"PENGARUH PENGAPLIKASIAN *MANIPULATOR* O_2 *SENSOR* TERHADAP PERFORMA MESIN TURBO 4E-FTE"

SKRIPSI

Diajukan Dalam Rangka Menyelesaikan Studi Strata 1

Untuk Mencapai Gelar Sarjana Pendidikan

Oleh :

Nama : Hendy Laksono

NIM : 5201406033

Prodi : Pendidikan Teknik Mesin, S1

Jurusan : Teknik Mesin

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2011

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi saya yang berjudul "Pengaruh Pengaplikasian *Manipulator* O_2 *Sensor* Terhadap Performa Mesin Turbo 4E-FTE" disusun berdasarkan hasil penelitian saya dengan arahan dosen pembimbing. Sumber informasi atau kutipan yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini. Skripsi ini belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar dalam program sejenis di perguruan tinggi manapun.

Semarang, Juli 2011

Hendy Laksono

5201406033

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Hendy Laksono

NIM : 5201406033

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

Judul : "Pengaruh Pengaplikasian *Manipulator* O_2 *Sensor* Terhadap Performa Mesin Turbo 4E-FTE"

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji dan diterima sebagai persyaratan memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Panitia Ujian

Ketua	Drs. Wirawan Sumbodo, M.T. NIP. 19660105 1990021002	(	)
Sekretaris	Wahyudi, S.Pd. M.Eng. NIP. 19800319 2005011001	(	)

Dosen Penguji

Pembimbing I	Drs. Winarno D.R, M.Pd. NIP. 19521002 1981031001	(	)
Pembimbing II	Drs. Masugino, M.Pd. NIP. 19520721 1980121001	(	)
Penguji Utama	Drs. Abdurrahman, M.Pd. NIP. 19600903 1985031002	(	)
Penguji Pendamping I	Drs. Winarno D.R, M.Pd. NIP. 19521002 1981031001	(	)
Penguji Pendamping II	Drs. Masugino, M.Pd. NIP. 19520721 1980121001	(	)

Ditetapkan di Semarang
Tanggal :

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik

Drs. Abdurrahman, M.Pd.
NIP. 19600903 1985031002

ABSTRAK

Hendy Laksono. 2011. Pengaruh Pengaplikasian *Manipulator* O_2 *Sensor* Terhadap Performa Mesin Turbo 4E-FTE. Skripsi, Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

O_2 *sensor* merupakan alat untuk mendeteksi kadar oksigen yang terkandung dalam gas buang motor bensin agar dapat mengetahui apakah campuran bahan bakar terlalu gemuk atau kurus. O_2 *sensor* akan menyampaikan sinyal tegangan pada ECU, kemudian ECU akan memerintahkan injektor untuk menyuplai bahan bakar sesuai dengan kebutuhan mesin. Permasalahan yang diungkap dalam penelitian ini adalah upaya peningkatan performa mesin turbo 4E-FTE dengan pengaplikasian *manipulator* O_2 *sensor*. Pada penelitian ini, besarnya tegangan output akan diubah-ubah dengan menggunakan alat *manipulator* O_2 *sensor* sehingga memanipulasi ECU untuk menambah atau mengurangi bahan bakar. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah ada pengaruh manipulasi tegangan output O_2 *sensor* terhadap performa mesin turbo 4E-FTE.

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental karena pada dasarnya penelitian ini dilakukan untuk menguji/mengecek suatu gejala yang dapat terukur. Pengambilan data penelitian ini melalui pengujian performa pada mesin tersebut menggunakan alat *dynamometer* sehingga dapat diketahui besarnya daya dan torsi mesin. Pengujian performa mesin ini akan dilakukan pada putaran 800 rpm, 1200 rpm, 1600 rpm, dan 2000 rpm. Pengambilan data dengan melakukan variasi tegangan keluaran O_2 *sensor* sebesar 20 mV, 40 mV, 60 mV, dan 80 mV kemudian membandingkannya dengan menggunakan mesin pada keadaan standart. Dari pengujian ini akan diperoleh data besarnya gaya yang berupa tegangan *load cell*, serta lengan torsi, dan rpm. Besarnya torsi dapat dihitung dengan mengalikan antara gaya dan lengan torsi, sedangkan daya mesin dapat diketahui melalui perhitungan menggunakan rumus yaitu perkalian antara torsi dan rpm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada putaran mesin 2000 rpm dengan manipulasi tegangan output 20 mV ada peningkatan torsi yang signifikan yaitu sebesar 26,51 % dan peningkatan daya mesin sebesar 29,31 %. Sedangkan pada putaran mesin 800 rpm dengan manipulasi tegangan output 80 mV ada penurunan torsi yang signifikan yaitu sebesar 28,44 % dan penurunan daya mesin sebesar 26,34 %. Berdasarkan data hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa pengaplikasian *manipulator* O_2 *sensor* berpengaruh terhadap performa mesin turbo 4E-FTE. Oleh karena itu peneliti merekomendasikan jika ingin meningkatkan performa mesin bisa menggunakan *manipulator* O_2 *sensor* dengan mengatur tegangan output sebesar 20 mV – 40 mV.

Kata kunci : *manipulator* O_2 *sensor*, peforma mesin.

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

1. *"Sesungguhnya sesudah kesulitan terdapat kemudahan (Q.S 94 : 6)"*
2. *"Kebenaran itu adalah dari Tuhanmu sebab itu jangan sekali-kali kamu termasuk orang-orang yang ragu" (Q.S. Al Baqarah : 147).*
3. *"Keyakinan dan kesungguhan adalah spirit menuju sebuah keberhasilan."*
4. *"Kegagalan kerap kali terjadi karena kurangnya kegigihan".*
5. *"Ragukan siapa saja,tetapi jangan sekali-kali meragukan diri sendiri" (Cristian Bovee).*
6. *"Rasa takut adalah pasir di dalam mesin kehidupan" (E. Staenley Jones).*

PERSEMBAHAN

Skripsi ini penulis persembahkan kepada :

1. Bapak dan ibuku yang selalu memberikan do'a, arahan dan dukungan.
2. Adikku tersayang, yang menjadi inspirasiku.
3. Teman-teman seperjuangan yang senantiasa membantu dan memberikan dorongan semangat.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang memberikan rahmat dan hidayah-Nya. Shalawat serta salam penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW dan keluarganya serta kepada para shabatnya.

Penulis sangat bersyukur karena dengan rahmat dan hidayah-Nya serta partisipasi dari berbagai pihak yang telah banyak membantu baik moril maupun materiil sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul "Pengaruh Pengaplikasian *Manipulator* O_2 *Sensor* Terhadap Performa Mesin Turbo 4E-FTE". Oleh karena itu, dengan kerendahan hati penulis sampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H. Sudijono Sastroatmojo, M.Si., Rektor Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.
2. Drs. Abdurrahman, M.Pd., Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan ijin penelitian dalam memperlancar penyelesaian skripsi ini.
3. Drs. Wirawan Sumbodo, M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakkultas Tenik Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan kemudahan administrasi kepada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
4. Drs. Winarno D.R, M.Pd., Dosen Pembimbing I yang telah memberikan waktu, bimbingan, dan petunjuuk dalam menyelesaikan skripsi ini.

5. Drs. Masugino, M.Pd., Dosen Pembimbing II yang telah memberikan waktu, bimbingan, dan petunjuuk dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Drs. Abdurrahman, M.Pd., Dosen Penguji yang telah memberikan waktu, dan sarana dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Semua pihak yang telah membantu sehingga terselesaikannya skripsi ini.

Penulis juga menyadari bahwa dalam skripsi ini masih banyak kekurangannya, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dalam perbaikan skripsi ini. Semoga Allah SWT memberikan pahala berlipat ganda atas bantuan dan kebaikannya. Amin.

Semarang, Juli 2011

Penulis

DAFTAR ISI

		Halaman
HALAMAN JUDUL		i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI		ii
PENGESAHAN		iii
ABSTRAK		iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN		v
KATA PENGANTAR		vi
DAFTAR ISI		viii
DAFTAR TABEL		x
DAFTAR GAMBAR		xi
DAFTAR LAMPIRAN		xiii
BAB I	**PENDAHULUAN**	1
	A. Latar Belakang Masalah	1
	B. Rumusan Masalah	3
	C. Batasan Masalah	3
	D. Penegasan Istilah	4
	E. Tujuan Penelitian	6
	F. Manfaat Penelitian	6
	G. Sistematika Skripsi	7
BAB II	**LANDASAN TEORI DAN KERANGKA BERFIKIR**	8
	A. Landasan Teori	8
	B. Kerangka Berfikir	32

BAB III METODE PENELITIAN 35
A. Desain Penelitian 35
B. Variabel Penelitian 35
C. Alat dan Bahan 36
D. Waktu dan Tempat Penelitian 37
E. Alur Penelitian 38
F. Prosedur Penelitian 39
G. Analisis Data 41
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 42
A. Hasil Penelitian 42
B. Pembahasan 47
BAB V PENUTUP 65
A. Simpulan 65
B. Saran 65
DAFTAR PUSTAKA 67
LAMPIRAN 68

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

1. Perbandingan Karakteristik Sensor Oksigen 19
2. Lembar Observasi Perbandingan Performa Mesin 40
3. Hasil Pengujian Torsi dan Daya Mesin Menggunakan *Dynamometer* 43
4. Perbandingan Torsi 44
5. Perbandingan Daya 45
6. Spesifikasi Toyota Starlet 46

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

1. Sensor Tekanan *Manifold* 9
2. *Turbocharger*..... 10
3. Pembersihan Permurnian dari 3 Elemen Catalis Berdasarkan Perbandingan Campuran Bahan Bakar dan Udara 11
4. Siklus O_2 *Sensor* 12
5. Temperatur Optimal O_2 *Sensor* 13
6. ZrO_2 Oxygen Sensor 14
7. Karakteristik Output O_2 *Sensor* ZrO_2 Dengan Perbandingan Bahan Bakar/Udara..... 15
8. Karakteristik reaksi Katalis Platinum 16
9. Perubahan Output Sensor Oksigen Oleh Temperature 17
10. Konfigurasi dari TiO_2 *Oxygen Sensor* 18
11. Karakteristik ouput dari TiO_2 *Oxygen Sensor*..... 18
12. Konfigurasi Sirkuit dan Terminal dari Sensor Oksigen Dengan Kabel Pemanas yang *Built-in* 20
13. Contoh Bentuk Gelombang Output Sensor Oksigen 20
14. *Dynamometer*..... 23
15. Rangkaian *Manipulator* O_2 *Sensor* 24
16. Analogi Kerja (W) yang Identik dengan Torsi (T) pada Sebuah Motor Bakar *Reciprocal* 27
17. Konsep torsi..... 30
18. Diagram alur Penelitian..... 38

19 Skema Rangkaian O_2 *Sensor* Mesin 4E-FTE Standart 39

20 Skema Rangkaian O_2 *Sensor* Mesin 4E-FTE Modofikasi 39

21 Grafik Perbandingan Torsi 44

22 Grafik Perbandingan Daya 45

23 Grafik Hasil Pengukuran Torsi Dan Daya Pada Mesin Toyota Starlet Standart 46

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Halaman

1. Dokumentasi Penelitian 69

2. Data Pengujian Performa Mesin 4E-FTE..... 72

BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG MASALAH

Teknologi alat transportasi semakin jauh berkembang pesat, terutama pada peningkatan performa mesin mobil. Peningkatan kendaraan ramah lingkungan mulai diterapkan pada kendaraan alat transportasi dalam kehidupan sehari-hari. Selain ramah lingkungan, juga dikembangkan teknologi kendaraan dengan konsumsi bahan bakar yang hemat, namun diharapkan dapat memperoleh daya yang optimal.

Pada mobil toyota starlet dipasang mesin turbo 4E-FTE untuk mengoptimalkan performa mesin agar akselerasi mobil meningkat. Prinsip kerja dari mesin turbo adalah dengan menambahkan udara paksa pada *intake manifold* untuk mendapatkan daya mesin yang optimal. Namun, besarnya udara paksa yang diberikan pada *intake manifold* harus sesuai dengan kebutuhan campuran bahan bakar. Jika terlalu banyak O_2 maka campuran menjadi kurus yang dapat mengurangi daya mesin. Begitu juga sebaliknya jika O_2 terlalu sedikit, maka campuran akan menjadi kaya yang akan mengakibatkan konsumsi bahan bakar yang berlebihan. Mesin turbo 4E-FTE merupakan suatu jenis pompa untuk menekan udara yang masuk ke dalam silinder-silinder untuk menambah kecepatan udara. Udara masuk disuplai ke silinder oleh *turbocharger* dengan tekanan yang lebih besar dibanding

tekanan *atmosfer* menyebabkan bertambahnya kepadatan dalam ruang silinder.

Mesin toyota starlet menggunakan sistem EFI, dimana sistem penyemprotan bahan bakarnya dikontrol secara elektronik agar didapatkan nilai campuran udara dan bahan bakar selalu sesuai dengan kebutuhan mesin. Pengaplikasian *O_2 sensor* pada saluran gas buang karena campuran hasil pembakaran antara udara dan bensin dikontrol oleh ECU (*Electronic Control Unit.* Jika diketahui kadar oksigen yang terkandung pada gas buang tidak pas, maka secara otomatis ECU akan mengoreksinya. Adapun reaksi kimia pembakaran bahan bakar hidrokarbon secara umum dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$C_8H_{18} + 12{,}5\ (O_2 + 3{,}76\ N_2) \longrightarrow 8\ CO_2 + 9\ H_2O + 47\ N_2$$

O_2 sensor akan mendeteksi kadar oksigen yang terkandung dalam gas buang agar dapat mengetahui apakah campuran terlalu gemuk atau kurus. *O_2 sensor* ini akan membangkitkan tegangan yang besarnya tergantung pada konsentrasi oksigen pada emisi gas buang. Jika konsentrasi oksigen adalah rendah (campuran terlalu gemuk) tegangan yang dibangkitkan akan menjadi lebih tinggi. Demikian sebaliknya, jika campuran bahan bakar dan udara terlalu kurus maka tegangan yang akan dihasilkan juga semakin rendah. (Toyota Step 2, 1994 : 63).

O_2 sensor akan menyampaikan sinyal tegangan pada ECU, kemudian ECU akan memerintahkan injektor untuk menyuplai bahan bakar sesuai dengan kebutuhan mesin. Pada mesin standart, *O_2 sensor* menghasilkan tegangan

output antara 30-50 mV. Oleh karena itu, untuk meningkatkan performa dicoba dengan menggunakan *manipulator* O_2 *sensor* yang bekerja dengan mengubah-ubah besarnya tegangan output. Dengan perubahan tegangan output, akan memanipulasi ECU untuk menambah atau mengurangi bahan bakar. Alat ini memanipulasi perbandingan massa oksigen dan bahan bakar dari keadaan standar.

Dari uraian di atas penulis mencoba untuk mengadakan penelitian dengan judul PENGARUH PENGAPLIKASIAN *MANIPULATOR* O_2 *SENSOR* TERHADAP PERFORMA MESIN TURBO 4E-FTE.

B. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang di atas, timbul permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini yaitu bagaimanakah pengaruh manipulasi tegangan output O_2 *sensor* terhadap performa mesin turbo 4E-FTE.

C. BATASAN MASALAH

Dalam penelitian ini permasalahan akan dibatasi :

1. Performa yang dibahas adalah *spesific power output* yang meliputi daya dan torsi.
2. Tegangan output O_2 *sensor* akan dimanipulasi sebesar 20 mV, 40 mV, 60 mV, dan 80 mV.
3. Putaran mesin yang digunakan dalam penelitian ini adalah 800 rpm, 1200 rpm, 1600 rpm, dan 2000 rpm.

