



**“PENGARUH WATER INJECTION TERHADAP PERFORMA MESIN
TOYOTA STARLET GT TURBO 4E-FTE”**

SKRIPSI

Diajukan Dalam Rangka Menyelesaikan Studi Strata 1
Untuk Mencapai Gelar Sarjana Pendidikan

Oleh :

Nama : Wahyu Prasetyo Wibowo

NIM : 5201406007

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 *Water Injection* Terhadap Performa Mesin Toyota Starlet GT 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, September 2011

Wahyu Prasetyo Wibowo

NIM. 5201406007

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Wahyu Prasetyo Wibowo

NIM : 5201406007

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

Judul : “Pengaruh *Water Injection* Terhadap Performa Mesin Toyota Starlet GT 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 199002 1 002

Sekretaris : Wahyudi, S.Pd, M.Eng ()
NIP. 19800319 200501 1 001

Dewan Penguji

Pembimbing I : Wahyudi, S.Pd, M.Eng ()
NIP. 19800319 200501 1 001

Pembimbing II : Rusiyanto, S.Pd, M.T ()
NIP. 19740321199903 1 002

Penguji Utama : Drs. Winarno D.R, M.Pd ()
NIP.19521002198103 1 001

Penguji Pendamping I : Wahyudi, S.Pd, M.Eng ()
NIP. 19800319 200501 1 001

Penguji Pendamping II : Rusiyanto, S.Pd, M.T ()
NIP. 19740321199903 1 002

Ditetapkan di Semarang

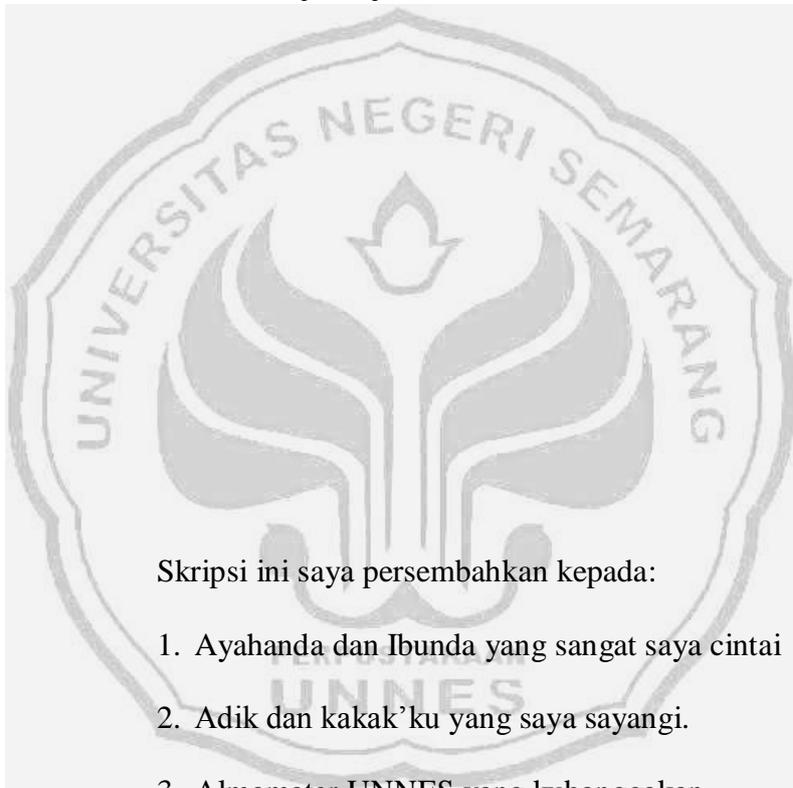
Tanggal :

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik

Drs. Muhamad Harlanu, M.Pd
NIP. 19660215 11021001

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

1. Doa kedua orang tua memberi cahaya pada jalan yang ditempuh.
2. Ilmu akan berguna dan bertambah jika dipergunakan.
3. Riset memang mahal, tetapi ilmu lebih mahal.
4. Jangan takut untuk mencoba.
5. Yakinlah ALLAH memberi jalan jika kita berusaha.



Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Ayahanda dan Ibunda yang sangat saya cintai
2. Adik dan kakak'ku yang saya sayangi.
3. Almamater UNNES yang kubanggakan
4. Jurusan Teknik Mesin tercinta
5. Mahasiswa PTM'06.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamualaikum Wr. Wb

Segala puji syukur penulis panjatkan atas ke hadirat Allah SWT, karena tanpa ridho dari-Nya karya ilmiah ini tidak dapat terselesaikan. Salam serta sholawat semoga selalu tercurah kepada baginda Rasulullah Muhammad S.A.W serta keluarga, sahabat dan umatnya yang berpegang teguh di dalam agama-Nya.

Adapun maksud dari penulisan karya ilmiah ini adalah untuk memenuhi syarat guna memperoleh gelar sarjana pendidikan S1 pada program studi Pendidikan Teknik mesin jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Tanpa adanya bantuan dari pihak, penelitian ini tidak akan dapat terlaksana dengan baik, untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada yang terhormat:

1. Drs. Muhamad Harlanu, M.Pd, Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
2. Drs. Wirawan Sumbodo, M.T, Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.
3. Wahyudi, S.Pd, M.Eng, Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Mesin.
4. Wahyudi, S.Pd, M.Eng, sebagai Dosen Pembimbing I.
5. Rusiyanto, S.Pd, M.T, sebagai Dosen Pembimbing II.
6. Drs. Winarno D.R, M.Pd, sebagai Dosen Penguji

7. Semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya skripsi ini.

Penulis hanya dapat memohon kepada Allah agar semua pihak yang telah membantu penyelesaian skripsi ini diberikan pahala yang sebesar-besarnya. Saran dan kritik yang bersifat membangun akan diterima agar karya ilmiah ini menjadi lebih baik.

Akhirnya penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya..

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Semarang, September 2011

Penulis



ABSTRAK

Wahyu Prasetyo Wibowo, 2011. **Pengaruh *Water Injection* Terhadap Performa Mesin Toyota Starlet GT Turbo 4E-FTE**. Skripsi. Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Pembimbing I Wahyudi, S.Pd, M. Eng, II Rusiyanto S.Pd, MT.

Penelitian ini mengangkat masalah kenaikan performa mesin mobil. Peningkatan kendaraan ramah lingkungan dan konsumsi bahan bakar yang hemat mulai diterapkan pada kendaraan alat transportasi dalam kehidupan sehari-hari. Selain ramah lingkungan dan konsumsi bahan bakar yang hemat, juga diharapkan dapat memperoleh daya mesin yang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tekanan *water injection* terhadap torsi, daya dan *specific fuel consumption* dari mesin Toyota Starlet GT Turbo 4E-FTE. Mesin ini diangkat dari ruang mesin mobil dan dijadikan sebagai *stand engine* untuk memudahkan penelitian. Metode pengumpulan data diambil dengan cara membandingkan performa mesin dan *specific fuel consumption* mesin Toyota Starlet GT Turbo 4E-FTE standar dengan mesin menggunakan metode *water injection* dengan variasi putaran mesin 800 rpm, 1200 rpm, 1600 rpm dan variasi tekanan *water injector* 4 Psi, 5 Psi, 6 Psi.. Pengujian dilakukan sebanyak enam kali, tiga kali pengujian tanpa *water injection* pada putaran 800 rpm dihasilkan torsi 22.52 Nm, daya 2.60 hp, *sfc* 1.32 kg/hp.jam, dan tiga kali pengujian menggunakan *water injection* pada putaran 800 rpm dengan tekanan *water injector* 4 Psi dihasilkan torsi 20.07 Nm, daya 2.26 hp, *sfc* 0.84 kg/hp.jam. Hasil penelitian didapat bahwa dengan menggunakan metode *water injection* terbukti dapat menaikkan performa mesin. *Specific fuel consumption* terjadi penurunan, pada tekanan 5 Psi dengan putaran 1600 rpm dihasilkan torsi sebesar 42.89 Nm, daya 9.74 hp, *sfc* 0.25 kg/hp.jam. Tekanan *water injector* 4 Psi dan 6 Psi jauh lebih menurun disebabkan oleh jumlah volume air yang masuk ke dalam *intake manifold* sedikit sehingga campuran bahan bakar, udara dan air yang masuk ke dalam ruang bakar tidak maksimal, diharapkan untuk memodifikasi peningkatan performa mesin dengan memakai alat *water injector* diatur variasi tekanan pompa air pada tekanan 5 Psi.

