

PENERAPAN *TURBOCHARGER* PADA MODIFIKASI SEPEDA MOTOR INJEKSI UNTUK PENINGKATAN KELUARAN DAYA SECARA EFISIEN

TURBOCHARGER APPLICATION ON THE MODIFICATION OF INJECTION MOTORCYCLES FOR EFFICIENTLY INCREASING POWER OUTPUT

Aris Suryadi* dan M. Munir Fahmi

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung

*aris_aers@yahoo.co.id

ABSTRAK

Sepeda motor merupakan kendaraan yang banyak digunakan sebagai alat transportasi murah dan praktis. Kapasitas volume kerja mesin yang digunakan umumnya berkisar 110 s.d. 115 cc dengan keluaran daya 7 s.d. 11 HP. Untuk mendapatkan daya yang lebih besar, dibutuhkan kapasitas volume yang lebih besar. Pengoperasian sepeda motor yang lebih besar membutuhkan konsumsi bahan bakar yang lebih banyak bahkan untuk putaran *idle*. Sebagai salah satu alternatif pemecahan masalah tersebut, dilakukan penelitian penggunaan *turbocharger* untuk meningkatkan keluaran daya motor bakar tanpa mengubah kapasitas volume ruang bakar. Keuntungan penggunaan *turbocharger* adalah pengaturan tingkat kompresi dan pengaktifan yang mudah sehingga pengoperasiannya dapat disesuaikan dengan kondisi motor bakar pada variasi pembebanan. Penggunaan *turbocharger* diterapkan pada modifikasi sepeda motor injeksi. Hal ini memudahkan konstruksi pemasangannya karena tidak adanya karburator pada sistem saluran masuk yang akan mendapat kenaikan tekanan kompresi oleh *turbocharger*. Untuk mendapatkan peningkatan keluaran daya, sistem pengoperasian *turbocharger* akan diintegrasikan dengan sistem injeksi bahan bakar. Beberapa sensor digunakan untuk membaca kondisi pengoperasian motor bakar, seperti temperatur, putaran mesin, dan pembebanan. Pembacaan sensor melalui pengontrol dapat diprogram untuk mengatur pengondisian penyemprotan dan pengoperasian *Turbocharger*. Hasil dari penelitian menunjukkan, laju aliran massa *Supercharger/Turbocharger* ($\dot{m}_{SC}$) yang dipergunakan dapat memenuhi laju aliran massa udara yang dibutuhkan oleh motor bakar ($\dot{m}_{ud}$), $\dot{m}_{ud} = 1,286 \text{ gr/s} < \dot{m}_{SC} = 15 \frac{\text{gr}}{\text{s}}$. Akan tetapi, terdapat *output* tekanan yang masih rendah, terlihat dari peningkatan daya yang dihasilkan sebesar 2,5 %.

Kata kunci: *Turbocharger*, Daya, Injeksi, Kontrol, Sensor

ABSTRACT

Motorbikes are widely used as a cheap and practical means of transportation. The machine working volume capacity generally ranges from 110 to 115 cc with a power output of 7 to 11 HP. A larger volume capacity is required to get more power. The operation of a bigger motorcycle requires more fuel consumption, even at idle speed. To solve the problem, it is required to conduct research on the use of a turbocharger to increase the motor power output without changing the volume capacity of the combustion chamber. The advantage of using a turbocharger is easiness in adjusting the level of compression and activation so that its operation can be adjusted to the conditions of the combustion motor at various loads. The use of a turbocharger is applied to the modification of injection motorcycles. This ease the construction of the installation because there is no carburetor in the inlet system that will get a pressure increase by the turbocharger. The turbocharger system is integrated with the fuel injection system by using several sensors to read the conditions of the combustion motor such as temperature, engine speed, and load to get an

increase in the power output. Sensor reading through the controller can be programmed to assist the spraying conditioning and turbocharger operation. The results of the study show that the Supercharger/Turbocharger (m_{SC}) can meet the mass flow of air required by the combustion motor (m_{ud}), $m_{ud}=1,286 \text{ gr/s} < m_{SC}=15 \text{ gr/s}$, but still has a low output pressure, which is seen from the increase in power generated by 2.5%.

Keywords: Turbocharger, Power, Injection, Control, Sensor

PENDAHULUAN

Sepeda motor merupakan alat transportasi yang praktis dan serbaguna dan dijadikan pilihan dengan kondisi jalan raya yang semakin padat. Jenis sepeda motor disesuaikan dengan kebutuhan sesuai penggunaan. Dengan volume kerja yang kecil berkisar 110 cc s.d. 125 cc, sepeda motor menjadi pilihan untuk penggunaan di dalam kota. Daya yang dikeluarkan untuk sepeda motor jenis ini berkisar 7 s.d. 11 HP dengan konsumsi bahan bakar 50 s.d 63 km/L (test Lab. R&D Honda dengan metode ECE R40). Sepeda motor dengan kapasitas volume kerja kecil cukup rendah dalam tingkat penggunaan bahan bakar, tetapi akan terasa kurang bertenaga pada saat ada penambahan beban seperti adanya tanjakan dan percepatan kendaraan. (Tabel. 1).