D. PENEGASAN ISTILAH

Untuk menghindari terjadinya salah penafsiran terhadap judul skripsi ini, maka perlu diberikan penjelasan tentang arti istilah-istilah dalam skripsi ini. Istilah-istilah yang dianggap perlu untuk dijelaskan adalah :

1. Pengaruh

   Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia 2003, pengaruh adalah daya yang ada atau timbul dari sesuatu (orang, benda dan sebagainya) yang berkuasa atau berkekuatan. Pengaruh dalam penelitian ini adalah hubungan yang mempengaruhi dampak pengaplikasian *manipulator* O_2 *sensor* terhadap performa mesin turbo 4E-FTE.

2. *Manipulator* O_2 *Sensor*

   Manipulator berasal dari kata manipulasi yaitu tindakan untuk mengerjakan sesuatu dengan tangan atau alat-alat mekanis secara terampil (http://kamusbahasaindonesia.org/manipulasi). Sedangkan O_2 *sensor* (sensor oksigen) adalah suatu alat ukur utama sebagai pengontrol komputer bahan bakar di mobil apakah mesin terlalu kaya atau terlalu kurus dalam pemasokan campuran bahan bakar dan oksigen. Dalam penelitian ini, *manipulator* O_2 *sensor* yang dimaksudkan adalah sebuah alat yang dirancang sendiri secara khusus dan diaplikasikan sebagai pengatur tegangan keluaran dari O_2 *sensor*. Mesin toyota starlet ini menggunakan O_2 *sensor* jenis ZrO_2. Pengaplikasian *manipulator* O_2 *sensor* ini untuk mengetahui apakah ada pengaruhnya terhadap performa mesin atau tidak.

3. Performa

Performa berasal dari kata *performance* yang berarti suatu indikasi dari ukuran seperti perubahan dari energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi gerakan mekanik. Ukuran dari sebuah keberhasilan performa antara lain :

a. Specific fuel consumption (konsumsi bahan bakar spesifik).

b. Break mean effective pressure (tekanan efektif rata-rata rem).

c. *Specific power output* (tenaga keluaran spesifik).

d. *Specific weight* (berat spesifik).

e. *Exhaust smoke and other emission* (gas buang dan emisi lainnya).

(M. L. Mathur, 1980. Internal Combustion Engines : 516)

Tetapi dalam penelitian ini, performa yang akan dibahas adalah *specific power output* yang berupa daya dan torsi.

4. Mesin turbo 4E-FTE

Adalah mesin seri ke 4 dari keluarga mesin jenis E. Dengan spesifikasi 4E-FTE L4 1331cc EFI DOHC 16 valve dilengkapi turbo jenis Toyota ct-9 Turbocharger (CT-9A) dilengkapi dengan *Intercooler.* (http://en.wikipedia.org/wiki/Toyota_E_engine).

Manipulator O_2 *sensor* dalam penelitian ini adalah sebuah alat yang digunakan untuk memanipulasi tegangan keluaran dari O_2 *sensor.* Pengaplikasian *manipulator* O_2 *sensor* ini untuk mengetahui apakah ada pengaruhnya terhadap performa mesin turbo 4E-FTE. Karena pengujian performa mesin meliputi banyak hal, maka dalam penelitian ini dibatasi

hanya mengenai daya dan torsi yang diukur dengan menggunakan *dynamometer* hasil karya sendiri.

E. TUJUAN

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah ada pengaruh manipulasi tegangan output O_2 *sensor* terhadap performa mesin turbo 4E-FTE.

F. MANFAAT PENELITIAN

Dengan adanya penelitian mengenai pengaruh pengaplikasian *manipulator* O_2 *sensor* terhadap performa mesin turbo pada mobil starlet 4E-FTE dapat diambil manfaatnya antara lain:

1. Memberikan informasi apakah dengan pengaplikasian *manipulator* O_2 *sensor* pada mesin turbo 4E-FTE dapat mempengaruhi performa mesin atau tidak.
2. Sebagai masukan bagi mahasiswa Teknik Mesin UNNES dalam menguji dan meneliti tentang pengaplikasian *manipulator* O_2 *sensor* pada mesin.
3. Meningkatkan wawasan dan pengetahuan bagi para peneliti kususnya di bidang Otomotif.

G. SISTEMATIKA PENULISAN SKRIPSI

1. Bagian Awal

Bagian awal terdiri dari halaman judul, abstrak penelitian, halaman pengesahan, motto dan persembahan, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar dan daftar lampiran.

2. Bagian Isi Skripsi

Bagian ini terdiri dari 5 bab, yaitu:

BAB I	Pendahuluan, yang mencakup latar belakang masalah, rumusan permasalahan, batasan masalah, penegasan istilah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan skripsi.
BAB II	Landasan teori dan kerangka berfikir.
BAB III	Metodologi penelitian, berisi desain penelitian, variabel penelitian, alat dan bahan, waktu dan tempat penelitian, alur penelitian, prosedur penelitian, serta metode analisis data.
BAB IV	Hasil penelitian dan pembahasan, berisi hasil penelitian, analisis hasil penelitian dan pembahasan.
BAB V	Penutup yang berisi kesimpulan dan saran.

3. Bagian Akhir

Bagian akhir terdiri dari daftar pustaka, lampiran-lampiran, dan dokumentasi penelitian.

BAB II

LANDASAN TEORI DAN KERANGKA BERFIKIR

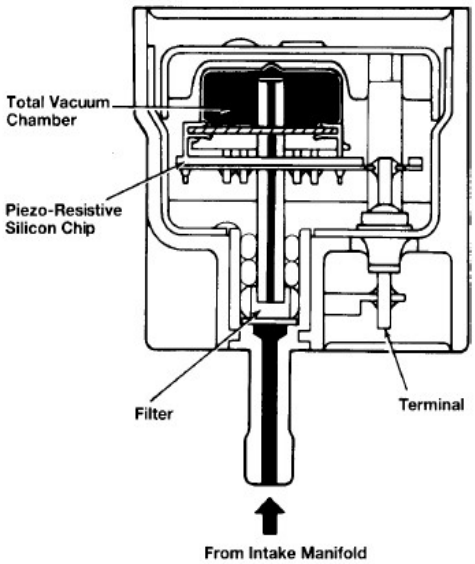
A. LANDASAN TEORI

1. Mesin Turbo 4E-FTE

Mesin ini menggunakan sistem bakar EFI (*Elektronic Fuel Injektor*), dimana sistem penyemprotan bahan bakar yang dalam kerjanya dikontrol secara elektronik agar didapatkan nilai campuran udara dan bahan bakar selalu sesuai dengan kebutuhan mesin, sesuai dengan jumlah dan temperatur udara yang masuk, kecepatan mesin, temperatur air pendingin, posisi *thorttle valve*, sensor oksigen serta sensor lainnya. Sehingga didapatkan daya motor yang optimal dengan pemakaian bahan bakar yang minimal serta mempunyai gas buang yang ramah lingkungan. (Toyota Step 1,1994:3-68). Perhitungan udara masuk mengadopsi sistem D-EFI (*manifold pressure control type*). Sistem ini menggunakan perhitungan udara masuk berdasar dari tekanan yang terdapat pada *intake manifold.* Sensornya berupa *Turbo Pressure Sensor.* (Toyota Step 1,1994:3-69)

Sensor ini bekerja atas dasar tekanan pada *intake manifold* tekanan ini akan menggerakkan *piezo-resistive silicon chip.* Chip ini akan memberikan keluaran tegangan berbeda tergantung dari kelengkungannya. Pada mesin ini dilengkapi dengan *Turbocharger* yaitu suatu jenis pompa untuk menekan udara yang masuk ke dalam silinder-silinder untuk menambah

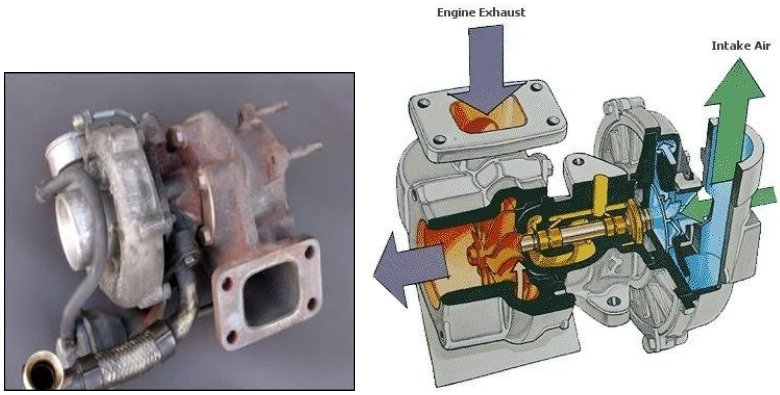
kecepatan udara. Udara masuk disuplai ke silinder oleh *turbocharger* dengan tekanan yang lebih besar dibanding tekanan *atmosfer* menyebabkan bertambahnya kepadatan dalam ruang silinder.



Gambar 1. Sensor tekanan *manifold.*

Pada mesin biasa, efisiensi pengisian udara yang dihisap ke silinder hanya 65%- 85%, karena adanya tahanan pada sistem hisap dan gas buang yang tersisa dalam sistem pembuangan. Dengan menggunakan *turbocharger* pada mesin, efisiensi pengisiaan dapat melebihi 100% dimana:

Efisiensi pengisian (%) = ———————————————— x 100%



Gambar 2. *Turbocharger*

Sedangkan arti dari mesin jenis 4E-FTE adalah :

4E : generasi ke 4 dari mesin Toyota jenis E.

F : *cam shaft* jenis *twin cam* dengan profil mengarah ke keiritan bahan bakar.

T : mesin ini menggunakan *turbocharger*.

E : mesin ini menggunakan system pengabutan bahan bakar jenis EFI (*Electronic Fuel Injection*).

Mesin 4E-FTE mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

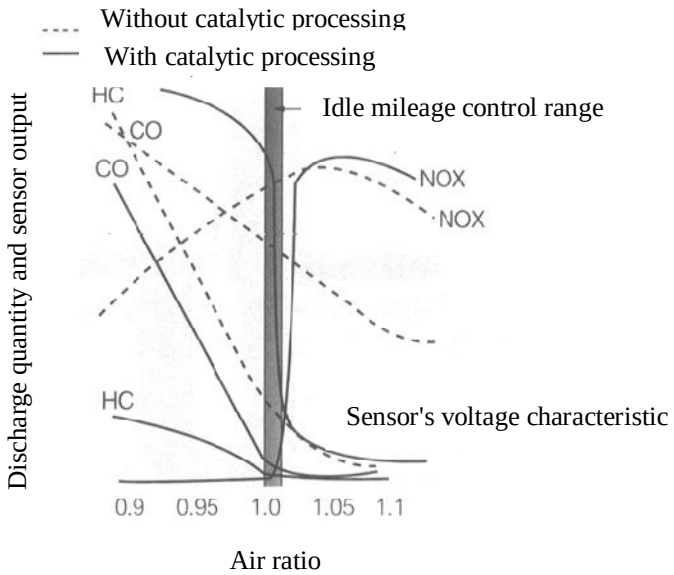
Model	4E-FTE L4 1331cc *EFI DOHC* 16valve
Turbo model	Toyota ct-9 *Turbocharger* (CT-9A)
Tenaga	133hp @ 6400rpm (100kw @6400rpm)
Torsi	16.0kgm @ 4800rpm (157Nm@4800rpm)
Putaran mesin maksimal	7200 rpm
Tekanan turbo	(Dual-mode Turbo) 0.40bar (@6psi) @ LO setting0.65bar(@9.5psi) @ HI setting

Compression Ratio	8.2:1
Bore & Stroke	74 x 77.4
Injector	4 x 295cc/min

(www.toyotagtturbo.com)

2. *Oxygen Sensor*

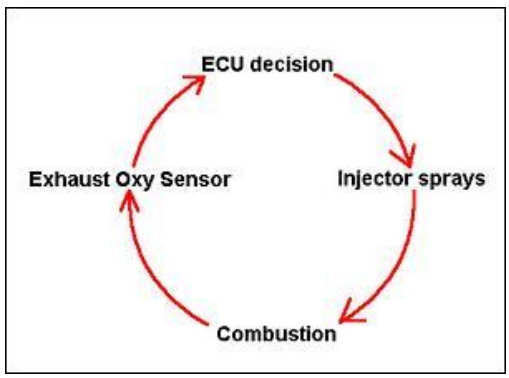
Karena polusi udara menjadi issue sosial, dikembangkan pengontrolan emisi mobil. Pembuat otomotif telah mengembangkan berbagai macam teknologi. Diantaranya, teknologi treatment gas buang dengan menggunakan 3 elemen catalis yang paling banyak digunakan. 3 elemen catalis secara simultan membentuk oksidasi dari HC, CO dan deoksidan NOx untuk mengendalikan pembentukan gas emisi yang berbahaya. Gambar 3 mengilustrasikan efisiensi pemurnian dari 3 elemen catalis berdasarkan perbandingan campuran bahan bakar dan udara.



Gambar 3. Pembersihan permurnian dari 3 elemen catalis berdasarkan perbandingan campuran bahan bakar dan udara.

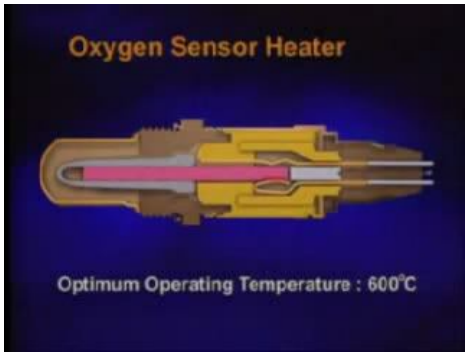
Tiga elemen catalis diperagakan dengan efisiensi pemurnian HC, CO dan NOx yang tertinggi antara perbandingan bahan bakar dan udara secara teori. Pada perbandingan yang lebih kental dibanding perbandingan secara teori, emisi C dan HC lebih tinggi, dan pada perbandingan yang lebih encer dibanding perbandingan teori, emisi NOx akan lebih tinggi. Oleh karena itu perlu untuk mengontrol agar pembakaran terjadi pada kondisi perbandingan bahan bakar dan udara seperti pada teori, untuk keberhasilan operasi 3 elemen catalis.

Sensor ini mendeteksi konsentrasi oksigen dalam gas buangan. Keluaran dari sensor ini akan digunakan dalam penentuan timing pengapian berdasarkan AFR (*Air Fuel Ratio*).



Gambar 4. siklus O_2 *sensor*

O_2 *sensor* akan bekerja jika dialiri panas sekitar 600 ^{0}C. Panas tersebut dihasilkan oleh gas buang hasil pembakaran mesin. Kemudian O_2 *sensor* akan mendeteksi seberapa besar kandungan oksigen pada gas buang untuk mengetahui apakah campuran udara dan bahan bakar terlalu kurus atau terlalu kaya, kemudian menyampaikan pada ECU untuk mengatur penyemprotan bahan bakar oleh injektor agar pembakarannya sempurna.



Gambar 5. Temperatur optimal *O_2 sensor*

Kekhasan sistem pengontrol mesin sensor oksigen harus memiliki karakteristik sebagai berikut :

- Menyediakan secara cepat variasi perbandingan bahan bakar dan udara.
- Perubahan tegangan output yang cepat dengan berbagai konsentrasi oksigen dalam emisi gas.
- Tidak ada perbedaan menyolok antara perbandingan yang kental dan encer.
- Menjaga tegangan tetap stabil terhadap perubahan temperature gas emisi.

O_2 sensor dapat menggunakan 2 macam material untuk elemen ZrO_2 dan TiO_2. ZrO_2 menyensor secara berurutan pada gaya electromotive yang dibangkitkan oleh perbedaan konsentrasi oksigen dan TiO_2 menyensor secara berurutan pada perubahan resistansi oleh perbedaan konsentrasi oksigen.

