

# Analisa Perbandingan Aplikasi Sistem Satu dan Dua Tingkat Turbocharger Terhadap Performansi Cummins Engine K38-C

Sofi Purnama, Puji Saksono

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri

Universitas Balikpapan

Jl. Pupuk Raya PO BOX 335 Balikpapan

Email : [welty1985@yahoo.com](mailto:welty1985@yahoo.com); [saksono\\_puji@yahoo.co.id](mailto:saksono_puji@yahoo.co.id)

## Abstract

*The price of world crude oil is the more expensive making automotive designer that develops the technology of economical fuel engine and the environmental friendliness but it has performance of good engine without altering the size measure or machine dimension. One of the additional peripheral among others by wearing system one and two stage of turbocharger and intercooler*

*This research is conducted to compare performance of Cummins K38-C family engine with system one and two stage of turbocharger. The examination is conducted by using appliance of dynamometer*

*Result of from research with rotation of engine is same, two stage system of proven turbocharger can yield performance (power and torque) larger ones if it is compared by the one stage system; that level is various of variation of different load (0%, 25%, 50%, 75% and 100 %.*

*Key words: Turbocharger stage, rotation of engine, load, performance*

## Abstrak

*Harga minyak mentah dunia yang semakin mahal membuat ahli perancang otomotif mengembangkan teknologi engine yang hemat bahan bakar dan ramah lingkungan tetapi mempunyai performansi engine yang baik tanpa mengubah ukuran atau dimensi mesin tersebut. Salah satu perangkat tambahan diantaranya dengan memakai sistem satu dan dua tingkat turbocharger dan intercooler.*

*Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan performansi Cummins engine K38-C family dengan sistem satu dan dua tingkat turbocharger. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat dynamometer.*

*Hasil dari penelitian dengan putaran engine yang sama, sistem dua tingkat turbocharger terbukti mampu menghasilkan performansi (daya dan torsi) yang lebih besar jika dibandingkan dengan sistem satu tingkat pada berbagai variasi pembebanan yang berbeda (0%, 25%, 50%, 75% dan 100%).*

*Kata kunci: Tingkat turbocharger, putaran engine, beban, performansi*

## 1. Pendahuluan

### 1.1. Latar Belakang

Semakin naiknya harga minyak mentah dunia membuat setiap pabrikan otomotif mengembangkan teknologi pada engine yang hemat bahan bakar dan ramah lingkungan tetapi mempunyai performansi mesin yang baik tanpa mengubah ukuran atau dimensi mesin tersebut.

Pemakaian perangkat tambahan seperti sistem satu dan dua tingkat turbocharger serta intercooler menjadi salah satu solusinya.

Mekanisme sistem satu dan dua tingkat turbocharger serta intercooler digerakkan oleh pemanfaatan gas buang untuk menggerakkan turbin dan kompresor.

Kompresor memampatkan udara ke dalam silinder *engine* sehingga akan terjadi kenaikan tekanan dan temperatur. Proses kompresi ini menyebabkan berkurangnya nilai kerapatan udara, sehingga diperlukannya suatu alat pendingin (*intercooler*) yang dapat mendinginkan udara sebelum masuk ke dalam silinder *engine*.

## 1.2. Perumusan dan Batasan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah seberapa besar pengaruh penggunaan aplikasi sistem satu dan dua tingkat *turbocharger* terhadap performansi *Cummins engine K38-C* ? Adapun batasan masalahnya yaitu bahwa perhitungan diperoleh dari data spesifikasi unit dan hasil data uji pada alat *dynamometer*.

## 1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh aplikasi sistem satu dan dua tingkat *turbocharger* terhadap performansi *Cummins engine K38-C*. Sedangkan manfaat penelitian adalah sebagai referensi bagi pemakai produk alat berat tentang pemakaian teknologi *engine* terbaru.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1. Turbocharger

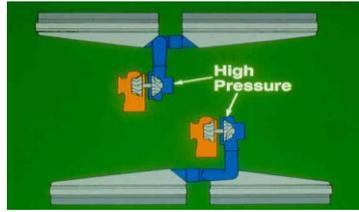
Pada prinsipnya *supercharger* dan *turbocharger* mempunyai tujuan yang sama, yaitu memperbesar jumlah udara yang masuk ke dalam silinder. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan daya motor tanpa memperbesar kapasitas motor tersebut. Ada perbedaan dalam proses kerja antara *supercharger* dan *turbocharger*, yaitu pada penggerak

*impeller turbin* dimana pada *supercharger impeller turbin* digerakkan oleh gerakan mekanik yang ditransfer dari putaran poros engkol, sedangkan pada *turbocharger* memanfaatkan gas buang sebagai penggerak *impeller turbin*.