Terkait adanya permasalahan tersebut, perlu dilakukan penelitian untuk menambah daya pada sepeda motor yang bervolume kerja kecil. Menambah daya pada motor bakar dapat dilakukan dengan meningkatkan tekanan masuk udara pada ruang bakar. Tekanan ditingkatkan dengan menggunakan *turbocharger* yang dapat menaikkan kerapatan dan jumlah udara sebagai media kerja yang mendapat energi dari pembakaran untuk melakukan kerja ekspansi.

Tabel 1. Penggunaan bahan bakar dengan variasi kapasitas ruang bakar (mivecblog.com 24/12/2014)

Kelas	Model	Konsumsi BBM
Sport 150 cc	Yamaha Byson	36,7 km/L
	Yamaha New Vixion Lightning	38,0 km/L
	Honda CB150 Streetfire	36,3 km/L
	Honda Verza 150	44,9 km/L
	Yamaha YZF-R15	38,2 km/L
	Honda All New CBR150R	28,6 km/L
Sport 200 cc	Bajaj Pulsar 200NS	30,8 km/L
	KTM Duke 200	30,0 km/L
Sport 250 cc	Honda All New CBR250R	28,0 km/L
	Kawasaki Ninja RR Mono	26,7 km/L
	Yamaha YZF-R25	22,7 km/L
	Kawasaki Ninja 250Fi	21,0 km/L

Pengoperasian *turbocharger* dapat diatur sesuai dengan kondisi dan besarnya beban pada motor bakar. Dengan demikian, peningkatan daya dapat dilakukan dengan tingkat yang sesuai kebutuhan bahkan pengoperasiannya dapat dihentikan bila tidak diperlukan.

Beberapa inovasi akan diterapkan untuk merealisasi tujuan tersebut, seperti pengaturan kerja *turbocharger*, penggabungan kerja *turbocharger*, dan pengaturan pasokan bahan bakar menggunakan sistem injeksi. Hasil akhir dari kegiatan adalah sepeda motor dengan volume kerja kecil, tetapi dapat menyediakan tenaga yang besar pada saat diperlukan dengan tetap menjaga penggunaan bahan bakar yang rendah. Tabel 2 memperlihatkan hubungan antara torsi yang dihasilkan oleh motor bakar dengan kapasitas volume kerja ruang bakar.

Tabel 2. Torsi yang dihasilkan pada variasi volume kerja ruang bakar (Oase Otomotif 05/08/2011)

Merk	cc	Pabrikan	power(PS)	rpm	torsi(kgf)
CBR250	250		26.36	8500	2.34
Ninja 150	150		30.1	10500	2.2
D-Tracker	250		24.47	9000	2.14
Thunder	250		20.28	7500	2.1
Ninja 250	250		31.43	11000	2.04
P220	220		21.04	8500	1.94
scorpio	225		18.2	8000	1.78
tiger	200		16.7	8500	1.6
RX King	135		18.5	9000	1.54

Roadmap Penelitian

Studi pendahuluan adalah penelitian modifikasi sepeda motor dengan sistem pasokan bahan bakar yang menggunakan

karburator diubah menjadi menggunakan injeksi bahan bakar. Hal ini dilakukan karena sistem injeksi bahan bakar lebih mudah mengendalikan kebutuhan bahan bakar sesuai dengan kondisi pada motor bakar. Selain itu, sepeda motor yang menggunakan sistem injeksi kebanyakan produksi tahun 2012 ke atas. Penggunaan injektor dan pengaturan pengoperasian *turbocharger* dapat dijadikan satu skema pengoperasian motor bakar untuk menambah daya keluaran dengan menjaga efisiensi konsumsi energi. Penelitian yang sudah dilakukan dan direncanakan akan dilakukan diperlihatkan pada Peta jalan penelitian, Gambar 1.



Gambar 1. Peta penelitian

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan menjadi dua tahap. Tahap pertama, pembuatan dan pemasangan instalasi *turbocharger* yang dilanjutkan tahap kedua, yaitu pengaturan pengoperasian *turbocharger*. Pelaksanaan dilakukan di laboratorium Mekatronika dan

perawatan serta di lapangan. Sepeda motor Spacy 110 cc tipe karburator yang telah dimodifikasi menjadi sistem injeksi bahan bakar digunakan sebagai objek penelitian.

Tahapan penelitian pada tahun berjalan terbagi menjadi dua tahapan serial.

Tahap pertama, perencanaan dan pembuatan sistem instrumentasi dan control.

- Perencanaan dan analisis sistem instrumentasi untuk mengukur aliran massa udara dan membaca kondisi fisis motor bakar.
- Perakitan dan instalasi sistem instrumentasi pada sepeda motor untuk mengukur dan mengetahui kondisi fisis motor bakar sebagai masukan sistem kontrol.
- Perakitan *turbocharger* di bagian saluran masuk udara pada motor bakar.