1) ZrO_2 Oxygen Sensor

Sensor Oksigen ZrO_2 dibuat dengan menambahkan sedikit yttrium (Y203) ke ZrO_2 dan kemudian membentuknya ke *tube test*

untuk membuat elemen, dan akhirnya dilapisi oleh platinum di kedua permukaan elemen. Bagian dalam sensor bersentuhan dengan udara sekitarnya dan bagianj luar berhubungan dengn gas emisi. Elemen ZrO_2 mempunyai resistansi yang tinggi dan non-konduktif (tidak dapat menghantarkan listrik) pada temperature rendah. Pada temparatur tinggi perbedaan konsentrasi oksigen akan lebih tinggi antara bagian dalam dan bagian luar, dan hanya ion oksigen yang melewati elemen membangkitkan gaya electromotive.

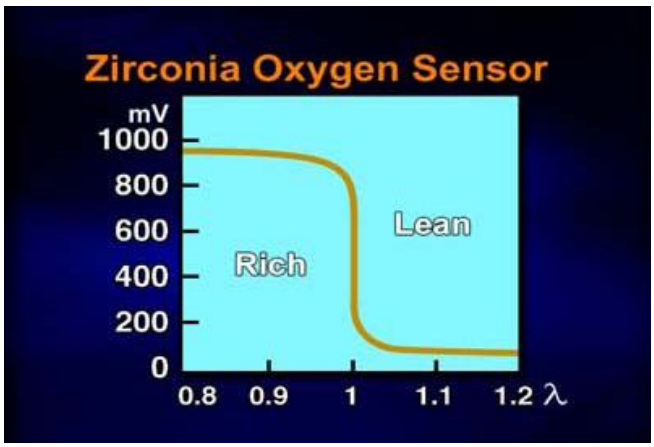
Gambar 6. ZrO_2 Oxygen Sensor

Prinsip operasi sensor oksigen ZrO_2 masing masing ion oksigen mempunyai kelebihan 2 elektron dan mengakibatkan kutub bermuatan negative. Oleh karena itu, ion oksigen digerakan oleh ZrO_2 dan ditarik ke arah dalam platinum permukaan pole- ZrO_2.

Bagian sensor yang bersentuhan dengan udara mempunyai kutub kelistrikan yang bermuatan negative dibanding dengan gas emisi, dan medan listrik terbentuk antara substansi ZrO_2, hasilnya membangkitkan potensial gap. Potensial gap ini proporsional terhadap

konsentrasi emisi gas oksigen dan sensor temperature. Biasanya jumlah oksigen yang ada dalam emisi berbentuk tekanan parsial oksigen. Tekanan parsial ini didefinisikan sebagai perbandingan antara tekanan parsial oksigen dan tekanan gas emisi. Pada kasus campuran yang lebih kental, tekanan parsial oksigen berkisar pada 1016 - 1032 tekanan udara, dan pada kasus campuran yang lebih encer mendekati 102.

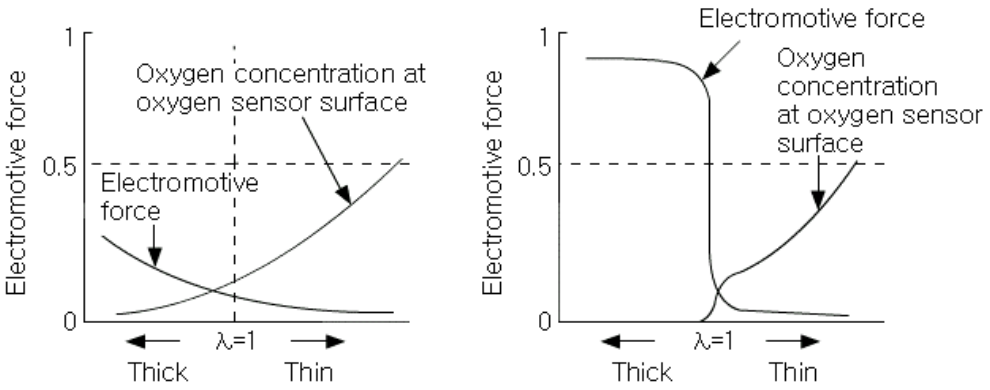
Karakteristik output O_2 *sensor* dengan perbandingan bahan bakar & udara. Untuk campuran yang lebih kental, konsentrasi oksigen dalam gas emisi adalah rendah dengan konsentrasi gap yang lebih tinggi menghasilkan potensial gap yang lebih tinggi. Untuk campuran yang lebih encer, konsentrasi oksigen dalam gas emisi adalah tinggi dengan konsentrasi gap yang rendah, menghasilkan potensial gap yang lebih rendah. Sebagaimana perubahan terjadi di seputar perbandingan teoritis, dia disebut karakteristik switching.



Gambar 7. Karakteristik output O_2 *sensor* ZrO_2 dengan perbandingan bahan bakar / udara

Sayangnya, pada proses pembakaran sesungguhnya disebutkan perubahan tidak cukup tinggi. Oleh karena itu, permukaan elemen dilapisi dengan platinum yang bisa menyerap untuk menyediakan konsentrasi gap yang mecukupi. Reaksi katalis platinum adalah sebagai berikut.

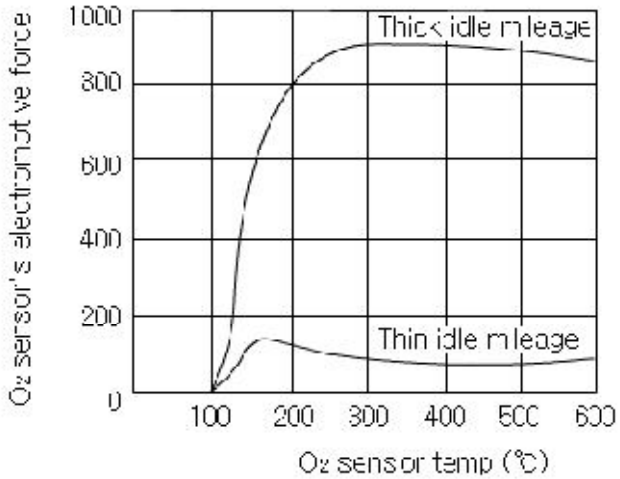
Saat katalis platinum membakar campuran yang lebih kental, sisa O_2 akan bereaksi dengan CO seluruhnya dan hampir tidak menyisakan O_2 pada permukaan platinum, membangkitkan gap konsentrasi oksigen lebih tinggi dan gaya electromotive mendekati 1V. Dalam kasus campuran yang lebih encer, konsentrasi O_2 dalam emisi gas adalah tinggi dan konsentrasi CO rendah. Oleh karena itu, dengan bereaksinya CO dengan O_2, konsentrasi oksigen tidak akan menurun secara signifikan, dan konsekuensinya gap konsentrasi rendah akan terbentuk hampir tanpa gaya elektromtove.



Gambar 8. Karakteristik reaksi Katalis Platinum

Gambar di atas menunjukkan perbandingan antara sensor oksigen dengan dan tanpa katalis platinum. Sebagai tambahan, histerisi yang

terjadi saat perbandingan bahan bakar dan udara berubah dari kental ke encer dan saat berubah dari encer ke kental. Kemudian dia akan menimbulkan karakteristik respon sensor oksigen yang berbeda antara 2 kasus. Dapat dikatakan, diperlukan periode waktu yang berbeda antara perubahan kental ke encer dan antara encer ke kental.



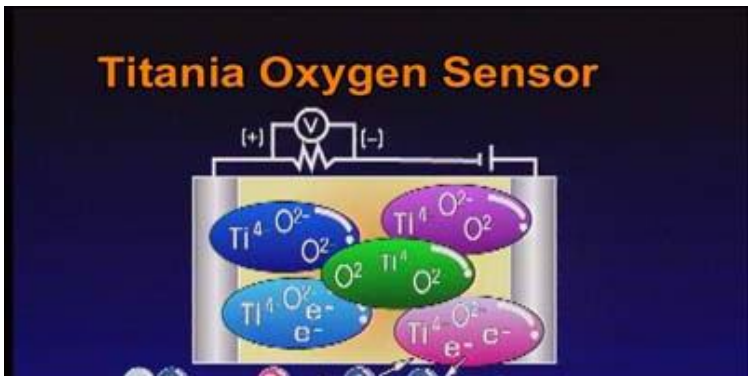
Gambar 9. Perubahan output sensor oksigen oleh temperature

Gambar tersebut mengilustrasikan tegangan yang berubah terhadap temperature. Temperatur efek yang besar pada karakteristik output sensor. Pada temperature di bawah 300 ^{0}C, output sensor berubah terhadap temperature dengan sangat cepat, dan susah digunakan mengontrol mesin. Di atas 300 ^{0}C, sensor membangkitkan tegangan yang stabil mendekati 900 mV untuk perbandingan yang kental, dan mendekati 100 mV untuk perbandingan yang encer.

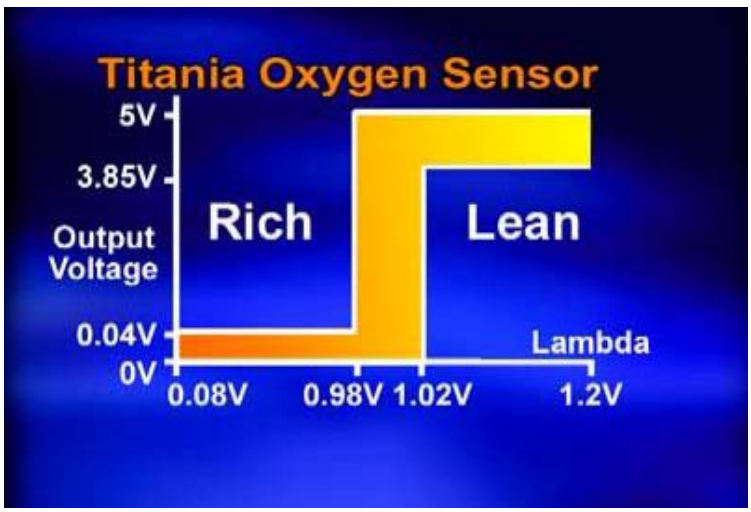
2) *TiO_2 Oxygen Sensor*

Konfigurasi dan karakteristik output dari sensor oksigen TiO_2. Sensor oksigen TiO_2 dibuat dari elemen TiO_2 pada tiap tiap ujung dari

insulator keramik. Sebagai tambahan, katalis platinum dan rhodium digunakan untuk meningkatkan performa sensor pada temperature gas pembuangan yang rendah. Sensor oksigen TiO_2 relies pada variasi resistansi listrik dari konduktor TiO_2 elektronik yang merespon tekanan parsial oksigen di sekitarnya.



Gambar 10. Konfigurasi dari *TiO_2 Oxygen Sensor*



Gambar 11. Karakteristik ouput dari *TiO_2 Oxygen Sensor*

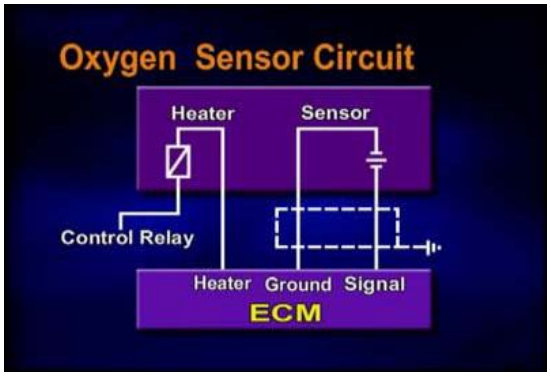
Sensor ini sebagaimana karakteristiknya dengan kecepatan perubahan resistansi pada titik perbandingan bahan bakar dan udara tertentu.

Tabel 1 : Perbandingan karakteristik sensor oksigen

Jenis / Item	Sensor Oksigen ZrO_2	Sensor Oksigen TiO_2
Prinsip	Daya konduksi Ion	Daya konduksi Elektronik
Output	Variasi Gaya Electromotive	Variasi besaran resistansi
Deteksi	Permukaan ZrO_2	Bagian dalam TiO_2
Keunggulan	Pemisahan antara gas buang dan gas standard	Pemberian elemen dalam gas emisi
Penambahan	Penambahan itrium untuk tujuan stabilitas	-
idle mileage	Pengaturan yang mudah	Pengaturan susah
Ketahanan	Jelek	Bagus
Tanggung jawab	Jelek	Bagus
Harga	Bagus	Jelek

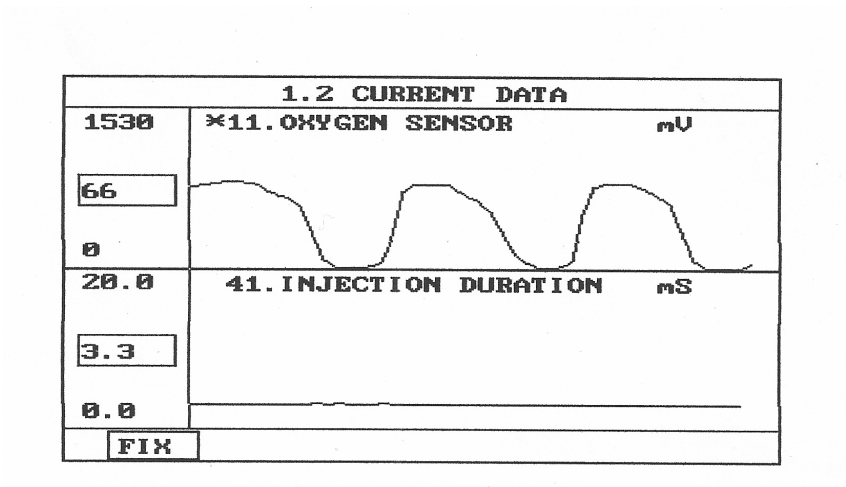
3) Pemeriksaan sensor oksigen

Contoh dari konfigurasi sirkuit dan terminal dari sensor oksigen dengan kabel pemanas yang *built-in*. Terminal 3 digunakan untuk *power supply* kabel pemanas, dan terminal 4 untuk ground kabel pemanas. Terminal 1 untuk output sensor oksigen dan terminal 2 untuk ground sensor oksigen.



Gambar 12. Konfigurasi sirkuit dan terminal dari sensor oksigen dengan kabel pemanas yang *built-in*

Pemeriksaan sensor oksigen meliputi pemeriksaan dasar pertama, berupa konektor hubungan dan pengkabelan rangkaian yang terhubung singkat atau hubung terbuka, dan setelahnya menganalisa bentuk gelombang dari sinyal output.



Gambar 13. Contoh bentuk gelombang output sensor oksigen

Gambar di atas adalah contoh bentuk gelombang output sensor oksigen. Variasi periodik normal antara di bawah mendekati 200 mV dan di atas mendekati 600 mV. Saat tidak ditemukan ketidak normalan tapi tegangan output sensor di luar nilai spesifikasi, periksa

item yang berhubungan dengan pengaturan perbandingan bahan bakar dan udara. Seperti, kerusakan injector, kebocoran udara pada gap gasket, kerusakan pada sensor jumlah pemasukan udara, kerusakan pada sensor temperature pemasukan udara, *sensor temperature coolant*, tekanan bahan bakar dll, di atas 0,5 V, ini menyiratkan pembakaran yang kental dan kemudian harus diperiksa kerusakan pada sensor jumlah pemasukan udara dan kebocoran injector. Jika rata-rata tegangan output di bawah 0,45 V, dia mengindikasikan pembakaran yang encer, perlu diperiksa kebocoran pada vacum dan kerusakan pada sensor.