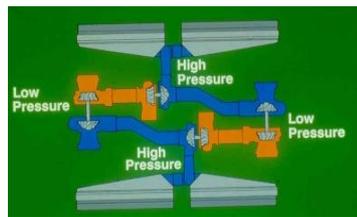
Sebuah motor *diesel* empat langkah yang bekerja dengan *turbocharger* tekanan isapnya lebih tinggi dari tekanan atmosfer sekitarnya. Hal ini diperoleh dengan jalan memaksa udara atmosfer masuk kedalam silinder selama langkah isap. Dengan cara mendinginkan udara bertekanan masuk ke dalam silinder *turbocharger* dengan *aftercooler* diharapkan bisa memperoleh tekanan efektif rata-rata yang lebih besar dengan mengurangi turunnya kerapatan udara akibat temperatur yang tinggi. Sehingga akan menghasilkan daya yang lebih besar dengan ukuran mesin yang sama.

Tujuan utama penggunaan *turbocharger* dengan *aftercooler* adalah untuk memperbesar daya motor (30-80 %), boleh dikatakan bahwa mesin *diesel* dengan *turbocharger* dapat bekerja lebih efisien, *turbocharger* mempunyai arti penting dalam usaha mengatasi kerugian daya yang disebabkan oleh berkurangnya kepadatan udara atmosfer di tempat tersebut.

Sistem *turbocharger* ini digunakan untuk meningkatkan batas torsi mesin dan tekanan efektif rata-rata. Beberapa mesin tipe V dan *inline* menggunakan dua atau empat *turbocharger* dan *aftercooler*, masing-masing satu untuk pipa *manifold* buang.



Gambar 1. Konstruksi satu tingkat *turbocharger Cummins Engine K38-C Family*. Sumber: *Basic Engine Diesel Cummins*, PT. Altrak 1978.



Gambar 2. Konstruksi dua tingkat *turbocharger Cummins Engine K38-C Family*. Sumber: *Basic Engine Diesel Cummins*, PT. Altrak 1978.

Cara kerja *turbocharger* dua tingkat: Udara mengalir dari saringan udara ke rumah kompresor tingkat pertama (*low pressure turbocharger*), kemudian ke luar dari kompresor tingkat pertama dan masuk kompresor tingkat kedua. Setelah dikompres pada kompresor tingkat dua maka udara keluar melewati *aftercooler* menuju pada pipa *manifold* hisap silinder. Pada keadaan ini temperatur udara dikurangi sampai  $223^{\circ}\text{F}$  ( $106^{\circ}\text{C}$ ) dan dengan tekanan berkisar 60,4 inHG (204,5 kPa). Gas buang hasil pembakaran memasuki pipa *manifold* tipe pulsa yang kemudian memasuki rumah *turbin* tingkat dua. Gas buang kemudian meninggalkan *turbin* tingkat dua dan memasuki *turbin* tingkat pertama yang akan menggerakkan roda *turbin* dengan sisa-sisa energi yang terkandung dalam gas buang. Kemudian gas ini

dibuang melalui pipa saluran buang ke atmosfer.

## 2.2. Intercooler

Pada saat sekarang ini teknologi otomotif yang sedang berkembang itu adalah *intercooler*. Alat ini adalah peralatan sederhana di dalam sebuah mobil, tetapi memiliki fungsi yang luar biasa. *Intercooler* memiliki beberapa nama sebutan antara lain *air cooler*, *after cooler* dan *charge cooler*. Tetapi apapun namanya alat ini memiliki fungsi yang sama yaitu mendinginkan udara yang masuk ke ruang mesin.

## 2.3. Daya dan Torsi

Daya adalah kemampuan melakukan suatu usaha atau kerja dalam setiap satuan waktu tertentu. Sedangkan torsi adalah kemampuan melakukan suatu gerak putar yang besarnya sama dengan perkalian antara gaya dan jarak dari sumbu putar.

## 3. Metodologi Penelitian

### 3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat dilakukannya penelitian di PT. Altrak 1978 *Rebuild Center* Jl. Jend. Sudirman No. 21 Balikpapan.