Tahap kedua berupa pengujian rancangan sistem pemampat udara dan penelitian dengan melakukan beberapa pengujian dan pengambilan data dengan

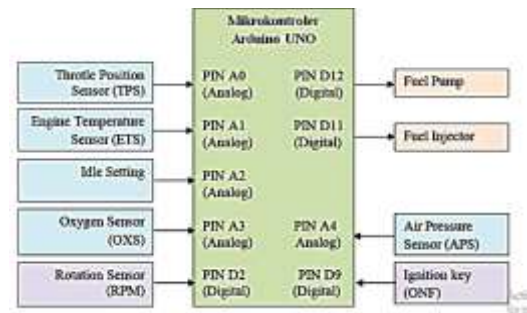
- melakukan pengambilan data tekanan udara pada saluran masuk dan kinerja penyemprotan bahan bakar.
- melakukan perubahan program untuk mengatur perubahan pola penyemprotan.
- membandingkan konsumsi bahan bakar setelah dilakukan modifikasi.

Hasil luaran dari penelitian adalah protipe modifikasi sepeda motor karburator menjadi injeksi dengan sistem pemampat udara.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Blok Diagram Sistem Injeksi Bahan Bakar

Untuk mengatur penyemprotan oleh injektor bahan bakar dan pengoperasian, dipergunakan Arduino Nano sebagai modul kontrol. Skema sistem injeksi ini diperlihatkan pada Gambar 2.

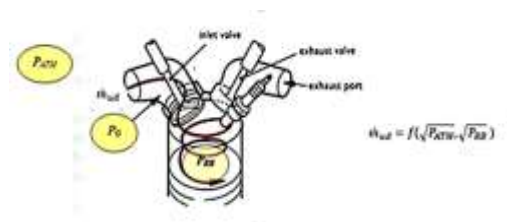


Gambar 2. Blok Diagram Sistem Injeksi Bahan Bakar

Pada skema injeksi bahan bakar pada penelitian ini, sensor posisi poros engkol (CPS) digantikan oleh sensor tekanan pada *intake manifold* untuk membaca saat langkah pengisapan. Selain untuk membaca siklus pengisapan, sensor tekanan juga digunakan untuk membaca putaran mesin dengan cara memberikan keluaran sensor tekanan pada pin *interrupt* (0) pada D2 untuk diolah menjadi informasi putaran motor bakar.

Penginderaan Tekanan Saluran Masuk/*Intake Manifold*

Udara masuk melalui saluran masuk/*intake manifold* dengan tekanan yang berubah-ubah. Semakin besar perbedaan tekanan hisap pada ruang bakar terhadap tekanan saluran masuk, semakin besar jumlah massa udara yang masuk ke dalam ruang bakar.



Gambar 3. Pengaruh Perbedaan Tekanan Terhadap Laju Aliran Massa Udara (Howell, 1987)

Penginderaan tekanan diperlukan untuk mengetahui tekanan pada saluran masuk

udara (P_G). Perbedaan tekanan antara hasil pengukuran dan tekanan ruang bakar (P_{RB}) memengaruhi laju aliran massa udara. Penginderaan tekanan harus menggunakan sensor dengan respons yang cepat. Langkah penghisapan pada motor bakar 4 langkah terjadi 50 kali/detik pada putaran motor bakar 6000 rpm. Ini berarti bahwa setiap 20 ms sekali terjadi siklus penghisapan sehingga respons sensor harus di bawah 20 ms. Dalam penelitian, dilakukan peninjauan terhadap beberapa buah sensor tekanan untuk mendapatkan sensor yang sesuai kebutuhan di atas.

Sensor Tekanan

Autonics

Pengujian dilakukan dengan memberikan simulasi perubahan tekanan pada sensor. Hasil pengujian menunjukkan sensor tekanan ini mempunyai respons penginderaan sekitar 40 ms. Hal ini menunjukkan sensor tekanan ini tidak bisa digunakan pada penelitian ini.

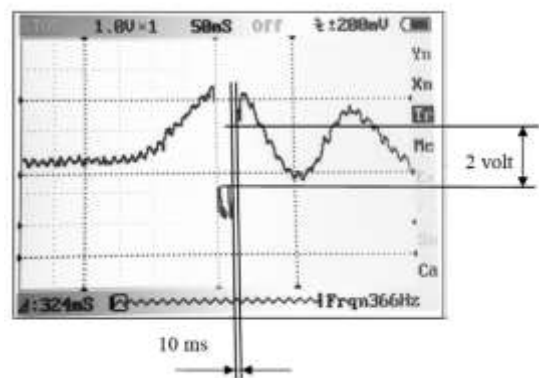
Sensor Tekanan Menggunakan BMP 180

Selain sensor tekanan dari *Autonics*, pada sensor tekanan lainnya, juga dilakukan pengujian untuk mengetahui kesesuaian penggunaan pada penelitian. Sensor tekanan BMP 180 digunakan bersama Mikrokontroler sebagai pengolah sinyal. Hasil pengujian sensor tekanan BMP 180 mempunyai respons sekitar 60 ms; ini memperlihatkan respons sensor lebih lambat daripada yang diperlukan yaitu di bawah 20 ms.

Sensor Tekanan Menggunakan *Strain Gauge*

Alternatif lainnya untuk sensor tekanan adalah menggunakan transduser tekanan yang bekerja secara analog. Pada sensor digital, ada beberapa konverter seperti ADC, DAC, dan Encoder sehingga

diperlukan waktu untuk memproses sinyal secara urutan digital. Untuk itu, diperlukan transduser tekanan yang bekerja secara analog dengan memproses sinyal secara kondisional. Pengolahan sinyal menggunakan IC LM324 yang mempunyai kenaikan rata-rata/*slew rate* mencapai 300 mV/ μ s. Dari grafik pada Gambar 4, terlihat sensor tekanan menggunakan *strain gauge* dengan pengolah sinyal mempunyai *slew rate* 200 mV/ms.