Khususnya pada resistansi sensor oksigen ZrO_2 seharusnya tidak diperiksa secara langsung. Sebagaimana sensor oksigen itu sendiri membangkitkan tegangan. Pengukuran resitansi kemungkinan dapat merusak sensor. Untuk menentukan apakah sensor oksigen rusak, atau tegangan output oksigen tidak normal dengan kesalahan perbandingan bahan bakar dan udara, berikan 14 V pada terminal bagian *heater* sensor oksigen dan tunggu sekitar 1-2 menit dan kemudian baca tegangan output sensor, seharusnya 10-100 mV. Jika tegangan output ok, sensor oksigen mungkin saja normal, dan kemudian lanjutkan dengan memeriksa komponen lainnya. (Toyota Step 2,1994:62-71)

Gejala kegagalan :

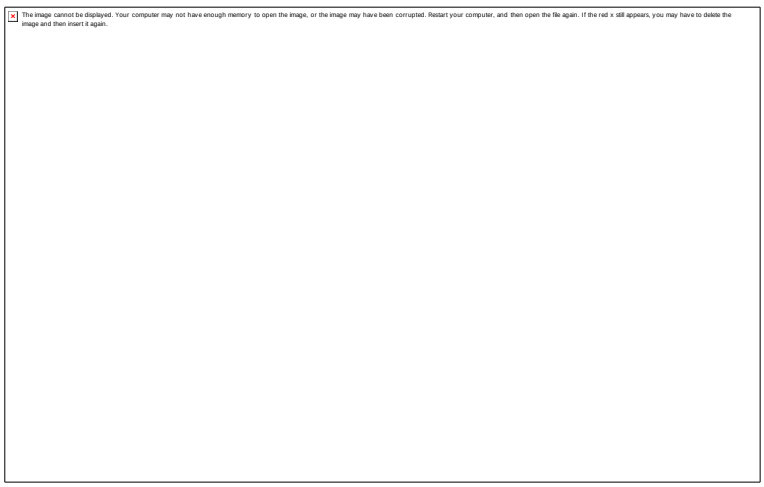
- Perbandingan bahan bakar dan udara yang salah.
- Kecepatan percepatan yang jelek, atau selama mengemudi percepatannya jelek atau mesin mati.
- Konsumsi bahan bakar lebih besar.
- Emisi HC dan CO yang lebih tinggi.

3. *Dynamometer*

Dynamometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur prestasi sebuah mesin. Menurut cara/metode pengukurannya, *dynamometer* dapat dibedakan menjadi 2 yaitu *engine dynamometer (ED)* dan *chassis dynamometer (CD).* Metode pengukuran dengan *dynamometer* pada tipe *ED*, poros *output* mesin dihubungkan langsung dengan *dynamometer* sedangkan untuk tipe *CD* pengujian dilakukan melalui roda penggerak kendaraan. Selanjutnya dalam waktu yang relatif singkat mesin dihidupkan sampai mencapai kecepatan putar maksimal. Besarnya hasil pengukuran dapat dilihat melalui monitor atau panel analog yang terdapat pada unit *dynamometer*. Penelitian ini menggunakan *dynamometer* tipe *ED*.

Pada prinsipnya, daya dan torsi dapat diukur dengan cara memberikan pembebanan pada mesin. Konsep pengukuran ini telah melahirkan berbagai jenis *dynamometer* dengan media pembebanan yang berbeda. Jenis itu adalah *rope* dan *prony brake dynamometer* yang bekerja dengan pembebanan dari gaya pengereman, *hydraulic dynamometer* dengan

pembebanan fluida, dan *electric dynamometer* dengan pembebanan fluksi magnet. (http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamometer)

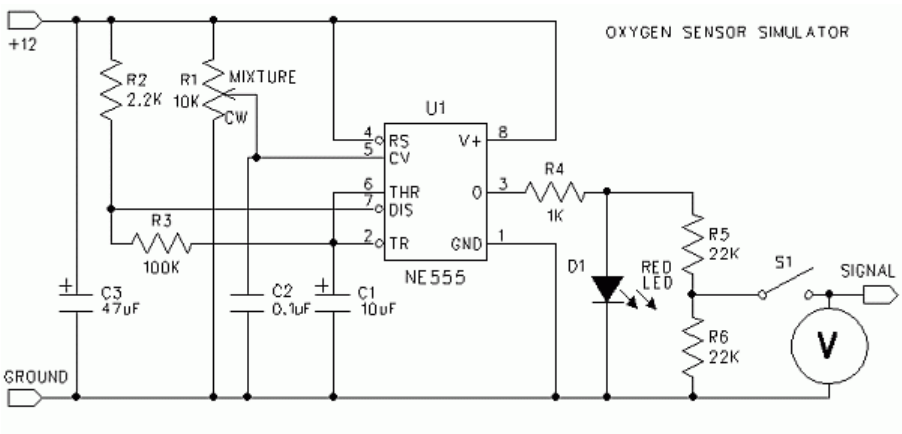


Gambar 14. *Dynamometer*

4. *Manipulator O_2 Sensor*

Manipulator adalah alat yang dipakai untuk memanipulasi suatu data. Dalam penelitian ini yang akan dimanipulasi adalah tegangan keluaran dari O_2 *sensor*. *Manipulator* O_2 *sensor* merupakan solusi untuk mengubah loop perbandingan udara dan bahan bakar. Pemasangan alat *manipulator* O_2 *sensor* adalah dengan melepas kabel O_2 *sensor* pada mesin dan menggantinya dengan rangkaian *manipulator* O_2 *sensor*. Alat ini bekerja dengan mengubah tegangan keluaran O_2 *sensor* dan memanipulasi ECU untuk menambah atau mengurangi injeksi bahan bakar. Tegangan keluaran tersebut akan dimanipulasi dengan variasi sebesar 20 mV, 40 mV, 60 mV, dan 80 mV. *Manipulator* O_2 *sensor* yang digunakan dalam penelitian ini adalah rangkaian hasil karya sendiri. Hal ini dikarenakan rangkaian ini belum diproduksi secara umum.

O_2 sensor yang rusak karena termakan usia atau karena kontaminasi timbal maupun karbon oli akan mengeluarkan sinyal yang tidak tepat, sehingga konsumsi bahan bakar akan menjadi boros dan tenaga mesin menurun. Performa sensor oksigen tentunya dipengaruhi umur pakainya. Semakin lama umur pemakaian, performanya akan menurun lantaran tebalnya kotoran yang menyelimuti permukaan sensor di ruang knalpot. Oleh karena itu, untuk mengatasi problem sensor oksigen tersebut, fungsi sensor dapat digantikan *manipulator O_2 sensor*. (*Elektronik Mobil* : 56-57)



Gambar 15. Rangkaian *Manipulator O_2 Sensor*

5. Performa

Performa yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah *specific power output* yang meliputi daya dan torsi. Secara prinsip dasar, prestasi sebuah motor dapat dilihat dari besar kecilnya tekanan hasil pembakaran antara campuran bahan bakar dan udara yang terjadi di dalam silinder pada saat langkah usaha. Makin besar tekanan pembakaran yang dihasilkan, maka makin besar pula tenaga dan torsi yang dihasilkan. Besar kecilnya tekanan hasil pembakaran ini dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya

diameter silinder, panjang langkah torak, perbandingan kompresi, efisiensi thermis dan efisiensi mekanis, nilai panas pembakaran serta banyaknya silinder yang bekerja. (Graham, Bell A. 1981. *Performance Tuning in Theory & Practice).*

a) Konsep pengukuran daya

Untuk mengangkat suatu benda dengan ketinggian atau jarak tertentu dibutuhkan kerja yang sama tanpa memperhatikan kerja tersebut dilakukan dalam 1 det, 1 jam maupun 1 tahun. Laju kerja yang dilakukan dalam satuan waktu disebut daya. Jadi jika ΔW dilakukan dalam selang waktu Δt maka daya rata-rata (P) dapat idefinisikan sebagai berikut :

Daya rata − rata = ——————

$$P = \frac{\Delta}{\Delta}$$

Daya motor diukur dari besarnya kerja yang dilakukan oleh motor tersebut pada waktu tertentu, umumnya daya dihitung dalam 1 detik 75 kg.m (1 *horse power*). Bila tenaga kuda adalah jumlah kerja motor yang disalurkan dalam waktu tertentu, torsi dapat dijadikan sebagai ukuran kerja yang dilakukan oleh suatu motor. Dalam menghitung daya motor biasanya daya *(horse power)* dinyatakan per detik, kecepatan putaran dinyatakan per menit, dan torsi dalam Nm sehingga dapat dituliskan dalam persamaan berikut :

P = ———

Keterangan :

P : Daya motor (Ps)

T : Torsi motor (kgf.m)

n : Putaran motor (rpm)

— : faktor konversi satuan kgf.m/s menjadi satuan Ps

— : faktor konversi kecepatan putar (rpm) menjadi kecepatan translasi (m/detik)

Berdasarkan rumus tersebut :

P = ———

T = ———

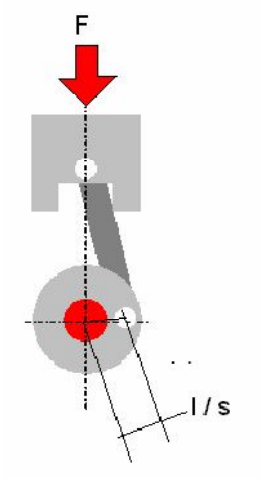
T = ———
,

Karena P dalam HP, maka *T* diubah dalam satuan *lbft* (*pound-feet*). Di mana 1 kg.m = 7,233 *lbft* maka :

T = ———
,

P = ———
, kemudian rumus disederhanakan sehingga menjadi :

P = ———
, atau biasa ditulis : $P_{\mathrm{hp}} = \frac{\tau_{\mathrm{lb\cdot ft}} \cdot \omega_{\mathrm{rpm}}}{5252}$



Gambar 16. Analogi kerja (W) yang identik dengan torsi (T) pada sebuah motor bakar *recyprocal*

Secara prinsip dasar, prestasi sebuah motor dapat dilihat dari besar kecilnya tekanan hasil pembakaran antara campuran bahan bakar dan udara yang terjadi di dalam silinder pada saat langkah usaha. Makin besar tekanan pembakaran yang dihasilkan, maka makin besar pula tenaga dan torsi yang dihasilkan. Besar kecilnya tekanan hasil pembakaran ini dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya; diameter silinder, panjang langkah torak, perbandingan kompresi, efisiensi thermis dan efisiensi mekanis, nilai panas pembakaran serta banyaknya silinder yang bekerja.

Daya yang dihasilkan oleh pembakaran gas disemua silinder dalam satuan waktu tersebut disebut sebagai daya indicator (*Ni*) yang apabila dikurangkan dengan kerugian-kerugian yang ada di dalam mesin (daya gesek (*Ng*) dan daya aksesoris (*Na*)) maka akan didapatkan daya efektif

(*Ne*). Daya efektif inilah yang ada pada poros *output* sebuah mesin. Secara teoritis hal itu dapat ditulis menjadi :

$$Ne = Ni - (Ng + Na)$$

$$Ni = Pi_{rata\text{-}rata}.VL.z.n.a.\frac{\quad}{\quad} \text{ .....(Ps) / Pferde stärke}$$

Keterangan:

$Pi_{rata\text{-}rata}$: tekanan efektif rata-rata (kg/cm^2)

VL : volume langkah torak per silinder (cm^3)

z : jumlah silinder

n : putaran poros engkol (rpm)

a : jumlah siklus per putaran (siklus/putaran)

——— : faktor konversi satuan, didapat dari ———

Metode pengukuran dengan menggunakan rumus ini cukup rumit karena harus dilakukan dengan sebuah *engine indicator* yakni sebuah alat pengukur tekanan pembakaran (*Pi*), itupun hasilnya belum sepenuhnya valid karena masih menggunakan teknik perkiraan untuk mengukur luasan grafik yang dihasilkannya. Sebagai gantinya maka dipergunakanlah rumus:

$$Ne : \frac{\quad}{\quad} \text{ x T x } \frac{\quad}{\quad} \text{ ..... (Ps)}$$

T : torsi/momen putar, kg.m

n : putaran mesin per menit

— : faktor konversi ke satuan SI

— : faktor konversi dari menit ke detik

Daya efektif (*Ne*) merupakan daya yang terpakai dan sampai di poros *output* mesin, sehingga dilihat dari kevalidannya maka pengukuran ini lebih valid jika dibandingkan dengan pengukuran daya dengan menggunakan daya indikator (*Ni*). Secara praktis hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan sebuah alat pengukur tenaga atau disebut *dynamometer*. Data tekanan pembakaran (*P*) dapat diketahui dari besarnya torsi/momen (*T*) yang terukur oleh alat ukur ini. Hubungan antara P dan T tersebut dapat ditulis sebagai berikut:

$$P = F \times A \quad \text{dan} \quad T = F \times r$$

Dimana :

F : gaya

A: luasan bidang tekan (dalam hal ini berarti luasan kepala piston)

r : jari-jari engkol

Sehingga jika A dan F sudah diketahui maka secara otomatis besarnya P dapat diketahui pula. (Naela Fadlil, Skripsi : 2007)

b) Konsep pengukuran torsi

Torsi adalah gaya puntir atau gaya putar. Dalam hal ini, gaya torsi digunakan dalam putaran mesin. Di dalam sebuah mesin gaya puntir mempunyai peranan yang sangat penting, karena di dalam mesin terjadi putaran yang sangat cepat. Pada umumnya suatu mesin mempunyai torsi maksimum pada putaran mesin menengah yaitu antara 4000 - 6000 rpm.

Torsi merupakan perkalian antara gaya (F) dikalikan dengan jari-jari (r). F dapat dianalogikan sebagai tekanan hasil pembakaran pada torak, sedangkan r merupakan jari-jari poros engkol. Hal ini berarti bahwa besarnya torsi motor dipengaruhi oleh dua hal pokok yaitu F dan jari-jari r. Besarnya F sangat dipengaruhi oleh kesempurnaan pembakaran di dalam silinder, makin sempurna pembakaran di dalam sebuah motor, maka gaya tekan (F) yang dihasilkan makin besar pula sehingga torsi yang terbangkit akan semakin maksimal. Secara matematis, hal itu dapat ditulis:

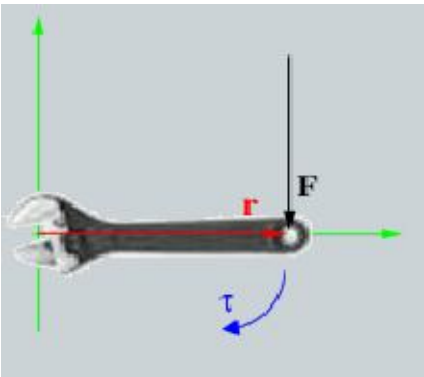
$$T = F \cdot r$$

Keterangan :

T : Torsi (kgf.m)

F : Gaya (kgf)

r : panjang lengan (m)



Gambar 17. Konsep torsi

Pada dasarnya, daya dalam sebuah mesin merupakan perkalian antara torsi dan kecepatan putar mesin dalam revolution per minute (rpm). (http://.wikipedia.org/power.2/12/2006). Jika gaya diberikan

sepanjang jarak tertentu, maka hal ini sama dengan memberikan kerja sepanjang jarak gaya tersebut diberikan. Apabila gaya tersebut diberikan terhadap satuan jarak rotasi (r), maka dihasilkan torsi. Padahal daya adalah kerja persatuan waktu. Jika hal ini dihubungkan dengan torsi, maka dihasilkan :

$$P = T \cdot n$$

P : power (hp, dimana 1 hp = 75 kg.m/s)

T : torsi (kg.m)

n : jumlah putaran mesin per menit (rpm)

Namun dalam perhitungan nanti harus dilakukan konversi satuan agar diperoleh daya dengan satuan HP (*horse power*) yang sesuai dengan spesifikasi mesin dari pabrik, maka hubungan antara daya dan torsi dituliskan dalam rumus :

$$P_{\mathrm{hp}} = \frac{\tau_{\mathrm{lb\cdot ft}} \cdot \omega_{\mathrm{rpm}}}{5252}$$

Dimana:

P_{hp} : daya dalam satuan HP (*horse power*)

$\tau_{\mathrm{lb\cdot ft}}$: torsi dalam satuan lb.ft (*pound-feet*)

ω_{rpm} : putaran mesin dalam rpm (*revolutions per minute*)

(http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamometer)

Secara praktis, hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan sebuah alat pengukur tenaga atau disebut *dynamometer*. Akan tetapi harga yang sangat mahal menyebabkan *dynamometer* hanya dapat dimiliki oleh perusahaan

otomotif ataupun bengkel modern. Padahal peranan alat ukur ini sangat penting bagi kalangan pendidikan, peneliti, bengkel sampai kalangan *tuner* yang digunakan untuk mendapatkan data-data mesin yang sangat dibutuhkan sesuai dengan kepentingannya. Karena keterbatasan alat dan untuk pengembangan laboratorium, maka pengujian daya dan torsi mesin pada penelitian ini dilakukan menggunakan *dynamometer* hasil karya sendiri. Pengujian dilakukan pada putaran mesin 800 rpm, 1200 rpm, 1600 rpm, dan 2000 rpm.