Kata kunci: performa mesin, metode *water injection*, 4E-FTE

DAFTAR ISI

JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Perumusan Masalah	2
C. Tujuan	3
D. Manfaat Penelitian	3
BAB II LANDASAN TEORI DAN KERANGKA BERFIKIR	
A. Proses pembakaran	4
B. <i>Ignition Delay</i>	5
C. Mesin Turbo 4E-FTE	6
D. <i>Water injection</i>	8
E. <i>Dynamometer</i>	9

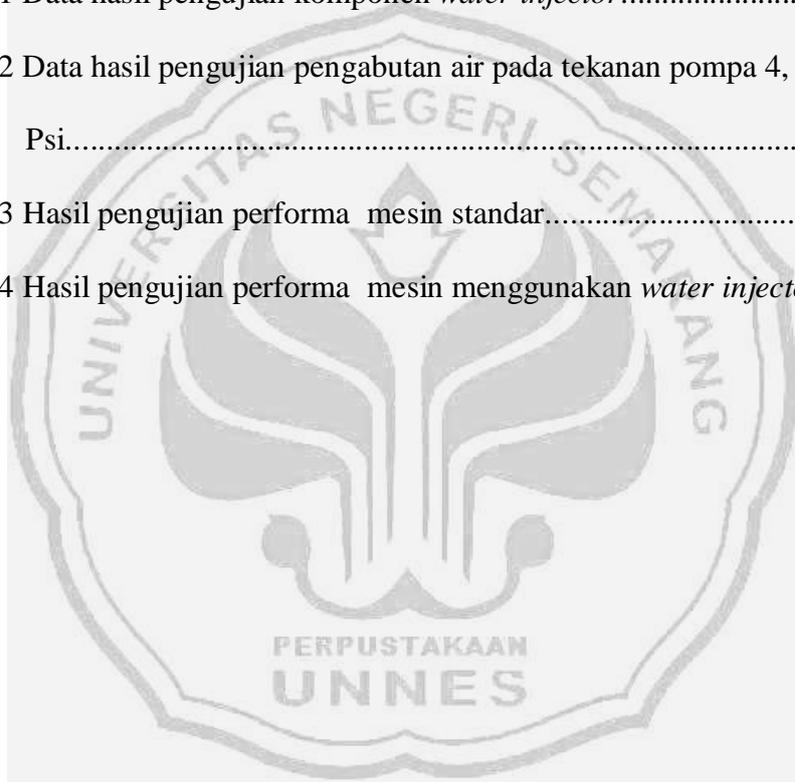
	F. Air.....	10
	G. Motor Bakar Empat Langkah.....	11
	H. Kerangka Berfikir.....	15
BAB III	METODE PENELITIAN	
	A. Desain Penelitian.....	17
	B. Prosedur Penelitian	17
	C. Analisis Data.....	27
BAB IV	HASIL PELITIAN DAN PEMBAHASAN	
	A. Pengujian Alat.....	30
	B. Hasil Pengujian Performa	32
	C. Hasil Pengujian Torsi	33
	D. Hasil Pengujian Daya dan Konsumsi bahan bakar.....	34
	E. Hasil Pengujian Laju aliran massa bahan bakar dan massa air... 35	
	F. Hasil Pengujian <i>Specific Fuel Consumption</i>	36
	G. Pembahasan.....	36
BAB V	PENUTUP	
	A. Simpulan.....	47
	B. Saran.....	47
	DAFTAR PUSTAKA	48
	LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram pembakaran	4
Gambar 2.2 Sensor tekanan <i>manifold</i>	7
Gambar 2.3 <i>Turbocharger</i>	7
Gambar 2.4 <i>Inertia Dynamometer</i>	10
Gambar 2.5 Diagram P-V siklus ideal dan siklus aktual otto.....	12
Gambar 2.6 Prinsip kerja motor bensin empat langkah.....	14
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	21
Gambar 3.2 Rangkaian alat <i>water injector</i>	22
Gambar 3.3 Skema alat uji.	23
Gambar 3.4 Posisi penempatan <i>nozzle water injector</i>	24
Gambar 3.5 Posisi penempatan <i>nozzle water injector</i> (gambar teknik).....	25
Gambar 4.1 Hasil pengujian torsi sebelum dan sesudah menggunakan <i>water injector</i>	35
Gambar 4.2 Hasil pengujian daya sebelum dan sesudah menggunakan <i>water injector</i>	36
Gambar 4.3 Hasil konsumsi bahan bakar sebelum dan sesudah menggunakan <i>water injector</i>	36
Gambar 4.4 Hasil laju aliran massa bahan bakar sebelum dan sesudah menggunakan <i>water injector</i>	37
Gambar 4.5 Hasil laju aliran massa air menggunakan <i>water injector</i>	37
Gambar 4.6. Hasil <i>Specific fuel consumption</i>	38

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Lembar observasi performa mesin sebelum memakai <i>water injector</i>	28
Tabel 3.2 Lembar observasi performa mesin sesudah memakai <i>water injector</i>	28
Tabel 4.1 Data hasil pengujian komponen <i>water injector</i>	33
Tabel 4.2 Data hasil pengujian pengabutan air pada tekanan pompa 4, 5 dan 6 Psi.....	33
Tabel 4.3 Hasil pengujian performa mesin standar.....	34
Tabel 4.4 Hasil pengujian performa mesin menggunakan <i>water injector</i>	35



DAFTAR LAMPIRAN

1. Perhitungan torsi dan daya mesin 4E-FTE standar	53
2. Perhitungan torsi dan daya mesin 4E-FTE dengan alat <i>water injector</i> pada 800 rpm.....	55
3. Perhitungan torsi dan daya mesin 4E-FTE dengan alat <i>water injector</i> pada 1200 rpm.....	58
4. Perhitungan torsi dan daya mesin 4E-FTE dengan alat <i>water injector</i> pada 1600 rpm.....	60
5. Perhitungan konsumsi bahan bakar.....	63
6. Perhitungan laju aliran massa bahan bakar.....	64
7. Perhitungan laju aliran massa air.....	65
8. Perhitungan <i>Specific fuel consumption</i>	66
9. Table spesifikasi mesin.....	69
10. Gambar filter, pompa air, nozzle, selang air.....	70
11. Gambar <i>pressure gauge</i> , tangki air, <i>relay</i> , sensor <i>infra red</i>	71
12. Gambar T fitting, <i>solenoid</i>	72
13. Foto penelitian konsumsi bahan bakar.....	72
14. Foto penelitian uji alat <i>water injector</i>	73
15. Foto penelitian sensor <i>infra red</i> dan <i>relay</i>	73
16. Foto penelitian pemasangan alat <i>water injector</i>	74
17. Foto penelitian <i>inertia dynamometer</i>	74

BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG MASALAH

Perkembangan teknologi mesin mobil makin maju. Terutama pada kenaikan performa mesin mobil. Peningkatan kendaraan ramah lingkungan dan konsumsi bahan bakar yang hemat mulai diterapkan pada kendaraan alat transportasi dalam kehidupan sehari-hari. Selain ramah lingkungan dan konsumsi bahan bakar yang hemat, namun diharapkan dapat memperoleh daya mesin yang optimal.

Performa mesin adalah suatu indikasi kemampuan mesin dalam merubah energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi gerakan mekanik. Perkembangan teknologi yang maju ini berimbas pada kenaikan performa mesin. Kompresi yang berlebihan pada ruang bakar dapat menaikkan suhu ruang bakar. Suhu yang berlebih pada ruang bakar dapat menimbulkan *knocking*. *Knocking* adalah timbulnya ketukan pada ruang bakar, hal ini disebabkan karena suhu panas yang berlebih pada ruang bakar sehingga bahan bakar mudah terbakar lebih awal yang menyebabkan turunnya performa mesin. Untuk mengatasi masalah tersebut maka dibutuhkan suatu alat yang dapat menurunkan suhu ruang bakar yang berlebih salah satunya dengan menggunakan metode *water injection*.

Water injection adalah suatu cara untuk menurunkan suhu ruang bakar. Metode *water injection* telah digunakan pada perang dunia ke II (dua) pada mesin pesawat terbang komersial. Pesawat komersial yang telah memakainya adalah seri boeing 707 dan 747 (I.Roumeliotis, 2010:87).

Cara kerja *water injection* adalah dengan memompa air dari dalam tangki menuju *nozzle* yang telah disalurkan ke *intake manifold*. Tekanan air menjadi lebih besar karena melewati lubang *nozzle* sehingga air menyempatkan butiran air halus yang terpecah menjadi uap karena suhu ruang bakar dan butiran air ini masuk ruang bakar melalui *intake manifold*.

B. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimanakah pengaruh tekanan *water injection* terhadap torsi dan daya yang dihasilkan oleh mesin?
2. Bagaimanakah pengaruh tekanan *water injection* terhadap SFC (*Specific Fuel Consumption*)?

C. BATASAN MASALAH

Dalam penelitian ini permasalahan akan dibatasi :

1. Performa yang dibahas adalah *specific power output* yang meliputi daya, torsi dan SFC (*Specific Fuel Consumption*).

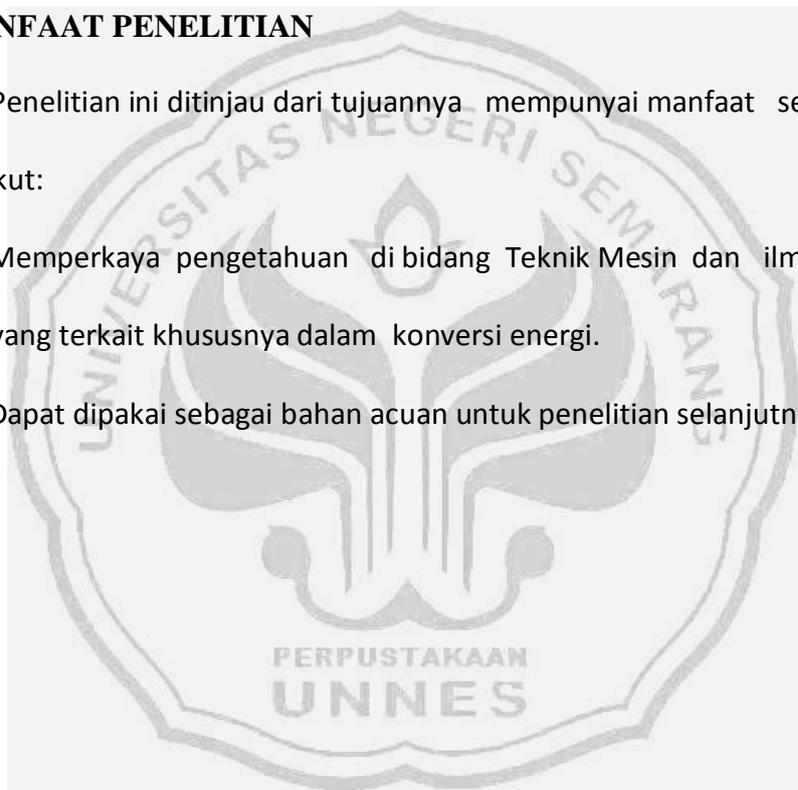
D. TUJUAN

1. Untuk mengetahui pengaruh tekanan *water injection* terhadap torsi dan daya mesin yang dihasilkan.
2. Untuk mengetahui pengaruh tekanan *water injection* terhadap SFC (*Specific Fuel Consumption*)

E. MANFAAT PENELITIAN

Penelitian ini ditinjau dari tujuannya mempunyai manfaat sebagai berikut:

1. Memperkaya pengetahuan di bidang Teknik Mesin dan ilmu-ilmu yang terkait khususnya dalam konversi energi.
2. Dapat dipakai sebagai bahan acuan untuk penelitian selanjutnya.



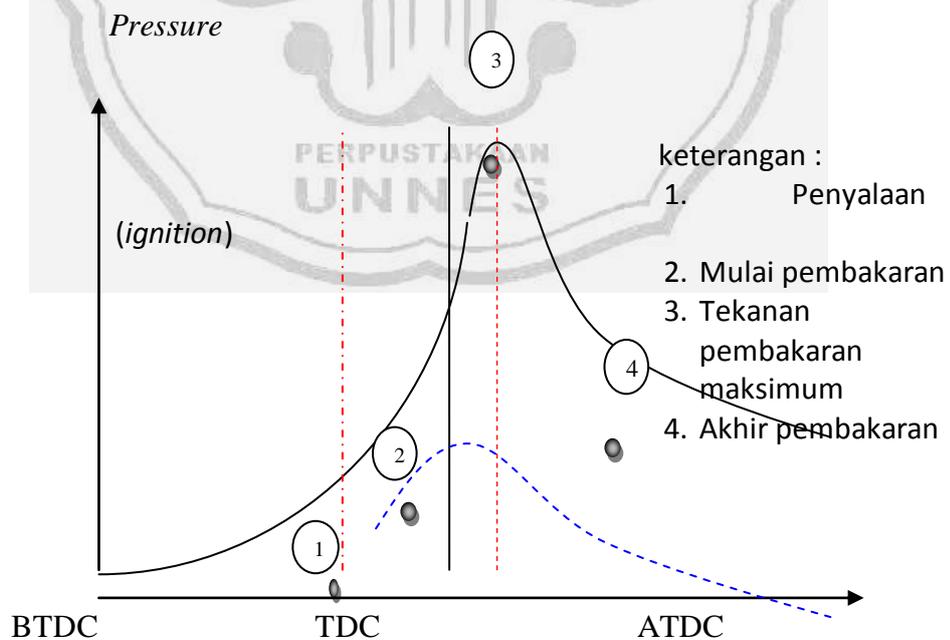
BAB II

LANDASAN TEORI DAN KERANGKA BERFIKIR

A. LANDASAN TEORI

1. Proses pembakaran

Proses pembakaran adalah reaksi kimia antara unsur bahan bakar dengan oksigen. Oksigen didapat dari udara luar yang merupakan campuran dari beberapa senyawa kimia. Campuran bahan bakar udara di dalam silinder akan mulai terbakar pada saat *piston* mencapai titik mati atas, kemudian busi akan memercikkan bunga api. Proses selanjutnya nyala api merambat ke segala arah dengan kecepatan yang sangat tinggi (25-50 m/detik), menyalakan campuran dilaluinya sehingga tekanan gas di dalam silinder naik, sesuai dengan jumlah bahan bakar yang terbakar (Arismunandar, 2002).



Gambar 2.1 Diagram pembakaran

2. Ignition Delay (penundaan pembakaran)

Pada saat busi memercikkan api bahan bakar dan udara tidak langsung terbakar seluruhnya tetapi membutuhkan waktu dan untuk mendapatkan tenaga yang maksimal dari mesin maka campuran udara-bahan bakar terkompresi harus memberikan tekanan yang maksimal pada awal langkah ekspansi, sehingga pembakaran harus dimulai sebelum piston mencapai TDC (*top death centre*). Hal ini dilakukan karena terjadi penundaan pembakaran antara pencetusan bunga api (*spark*) dengan awal terjadinya pembakaran bahan bakar dan tergantung sifat pembakarannya (*combustion properties*) masing-masing bahan bakar mempunyai waktu tertentu untuk mengakhiri proses pembakaran. Tekanan maksimum tidak dapat dihasilkan pada saat titik mati atas (TMA) sehingga tenaga akan berkurang.

Pengaturan waktu pengapian yang tepat merupakan hal yang penting karena masing-masing engine memiliki waktu pengapian optimal pada kondisi standarnya. Jika pencetusan bunga api terlalu cepat (*soon*) maka akhir pembakaran akan terjadi sebelum langkah kompresi selesai sehingga mengakibatkan *knocking* dan tekanan yang dihasilkan akan melawan arah gerakan piston yang berakibat pada penurunan tenaga, hal ini disebut *direct losses* dan sebaliknya jika pencetusan bunga api terlalu lambat (*late*) maka piston sudah melakukan langkah ekspansi sebelum terbentuk tekanan yang tinggi akibatnya tenaga yang dihasilkan tidak maksimal (Pratomo, 2008).

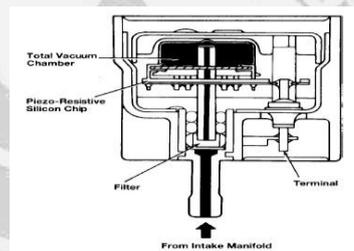
Faktor yang mempengaruhi *ignition delay* adalah :

- 1) Kecepatan mesin karena dengan naiknya kecepatan mesin maka laju pembakaran akan naik sehingga waktu penyalaan harus lebih lambat.
- 2) Campuran bahan bakar-udara, semakin kaya campuran bahan bakar udara maka pembakaran akan lebih cepat sehingga waktu penyalaan harus diperlambat mendekati TDC.
- 3) Tipe bahan bakar karena *ignition delay* akan bergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan, untuk mendapatkan tenaga yang maksimal maka pada bahan bakar dengan laju pembakaran yang lambat waktu pengapian harus dimajukan.
- 4) Temperatur gas yang masuk kedalam ruang bakar.