Gambar 4. Respons tekanan menggunakan *Strain gauge*

Fluktuasi tekanan hisap pada motor bakar dapat mencapai 0,8 bar (Journal penelitian Aris Suryadi – 2016). Sensor analog menggunakan transduser *strain gauge* mengubah tekanan dari 0 ÷ 2 bar menjadi tegangan 0 ÷ 5 volt. Pada kondisi demikian, kecepatan respons untuk mengetahui perubahan selama proses hisap adalah

$$t = [(0,8 \text{ bar} / 2 \text{ bar}) \times 5000 \text{ mV}] / (200 \text{ mV/ms})$$
$$t = 10 \text{ ms}$$

Dengan demikian, sensor menggunakan transduser *strain gauge* mempunyai respons 10 ms dapat digunakan pada penelitian ini.

Penggunaan *Turbocharger* sebagai Pemampat Udara

Pada motor bakar, diperlukan fluida sebagai media kerja untuk menerima energi panas hasil pembakaran bahan bakar. Secara

umum, udara banyak digunakan sebagai media kerja sekaligus penyedia oksigen untuk proses pembakaran. Untuk menambah daya mekanik yang dihasilkan oleh motor bakar tanpa menambah volume kerja, salah satu alternatifnya adalah menambah jumlah massa udara yang dimasukkan ke ruang bakar. Umumnya, penambahan jumlah massa udara adalah dengan cara dimampatkan menggunakan kompresor.



Gambar 5. Pemasangan Supercharger pada sepeda motor

Dalam penelitian, akan digunakan pemampat udara jenis *turbocharger*, tetapi pada langkah awal penerapan digunakan *supercharger* sebagai sistem pemampatan udara pada motor bakar pada sepeda motor. (Gambar 5)

Kebutuhan Laju Aliran Massa Udara pada Ruang Bakar

Udara akan mengalir memasuki ruang bakar sesuai dengan jumlah aliran bahan bakar ($\dot{m}_{BB}$) untuk memenuhi rasio

udara – bahan bakar (AFR) yang sesuai dengan kondisi pengoperasian. Laju aliran massa udara ($\dot{m}_{ud}$) bergantung pada perbedaan tekanan ruang bakar (P_{RB}) terhadap tekanan atmosfer (P_{ATM}). Dari grafik, diperoleh persamaan perubahan tekanan terhadap perubahan volume kompresi $P_A = f(1/V_A^n)$ dengan $V_L = 110$ dan V_A perubahan volume dari pergerakan posisi piston (Howell, 1987)

$$P_A \cdot V_A^n = \text{Konstan} \quad (1)$$

Motor bakar dengan volume kerja $V_L = 110 \text{ cm}^3$ dan rasio kompresi $r = 11$ berarti mempunyai volume hisap (V_H) serta volume kompresi (V_K) sebesar

$$V_L = V_H - V_K \quad (2)$$

$$r = V_H/V_K \quad (3)$$

Dari persamaan (4) dan (5)

$$V_L = r \cdot V_K - V_K \quad (4)$$

sehingga

$$V_K = V_L/10$$

$$V_K = 11 \text{ cm}^3$$

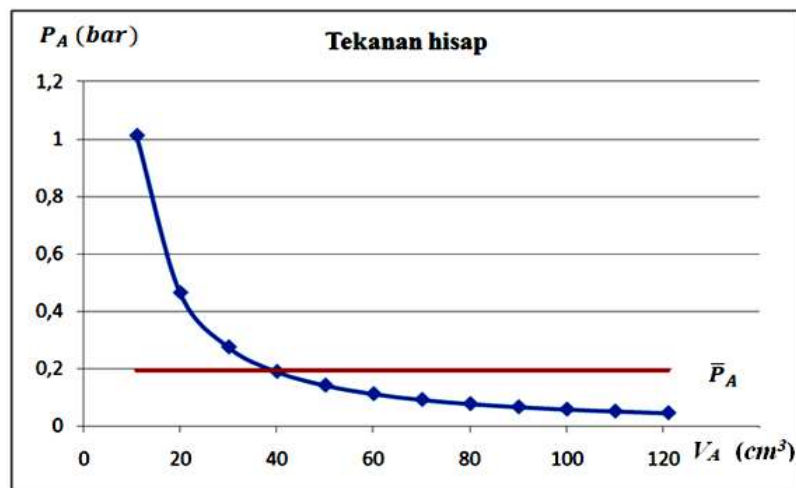
Dan

$$V_H = 121 \text{ cm}^3$$

untuk awal hisapan $V_K = 11 \text{ cm}^3$ dengan tekanan $\text{atm} = 1,013 \text{ bar}$ absolut serta $n = 1,3$ untuk proses politropik,

$$P_A \cdot V_A^{1,3} = 1,013 \cdot 11^{1,3} = \text{Konstan}$$

$$\text{sehingga} \quad P_A = 22,82/V_A^{1,3} \quad (5)$$



Gambar 6. Grafik perubahan tekanan terhadap perubahan volume

Tanpa *Supercharger*

Rata-rata tekanan hisap absolut $\bar{P}_A$ merupakan integrasi dari persamaan (5) dibagi dengan volume kerja (V_L) sebesar 110 cm^3

$$\begin{aligned}\bar{P}_A \cdot V_K &= \int_{11}^{121} (22,82/V_A^{1,3}) dV_A \\ \bar{P}_A \cdot V_K &= -76 \cdot V_A^{-0,3} \Big|_{11}^{121} \\ \bar{P}_A &= 0,1942 \text{ bar}\end{aligned}$$

