari 2000 rpm) efisiensi termal meningkat seiring dengan peningkatan putaran mesin, sehingga daya rem juga meningkat. Misalnya, pada pengaturan mesin diesel dengan PR = 1,5 dan 1000 rpm, efisiensi termalnya 26,7% dan pada 2000 rpm efisiensi termalnya meningkat menjadi 33,6% dan mencapai maksimum pada 2500 rpm yaitu 34,2%. Pada putaran mesin yang lebih tinggi (lebih besar dari 2500 rpm) efisiensi termal cenderung menurun di mana pada 5000 rpm efisiensi termalnya menjadi 27,9%. Pengurangan efisiensi termal pada putaran mesin yang lebih tinggi disebabkan oleh pengurangan efisiensi volumetrik silinder, juga pada putaran mesin yang tinggi, waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pembakaran menjadi berkurang.

SIMPULAN

Simulasi perbandingan rasio tekanan kompresor *turbocharger* menggunakan perangkat lunak Diesel-RK menunjukkan bahwa penggunaan *turbocharger* akan menyebabkan peningkatan daya mesin, terutama pada rasio tekanan kompresor yang tinggi karena pengisian udara yang lebih besar bila dibandingkan dengan mesin diesel NA untuk rentang putaran mesin 750 rpm sampai dengan 5000 rpm. Untuk mesin diesel yang menggunakan *turbocharger*, BSFC akan berkurang dengan meningkatnya putaran mesin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Pawar, A. & Deshmukh, S. B. M., 2016, "Study of Variable Geometry

- Turbochargers (VGT)”, *International Journal of Trend in Research and Development*, Vol. 3 (3), 634 – 636.
- [2]. Stone, R., 2012, *Introduction to Internal Combustion Engines*, Fourth Edition, Palgrave Macmillan, United Kingdom, pp. 291 – 327.
- [3]. Watson, N. & Janota, M. S., 1982, *Turbocharging the Internal Combustion Engine*, First Edition, Palgrave Macmillan, United Kingdom, pp. 19 – 72.
- [4]. Yusuf, Y., Caturwati, Ni K., Rosyadi, I., Haryadi, Aswata & Abdullah, S., 2019, “Analisis Prestasi Mesin Mobil Diesel Turbocharger yang Diuji dengan Dynamometer”, *Jurnal Sains dan Teknologi*, Vol. 15 (2), 92-101.
- [5]. Emara, K., Emara, A. & Razek, E. S. A., 2016, “Turbocharger Selection and Matching Criteria in a Heavy Duty Diesel Engine”, *International Journal of Scientific and Engineering Research*, Vol. 7 (12), 1 – 8.
- [6]. Kusnadi, 2014, “Pengaruh Penggunaan Turbocharger Terhadap Unjuk Kerja Mesin Diesel Tipe L 300”, *Nozzle: Journal Mechanical Engineering*, Vol. 3 (1), 1 – 6.
- [7]. Hendrawan, A. & Nugroho, A. J., 2020, “Pengaruh Turbocharger Terhadap Daya Mesin Induk KN. Prajapati”, *Majalah Ilmiah Gema Maritim*, Vol. 22 (1), 44 – 48.