3. Mesin Turbo 4E-FTE

Mesin ini menggunakan sistem bahan bakar EFI (*Electronic Fuel Injection*), 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 *throttle valve*, sensor oksigen serta sensor lainnya. Daya motor yang optimal dengan pemakaian bahan bakar yang minimal serta mempunyai gas buang yang ramah lingkungan. Perhitungan udara masuk mengadopsi sistem D-EFI (*manifold pressure control type*). Sistem D-EFI menggunakan perhitungan udara masuk berdasar dari tekanan yang terdapat pada *intake manifold* berupa *Turbo Pressure Sensor*.

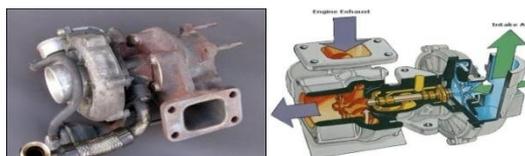
Turbo Pressure Sensor bekerja atas dasar tekanan pada *intake manifold* tekanan ini akan menggerakkan *piezo-resistive silicon chip*. *Chip* akan memberikan keluaran tegangan berbeda tergantung dari kelengkungannya. Pada mesin toyota starlet dilengkapi dengan *Turbocharger* yaitu suatu jenis pompa untuk menekan udara yang masuk kedalam 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 (www.wikipedia.com. 2010).



Gambar 2.2. Sensor tekanan *manifold*.

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

$$\text{Efisiensi pengisian (\%)} = \frac{\text{Banyaknya udara aktual yang masuk}}{\text{udara dalam silinder pada kondisi standart}} \times 100\%$$



Gambar 2.3. *Turbocharger*

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 keiritan bahan bakar.

T : mesin ini menggunakan *turbocharger*.

E : mesin ini menggunakan system pengabutan bahan bakar jenis EFI (*electronic fuel injection*).

4. *Water injection*

Water injection adalah suatu cara menyuntikkan air ke ruang bakar, *water injection* membantu mesin untuk membuang panas di ruang bakar. Panas yang dimaksud merupakan masalah utama pada mesin itu sendiri sehingga dapat menurunkan performa mesin. *Water injection* bekerja dengan cara menurunkan suhu ruang bakar yang tinggi, yaitu akibat campuran bahan bakar dan udara yang dihisap menjadi dingin karena bercampur kabut/uap air, dengan demikian dapat memperlambat terbakarnya bahan bakar di ruang bakar.

Alat *water injector* yang digunakan dalam metode *water injection* terdiri dari *pressure water pump* berfungsi untuk mengalirkan air dari *water tank*, selang untuk mengalirkan air, *pressure gauge* digunakan untuk mengetahui tekanan air, *water filter* untuk menyaring air, *solenoid valve* berfungsi untuk membuka dan menutup aliran, *T fitting* untuk menghubungkan komponen satu dengan yang lain, *nozzle* untuk menaikkan

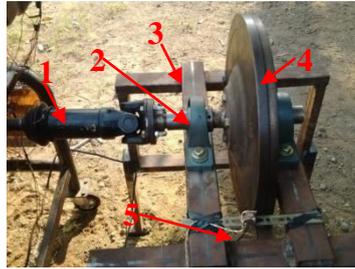
tekanan aliran air sehingga air masuk ke *intake manifold* dalam keadaan kabut.

Water injection adalah suatu cara untuk menurunkan suhu ruang bakar. Metode *water injection* telah digunakan pada perang dunia ke II (dua) pada mesin pesawat terbang komersial. Pesawat komersial yang telah memakainya adalah seri boeing 707 dan 747 (I.Roumeliotis, 2010:87).

5. *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. 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* (Martyr, 2007).

Dynamometer yang digunakan adalah buatan sendiri dengan jenis *engine dynamometer (ED)* atau *inertia dynamometer*, poros *out put* mesin dihubungkan langsung dengan *inertia dynamometer*. Informasi yang bisa dilihat pada *inertia dynamometer* adalah torsi, daya dan putaran mesin (rpm).



Gambar 2.4. *inertia dynamometer*

Keterangan:

1. *ProPELL shaft*
2. *Bearing duduk*
3. *Stand inertia dynamometer*
4. *Roda gila*
5. *Sensor infra red inertia dynamometer*

6. Air

Air merupakan substansi kimia dengan rumus kimia H_2O . Satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen yang terikat secara kovalen pada satu atom oksigen. Air bersifat tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau pada kondisi standar, yaitu pada tekanan 100 kPa (1 bar) dan temperatur 273,15 K ($0^{\circ}C$). Zat kimia ini merupakan suatu pelarut yang penting dan memiliki kemampuan untuk melarutkan banyak zat kimia lainnya, seperti garam, gula, asam, beberapa jenis zat kimia lainnya.

Air sering disebut sebagai pelarut universal karena air melarutkan banyak zat kimia. Air berada dalam kesetimbangan dinamis antara fase cair dan padat di bawah tekanan dan temperatur standar. Bentuk ion air dapat

dideskripsikan sebagai sebuah ion hidrogen (H⁺) yang berasosiasi (berikatan) dengan sebuah ion hidroksida (OH⁻) (Pramono, 2009:9).

Proses pembakaran, kandungan oksigen dalam udara berperan sangat penting, karena oksigen adalah satu-satunya unsur di dalam udara yang dibutuhkan untuk reaksi oksidasinya. Disamping oksigen, komposisi komponen bahan bakar (C dan H) yang digunakan juga berperan sangat penting untuk menghasilkan proses pembakaran yang baik.

Hal ini karena dalam prakteknya, komponen bahan bakar H (atom hidrogen) lebih cepat beroksidasi dibanding atom C (carbon), sehingga apabila dalam bahan bakar persentase atom H-nya meningkat, maka tenaga mesin akan lebih tinggi. Sistem *Water injection* ini, air diinjeksikan dalam bentuk sangat halus (hampir berupa uap), sehingga panas kompresi yang diserapnya menjadi lebih kecil dibanding apabila berbentuk cairan. Berikut reaksi kimia penguraian air (H₂O) menjadi bahan bakar hidrogen (H₂) dan Oksigen (Wardoyo, 2009).

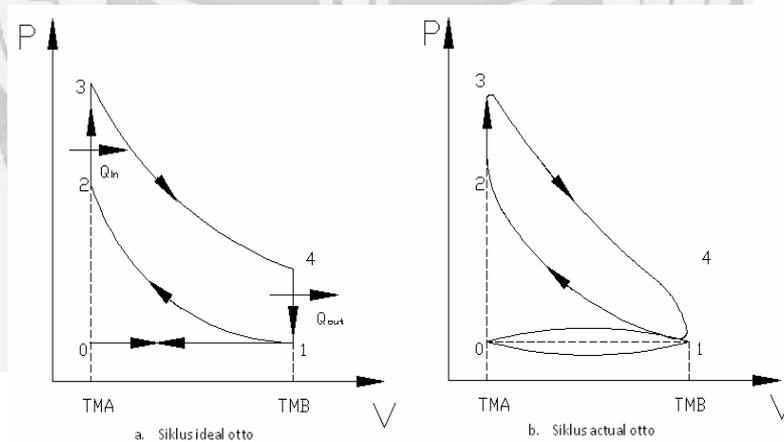


Dari reaksi di atas terlihat bahwa panas yang dibutuhkan untuk mengurai air (H₂O) dalam bentuk gas (241,83 kJ) lebih kecil dibanding bentuk cair (285,84 kJ).

7. Motor Bakar Empat Langkah

Motor bakar adalah suatu jenis mesin yang menimbulkan gerak mekanis dengan membakar bahan bakar berdasarkan siklus otto. Motor bakar 4 langkah ini termasuk dalam kategori motor pembakaran dalam, dimana mesin yang gerakanya dihasilkan dari pembakaran yang terjadi didalam silinder. Mesin motor 4 langkah disebut juga *spark ignition engine*, yaitu mesin yang penyalannya campuran bahan bakar-udara menggunakan bunga api dari busi.