Massa jenis udara didapat dengan menggunakan persamaan gas ideal; tekanan hisap diambil 0,1942 bar absolut (19.420 N/m^2) yang merupakan tekanan hisap rata-rata.

$$\rho = P/(R \cdot T) \quad (6)$$

$$\rho = \bar{P}_a / 286.300 = 19420/85800$$

$$\rho = 0,2263 \text{ kg/m}^3 = 0,2263 \text{ gr/liter}$$

Pada sekali langkah isap, massa udara yang masuk sebesar m_{UD} (gr)

$$m_{UD} = \rho \cdot V \quad (7)$$

$$m_{UD} = 0,2263 \text{ gr/liter} \times 0,11 \text{ liter}$$

$$m_{UD} = 0,0251 \text{ gr}$$

Pada putaran mesin 6000 rpm, terjadi langkah hisap sebesar 50 hisapan setiap

detiknya sehingga laju aliran masuk ke dalam ruang bakar ($\dot{m}_{ud}$)

$$\begin{aligned}\dot{m}_{UD} &= 50 \times 0,0251 \text{ gr} \\ \dot{m}_{UD} &= 1,255 \text{ gr/s}\end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut, diperoleh laju aliran massa udara sebesar 1,255 gr/s pada 6000 rpm yang merupakan putaran maksimum dalam rencana pengoperasian motor bakar.

Dengan *Supercharger*

Tekanan rata-rata penghisapan motor bakar pada penggunaan *supercharger* akan meningkat bergantung pada tekanan keluar/outlet kompresor pada *supercharger*. Tekanan yang dihasilkan pada pengujian adalah sebesar 0,02 kPa . Untuk awal hisapan $V_K = 11 \text{ cm}^3$ dengan tekanan atm = 1,013 bar absolut serta $n = 1,3$ untuk proses politropik,

$$\text{maka } P_A \cdot V_A^{1,3} = 1,033 \cdot 11^{1,3} = \text{Konstan}$$

$$\text{sehingga } P_A = 23,33/V_A^{1,3}$$

Rata-rata tekanan hisap absolut $\bar{P}_A$ merupakan integrasi dari persamaan (5) dibagi dengan volume kerja (V_L) sebesar 110 cm^3

$$\begin{aligned}\bar{P}_A \cdot V_K &= \int_{11}^{121} (23,33/V_A^{1,3}) dV_A \\ \bar{P}_A \cdot V_K &= -77,78 \cdot V_A^{-0,3} \Big|_{11}^{121} \\ \bar{P}_A &= 0,1987 \text{ bar}\end{aligned}$$

Massa jenis udara didapat dengan menggunakan Persamaan (6), tekanan hisap diambil 0,1942 bar absolut (19.420 N/m²) yang merupakan tekanan hisap rata-rata.

$$\begin{aligned}\rho &= P/(R \cdot T) \\ \rho &= \bar{P}_a / 286 \cdot 300 = 19870/85.800 \\ \rho &= 0,2338 \text{ kg/m}^3 = 0,2338 \text{ gr/liter}\end{aligned}$$

Pada sekali langkah isap massa udara yang masuk sebesar, m_{UD} (gr) sesuai Persamaan (7)

$$\begin{aligned}m_{UD} &= \rho \cdot V \\ m_{UD} &= 0,2338 \text{ gr/liter} \times 0,11 \text{ liter} \\ m_{UD} &= 0,0257 \text{ gr}\end{aligned}$$

Pada putaran mesin 6000 rpm, terjadi langkah hisap sebesar 50 hisapan setiap detiknya sehingga laju aliran masuk ke dalam ruang bakar ($\dot{m}_{ud}$)

$$\begin{aligned}\dot{m}_{UD} &= 50 \times 0,0257 \text{ gr} \\ \dot{m}_{UD} &= 1,286 \text{ gr/s}\end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut, diperoleh laju aliran massa udara sebesar 1,286 gr/s pada 6000 rpm yang merupakan putaran maksimum dalam rencana pengoperasian motor bakar. Hasil ini menunjukkan laju aliran massa udara $\dot{m}_{UD}$ secara teoritis meningkat sebesar 2,5 %,