B. KERANGKA BERFIKIR

Mesin dari pabrikan atau lebih dikenal dengan sebutan mesin standart telah melalui berbagai perhitungan dalam proses pembuatannya sehingga dihasilkan mesin dengan kualitas yang baik. Namun, setiap mesin pasti memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing. Dalam perkembangannya tidak sedikit dari para teknisi mekanik yang melakukan modifikasi dengan tujuan untuk meningkatkan performa mesin tersebut.

Penelitian ini menggunakan mesin toyota starlet jenis GT Turbo 4E-FTE dimana sistem penginjeksian bahan bakarnya menggunakan sistem EFI *(Electronik Fuel Injection)*. Penginjeksian bahan bakar diatur oleh ECU *(Electronik Control Unit)*. Pada sistem EFI banyak sekali terdapat sensor, salah satu yang terpenting adalah O_2 *sensor* yang dipasang pada saluran gas buang. Jika diketahui kadar oksigen yang terkandung pada gas buang tidak pas, maka ECU akan mengoreksinya secara otomatis.

O_2 sensor akan mendeteksi kadar oksigen yang terkandung dalam gas buang agar dapat mengetahui apakah campuran terlalu gemuk atau kurus. *O_2 sensor* ini akan membangkitkan tegangan yang besarnya tergantung pada konsentrasi oksigen pada emisi gas buang. Jika konsentrasi oksigen adalah rendah (campuran bahan bakar terlalu gemuk) tegangan yang dibangkitkan akan menjadi lebih tinggi. Demikian sebaliknya, jika campuran bahan bakar dan udara terlalu kurus maka tegangan yang akan dihasilkan juga semakin rendah. (Toyota Step 2, 1994 : 63).

O_2 sensor akan menyampaikan sinyal tegangan pada ECU, kemudian ECU akan memerintahkan injektor untuk menyuplai bahan bakar sesuai dengan kebutuhan mesin. Pada mesin standart, *O_2 sensor* akan menghasilkan tegangan output antara 30-50 mV. Oleh karena itu, untuk meningkatkan performa dicoba dengan menggunakan *manipulator O_2 sensor* yang bekerja dengan mengubah-ubah besarnya tegangan output. Tegangan output tersebut akan dimanipulasi sebesar 20 mV, 40 mV, 60 mV, dan 80 mV. Dengan perubahan tegangan output, akan memanipulasi ECU untuk menambah atau mengurangi bahan bakar. Alat ini akan memanipulasi perbandingan massa oksigen dan bahan bakar dari keadaan standar.

O_2 sensor yang rusak karena termakan usia atau karena kontaminasi timbal maupun karbon oli akan mengeluarkan sinyal yang tidak tepat, sehingga konsumsi bahan bakar akan menjadi boros dan tenaga menjadi kendor. Performa sensor oksigen tentunya dipengaruhi umur pakainya. Semakin lama umur pemakaian, performanya akan menurun lantaran tebalnya kotoran yang

menyelimuti permukaan sensor di ruang knalpot. Oleh karena itu, untuk mengatasi problem sensor oksigen tersebut, fungsi sensor dapat digantikan oleh *manipulator* O_2 *sensor*. (*Elektronik Mobil* : 56-57)

Setelah melakukan pengaplikasian *manipulator* O_2 *sensor*, kemudian akan dilakukan uji performa pada mesin tersebut sehingga dapat diketahui besarnya daya dan torsi mesin. Pengujian performa ini menggunakan alat *dynamometer*. Dari pengujian ini akan diperoleh data berupa torsi dan rpm sehingga daya mesin dapat diketahui melalui perhitungan menggunakan rumus yaitu perkalian antara torsi dan rpm. Pengujian performa mesin ini akan dilakukan pada putaran 800 rpm, 1200 rpm, 1600 rpm, dan 2000 rpm.

Salah satu alasan utama pengaplikasian *manipulator* O_2 *sensor* ini adalah untuk memberikan variasi pada mesin sehingga dapat mengetahui performa mesin yang terbaik. Dengan memberikan variasi tegangan keluaran O_2 *sensor* ini diharapkan dapat memberikan pengaruh positif terhadap performa mesin sehingga nantinya dapat diaplikasikan pada mesin mobil balap. Namun, tidak menutup kemungkinan untuk dikembangkan lagi agar dapat diaplikasikan pada semua jenis mesin.

Peneliti ingin mengetahui apakah dengan pengaplikasian *manipulator* O_2 *sensor* berpengaruh terhadap performa mesin. Hal ini akan terlihat ketika membandingkan hasil pengujian performa mesin dalam keadaan standar dan mesin yang sudah dimodifikasi dengan pengaplikasian *manipulator* O_2 *sensor*.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. DESAIN PENELITIAN

Desain penelitian yang digunakan adalah eksperimental karena pada dasarnya penelitian ini dilakukan untuk menguji/mengecek suatu gejala yang dapat terukur. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang, khusus dalam penelitian ini dengan menekankan pada subyek uji performa mesin. Rancangan percobaan memerlukan langkah-langkah atau tindakan yang tersusun secara sistematis sehingga informasi yang diperlukan untuk menjawab permasalahan yang diteliti dapat terkumpul dengan baik.

Desain eksperimen merupakan suatu rancangan percobaan (dengan tiap langkah yang benar-benar terdefinisi) sedemikian sehingga informasi yang berhubungan dengan atau diperlukan untuk persoalan yang sedang diteliti dapat dikumpulkan. (Sudjana, 2002).

B. VARIABEL PENELITIAN

Variabel adalah objek penelitian yang bervariasi (Arikunto, 1998). Variabel yang di ambil dari judul "PENGARUH PENGAPLIKASIAN MANIPULATOR O_2 *SENSOR* TERHADAP PERFORMA MESIN TURBO 4E-FTE" adalah:

a. Varibel bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah tegangan keluaran O_2 *sensor* dalam satuan mV dan putaran mesin dalam revolution per minute (rpm).

b. Variabel terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah daya dan torsi dari mesin turbo 4E-FTE.

c. Variabel kontrol

Variabel kontrol adalah faktor lain di luar variabel penelitian yang diteliti, tetapi dapat mempengaruhi hasil penelitian. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah jenis dan kualitas bahan bakar, suhu ruang uji. Jenis bahan bakar yang digunakan untuk pengujian adalah pertamax plus yang diperoleh dari salah satu SPBU agar diperoleh kualitas bahan bakar yang sama. Sedangkan suhu ruang uji ditentukan dengan mengambil waktu penelitian yang sama yaitu pada pagi hari sehingga akan didapat suhu ruang uji yang sama.

C. ALAT DAN BAHAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

a. *Engine* Toyota Starlet GT Turbo 4E-FTE dengan spesifikasi :

Engine	4E-FTE L4 1331cc EFI DOHC 16valve
Aspiration	Toyota ct-9 Turbocharger (CT-9A)
Output	133hp @ 6400rpm (100kw @6400rpm)
Torque	16.0kgm @ 4800rpm (157Nm@4800rpm)

Redline	7200 rpm
Boost Settings	(Dual-mode Turbo) 0.40bar (@6psi) @ LO setting0.65bar (@9.5psi) @ HI setting
Compression Ratio	8.2:1
Bore & Stroke	74 x 77.4
Injectors	4 x 295cc/min
Turbo Model	CT-9
Factory Boost	0.40bar(5psi)Lo - 0.65bar(9psi)Hi

Alat-alat yang digunakan adalah :

A. Alat uji *dynamometer*

B. Tool set

C. Voltmeter

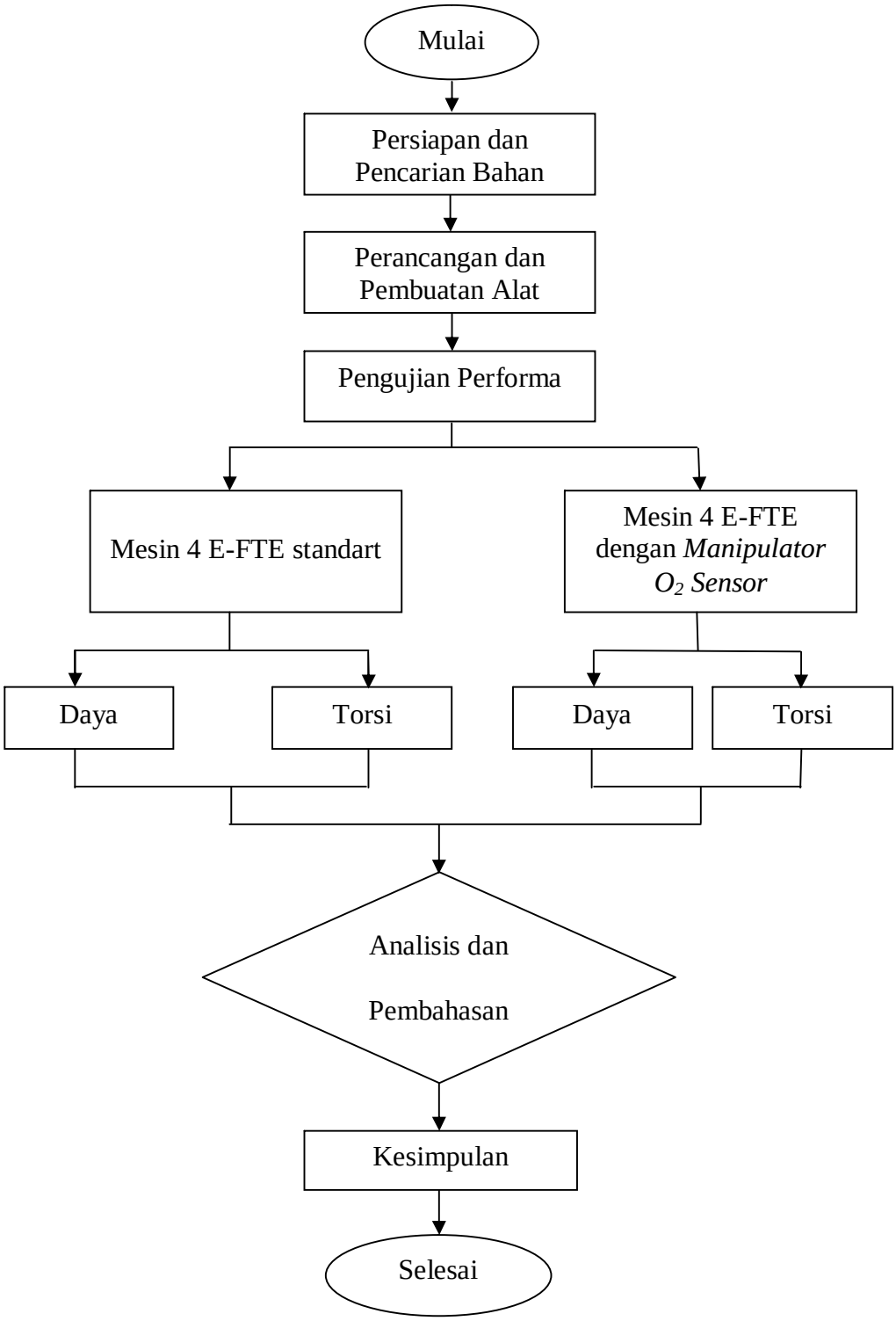
D. *Manipulator O_2 sensor*

D. WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada bulan Oktober 2010 sampai dengan bulan Juli 2011. Adapun pelaksanaanya adalah sebagai berikut :

1. Proses perakitan mesin 4E-FTE dilakukan di laboratorium otomotif UNNES.
2. Proses pembuatan alat *manipulator O_2 sensor* dilakukan di Indoware, Gunung Pati Semarang.
3. Proses pengujian performa mesin dilakukan di DPPKKI Kabupaten Blora.

E. ALUR PENELITIAN



Gambar 18. Diagram alur Penelitian

F. PROSEDUR PENELITIAN

a) Persiapan

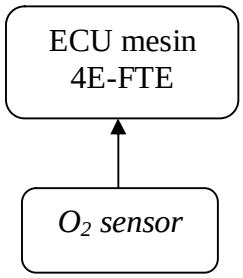
a. Perakitan mesin

Mesin 4E-FTE dibuat menjadi engine stand tanpa dilengkapi dengan transmisi, dan AC. Kondisi mesin dalam keadaan standar.

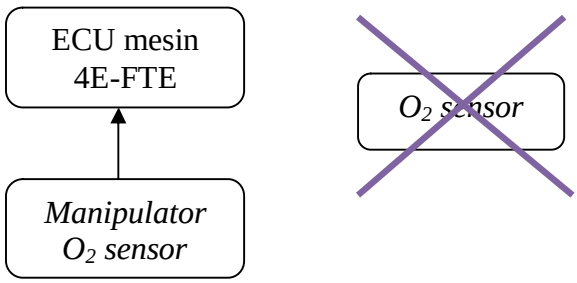
b. Pembuatan alat *manipulator* O_2 *sensor*

Pembuatan alat *manipulator* O_2 *sensor* untuk memanipulasi data yang ada dengan menaikkan tegangan keluaran dari O_2 *sensor*. Alat ini mengeluarkan arus antara 0-100 mV dan dapat diubah ubah menurut kebutuhan.

Alat ini dikontrol secara manual dengan memutar variabel resistor dan outputnya dipantau oleh voltmeter digital. Skema pemasangan dari alat tersebut adalah :



Gambar 19. Skema rangkaian O_2 *sensor* mesin 4E-FTE standart



Gambar 20. Skema rangkaian O_2 *sensor* mesin 4E-FTE modifikasi

b) Pelaksanaan

a. Proses pemasangan alat *manipulator* O_2 *sensor*

Pemasangan alat ini dengan mengaplikasikan alat *manipulator* pada ECU mesin 4E-FTE sebagai pengganti O_2 *sensor*. Dengan melepas kabel O_2 *sensor*, kemudian kabel dari komputer mesin dihubungkan dengan manipulator. Variasi tengangan keluaran dari *manipulator* O_2 *sensor* sebesar 20 mV, 40 mV, 60 mV, dan 80 mV diukur dengan menggunakan Voltmeter digital agar diperoleh data yang lebih akurat.

b. Proses pengujian performa mesin

Pengujian performa mesin ini dengan menggunakan alat *dynamometer*. Dengan menggunakan alat ini akan diperoleh data torsi dalam kg.m dan rpm. Sedangkan daya mesin diperoleh dengan cara menghitung menggunakan rumus. Pengujian dilakukan enam kali. Tiga kali pengujian pada mesin yang memakai *manipulator* O_2 *sensor* dan tiga kali pada mesin standar tanpa modifikasi.

c) Teknik pengambilan data

Data yang diambil adalah hasil dari pengamatan alat *dynamometer* dari pengujian mesin standar dan mesin yang telah dimodifikasi dengan *manipulator* O_2 *sensor* yang kemudian hasilnya nanti akan dianalisis dengan membandingkan keduanya.