Sedangkan waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Januari s/d Mei 2011.

### 3.2. Bahan dan Alat

Adapun perlengkapan dan alat penelitian yang digunakan adalah:

1. *Engine* yang di pergunakan dalam penelitian ini adalah *Cummins engine diesel K38-C family*
2. *Turbocharger* yang digunakan sebagai penelitian adalah *Holset Turbocharger HC5A*

3. *Engine dynamometer* dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tenaga : 2,611 kW (3500 HP)

Torsi : 11,263 ft.lbs (15,271 Nm)

Kecepatan : 2800 putaran/menit

Penggunaan air: 255 GPM (16,1 L/s)  
(*No Cooling system*)

Berat : 4, 620 lbs. (2,097 kg)

Seri/type : DS4010

### 3.3. Langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian adalah sebagai berikut:

1. *Engine* yang akan di uji performansinya telah melalui proses *rebuild engine*
2. *Turbocharger* dipasang pada *engine* yang diteliti, sebelum dilakukan uji performansi pada *engine dynamometer*.
3. Memasang kopling *dynamometer* dengan *flywheel*. Memasang *hose water cooling engine connection, prelube system, fuel* dan baterai. Memasang *exhaust flange* dan *muffler*. Memasang *electrical wiring control*. Memasang *gauge, oil level, control valve, water pressure pump, stand*.
4. Melakukan performansi test dan memeriksa *engine* saat performansi test dilakukan dengan memeriksa kebocoran pada sekeliling *engine*. Memeriksa asap buang. Memeriksa ketidaknormal-an bunyi. Memeriksa tenaga yang dihasilkan oleh *engine*. Melakukan *dynotest* prosedur sesuai dengan pedoman pengoperasian.
5. Pengambilan data dilakukan pada saat performansi test pada putaran dan variasi beban yang berbeda yang diberikan, data performansi test terlihat pada *monitor control*.

### 3.4. Variabel Penelitian

#### 1. Variabel Bebas

- Kecepatan putaran *engine* [RPM]

- Pembebanan (*Load engine*) [%]

#### 2. Variabel Terikat

- *Torque Engine* [lb.ft]

- *Horse Power Engine* [HP]

#### 3. Variabel control

- Kondisi temperatur air pendingin pada 70<sup>0</sup>C.

### 4. Hasil Penelitian

#### 4.1. Data Hasil Penelitian

Data penelitian didapatkan dengan cara menguji performansi Cummins *engine* K38-C sistem satu dan dua tingkat *turbocharger* pada *dynamometer*. Pengujian *brake in test (torque) engine* sistem satu dan dua tingkat *turbocharger* dimulai dari putaran *low idle* tanpa diberi beban (*load*) 0 %. Pengujian selanjutnya dengan memberi beban (*load*) meningkat secara bertahap pada 25%, 50%, 75% dan 100% dari maksimum *torque* pada *torque rating* putaran (rpm) *engine* dengan kondisi temperatur air pendingin pada 70<sup>0</sup>C. Dilakukan juga pengujian untuk mendapatkan *rated horse power* (HP) pada *horse power rating* putaran *engine* dengan kondisi 100% *throttle*. Sebagai langkah prosedur selanjutnya *engine* dikembalikan pada kondisi *low idle*. Lama waktu pengujian pada setiap beban yang diberikan adalah 3-5 menit. Untuk kualitas pengujian *engine* dilakukan selama 2 jam dengan beban yang diberikan sebesar 80%.

Hasil dari pengujian performansi tercatat pada *monitor control dynamometer*. Sebagai pemeriksaan akhir hasil pengujian pada *dynamometer* memeriksa kembali standar paramater *engine*

yang didapat dan membandingkan *factory*.  
dengan *base engine data sheet* dari

Tabel 1. Data hasil pengujian Cummins *engine* K38-C satu tingkat *turbocharger*

Load (%)	Engine speed (RPM)	Torque (lb.ft)	Horse power (HP)	Oil pressure (Psi)	Fuel pressure (Psi)
0	777.948	18.129	2.685	69.775	2.320
25	1500.301	1355.732	387.273	73.051	40.010
50	1501.633	2037.691	582.597	65.457	68.164
75	1499.617	2784.990	795.188	60.140	114.146
100	1801.267	2668.532	915.201	65.229	148.996