Laju Aliran Massa Udara pada Keluaran Supercharger

Dari pengujian, didapatkan tekanan inlet kompresor terukur 0,01 bar di bawah tekanan atmosfer dan tekanan outlet kompresor terukur 0,02 bar di atas tekanan atmosfer. Tekanan atmosfer setempat (tempat pengujian) $P_{ATM} = 0,998$ bar

sehingga tekanan absolut inlet $P_{IN} = 0,988$ bar dan $P_{OUT} = 1,018$ bar; massa jenis pada inlet (ρ_{OUT}) dapat dicari dengan menggunakan persamaan (6)

$$\begin{aligned}\rho &= P/(R \cdot T) \\ \rho_{IN} &= P_{IN} / 286 \cdot 300 = 98800/85800 \\ \rho_{IN} &= 1,151 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

Kecepatan udara keluar kompresor dicari menggunakan persamaan (8) (Engineeringtoolbox, 2018)

$$\begin{aligned}v_{IN} &= \left[2 \cdot \frac{(P_{ATM} - P_{IN})}{\rho_{IN}} \right]^{0,5} \\ v_{IN} &= \left[2 \cdot \frac{(0,998 \cdot 10^5 - 0,988 \cdot 10^5)}{1,151} \right]^{0,5} \\ v_{IN} &= 41,68 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Laju aliran massa masuk kompresor $\dot{m}_{IN}$ dengan diameter inlet 20 mm (Engineeringtoolbox, 2018)

$$\begin{aligned}\dot{m}_{IN} &= \rho_{IN} \cdot v_{IN} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_{IN}^2 \\ \dot{m}_{IN} &= 1,151 \cdot 41,68 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0,02^2 \\ \dot{m}_{IN} &= 0,015 \text{ kg/s (15 gr/s)}\end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, diperoleh laju aliran massa udara yang dapat dihasilkan Super charger adalah 15 gr/s.

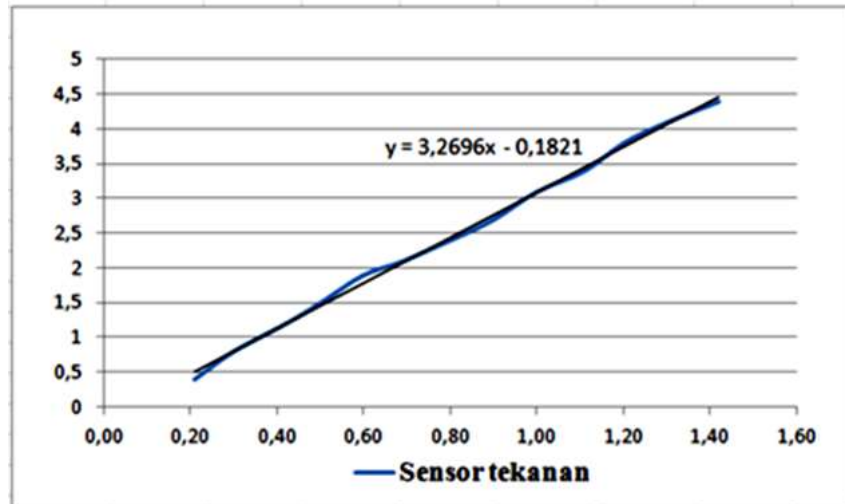
Perbandingan Udara Bahan Bakar Berdasarkan Pembacaan Sensor Tekanan

Campuran udara dan bahan bakar mengikuti perbandingan udara bahan bakar/air fuel ratio (AFR) yang sesuai dengan kondisi optimal sebesar AFR = 14,7. Dengan pemampat udara menggunakan super- charger dengan tekanan output 0,02 bar, tekanan rata- rata ruang bakar pada saat penghisapan udara berfluktuasi sebesar $0,1942 \text{ bar} < \bar{P}_A < 0,1987 \text{ bar}$. Fluktuasi tekanan ruang bakar dibaca oleh sensor tekanan yang diletakkan tepat dekat katup masuk udara keruang bakar.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan simulator tekanan yang dapat

mengondisikan tekanan 0,5 s.d 1,5 bar absolut. Hasil pengujian diperlihatkan pada grafik perubahan tegangan keluaran sensor terhadap perubahan tekanan pada Gambar 7. Keluaran tegangan dari sensor tekanan akan

dipergunakan sebagai informasi kepada pengontrol untuk menghitung penambahan atau pengurangan jumlah bahan bakar yang diinjeksikan pada ruang bakar.



Gambar 7. Keluaran tegangan sensor tekanan terhadap kenaikan tekanan

Dari hasil perhitungan, diperoleh laju aliran massa maksimum yang masuk ruang bakar pada putaran 6000 rpm berkisar 1,255 gr/s (tanpa menggunakan *supercharger*) dan 1,286 gr/s sehingga durasi penyemprotan untuk mendapatkan massa bahan bakar dengan AFR = 14,7 pada setiap siklusnya dengan laju aliran massa bahan bakar sebesar $\dot{m}_{BB} = 1,06$ (gr/s) adalah

- pada kondisi tanpa *supercharger*

Massa udara: $m_{UD} = (1,255 \text{ gr/s}) / (50 \text{ siklus/s}) = 0,0251 \text{ gr/siklus}$

Massa bahan bakar: $m_{BB} = (0,0251 \text{ gr/siklus}) / 14,7 = 0,00171 \text{ gr/siklus}$