Tabel 2: Lembar observasi perbandingan performa mesin

Putaran Mesin (rpm)	Mesin 4 E-FTE O_2 *sensor* standar								Mesin 4 E-FTE dengan *manipulator* O_2 *sensor*								
	Daya (HP)				Torsi (kg.m)				Variasi Tegangan (mV)	Daya (HP)				Torsi (kg.m)			
	1	2	3	⁻	1	2	3	⁻		1	2	3	⁻	1	2	3	⁻
800									20								
									40								
									60								
									80								
1200									20								
									40								
									60								
									80								
1600									20								
									40								
									60								
									80								
2000									20								
									40								
									60								
									80								

G. ANALISIS DATA

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif yang dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian performa mesin antara mesin 4E-FTE keadaan standar dengan mesin 4E-FTE yang sudah dimodifikasi dengan pengaplikasian *manipulator* O_2 *sensor*.

Data hasil pengujian performa mesin antara mesin 4E-FTE keadaan standar dengan mesin 4E-FTE yang sudah dimodifikasi dengan pengaplikasian *manipulator* O_2 *sensor* dibuat dalam grafik.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Data hasil penelitian diperoleh dari uji performa mesin dengan menggunakan *dynamometer*. Data yang diperoleh berupa data numerik, jadi dapat langsung mengetahui seberapa besar rpm dan torsi yang dimiliki oleh mesin yang diuji. Sedangkan daya mesin diperoleh melalui perhitungan dengan menggunakan rumus perhitungan daya.

Pada penelitian ini, pengambilan data dilakukan pada putaran mesin 800 rpm, 1200 rpm, 1600 rpm, dan 2000 rpm. Pertama, pengujian performa mesin dilakukan pada keadaan mesin standart masih menggunakan *manipulator* O_2 *sensor*. Kemudian melakukan variasi dengan mengganti O_2 *sensor* dengan rangkaian *manipulator* O_2 *sensor*. Dengan rangkaian ini, tegangan output akan dimanipulasi sebesar 20 mV, 40 mV, 60 mV, dan 80 mV.

Pengolahan data hasil pengujian, penulis melakukan penjumlahan hasil tiga kali pengujian pengujian, kemudian diambil rata-ratanya. Selanjutnya data tersebut dibandingkan dan dibuat dalam bentuk grafik.

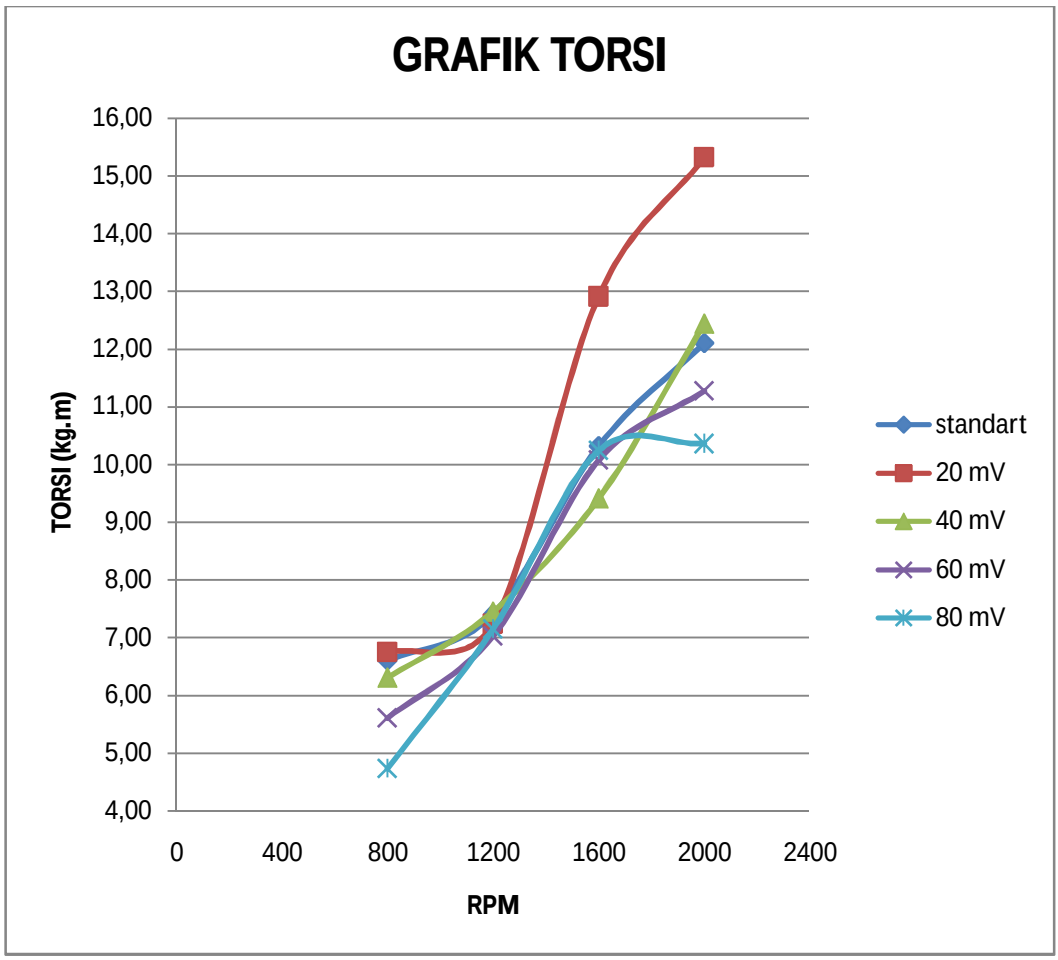
Tabel 3. Hasil Pengujian Torsi dan Daya Mesin Dengan Menggunakan *Dynamometer*.

Putaran Mesin (rpm)	Mesin 4E-FTE dengan O_2 *sensor* standart								Mesin 4E-FTE dengan *manipulator* O_2 *sensor*								
	Torsi (kg.m)				Daya (hp)				Variasi Tegangan (mV)	Torsi (kg.m)				Daya (hp)			
	1	2	3	¯	1	2	3	¯		1	2	3	¯	1	2	3	¯
800	6,60	6,64	6,60	6,61	7,45	7,41	7,45	7,44	20	6,68	6,76	6,80	6,75	7,82	7,54	7,61	7,66
									40	5,12	6,88	6,92	6,31	6,02	8,11	8,40	7,51
									60	4,36	6,24	6,24	5,61	4,94	7,26	7,36	6,52
									80	2,60	5,80	5,80	4,73	2,91	6,53	7,00	5,48
1200	7,20	7,48	7,52	7,40	11,60	12,80	13,00	12,47	20	7,88	6,80	7,04	7,24	13,35	11,56	12,03	12,31
									40	7,32	7,48	7,56	7,45	12,97	12,08	13,25	12,77
									60	6,24	7,28	7,56	7,03	10,17	11,97	12,93	11,69
									80	6,76	7,24	7,44	7,15	11,45	12,49	12,91	12,28
1600	10,08	10,20	10,68	10,32	22,16	22,52	23,84	22,84	20	11,28	11,92	15,52	12,91	24,68	26,23	34,39	28,44
									40	10,96	7,72	9,56	9,41	25,22	17,03	22,03	21,43
									60	10,04	10,04	10,16	10,08	21,42	21,63	23,05	22,03
									80	10,12	10,28	10,32	10,24	22,16	23,01	23,64	22,93
2000	11,92	12,04	12,36	12,11	32,65	33,31	34,25	33,40	20	15,32	15,32	15,32	15,32	41,92	43,74	43,91	43,19
									40	14,68	9,20	13,44	12,44	40,17	25,56	37,96	34,56
									60	11,12	11,32	11,40	11,28	30,38	31,48	32,01	31,29
									80	10,32	10,36	10,40	10,3	28,61	29,13	29,79	29,18

Tabel 4 : Perbandingan Torsi

RPM	TORSI (kg.m)				
	standart	20 mV	40 mV	60 mV	80 mV
800	6,61	6,75	6,31	5,61	4,73
1200	7,40	7,24	7,45	7,03	7,15
1600	10,32	12,91	9,41	10,08	10,24
2000	12,11	15,32	12,44	11,28	10,36

Berdassarkan tabel tersebut maka dapat dibuat dalam bentuk grafik sebagai berikut :

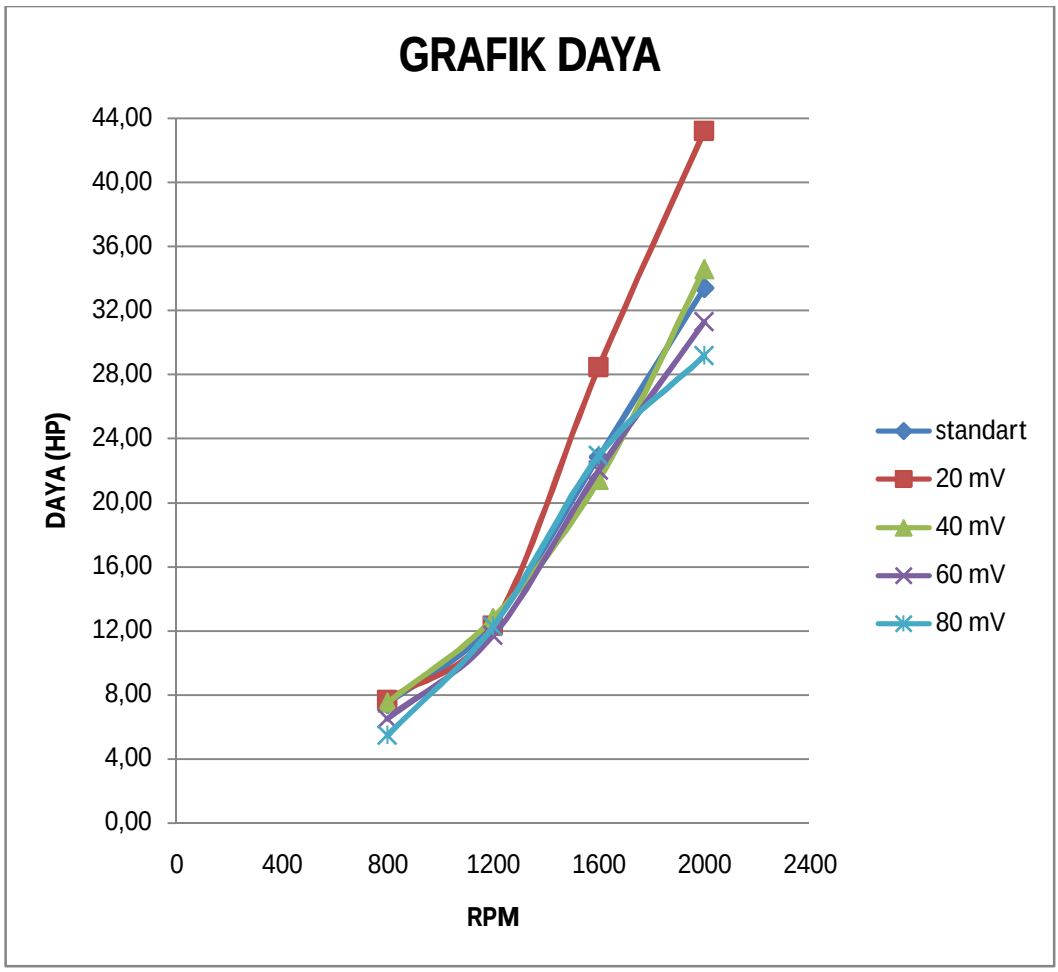


Gambar 21. Grafik Perbandingan Torsi

Tabel 5 : Tabel Perbandingan Daya

RPM	DAYA (HP)				
	Standart	20 mV	40 mV	60 mV	80 mV
800	7,44	7,66	7,51	6,52	5,48
1200	12,47	12,31	12,77	11,69	12,28
1600	22,84	28,44	21,43	22,03	22,93
2000	33,40	43,19	34,56	31,29	29,18

Berdassarkan tabel tersebut, maka dapat dibuat dalam bentuk grafik sebagai berikut :



Gambar 22. Grafik Perbandingan Daya

Tabel 6 : Spesifikasi Toyota Starlet

Engine	4E-FTE L4 1331cc EFI DOHC 16valve
Aspiration	Toyota ct-9 Turbocharger (CT-9A)
Output	133hp @ 6400rpm (100kw @6400rpm)
Torque	16.0kgm @ 4800rpm (157Nm@4800rpm)
Redline	7200 rpm
Boost Settings	(Dual-mode Turbo) 0.40bar (@6psi) @ LO setting0.65bar (@9.5psi) @ HI setting
Compression Ratio	8.2:1
Bore & Stroke	74 x 77.4
Injectors	4 x 295cc/min
Turbo Model	CT-9
Factory Boost	0.40bar(5psi)Lo - 0.65bar(9psi)Hi

Gambar 23. Grafik Hasil Pengukuran Torsi Dan Daya Pada

Mesin Toyota Starlet Standart Pabrikan (http://s0nic.net)

B. Pembahasan

Pada *dynamometer* buatan peneliti, data yang dihasilkan hanya berupa data *load cell* dalam mV dan putaran mesin dalam rpm. Data *load cell* dan putaran mesin diperoleh dari pembacaan *microprosesor* yang dihubungkan pada *dynamometer*. Sedangkan daya mesin diperoleh dari perhitungan manual dengan menggunakan rumus yaitu perkalian antara torsi dan rpm.

Data yang dihasilkan dari *dynamometer* yang berupa data numerik yang dapat dilihat langsung tegangan *load cell* dan putaran yang dihasilkan oleh mesin yang diuji. Tegangan *load cell* merupakan beban yang diberikan oleh putaran mesin. Dari pengujian performa mesin diperoleh data berupa :

- Putaran mesin dalam rpm.
- Lengan torsi sebesar 50 cm atau 0,5 m.
- Beban mesin yang berupa sinyal tegangan pada load cell dalam mV.

Sedangkan besarnya torsi dan daya diperoleh dari perhitungan sebagai berikut :

1. Mengukur tegangan *load cell* awal tanpa beban. Dari hasil pengukuran diperoleh tegangan *load cell* sebesar 1200 mV.
2. Memberikan pembebanan pada *load cell* sesuai dengan besarnya rpm.
3. Hasil dari pembebanan dikurangi tegangan *load cell* awal agar diperoleh besarnya gaya yang diberikan pada mesin.
4. Gaya yang besarnya ditentukan dalam mV dikonversikan dalam satuan kg agar dapat digunakan untuk menghitung besarnya torsi. Untuk mengkonversikan dalam satuan kg perlu mencari konstanta sebagai faktor

pengali. Dari percobaan dengan pembebanan 1 kg diperoleh tegangan *load cell* sebesar 12,5 mV sehingga dapat dituliskan :

$$1 \text{ kg} = 12{,}5 \text{ mV}$$

$$\text{maka,} \qquad 1 \text{ mV} = \frac{\quad}{} = 0{,}08 \text{ kg}$$

Jadi besarnya konstanta adalah sebesar 0,08. Maksudnya tiap beban 1 mV akan sama dengan 0,08 kg.