Tabel 2. Data hasil pengujian Cummins *engine* K38-C dua tingkat *turbocharger*

Load (%)	Engine speed (RPM)	Torque (lb.ft)	Horse power (HP)	Oil pressure (Psi)	Fuel pressure (Psi)
0	719.979	16.817	2.305	48.188	3.677
25	1400.293	2387.282	636.486	68.598	45.153
50	1399.643	3588.002	956.172	66.139	90.352
75	1400.954	3950.478	1053.755	61.663	105.776
100	1801.974	3877.098	1330.213	71.841	143.634

Pada tabel 1 menunjukkan bahwa putaran *engine* yang dihasilkan sistem satu tingkat *turbocharger* lebih besar dibandingkan dengan *engine* sistem dua tingkat *turbocharger* (tabel 2).

Dari perbedaan putaran *engine* tersebut dilakukan interpolasi untuk menyamakan parameter putaran sebagaimana dihasilkan pada table 3 berikut ini.

Tabel 3. Data hasil interpolasi Cummins *engine* K38-C sistem dua tingkat *turbocharger* terhadap satu tingkat *turbocharger*.

Load (%)	Engine speed (RPM)	Torque (lb.ft)	Horse power (HP)	Oil pressure (Psi)	Fuel pressure (Psi)
0	777.948	117.475	29.327	50.379	5.052
25	1500.301	2759.133	809.637	69.407	69.733
50	1501.633	3661.287	1050.991	67.584	103.858
75	1499.617	3932.424	1121.772	64.167	115.090
100	1801.267	3881.779	1331.803	71.835	143.797

**4.2. Analisa Perhitungan Daya engine (Horse Power).**

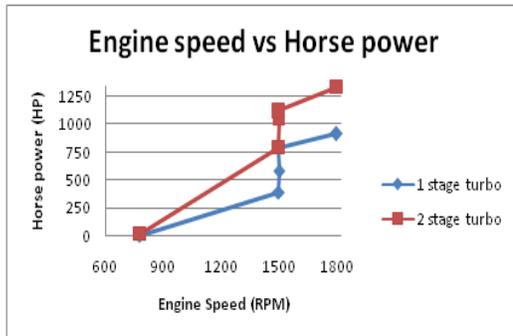
Dari data hasil pengujian pada tabel 1 dan data hasil interpolasi sistem dua tingkat terhadap satu tingkat turbocharger (tabel 3) dapat dihitung daya (horse power) dan momen puntir dengan menggunakan rumus:

$$BHP = \frac{Tq \times RPM}{5252} = \dots\dots\dots (1)$$

$$Tq = \frac{BHP \times 5252}{RPM} \dots\dots\dots (2)$$

Tabel 4. Engine speed vs Horse power

Load (%)	Engine speed (RPM)	Horse power (HP)	
		1 stage turbo	2 stage turbo
0	777.948	2.685	17.400
25	1500.301	387.282	788.181
50	1501.633	582.609	1046.822
75	1499.617	795.205	1122.835
100	1801.267	915.220	1331.325



**Gambar 3** Grafik Hasil Perhitungan Engine speed vs Horse power

Pada gambar 3 di atas terlihat karakteristik horse power yang lebih baik dengan penggunaan aplikasi

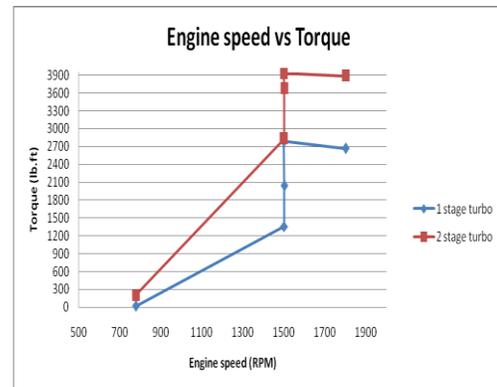
sistem dua tingkat turbocharger dibandingkan sistem satu tingkat turbocharger. Tren horse power meningkat seiring dengan naiknya beban (load) dan putaran pada engine.