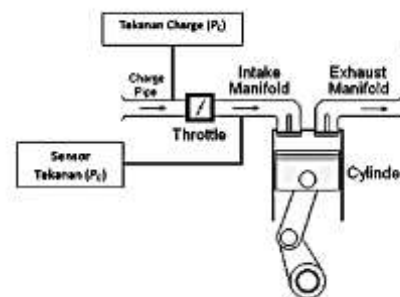
Durasi penyemprotan: $t = ((0,00170 \text{ gr/siklus}) / 1,06) = 0,00161 \text{ s} = 1611 \mu\text{s}$

- pada kondisi dengan *supercharger*

Massa udara: $m_{UD} = (1,286 \text{ gr/s}) / (50 \text{ siklus/s}) = 0,0257 \text{ gr/siklus}$

Massa bahan bakar $m_{BB} = (0,0257 \text{ gr/siklus}) / 14,7 = 0,00175 \text{ gr/siklus}$

Durasi penyemprotan $t = ((0,00175 \text{ gr/siklus}) / 1,06) = 0,00165 \text{ s} = 1650 \mu\text{s}$



Gambar 8. Tekanan *Inlet/charge* dan Tekanan *intake* (Howell,1987)

Tekanan yang terbaca oleh sensor tekanan merupakan tekanan setelah melewati *body throttle* seperti diperlihatkan pada Gambar 9.

Pada pembukaan penuh pada *throttle* katup kupu-kupu/*Butterfly valve*, diambil $K = 24$ dan laju aliran massa udara diambil 1,255 gr/s (tanpa *supercharger*) dan 1,286 gr/s (dengan *supercharger*) sehingga tekanan sesudah *Throttle* dapat diperoleh dari persamaan (11). (Engineeringtoolbox.com, 2018)

$$P_G = P_C - \frac{1}{2 \cdot \rho} \{ (K \cdot \dot{m}) / A \}^2 \quad (11)$$

Tanpa *supercharger*, tekanan pada sensor tekanan (P_G)

$$P_G = 1,013 \cdot 10^5 - \frac{1}{2 \cdot 1,18} \{ (24 \cdot 1,255 \cdot 10^{-3}) / (\pi \cdot 0,032^2 / 4) \}^2$$

$$P_G = 1,007 \text{ bar}$$

Dengan *Supercharger*, tekanan pada sensor tekanan (P_G)

$$P_G = 1,033 \cdot 10^5 - \frac{1}{2 \cdot 1,18} \{ (24 \cdot 1,286 \cdot 10^{-3}) / (3,14 \cdot 0,032^2 / 4) \}^2$$

$$P_G = 1,027 \text{ bar}$$

Dari grafik pada Gambar 7, diperoleh pendekatan garis *trendline* menjadi persamaan

$$y = 3,2696 \cdot x - 01821 \quad (12)$$

Tanpa menggunakan *supercharger* $P_G = 1,007 \text{ bar}$

$$y = 3,2696 \cdot x - 01821 = 3,1104 \text{ volt}$$

$$\text{Data bit} = (3,1104/5) \cdot 1023 = 636$$

Tanpa menggunakan *supercharger* $P_G = 1,027 \text{ bar}$

$$y = 3,2696 \cdot x - 01821 = 3,1758 \text{ volt}$$

$$\text{Data bit} = (3,1758/5) \cdot 1023 = 650$$

Implementasi Pembacaan Tekanan kepada Pengaturan Durasi Penyemprotan

Perhitungan durasi penyemprotan diambil berdasarkan perbandingan massa udara dan bahan bakar pada AFR = 14,7. Sepeda motor yang digunakan mempunyai kapasitas volume kerja 110 cc. Secara operasional, durasi/lamanya penyemprotan bergantung pada kondisi mesin, seperti temperatur mesin, putaran mesin, posisi *throttle*.

$$t_{TOT} = t_{14,7} + t_{ETS} + t_{RPM} + t_{TPS} + t_{OXS} + t_{APS} \quad (13)$$

Pada pengontrolan penyemprotan, durasi merupakan fungsi dari durasi standar (AFR = 14,7) ditambah atau dikurangi waktu sesuai pembacaan sensor, seperti diperlihatkan pada pers. 2, durasi penyemprotan (t_{TOT})

$t_{14,7}$ = Waktu standar penyemprotan (*idle*)

t_{ETS} = Waktu pengaruh dari temperatur mesin

t_{RPM} = Waktu pengaruh putaran mesin

t_{TPS} = Waktu pengaruh dari posisi *throttle*

t_{OXS} = Waktu pengaruh dari oksigen sensor

t_{APS} = Waktu koreksi dari perubahan tekanan

Waktu standar penyemprotan ($t_{14,7}$) dicari berdasarkan AFR 14,7 pada sepeda motor dengan volume kerja $V = 110 \text{ cm}^3$. Massa jenis udara diambil pada kondisi temperatur 27°C dan tekanan hisap absolut P_a bar. Besarnya P_a diambil dari tekanan hisap absolut rata rata ruang bakar dengan rasio volume kompresi $r = 11$. Dari hasil perhitungan, diperoleh lamanya waktu penyemprotan sebesar.