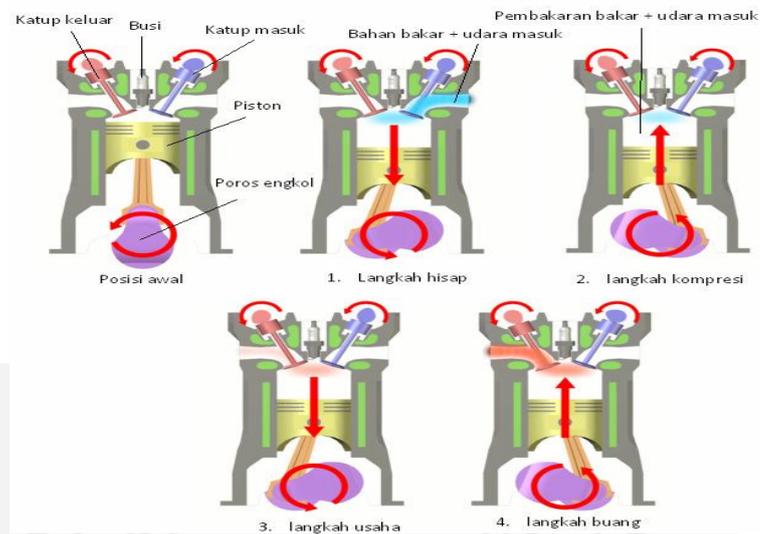
Pada umumnya untuk menganalisa motor bakar dipergunakan siklus udara volume konstan dan dapat digambarkan dengan diagram P-V sifat ideal yang dipergunakan serta keterangan mengenai proses siklusnya adalah sebagai berikut (Arismunandar, 2002).



Gambar 2.5. Diagram P-V siklus ideal dan siklus aktual otto

- a) Fluida kerja dianggap sebagai gas ideal dengan kalor spesifik yang konstan.

- b) Langkah hisap (0-1) merupakan proses tekanan konstan. Pada langkah hisap ini campuran bahan bakar dan udara masuk kedalam silinder melalui langkah hisap.
 - c) Langkah kompresi (1-2) proses isentropic ($Q=0$)
 - d) Proses pembakaran volume konstan (2-3) dianggap sebagai proses pemasukan kalor pada volume konstan.
 - e) Langkah kerja (3-4) proses isentropic ($Q=0$)
 - f) Proses pembuangan (4-1) dianggap sebagai proses pengeluaran gas buang hasil pembakaran pada volume konstan.
 - g) Langkah buang (1-0) proses tekanan konstan. Gas pembuangan keluar dari dalam silinder melalui saluran buang.
 - h) Siklus ini dianggap tertutup artinya ini berlangsung dengan fluida kerja yang sama atau gas yang berada didalam silinder pada titik 1 dapat dikeluarkan dari dalam silinder pada waktu langkah buang, tetapi pada langkah hisap berikutnya akan masuk sejumlah fluida kerja yang sama.
- Mesin motor 4 langkah adalah jenis motor bakar yang pada setiap 4 langkah torak menghasilkan 1 kali langkah usaha atau satu kali pembakaran bahan bakar. Setiap satu kali langkah torak terjadi pada setengah putaran poros engkol, jadi 4 kali langkah torak berarti 2 putaran poros engkol. Keempat langkah pada motor bakar 4 langkah terdiri atas langkah isap, langkah kompresi, langkah kerja (ekspansi), langkah buang.



Gambar 2.6. Prinsip kerja motor bensin empat langkah

a) Langkah Hisap

Pada langkah ini katup masuk terbuka piston bergerak ke bawah. Gerakan tersebut menciptakan tekanan yang sangat rendah didalam silinder karena campuran udara dan bahan bakar terhisap dan masuk melalui lubang katup masuk. Piston hampir mencapai TMB (titik mati bawah), silinder berisi sejumlah campuran murni dengan ini silinder menyesuaikan tekanannya menjadi tekanan atmosfer. Persentase udara atmosfer yang masuk bergantung dari ukuran volumetrik yang disebut efisiensi volumetrik.

b) Langkah Kompresi

Pada langkah ini piston menyelesaikan langkah hisap katup masuk menutup torak kembali ke TMA (titik mati atas). Kedua katup hisap dan buang tertutup, gerakan campuran bahan bakar-udara yang berada

dalam silinder dikompresi atau dimanpatkan yang menyebabkan kenaikan suhu didalam silinder. Proses ini dikenal sebagai pemanasan adiabatic, pemanasan adiabatic ini sangat berpengaruh terhadap proses pembakaran. Selama proses kompresi suhu yang ditimbulkan mencapai ratusan derajat *celcius*.

c) Langkah Kerja atau Ekspansi

Pada langkah ini beberapa derajat sebelum TMA mulai menyalakan busi, api dari busi tersebut membakar campuran bahan bakar dan udara. Panas yang dihasilkan akan menyebabkan campuran mengembang. Ledakan membuat tekanan volume dan tekanan gas memuai makin tinggi. Tekanan itu menyebabkan piston terdorong kebawah hingga TMB dan disalurkan piston ke poros engkol melalui *crankshaft*.

d) Langkah pembuangan

Pada langkah ini piston mencapai TMB, katup buang akan membuka. Piston mulai bergerak keatas memompa sisa hasil pembakaran melalui lubang katup buang, ketika piston hampir mencapai TMA katup hisap membuka dan siap untuk memulai siklus berikutnya begitu seterusnya (Pramono, 2009).

B. KERANGKA BERFIKIR

Mesin dari pabrikan atau lebih dikenal dengan sebutan mesin standar 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. Berbagai macam cara dilakukan oleh para teknisi untuk melakukan modifikasi pada mesin sehingga dapat meningkatkan performa mesin.

Performa mesin adalah suatu indikasi kemampuan mesin dalam merubah energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi gerakan mekanik. Perkembangan teknologi yang maju ini berimbas pada kenaikan performa mesin. Kompresi yang berlebihan pada ruang bakar dapat menaikkan suhu ruang bakar. Suhu yang berlebih pada ruang bakar dapat menimbulkan *knocking*. *Knocking* adalah timbulnya ketukan pada ruang bakar, hal ini disebabkan karena suhu panas yang berlebih pada ruang bakar sehingga bahan bakar mudah terbakar lebih awal yang menyebabkan turunnya performa mesin. Sebelum menggunakan metode *water injection* mesin mengalami kecenderungan panas yang berlebih/biasa disebut *knocking* karena sistem bahan bakar menggunakan premium. Untuk mengatasi masalah tersebut maka dibutuhkan suatu alat yang dapat menurunkan suhu ruang bakar yang berlebih salah satunya dengan menggunakan metode *water injection*.

Pada mesin, sebagian besar bahan bakar diubah menjadi panas, semakin besar panas yang terjadi maka akan mempengaruhi performa yang dihasilkan. *Water injection* membantu mesin untuk membuang panas di ruang bakar. Panas adalah masalah utama pada mesin, panas dapat menurunkan performa mesin. *Water injection* bekerja dengan cara menurunkan suhu ruang bakar yang tinggi, yaitu akibat campuran bahan bakar dan udara yang dihisap menjadi dingin karena bercampur kabut uap air sehingga dapat memperlambat terbakarnya bahan bakar di ruang bakar (Saftari, 2006:30).

Cara kerja *water injection* adalah air disimpan dalam tangki kemudian dihisap oleh pompa. Pompa akan menghasilkan air yang bertekanan dan keluaranya tekanan akan melewati *pressure gauge*. *Pressure gauge* berfungsi untuk membaca tekanan pompa, kemudian tekanan ini akan diteruskan menuju filter yang berfungsi untuk menyaring kotoran yang terdapat pada air.

Filter dipasang sesudah pompa karena pompa mempunyai daya hisap rendah tetapi daya tekannya cukup kuat, sehingga jika filter dipasang terlebih dahulu maka akan mengganggu fungsi *pressure gauge*. Keluaranya tekanan air akan diatur oleh *solenoid valve*. *Solenoid valve* akan membuka menutup saluran apabila menerima sinyal dari *infra red*. *Infra red* berfungsi sebagai penerima dan pengirim simyal, kemudian dari *solenoid valve* diteruskan ke *nozzle*, disini air akan dipecah menjadi butiran-butiran air yang halus. Selanjutnya air yang telah berubah menjadi butiran dialirkan menuju *intake manifold* untuk kemudian menuju ke ruang bakar.

Penelitian ini menggunakan mesin toyota starlet jenis GT Turbo 4E-FTE dimana sistem penginjeksian bahan bakarnya menggunakan sistem EFI (*Electronic Fuel Injection*). Penginjeksian bahan bakar diatur oleh ECU (*Electronic Control Unit*) (Triatmono, 2010).



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. 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. ALAT DAN BAHAN

1. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- 1) Mesin Toyota Starlet GT Turbo 4E-FTE:
- 2) Komponen alat *water injector*
 - a. Filter berfungsi sebagai penyaring air yang melewatinya, filter ini memiliki prinsip kerja satu arah aliran saja.
 - b. *Nozzle* sebagai pengabut air.