**4.3. Analisa Perhitungan Momen Puntir (Torque)**

Perhitungan Momen Puntir (Torque) engine sistem satu dan dua tingkat turbocharger sebagai berikut:

Tabel 5. Engine speed vs Torque

Load (%)	Engine Speed (RPM)	Torque (lb.ft)	
		1 stage turbo	2 stage turbo
0	777.948	18.126	197.989
25	1500.301	1355.699	2834.240
50	1501.633	2037.647	3675.868
75	1499.617	2784.929	3928.700
100	1801.267	2668.474	3883.171



**Gambar 4** Grafik Hasil Perhitungan Engine speed vs Torque

Dari gambar grafik 4 menunjukkan bahwa torque yang dihasilkan pada sistem dua tingkat turbocharger lebih baik dibandingkan dengan sistem satu tingkat turbocharger. Tren yang terlihat dari grafik torque meningkat sampai pada

titik maksimum kemudian menurun. Semakin besar putaran *engine* tidak selalu menghasilkan *torque* yang maksimum. Dari hasil pengujian menunjukkan *torque* maksimum yang dihasilkan kedua sistem satu dan dua tingkat *turbocharger* terjadi pada putaran 1499.617 rpm. Pada sistem satu tingkat *turbocharger* menghasilkan nilai *torque* sebesar 2784,929 lb.ft. Sedangkan sistem dua tingkat *turbocharger* menghasilkan *torque* sebesar 3928,700 lb.ft.

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem dua tingkat *turbocharger* menghasilkan momen puntir (*torque*) dan daya (*horse power*) yang lebih baik dibandingkan dengan sistem satu tingkat *turbocharger*.
2. Pada *load* 0% putaran 777.948 RPM, sistem dua tingkat menghasilkan daya sebesar 17.400 HP dan 2.685 HP pada sistem satu tingkat. Sedangkan momen puntir yang dihasilkan sistem dua tingkat sebesar 197.989 lb.ft dan 18.126 lb.ft pada sistem satu tingkat.
3. Pada *load* 25% putaran 1500.301 RPM sistem dua tingkat menghasilkan daya sebesar 788.181 HP dan 387.282 HP pada sistem satu tingkat. Sedangkan momen puntir yang dihasilkan sistem dua tingkat sebesar 2834.240 lb.ft dan 1355.699 lb.ft pada sistem satu tingkat.
4. Pada *load* 50% putaran 1501.633 RPM sistem dua tingkat menghasilkan daya sebesar

1046.822 HP dan 582.609 HP pada sistem satu tingkat. Sedangkan momen puntir yang dihasilkan sistem dua tingkat sebesar 3675.868 lb.ft dan 2037.647 lb.ft pada sistem satu tingkat.

5. Pada *load* 75% putaran 1499.617 RPM sistem dua tingkat menghasilkan daya sebesar 1122.835 HP dan 795.205 HP pada sistem satu tingkat. Sedangkan momen puntir maksimal yang dihasilkan sistem dua tingkat sebesar 3928.700 lb.ft dan 2784.929 lb.ft pada sistem satu tingkat.
6. Pada *load* 100% putaran 1801.267 RPM sistem dua tingkat menghasilkan daya maksimum sebesar 1331.325 HP dan 915.220 HP pada sistem satu tingkat. Momen puntir yang dihasilkan sistem dua tingkat sebesar 3883.171 lb.ft dan 2668.474 lb.ft pada sistem satu tingkat.

### 5.2. Saran

1. Melaksanakan *standar operation procedure* (SOP) selama proses *rebuild engine* untuk mendapatkan kualitas maksimal pada saat pengujian di atas *dynamometer*.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang efisiensi *engine*, emisi gas buang serta nilai ekonomis dari aplikasi kedua jenis tingkat *turbocharger* tersebut.

### Daftar Pustaka

Holset, 1996, **Repair Manual Holset Turbocharger HC5A**, Second Edition. Holset, United Kingdom (UK).

Altrak 1978 PT., 2010, **Basic Engine Diesel Cummins**, PT. Altrak 1978, Balikpapan.

Altrak 1978 PT., 2010, **Pembangkitan Daya Engine Diesel 4 Tak**, PT. Altrak 1978, Balikpapan.

Arismunandar, W, dan Tsuda, K, 2004, **Motor Diesel Putaran Tinggi**, Cetakan Kesepuluh, Pradya Paramitha, Jakarta.

Arismunandar Wiranto, 2004, **Penggerak Mula Motor Bakar Torak**, Cetakan Keempat, ITB Bandung, Jakarta.

Edward F. Obert, 1996, **Internal Combustion Engine**, third edition, Scranton, Pennsylvania.

Petrovsky, N, 1988, **Marine Internal Combustion Engine**, Mir Publisher, Moscow.

<http://www.google.com/Introduction, Exhaust, and Turbocharger System Principle>.

<http://www.cummins.com>.