$$t_{14,7} = 1,611 \text{ ms} \quad (\text{Tanpa Supercharger})$$

$$t_{14,7} = 1,650 \text{ ms} \quad (\text{Dengan Supercharger})$$

Untuk harga pengaturan lainnya, diperoleh dari hasil penelitian sebelumnya, yaitu

$$t_{ETS} = 0,003 \cdot (2,71)^{0,017 \cdot ETS}$$

$$t_{RPM} = \text{rpm} \cdot 0,09$$

$$t_{TPS} = 1200 \cdot (TPS)^{3,5}$$

$$t_{APS} = (APS - 636) \cdot x$$

Harga x dicari dengan kebutuhan penambahan durasi penyemprotan sebesar 40 μs . Pada saat *supercharger* aktif data bit

dari konversi tegangan adalah 650 sehingga
x

$$x = 40 / (650 - 636)$$

$$x = 2,86$$

Waktu penundaan atau durasi penyemprotan dalam program digunakan dalam satuan microdetik (μs)

Penggunaan *supercharger* sebagai pemampat udara pada sistem posokan udara pada motor bakar bertujuan mendapatkan peningkatan daya sehingga motor bakar dengan kapasitas volume kecil dapat ditingkatkan daya keluarannya pada saat dibutuhkan, seperti pada saat mempercepat kendaraan atau sedang menempuh tanjakan. Dari hasil perhitungan tersebut, dapat diperoleh penambahan daya pada saat *supercharger* digunakan. Kandungan energi bahan bakar bensin adalah 49 MJ/kg dan efisiensi umum pada mesin bensin 30 %.

Pada saat tanpa *Supercharger*, laju aliran massa bahan bakar yang digunakan adalah

$$m_{BB} = (0,0251 \text{ gr/siklus}) / 14,7 = 0,0017 \text{ gr/siklus}$$

$$\dot{m}_{BB} = 0,0017 \text{ gr/siklus} \cdot 50 \text{ siklus/s} = 0,0855 \text{ (gr/s)}$$

$$\dot{W}_{TH} = 0,0855 \text{ (gr/s)} \cdot 10^{-3} \cdot 49 \cdot 10^6 = 4189,5 \text{ watt}$$

sehingga daya mekanik yang dihasilkan sebesar

$$\dot{W}_{ME} = 4189,5 \times 30\% = 1256,85 \text{ watt} = 1,68 \text{ HP}$$

Pada saat tanpa *supercharger*, laju aliran massa bahan bakar yang digunakan adalah

$$m_{BB} = (0,0257 \text{ gr/siklus}) / 14,7 = 0,00175 \text{ gr/siklus}$$

$$\dot{m}_{BB} = 0,00175 \text{ gr/siklus} \cdot 50 \text{ siklus/s} = 0,0874 \text{ (gr/s)}$$

$$\dot{W}_{TH} = 0,0874 \text{ (gr/s)} \cdot 10^{-3} \cdot 49 \cdot 10^6 = 4283,3 \text{ watt}$$

sehingga daya mekanik yang dihasilkan sebesar

$$\dot{W}_{ME} = 4283,3 \times 30\% = 1285,00 \text{ watt} = 1,72 \text{ HP}$$

Jadi, peningkatan daya menggunakan *supercharger* sebesar 2,5 %

SIMPULAN

Dari hasil penelitian, dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Sensor tekanan analog yang dipergunakan dapat berfungsi untuk membaca perubahan tekanan saluran masuk/*intake manifold* dengan respons 200 mV/ms
2. *Supercharger/Turbocharger* yang dipergunakan dapat memenuhi laju aliran massa udara yang dibutuhkan oleh motor bakar $\dot{m}_{ud} = 1,286 \text{ gr/s} < \dot{m}_{sc} = 15 \text{ gr/s}$
3. Pompa bahan bakar yang digunakan mempunyai kemampuan untuk mengalirkan massa bahan bakar sebesar $\dot{m}_{BB} = 1,06 \text{ (gr/s)}$ sehingga masih memenuhi rasio bahan bakar (AFR) sebesar 14,15 untuk di bawah 6000 rpm. ($< 5000 \text{ rpm}$ pada AFR = 12)
4. *Supercharger* yang digunakan mempunyai *output* tekanan yang masih rendah, terlihat dari peningkatan daya yang dihasilkan sebesar 2,5 %

DAFTAR PUSTAKA

- Howell John R and Buckius Richard O. 1987. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. New York: McGraw-Hill.
- Mulyowidodo. 1995. *Diktat Mekatronika*, Lab. Metrologi ITB.
- Turns, S.R.,. 2000. *An Introduction to Combustion: Concepts and Applications*, 2nd En. New York: McGraw Hill.
- Rothlisberger, R.P. and Favrat, D. 2002. "Comparison between direct and indirect (prechamber) spark ignition in the case of a cogeneration natural gas engine, part II: Engine operating parameters and turbocharger characteristics", *Applied Thermal Engineering*.
- Mannsfeld, S. C. B. et al. 2010. "Highly sensitive flexible pressure sensors with microstructured rubber dielectric layers". *Nat. Mater.* 9, 859–864.
- Oase Otomotif 05/08/2011
- <https://mivecblog.com/2014/12/24/komparasi-konsumsi-bbm-skutik-dan-motor-sport-di-indonesia>
- <https://www.engineeringtoolbox.com/pipin-g-tubing>