- c. T *fitting* untuk menghubungkan komponen satu dengan komponen yang lain.
- d. *Pressure gauge* merk Tekiro dengan tekanan maksimal *Pressure gauge* 35 Psi. *Pressure gauge* berfungsi untuk mengatur tekanan pada *nozzle*.
- e. Pompa merk Toyota Denso Tekanan pompa maksimal 15 Psi, pompa air sebagai penghasil air bertekanan.

- f. Selang air berfungsi untuk tempat mengalirnya air dari tangki menuju *intake manifold*
- g. *Solenoid* merk *Porch Solenoid valve* sebagai kran penghenti aliran tekanan dari pompa air menuju *nozzle*.
- h. Tangki berfungsi untuk tempat penampunan air.
- i. Kran berfungsi untuk mengatur besar kecilnya tekanan air.
- j. Sensor *infra red* berfungsi sebagai pengirim dan penerima sinyal
- k. Relay berfungsi sebagai penguat arus dari *infra red*

3) Air sulingan (*destilat*)

2. Alat-alat yang digunakan adalah :

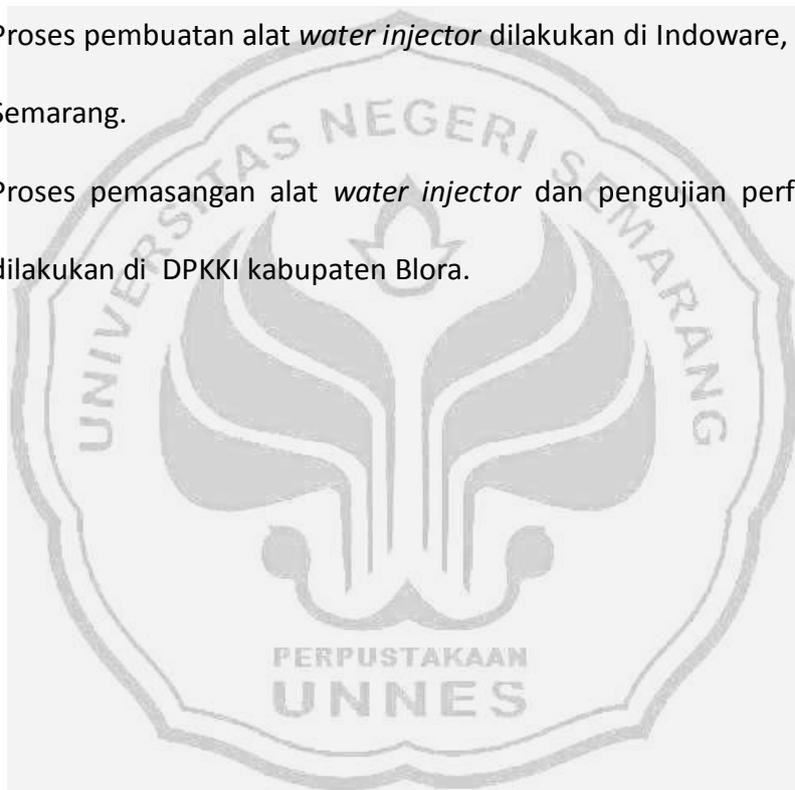
- a. *Inertia dynamometer* dan PC.
- b. Satu set tool.
- c. Rangkaian alat *water injector*.
- d. *Buret*.
- e. *Stopwatch*.

f. Air sulingan (*destilat*)

C. WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada tahun 2011. Adapun pelaksanaannya sebagai berikut :

- a) Proses perakitan mesin 4E-FTE dilakukan di laboratorium otomotif UNNES.
- b) Proses pembuatan alat *water injector* dilakukan di Indoware, Gunung Pati Semarang.
- c) Proses pemasangan alat *water injector* dan pengujian performa mesin dilakukan di DPKKI kabupaten Blora.



E. PROSEDUR PENELITIAN

A. Persiapan

1. Perakitan mesin

Mesin 4E-FTE dibuat menjadi *engine stand* dan dipasang *burret* untuk mengukur konsumsi bahan bakar tiap satuan waktu. Katup masuk, keluar di stel, celah busi di stel dan timing pengapian :

Diameter celah katup masuk : 0,45 mm

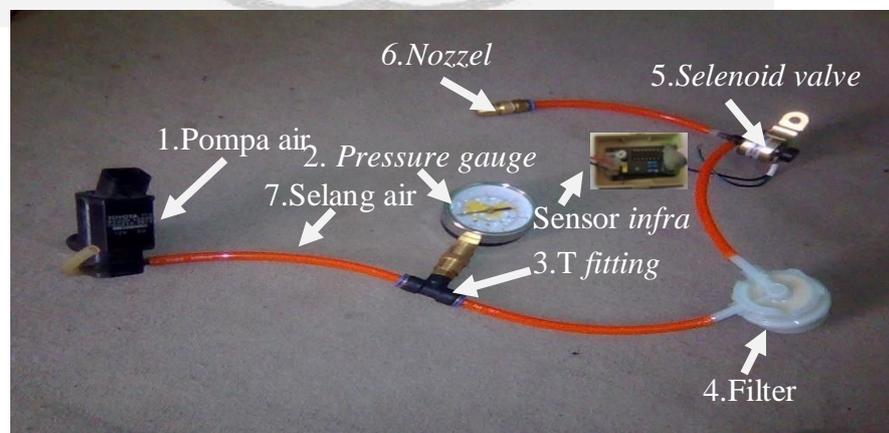
Diameter celah katup keluar : 0,50 mm

Diameter celah busi : 0,1 mm

Timing pengapian : 10° sebelum TMA

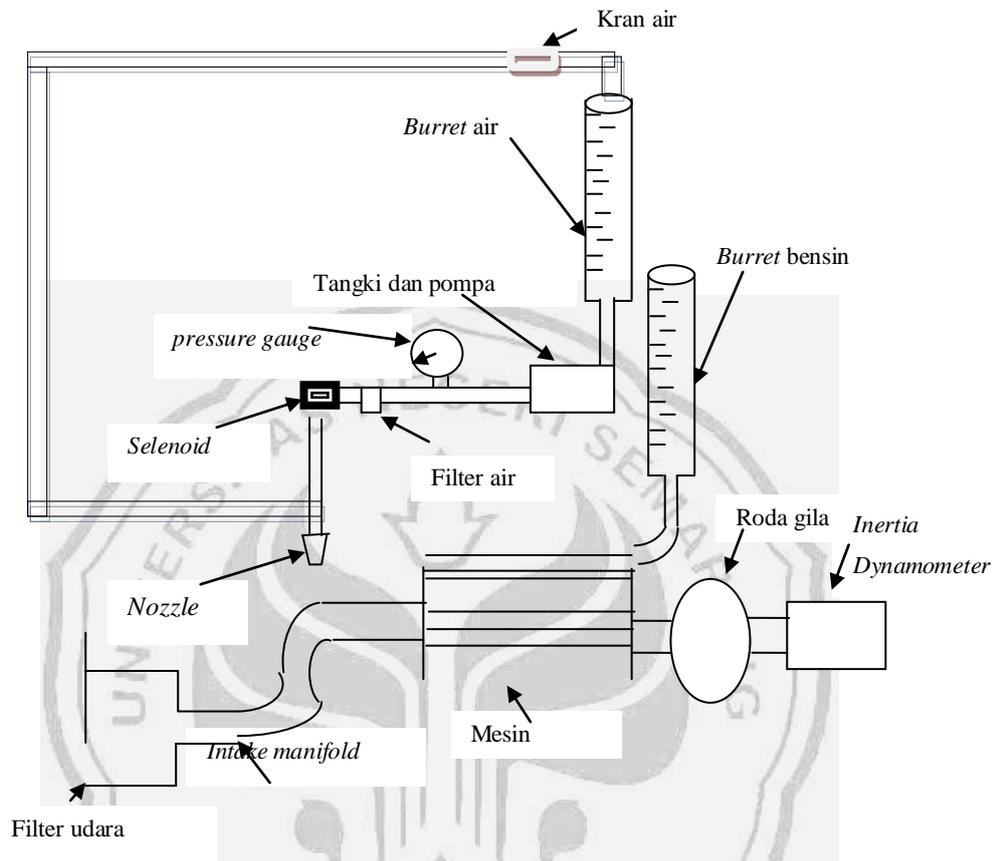
2. Perancangan, pembuatan, dan pengujian *water injection*

Rangkaian yang digunakan bertujuan untuk menghasilkan butiran air yang bertekanan, dikarenakan pada mesin 4E-FTE mempunyai turbo yang menghasilkan tekanan pada *intake manifold*. Tekanan air *water injection* akan divariasikan : 4, 5 dan 6 Psi. Putaran mesin yang digunakan dalam penelitian ini adalah 800 rpm, 1200 rpm, dan 1600 rpm.