5. Setelah diperoleh gaya dalam satuan kg kemudian menghitung besarnya torsi menggunakan rumus :

$$T = F \cdot r$$

dimana : T = Torsi (kg.m)

F = Gaya (kg)

r = panjang lengan (m)

6. Kemudian besarnya torsi dalam kg.m dikonversikan menjadi satuan lb.ft (dengan 1 kg.m = 7,233 lb.ft).
7. Menghitung besarnya daya menggunakan rumus :

$$P_{\text{hp}} = \frac{\tau_{\text{lb·ft}} \cdot \omega_{\text{rpm}}}{5252}$$

Dimana :

P_{hp} = daya dalam satuan HP (*horse power*)

$\tau_{\text{lb·ft}}$ = torsi dalam satuan lb.ft (*pound-feet*)

ω_{rpm} = putaran mesin dalam rpm (*revolutions per minute*)

Berikut ini merupakan perhitungan torsi dan daya mesin hasil dari penelitian.

Diketahui : panjang lengan (r) = 0,5 meter

putaran mesin (*w*) = 810 rpm

voltase *load cell* awal tanpa beban = 1200 mV

voltase *load cell* setelah dibebani = 1366 mV

Ditanya : a) torsi (*T*)

b) daya (*P*)

Jawab : - Selisih voltase *load cell* : 1366 mV – 1200 mV = 166 mV

- Dengan konstanta 1 mV = 0,08 kg

maka dapat diketahui besarnya gaya F = 166 x 0,08 = 13,28 kg

a) Besarnya torsi dapat dihitung menggunakan rumus :

T = F x r

= 13,28 kg x 0,5 m

= 6,64 kg.m

- Untuk menghitung daya dalam satuan HP, maka torsi harus diubah menjadi satuan *pound-feet* (ft.lb) di mana 1 kg.m = 7,233 ft.lb sehingga *T* = 6,64 x 7,233 = 48,03 ft.lb

b) Besarnya daya dapat dihitung menggunakan rumus :

$$P_{\mathrm{hp}} = \frac{\tau_{\mathrm{lb\cdot ft}} \cdot \omega_{\mathrm{rpm}}}{5252}$$

= ,

= 7,41 HP (data selengkapnya lihat di lampiran)

1. Torsi

Dari tabel 3 dapat dilihat besarnya torsi pada pengujian dengan putaran mesin 800 rpm, 1200 rpm, 1600 rpm, dan 2000 rpm. Hal ini akan lebih jelas jika meruntut pada grafik yang melukiskan kondisi torsi yang terukur. Berdasarkan pada grafik tersebut dapat dilakukan analisis bahwa torsi akan cenderung meningkat sejalan dengan kenaikan putaran mesin, sehingga torsi terbesar akan diperoleh pada *rpm* tertinggi. Namun pada kenyataannya setiap mesin memiliki batas limit yang mengakibatkan pada rpm tertentu akan terjadi penurunan torsi mesin yang disebut puncak torsi.

Analisis pada *dynamometer* bahwa pengukuran torsi dilakukan dengan cara mengkonversikan pembebanan dinamis yang terjadi pada *gear pump* menjadi tekanan statis pada *load cell*. Besarnya tekanan *load cell* ini kemudian dikonversikan menjadi satuan kg yaitu dengan mengalikan dengan konstantanya sebesar 0,08.

Berdasarkan rumus torsi; T = F x r, dimana T : Torsi (kg.m), F : Gaya (kg), r : panjang lengan (m). Dengan panjang lengan (r) yang tetap yaitu sebesar 50 cm atau 0,5 m maka gaya tekan statis (F) pada *load cell* menjadi faktor penentu besarnya torsi yang terukur pada alat uji. Semakin besar voltase *load cell* yang dihasilkan, maka torsi yang dihasilkan juga bertambah besar.

2. Daya

Daya adalah usaha per satuan waktu. Daya pada mesin secara garis besar mempunyai dua komponen pokok yaitu besarnya torsi mesin dan putaran dari mesin itu sendiri. Faktor putaran yang dihasilkan mesin memegang

peranan penting sehingga daya maksimal pada mesin akan tercapai pada putaran mesin yang lebih tinggi. Hal ini sangat beralasan karena meruntut pada rumus daya :

$$P_{\mathrm{hp}} = \frac{\tau_{\mathrm{lb\cdot ft}} \cdot \omega_{\mathrm{rpm}}}{5252}$$

Dimana:

P_{hp} : daya dalam satuan HP (*horse power*)

$\tau_{\mathrm{lb\cdot ft}}$: torsi dalam satuan lb.ft (*pound-feet*)

ω_{rpm} : putaran mesin dalam rpm (*revolutions per minute*)

Berdasarkan rumus tersebut, maka dapat diambil kesimpulan jika torsi yang dibangkitkan besar dan putaran juga besar maka daya yang dihasilkan akan maksimal. Namun pada kenyataannya setiap mesin memiliki batas limit yang mengakibatkan pada rpm tertentu akan terjadi penurunan daya mesin yang disebut puncak daya.

Dalam *dynamometer*, data yang dihasilkan hanya berupa data voltase *load cell* dalam mV dan putaran mesin dalam rpm. Kemudian data *load cell* dikonversikan dalam satuan kg dengan mengalikan konstantanya sebesar 0,08. Data torsi (T) diperoleh dari perkalian data *load cell* dengan panjang lengan, sedangkan data putaran mesin (rpm) diperoleh dari pembacaan *tachometer*. Data daya diperoleh dari perhitungan menggunakan rumus di atas, namun sebelumnya satuan torsi yaitu kg.m dikonversikan menjadi lb.ft terlebih dahulu agar diperoleh daya dengan satuan HP (*horse power*). Namun, pada penelitian ini tidak dapat mengukur torsi dan daya pada rpm yang lebih tinggi karena *dynamometer* yang digunakan tidak mampu menerima beban yang terlalu

tinggi. Hal ini mengakibatkan tidak bisa tercapai grafik torsi dan daya yang sempurna sehingga tidak dapat diketahui titik puncak torsi dan daya mesin.

1.1 Analisis perbedaan torsi mesin antara hasil pengujian mesin menggunakan *O_2 sensor* standart dan mesin menggunakan *manipulator O_2 sensor* pada putaran mesin 800 rpm

a. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 20 mV pada putaran mesin 800 rpm torsinya sebesar 6,75 kg.m. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 800 rpm torsinya sebesar 6,61 kg.m. Selisih torsi antara mesin dengan manipulasi 20 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 0,14 kg.m. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 20 mV pada putaran mesin 800 rpm terjadi peningkatan torsi sebesar 2,12 %.

b. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 40 mV pada putaran mesin 800 rpm torsinya sebesar 6,31 kg.m. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 800 rpm torsinya sebesar 6,61 kg.m. Selisih torsi antara mesin dengan manipulasi 40 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 0,30 kg.m. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 40 mV pada putaran mesin 800 rpm terjadi penurunan torsi sebesar 4,54 %.

c. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 60 mV pada putaran mesin 800 rpm torsinya sebesar 5,61 kg.m. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 800 rpm torsinya sebesar 6,61 kg.m. Selisih torsi antara mesin dengan manipulasi 60 mV dan mesin pada

keadaan standart sebesar 1,00 kg.m. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 60 mV pada putaran mesin 800 rpm terjadi penurunan torsi sebesar 15,13 %.

d. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 80 mV pada putaran mesin 800 rpm torsinya sebesar 4,73 kg.m. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 800 rpm torsinya sebesar 6,61 kg.m. Selisih torsi antara mesin dengan manipulasi 80 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 1,88 kg.m. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 80 mV pada putaran mesin 800 rpm terjadi penurunan torsi sebesar 28,44 %.

1.2 Analisis perbedaan torsi mesin antara hasil pengujian mesin menggunakan *O_2 sensor* standart dan mesin menggunakan *manipulator O_2 sensor* pada putaran mesin 1200 rpm

a. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 20 mV pada putaran mesin 1200 rpm torsinya sebesar 7,24 kg.m. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 1200 rpm torsinya sebesar 7,40 kg.m. Selisih torsi antara mesin dengan manipulasi 20 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 0,16 kg.m. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 20 mV pada putaran mesin 1200 rpm terjadi penurunan torsi sebesar 2,16 %.

b. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 40 mV pada putaran mesin 1200 rpm torsinya sebesar 7,45 kg.m. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 1200 rpm torsinya sebesar 7,40 kg.m.

Selisih torsi antara mesin dengan manipulasi 40 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 0,05 kg.m. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 40 mV pada putaran mesin 1200 rpm terjadi peningkatan torsi sebesar 0,68 %.

c. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 60 mV pada putaran mesin 1200 rpm torsinya sebesar 7,03 kg.m. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 1200 rpm torsinya sebesar 7,40 kg.m. Selisih torsi antara mesin dengan manipulasi 60 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 0,37 kg.m. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 60 mV pada putaran mesin 1200 rpm terjadi penurunan torsi sebesar 5,00 %.

d. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 80 mV pada putaran mesin 1200 rpm torsinya sebesar 7,15 kg.m. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 1200 rpm torsinya sebesar 7,40 kg.m. Selisih torsi antara mesin dengan manipulasi 80 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 0,25 kg.m. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 80 mV pada putaran mesin 800 rpm terjadi penurunan torsi sebesar 3,38 %.

1.3 Analisis perbedaan torsi mesin antara hasil pengujian mesin menggunakan *O_2 sensor* standart dan mesin menggunakan *manipulator O_2 sensor* pada putaran mesin 1600 rpm

a. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 20 mV pada putaran mesin 1600 rpm torsinya sebesar 12,91 kg.m. Sedangkan pada keadaan

mesin standart pada putaran mesin 1600 rpm torsinya sebesar 10,32 kg.m. Selisih torsi antara mesin dengan manipulasi 20 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 2,59 kg.m. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 20 mV pada putaran mesin 1600 rpm terjadi peningkatan torsi sebesar 25,10 %.

b. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 40 mV pada putaran mesin 1600 rpm torsinya sebesar 9,41 kg.m. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 1600 rpm torsinya sebesar 10,32 kg.m. Selisih torsi antara mesin dengan manipulasi 40 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 0,91 kg.m. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 40 mV pada putaran mesin 1600 rpm terjadi penurunan torsi sebesar 8,82 %.

c. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 60 mV pada putaran mesin 1600 rpm torsinya sebesar 10,08 kg.m. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 1600 rpm torsinya sebesar 10,32 kg.m. Selisih torsi antara mesin dengan manipulasi 60 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 0,24 kg.m. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 60 mV pada putaran mesin 1600 rpm terjadi penurunan torsi sebesar 2,33 %.

d. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 80 mV pada putaran mesin 1600 rpm torsinya sebesar 10,24 kg.m. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 1600 rpm torsinya sebesar 10,32 kg.m. Selisih torsi antara mesin dengan manipulasi 80 mV dan mesin pada

keadaan standart sebesar 0,08 kg.m. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 80 mV pada putaran mesin 1600 rpm terjadi penurunan torsi sebesar 0,78 %.

1.4 Analisis perbedaan torsi mesin antara hasil pengujian mesin menggunakan *O_2 sensor* standart dan mesin menggunakan *manipulator O_2 sensor* pada putaran mesin 2000 rpm

a. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 20 mV pada putaran mesin 2000 rpm torsinya sebesar 15,32 kg.m. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 2000 rpm torsinya sebesar 12,11 kg.m. Selisih torsi antara mesin dengan manipulasi 20 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 3,21 kg.m. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 20 mV pada putaran mesin 2000 rpm terjadi peningkatan torsi sebesar 26,51 %.

b. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 40 mV pada putaran mesin 2000 rpm torsinya sebesar 12,44 kg.m. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 2000 rpm torsinya sebesar 12,11 kg.m. Selisih torsi antara mesin dengan manipulasi 40 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 0,33 kg.m. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 40 mV pada putaran mesin 2000 rpm terjadi peningkatan torsi sebesar 2,73 %.

c. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 60 mV pada putaran mesin 2000 rpm torsinya sebesar 11,28 kg.m. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 2000 rpm torsinya sebesar 12,11 kg.m.

Selisih torsi antara mesin dengan manipulasi 60 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 0,83 kg.m. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 60 mV pada putaran mesin 2000 rpm terjadi penurunan torsi sebesar 6,85 %.

d. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 80 mV pada putaran mesin 2000 rpm torsinya sebesar 10,36 kg.m. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 2000 rpm torsinya sebesar 12,11 kg.m. Selisih torsi antara mesin dengan manipulasi 80 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 1,75 kg.m. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 80 mV pada putaran mesin 2000 rpm terjadi penurunan torsi sebesar 14,45 %.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada peningkatan torsi yang signifikan yaitu sebesar 26,51 % terjadi pada mesin dengan manipulasi tegangan output 20 mV pada putaran mesin 2000 rpm. Sedangkan pada putaran mesin 800 rpm dengan manipulasi tegangan output 80 mV ada penurunan torsi yang signifikan yaitu sebesar 28,44 %.

2.1 Analisis perbedaan daya mesin antara hasil pengujian mesin menggunakan *O_2 sensor* standart dan mesin menggunakan *manipulator O_2 sensor* pada putaran mesin 800 rpm

a. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 20 mV pada putaran mesin 800 rpm dayanya sebesar 7,66 HP. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 800 rpm dayanya sebesar 7,44 HP. Selisih daya antara mesin dengan manipulasi 20 mV dan mesin pada keadaan

standart sebesar 0,22 HP. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 20 mV pada putaran mesin 800 rpm terjadi peningkatan daya sebesar 2,96 %.

b. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 40 mV pada putaran mesin 800 rpm dayanya sebesar 7,51 HP. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 800 rpm dayanya sebesar 7,44 HP. Selisih daya antara mesin dengan manipulasi 40 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 0,15 HP. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 40 mV pada putaran mesin 800 rpm terjadi peningkatan daya sebesar 2,02 %.

c. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 60 mV pada putaran mesin 800 rpm dayanya sebesar 6,52 HP. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 800 rpm dayanya sebesar 7,44 HP. Selisih daya antara mesin dengan manipulasi 60 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 0,92 HP. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 60 mV pada putaran mesin 800 rpm terjadi penurunan daya sebesar 12,37 %.

d. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 80 mV pada putaran mesin 800 rpm dayanya sebesar 5,48 HP. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 800 rpm dayanya sebesar 7,44 HP. Selisih daya antara mesin dengan manipulasi 80 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 1,96 HP. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi

tegangan output 80 mV pada putaran mesin 800 rpm terjadi penurunan daya sebesar 26,34 %.

2.2 Analisis perbedaan daya mesin antara hasil pengujian mesin menggunakan *O_2 sensor* standart dan mesin menggunakan *manipulator O_2 sensor* pada putaran mesin 1200 rpm

a. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 20 mV pada putaran mesin 1200 rpm dayanya sebesar 12,31 HP. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 1200 rpm dayanya sebesar 12,41 HP. Selisih daya antara mesin dengan manipulasi 20 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 0,10 HP. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 20 mV pada putaran mesin 1200 rpm terjadi penurunan daya sebesar 0,81 %.

b. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 40 mV pada putaran mesin 1200 rpm dayanya sebesar 12,77 HP. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 1200 rpm dayanya sebesar 12,47 HP. Selisih daya antara mesin dengan manipulasi 40 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 0,30 HP. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 40 mV pada putaran mesin 1200 rpm terjadi peningkatan daya sebesar 2,41 %.

c. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 60 mV pada putaran mesin 1200 rpm dayanya sebesar 11,69 HP. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 1200 rpm dayanya sebesar 12,47 HP. Selisih daya antara mesin dengan manipulasi 60 mV dan mesin pada

keadaan standart sebesar 0,78 HP. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 60 mV pada putaran mesin 1200 rpm terjadi penurunan daya sebesar 6,26 %.

d. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 80 mV pada putaran mesin 1200 rpm dayanya sebesar 12,28 HP. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 1200 rpm dayanya sebesar 12,47 HP. Selisih daya antara mesin dengan manipulasi 80 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 0,19 HP. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 80 mV pada putaran mesin 1200 rpm terjadi penurunan daya sebesar 1,52 %.