Gambar. 3.2. Rangkaian alat *water injector*.

Perancangan *water injector* terdiri dari tangki air, pompa, selang, *pressure gauge*, T fitting, filter, *solenoid*, *nozzle*, dan sensor *infra red*.



Gambar. 3.3. Skema alat uji

Air disimpan dalam tangki kemudian dihisap oleh pompa. Pompa akan menghasilkan air yang bertekanan dan keluaranya tekanan akan melewati *pressure gauge*. *Pressure gauge* berfungsi untuk membaca tekanan pompa, kemudian tekanan ini akan diteruskan menuju filter yang berfungsi untuk menyaring kotoran yang terdapat pada air. Filter dipasang sesudah pompa karena pompa mempunyai daya hisap rendah tetapi daya tekannya cukup kuat, sehingga jika filter dipasang terlebih

dahulu maka akan mengganggu fungsi *pressure gauge*. Keluarnya tekanan air akan diatur oleh *solenoid valve*. *Solenoid valve* akan membuka menutup saluran apabila menerima sinyal dari *fotodiode*. *Fotodiode* berfungsi sebagai penerima sedangkan sensor *infra red* sebagai sinyal pengirim, kemudian dari *solenoid valve* diteruskan ke *nozzle*, disini air akan dipecah menjadi butiran-butiran air yang halus. Selanjutnya air yang telah berubah menjadi butiran dialirkan menuju *intake manifold* untuk kemudian menuju ke ruang bakar.

B. Pelaksanaan

1. Proses pemasangan alat *water injector*

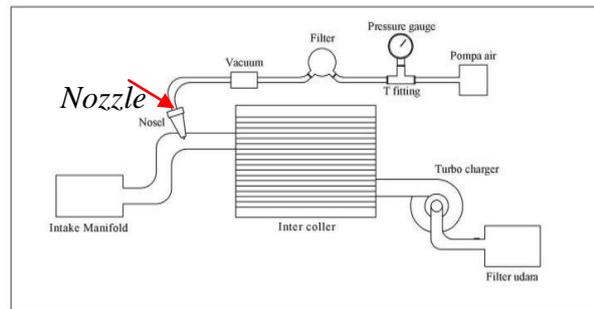
Pemasangan alat ini dengan memasukkan alat *water injector* pada *manifold* mesin Toyota Starlet 4E-FTE.

Posisi penempatan *nozzel water injection*



Gambar 3.4. Posisi penempatan *nozzel water injector* (gambar sebenarnya)

Posisi penempatan *nozzel* pada mesin Toyota Starlet 4E-FTE pada karet *intake manifold* sebelum *intercooler*. *Nozzel* dimasukkan pada karet penghubung sampai masuk kedalam dan diberi perekat agar tekanan turbo didalam *intake manifold* tidak bocor.



Gambar 3.5. Posisi penempatan *nozzle water injector* (gambar teknik)

2. Proses pengujian mesin 4E-FTE tanpa menggunakan alat *water injector*
 - a) Mesin dihidupkan hingga tercapai suhu kerja yang ditandai dengan menyalnya kipas radiator. Putaran mesin distel pada putaran 800 rpm, kemudian dilakukan percepatan pada mesin sebanyak tiga kali dan mesin dibiarkan dalam keadaan idle/stasioner. Poros out put mesin dihubungkan dengan *inertia dynamometer*, setelah itu sensor *inertia dynamometer* kita sambungkan kekomputer. Periksa data torsi dan data putaran mesin yang ditampilkan pada komputer lalu catat hasilnya dan masukkan kedalam lembar observasi. Setelah itu catat jumlah konsumsi bahan bakar yang dapat dilihat pada alat ukur *burret dan* masukkan hasil kedalam lembar observasi. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan hasil yang akurat.
 - b) Putaran mesin distel pada putaran 1200 rpm. Poros out put mesin dihubungkan dengan *inertia dynamometer*, setelah itu sensor *inertia dynamometer* disambungkan kekomputer. Periksa data torsi dan data putaran mesin yang ditampilkan pada komputer lalu catat hasilnya dan masukkan kedalam lembar observasi. Catat jumlah konsumsi bahan bakar

yang dapat dilihat pada alat ukur *burret dan* masukkan hasil kedalam lembar observasi. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan hasil yang akurat.

- c) Putaran mesin distel pada putaran 1600 rpm. Poros out put mesin dihubungkan dengan *inertia dynamometer*, setelah itu sensor *inertia dynamometer* disambungkan kekomputer. Periksa data torsi dan putaran mesin yang ditampilkan pada komputer lalu catat hasilnya dan masukkan kedalam lembar observasi. Catat jumlah konsumsi bahan bakar yang dapat dilihat pada alat ukur *burret dan* masukkan hasil kedalam lembar observasi. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan hasil yang akurat.

3. Pengujian mesin 4E-FTE menggunakan alat *water injector*.

- a) Pasang alat *water injector* pada *intake manifold* dan air dimasukkan kedalam *buret*.
- b) Mesin dihidupkan hingga tercapai suhu kerja yang ditandai dengan menyalanya kipas radiator. Putaran mesin distel pada putaran 800 rpm, lakukan percepatan pada mesin sebanyak tiga kali dan mesin dibiarkan dalam keadaan stasioner. Alat *water injector* dihidupkan dan tekanan pompa *water injector* distel pada tekanan 4, 5, 6 Psi. Poros out put mesin dihubungkan dengan *inertia dynamometer*, setelah itu sensor *inertia dynamometer* disambungkan kekomputer. Periksa data torsi dan putaran mesin yang ditampilkan pada komputer lalu catat hasilnya dan masukkan kedalam lembar observasi. Catat jumlah konsumsi bahan bakar yang

dapat dilihat pada alat ukur *burret dan* catat jumlah volume air yang dilihat pada *buret* lalu masukkan hasil kedalam lembar observasi. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan hasil yang akurat.

- c) Putaran mesin distel pada putaran 1200 rpm. Alat *water injector* dihidupkan dan tekanan pompa *water injector* distel pada tekanan 4, 5, 6 Psi. Poros out put mesin dihubungkan dengan *inertia dynamometer*, setelah itu sensor *inertia dynamometer* disambungkan kekomputer. Periksa data putaran mesin yang ditampilkan pada komputer lalu catat hasilnya dan masukkan kedalam lembar observasi. Catat jumlah konsumsi bahan bakar yang dapat dilihat pada alat ukur *burret dan* catat jumlah volume air yang dilihat pada *buret* lalu masukkan hasil kedalam lembar observasi. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan hasil yang akurat.
- d) Putaran mesin distel pada putaran 1600 rpm. Alat *water injector* dihidupkan dan tekanan pompa *water injector* distel pada tekanan 4, 5, 6 Psi. Poros out put mesin dihubungkan dengan *inertia dynamometer*, setelah itu sensor *inertia dynamometer* disambungkan kekomputer. Periksa data putaran mesin yang ditampilkan pada komputer lalu catat hasilnya dan masukkan kedalam lembar observasi. Catat jumlah konsumsi bahan bakar yang dapat dilihat pada alat ukur *burret dan* catat jumlah volume air yang dilihat pada *buret* lalu masukkan hasil kedalam lembar

observasi. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan hasil yang akurat.