2.3 Analisis perbedaan daya mesin antara hasil pengujian mesin menggunakan *O_2 sensor* standart dan mesin menggunakan *manipulator O_2 sensor* pada putaran mesin 1600 rpm

a. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 20 mV pada putaran mesin 1600 rpm dayanya sebesar 28,44 HP. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 1600 rpm dayanya sebesar 22,84 HP. Selisih daya antara mesin dengan manipulasi 20 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 5,60 HP. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 20 mV pada putaran mesin 1600 rpm terjadi peningkatan daya sebesar 24.52 %.

b. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 40 mV pada putaran mesin 1600 rpm dayanya sebesar 21,43. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 1600 rpm dayanya sebesar 22,84 HP. Selisih

daya antara mesin dengan manipulasi 40 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 1,41 HP. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 40 mV pada putaran mesin 1600 rpm terjadi penurunan daya sebesar 6,17 %.

c. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 60 mV pada putaran mesin 1600 rpm dayanya sebesar 22,03 HP. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 1600 rpm dayanya sebesar 22,84 HP. Selisih daya antara mesin dengan manipulasi 60 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 0,81 HP. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 60 mV pada putaran mesin 1600 rpm terjadi penurunan daya sebesar 3,55 %.

d. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 80 mV pada putaran mesin 1600 rpm dayanya sebesar 22,93 HP. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 1600 rpm dayanya sebesar 22,84 HP. Selisih daya antara mesin dengan manipulasi 80 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 0,09 HP. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 80 mV pada putaran mesin 1600 rpm terjadi peningkatan daya sebesar 0,39 %.

2.4 Analisis perbedaan daya mesin antara hasil pengujian mesin menggunakan *O_2 sensor* standart dan mesin menggunakan *manipulator O_2 sensor* pada putaran mesin 2000 rpm

a. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 20 mV pada putaran mesin 2000 rpm dayanya sebesar 43,19 HP. Sedangkan pada keadaan

mesin standart pada putaran mesin 2000 rpm dayanya sebesar 33,40 HP. Selisih daya antara mesin dengan manipulasi 20 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 9,79 HP. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 20 mV pada putaran mesin 2000 rpm terjadi peningkatan daya sebesar 29,31 %.

b. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 40 mV pada putaran mesin 2000 rpm dayanya sebesar 34,56 HP. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 2000 rpm dayanya sebesar 33,40 HP. Selisih daya antara mesin dengan manipulasi 40 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 1,16 HP. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 40 mV pada putaran mesin 2000 rpm terjadi peningkatan daya sebesar 3,47 %.

c. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 60 mV pada putaran mesin 2000 rpm dayanya sebesar 31,29 HP. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 2000 rpm dayanya sebesar 33,40 HP. Selisih daya antara mesin dengan manipulasi 60 mV dan mesin pada keadaan standart sebesar 2,11 HP. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 60 mV pada putaran mesin 2000 rpm terjadi penurunan daya sebesar 6,32 %.

d. Pada pengujian performa mesin dengan manipulasi 80 mV pada putaran mesin 2000 rpm dayanya sebesar 29,18 HP. Sedangkan pada keadaan mesin standart pada putaran mesin 2000 rpm dayanya sebesar 33,40 HP. Selisih daya antara mesin dengan manipulasi 80 mV dan mesin pada

keadaan standart sebesar 4,22 HP. Hal ini menunjukkan bahwa pada manipulasi tegangan output 80 mV pada putaran mesin 2000 rpm terjadi penurunan daya sebesar 12,63 %.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada peningkatan daya mesin yang signifikan yaitu sebesar 29,31 % terjadi pada mesin dengan manipulasi tegangan output 20 mV pada putaran mesin 2000 rpm. Sedangkan pada mesin dengan manipulasi tegangan output 80 mV pada putaran mesin 800 rpm ada penurunan daya mesin yang signifikan yaitu sebesar 26,34 %.

Semakin tinggi tegangan output, maka ECU akan mendeteksi bahwa campuran bahan bakar dan udara dalam kondisi kaya. ECU memerintahkan injektor untuk mengurangi jumlah semprotannya sehingga tenaga mesin akan berkurang. Semakin rendah tegangan output, maka ECU akan mendeteksi bahwa campuran bahan bakar dan udara dalam kondisi kurus. Oleh karena itu, ECU memerintahkan injektor untuk mengurangi jumlah semprotannya sehingga tenaga mesin akan meningkat. Hal ini dikarenakan ECU akan menjaga kondisi campuran bahan bakar dan udara dalam kondisi ideal.

Dengan demikian, pengaplikasian *manipulator* O_2 *sensor* ini berpengaruh terhadap performa mesin turbo 4E-FTE. Peneliti merekomendasikan jika ingin meningkatkan performa mesin bisa menggunakan *manipulator* O_2 *sensor* dengan mengatur tegangan output sebesar 20 mV – 40 mV.

3. Keterbatasan Penelitian

Pengujian performa mesin pada penelitian ini belum dapat berlangsung secara maksimal karena adanya beberapa keterbatasan menyangkut alat uji dan benda uji. Keterbatasan tersebut diantaranya adalah :

a. *Dynamometer* menggunakan pompa *hydraulics* sehingga pembebanan yang dapat diberikan sangatlah terbatas. Besarnya rpm mesin yang dapat diberikan pada pengujian performa mesin ini juga belum bisa maksimal dikarenakan kapasitas pompa yang kecil sehingga pompa tidak kuat menerima daya mesin yang besar. Hal ini menyebabkan pengujian hanya dapat dilakukan sampai putaran mesin 2000 rpm saja.

b. Adanya keterbatasan pada metode pengukuran daya mesin. Dalam penelitian ini daya mesin tidak dapat diukur langsung menggunakan *dynamometer*. Data daya mesin diperoleh masih secara manual yaitu melalui perhitungan dengan menggunakan rumus perkalian antara torsi dan rpm.

c. Bahan uji yang digunakan dalam penelitian ini bukanlah mesin yang benar-benar baru, jadi banyak kemungkinan kalau mesin yang digunakan telah mengalami penurunan performa.

d. Bilah turbin pada *turbocharger* bahan uji sudah aus, sehingga saat putaran mesin tinggi turbocharger tidak dapat berfungsi dengan baik.

e. Injektor, igniter dan koil yang digunakan pada bahan uji dari mesin toyota yang lain dengan kapasitas lebih besar dari standart mesin 4E-FTE. Hal ini menjadikan hasil pengukuran performa mesin tidak bisa dijadikan barometer untuk mesin 4E-FTE yang lainnya.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan penelitian pada bab IV, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa ada pengaruh pengaplikasian *manipulator* O_2 *sensor* terhadap performa mesin turbo 4E-FTE. Pada putaran mesin 2000 rpm dengan manipulasi tegangan output 20 mV ada peningkatan torsi yang signifikan yaitu sebesar 26,51 % dan peningkatan daya mesin 29,31 % dari keadaan standart.

B. Saran

Dapat dimaklumi jika hasil pengujian performa menggunakan *dynamometer* ini tidak sebagus data yang dihasilkan oleh mesin standart 4E-FTE karena mesin sudah lama tidak terpakai dan telah banyak mengalami perubahan komponen menggunakan jenis mesin yang lain. Beberapa saran yang bisa dipertimbangkan agar penelitian ini lebih sempurna antara lain:

1. Perlu dilakukan penyempurnaan *dynamometer* agar pembebanan yang dapat diberikan bisa maksimal dan dapat dilakukan pengujian performa mesin pada rpm tinggi.
2. Perlu ditambahkan sebuah alat khusus untuk mengukur daya mesin yang juga terkoneksi ke dalam sistem komputer, sehingga tidak diperlukan lagi

perhitungan manual menggunakan rumus di setiap pengujian performa mesin agar mempermudah peneliti dalam memperoleh data.

3. Perlu dilakukan pengujian dengan menggunakan mesin yang benar-benar baru, sehingga dapat diketahui performa mesin yang belum mengalami penurunan.
4. Perlu dilakukan penyempurnaan pada *turbocharger* agar hasil pengujian performa mesin diperoleh data torsi dan daya maksimal.
5. Injektor, igniter dan koil perlu diganti menggunakan standart mesin 4E-FTE sehingga proses pembakaran dapat lebih sempurna dan mesin dapat mencapai rpm tinggi.
6. Pengaplikasian *manipulator* O_2 *sensor* dapat meningkatkan performa mesin, maka untuk mesin yang sudah menggunakan system EFI sebaiknya digunakan *manipulator* O_2 sensor dengan mengatur tegangan output sebesar 20 mV – 40 mV supaya diperoleh performa mesin yang terbaik.
7. Pengaplikasian *manipulator* O_2 *sensor* perlu dikembangkan lagi dengan penambahan indikator tegangan output supaya keluaran tegangannya dapat terbaca dengan baik sehingga dapat diatur sesuai dengan kebutuhan mesin.
8. Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mendeteksi variasi tegangan di bawah 20 mV.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

DAFTAR PUSTAKA

Arikunto, Suharsimi. 1998. *Prosedur Penelitian.* Jakarta: Bineka Cipta.

Arismunandar, Wiranto. 1973. *Motor Bakar Torak.* Bandung: ITB

A.J. Martyr. 1995. *Engine Testing Theory and Practice*. Oxford : Elsevier Ltd

Bonnick, Allan W. M. 2001. *Automotive Computer Controlled System Diagnostic tools and techniques.* Great Britain: Garamond

Fadlil, Naela. 2007. *Uji Validitas Hasil Pengukuran Computerized Differential Chassis Dynamometer*. UNNES : Skripsi

Graham, Bell A. 1981. *Performance Tuning in Theory & Practice.* England: Hynes Publishing Group.

Mathur. M. L. 1980. *Internal Combustion Engines.* Nai Sarak: Delhi

Sudjana. 2002. *Desain dan Analisis Eksperimen.* Bandung: Tarsito

Tim Otomotif. 2009. *Elektronik Mobil.* Jakarta : PT. Gramedia.

Willard W. Pulkrabek. *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine.* New Jersey: University of Wisconsin.

.....1994. *Training Manual Step 1.* Jakarta: PT. TOYOTA ASTRA MOTOR

.....1994. *Training Manual Step 2.* Jakarta: PT. TOYOTA ASTRA MOTOR

Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian

Gambar Perakitan *Engine Stand*

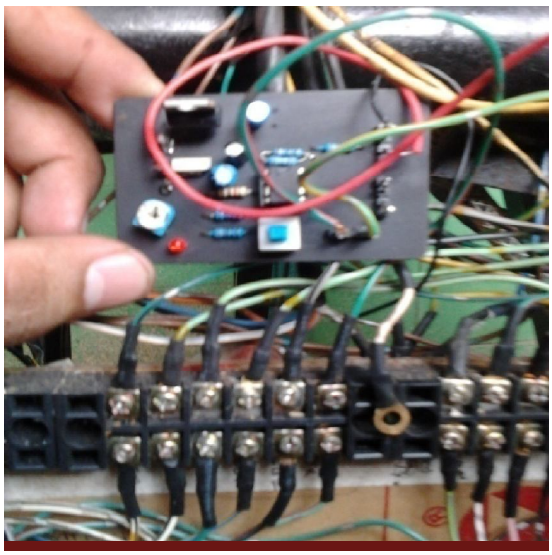
Gambar O_2 *Sensor*

Gambar *Manipulator* O_2 *Sensor*

Gambar ECU Mesin 4E-FTE

Gambar *Dynamometer*

Gambar Pemasangan *Dynamometer*



Gambar pemasangan *manipulator* O_2 *sensor*

Gambar Pengujian Mesin 4E-FTE

Gambar Pengambilan Data

Gambar *Microprosesor Dynamometer*

Gambar Pengecekan Alat

Gambar Kerusakan Pada Bilah Turbo

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
FAKULTAS TEKNIK
Gedung E-1 Kampus Sekaran Gunungpati Telp/Fax (024) 8508101-8058009
Email : ft_unnes@yahoo.com Semarang - 50229

No : 416A/H37.1.5/PP/2010
Lamp : -
Hal : Ijin Penelitian

Kepada
Yth Kepala DLLAJR
Kabupaten Blora
Di Tempat

Dengan hormat,
Bersama ini, kami mohon ijin pelaksaan penelitian untuk penyusunan skripsi/Tugas Akhir oleh mahasiswa sebagai berikut:

No	Nama	NIM	Prgram Studi
1.	Rudy Handoko	5201406004	Pend. Teknik Mesin S1
2.	Wahyu Prasetyo W	5201406007	Pend. Teknik Mesin S1
3.	Linggar Rifki	5201406008	Pend. Teknik Mesin S1
4.	Arief Rahman	5201406010	Pend. Teknik Mesin S1
5.	Arief Rahhan H	5201406011	Pend. Teknik Mesin S1
6.	Sudarsono	5201406019	Pend. Teknik Mesin S1
7.	Hendy Laksono	5201406033	Pend. Teknik Mesin S1
8.	Aan Hendrawan	5201406036	Pend. Teknik Mesin S1
9.	Gostsa Khusnun N	5201406037	Pend. Teknik Mesin S1
10.	Jatmiko	5201406545	Pend. Teknik Mesin S1
11.	Yuzubh Amitozaqi	5201406548	Pend. Teknik Mesin S1
12.	Kurniawan Afrianto	5201406506	Pend. Teknik Mesin S1

Tema : Pengujian Mesin Turbo 4E-FTE Toyota Starlet
Atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.

Semarang, 04 Februari 2011
Dekan,

Drs. Abdurrahman, M.Pd
NIP. 196009031985031002

FM-05-AKD-24

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG - FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
Gedung E5 Kampus Sekaran Gunungpati Semarang. 50229
Telp. 024-8508103., Fax. 024- 8508103

SURAT KETERANGAN
Nomor : 237/TM/II/2011

Ketua Jurusan Teknik Mesin FT Unnes menerangkan bahwa kendaraan dengan plat nomor: K 8847 RB, Mitsubishi Colt Pss .Mengangkut mesin Turbo 4E-FTE Toyota Starlet dari Universitas Negeri Semarang menuju ke DLLAJR Kabupaten Blora. Untuk keperluan penelitian dalam rangkan pengambilan data skripsi.

Demikian untuk menjadi periksa.

Semarang, 04 Februari 2011
Ketua Jurusan,

Drs. Wirawan Sumbodo, M.T.
NIP. 196601051990021002

PEMERINTAH KABUPATEN BLORA

DINAS PERHUBUNGAN, PERIWISATA,

KEBUDAYAAN, KOMUNIKASI DAN INFORMATIKA

(DPPKKI)

Jl. Gatot Subroto Km. 4,6 Blora Telp. / Fax. (0296) 531302

BLORA 58252

SURAT KETERANGAN

No.

Yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa :

Nama	:	Hendy Laksono
Pekerjaan	:	Mahasiswa Universitas Negeri Semarang
NIM	:	5201406033

Telah melakukan pengujian performa mesin dengan nomor seri mesin 4E-FTE pada 27 Februari 2011 bertempat di DINAS PERHUBUNGAN, PARIWISATA, KEBUDAYAAN, KOMUNIKASI DAN INFORMATIKA (DPPKKI) Jl. Gatot Subroto Km. 4,6 Blora.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

BLORA, 27 FEBRUARI 2011

A.n. KEPALA DINAS PERHUBUNGAN
PARIWISATA KEBUDAYAAN KOMUNIKASI
DAN INFORMATIKA KABUPATEN BLORA
Ka. Bid. Teknik Pengujian dan Perbengkelan

PEMERINTAH KABUPATEN DPPKKI BLORA

BUDI PJAHJONO, S.H.
Pembina
NIP. 19640615 199301 1 002