Tabel. 3.1. Lembar observasi performa mesin sebelum memakai *water injector* (Mesin 4E-FTE standar)

Rpm	Mesin 4 E-FTE standar							
	Torsi (Nm)				Waktu menghabiskan 50 cc bahan bakar (mnt)			
	X1	X2	X3	\bar{x}	Y1	Y2	Y3	\bar{y}
800	22.52	22.52	20.50	22.52	65	63	65	65
1200	35.93	35.93	35.40	35.93	58	55	58	58
1600	40.05	40.05	39.95	40.05	49	45	49	49

Tabel. 3.2. Lembar observasi performa mesin sesudah memakai *water injector* (Mesin 4E-FTE modifikasi)

Mesin 4 E-FTE modifikasi													
Tekanan pompa	Rpm	Torsi (Nm)				Waktu menghabiskan 50cc bahan bakar (mnt)				Waktu menghabiskan 15cc volume air (mnt)			
		X1	X2	X3	\bar{x}	Y1	Y2	Y3	\bar{y}	Z1	Z2	Z3	\bar{z}
4 Psi	800	20.07	20.07	21.90	20.07	67	64	67	67	42	44	42	42
	1200	24.21	24.21	44.95	24.21	60	65	60	60	35	35	31	35
	1600	60.21	60.27	60.27	26.09	50	56	50	50	25	25	20	25
5 Psi	800	27.13	27.13	24.65	27.13	69	69	62	69	41	40	40	40
	1200	41.56	41.08	41.56	41.56	62	62	66	62	30	30	36	30
	1600	42.89	42.89	42.97	42.89	52	52	58	52	20	20	24	20
6 Psi	800	12.	11.	12.	12.	71	71	75	71	37	38	38	38

		17	90	17	17								
	1200	17. 31	17. 20	17. 31	17. 31	63	67	63	63	28	25	28	28
	1600	20. 42	20. 42	20. 34	20. 42	55	55	58	55	15	15	21	15

Keterangan :

1. X_1, Y_2, Z_3 . Adalah pengulangan dari hasil pengujian.
2. \bar{x} . Adalah rata-rata dari setiap 3 kali pengujian.
3. Hasil pengujian daya (hp) setelah diolah dengan persamaan (2) yang dimasukkan kedalam lembar observasi.
4. Hasil pengujian konsumsi bahan bakar setelah diolah dengan rumus nantinya data cc/menit akan dikonversi menjadi L/jam, dan hasilnya akan dimasukkan kedalam lembar observasi menjadi lembar hasil pengujian.

F. ANALISIS DATA

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif yang dilakukan dengan melukiskan dan merangkum pengamatan dari penelitian yang dilakukan. Deskripsi perbandingan antara data dari mesin standar dan mesin yang sudah dipasang rangkaian alat *water injector*. Data hasil pengujian performa mesin antara mesin 4E-FTE keadaan standar dengan mesin 4E-FTE yang sudah dimodifikasi dengan alat *water injector*

dibuat secara grafik. Adapun cara untuk menghitung torsi dan daya dengan rumus berikut:

$$T = r \times F \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

T : Torsi mesin (Nm)

r : Panjang lengan torsi (m)

F : Gaya pengereman (N)

1. Rumus yang dipakai adalah *inertia dynamometer* untuk menghitung torsi

dan daya mesin sebagai berikut:

$$\text{Inersia} = 0.638375 \text{ kg.m}^2 \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Kecepatan sudut } w^1 = (\text{rpm} / 60) \times 2\pi \times 3.14/\text{detik}$$

$$w^2 = (\text{rpm} / 60) \times 2\pi \times 3.14/\text{detik}$$

$$\text{Energi rotasi inersia (1)} = \text{inersia} \times (w^1 / 2) \text{ Joule}$$

$$(2) = \text{inersia} \times (w^2 / 2) \text{ Joule}$$

$$\text{Selisih energi rotasi} = (\text{energy rotasi inersia1}) - (\text{energy rotasi inersia 2}) \text{ j}$$

$$\text{Power (KW)} = \text{selisih energi rotasi} / \text{selisih waktu perubahan}$$

$$\text{kecepatan dalam detik} / 1000$$

$$\text{Power(HP)} = 1.3410 \text{ KW}$$

$$\text{torsi (Nm)} = (\text{Daya Kw} \times 9549.305) / \text{rpm}$$

2. Jumlah konsumsi bahan bakar dapat dihitung dengan rumus:

$$FC = \frac{vf \cdot 3600}{t \cdot 1000}$$

$$FC = \text{konsumsi bahan bakar (L/jam)}$$

$$vf = \text{konsumsi bahan bakar selama t detik (mL)}$$

t = interval waktu pengukuran konsumsi bahan bakar (detik)

3. Jumlah laju aliran massa bahan bakar (\dot{m}_f) dapat dihitung dengan rumus:

$$\dot{m}_f = FC \times \frac{\rho_f}{3600 \times 1000}$$

\dot{m}_f = laju aliran bahan bakar (kg/detik)

FC = konsumsi bahan bakar (L/jam)

ρ_f = massa jenis bahan bakar (kg/m³)

4. Jumlah laju aliran massa air (\dot{M}_w) dapat dihitung dengan rumus:

$$\dot{M}_w = \dot{M}_w \times \frac{\rho_f}{3600 \times 1000}$$

\dot{M}_w = laju aliran Air (kg/detik)

FC = konsumsi Air (L/jam)

ρ_f = massa jenis Air (kg/m³)

5. Jumlah Sfc (*Specific Fuel Consumption*) dapat dihitung dengan rumus:

$$Sfc = \frac{\dot{m}_f}{P}$$

\dot{m}_f = Laju aliran massa bahan bakar (kg/jam)

P = Daya (Hp)

Data yang diperoleh dari hasil pengujian performa mesin 4E-FTE sebelum menggunakan *water injector* dengan sesudah menggunakan *water injector* dibuat dalam bentuk grafik.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil pengujian alat

Pengujian alat adalah suatu cara yang ditempuh untuk mendapatkan data hasil perancangan dan pembuatan alat. Pengujian dilakukan setelah perakitan alat sesuai skema yang dirancang. Tahap pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan pengujian, termasuk memperbaiki dan menyempurnakan bagian-bagian yang belum berfungsi dengan optimal. Dalam pengujian alat *water injector* dilakukan oleh peneliti sendiri dan akan diuji oleh ahlinya. Hasil akhir yang ingin dicapai dalam pengujian ini adalah kondisi alat yang siap digunakan untuk menurunkan suhu ruang bakar pada mesin.

Pengujian alat terdiri dari pengujian masing-masing komponen *water injector* dan tekanan pompa tiap 4, 5, dan 6 Psi. Pengujian komponen dilakukan untuk mengetahui apakah komponen dapat berkerja sesuai dengan baik, sehingga hasil yang diperoleh valid. Pengujian tekanan pompa dilakukan untuk mengetahui berapa lama *water injector* mengabsorpsi air pada tekanan pompa 4, 5, dan 6 Psi saat proses pengujian performa. Peralatan yang digunakan pada pengujian adalah battery 12volt, *stopwatch*, dan air dengan langkah-langkah pengujian dan pengukuran sebagai berikut.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Komponen *water injector*

No	Komponen	Bekerja	Tidak bekerja
1.	Pompa	√	-
2.	Filter	√	-
3.	<i>Pressure gauge</i>	√	-
4.	<i>Nozzle</i>	√	-
5.	<i>Solenoid valve</i>	√	-

Pengujian tekanan pompa dilakukan untuk mengetahui variasi tekanan pompa sesuai dengan pengujian yang diinginkan yaitu 4, 5, dan 6 Psi dan berapa lama *water injector* mengabutkan air pada tekanan pompa 4, 5, dan 6 Psi saat proses pengujian peforma.

Tabel 4.2 Data hasil pengujian tekanan pompa 4, 5, dan 6 Psi

No	Tekanan pompa	
	Yang diharapkan	Yang dihasilkan
1.	4 Psi	4 Psi
2.	5 Psi	5 Psi
3.	6 Psi	6 Psi

Berdasarkan data hasil pengujian komponen, alat uji bekerja sesuai dengan fungsinya. Pada variasi tekanan 4 Psi, tekanan yang dihasilkan juga sebesar, 4 Psi artinya hasil yang diharapkan dan dihasilkan mempunyai kesamaan. Begitu juga pada pengujian dengan 5 dan 6 Psi, memiliki kesesuaian sehingga alat dianggap valid dan dapat digunakan untuk menguji peforma mesin. Hasil pengujian tekanan pompa 4, 5, dan 6 Psi. *Water injector* mengabutkan selama 4 detik sedangkan pengujian peforma dilakukan selama 13 detik. Air diinjeksikan kedalam *intake manifold* selama 4 detik dan dalam sisa waktu selama 9 detik, akan dilihat apakah air tersebut telah bercampur dengan udara dan bahan bakar sehingga terjadi proses

pembakaran. Setelah proses tersebut berlangsung, akan dilihat apakah ada pengaruh terhadap performa mesin tidak.

B. Hasil pengujian performa

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

Pada penelitian ini, pengambilan data dilakukan pada putaran mesin 800 rpm, 1200 rpm, 1600 rpm. Pertama pengujian performa mesin dilakukan pada keadaan mesin standart (tanpa menggunakan *water injector*), kemudian melakukan variasi dengan menggunakan rangkaian alat *water injector*. Rangkaian alat ini, akan dilakukan variasi tekanan air *water injector* sebesar 4, 5, dan 6 Psi.

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

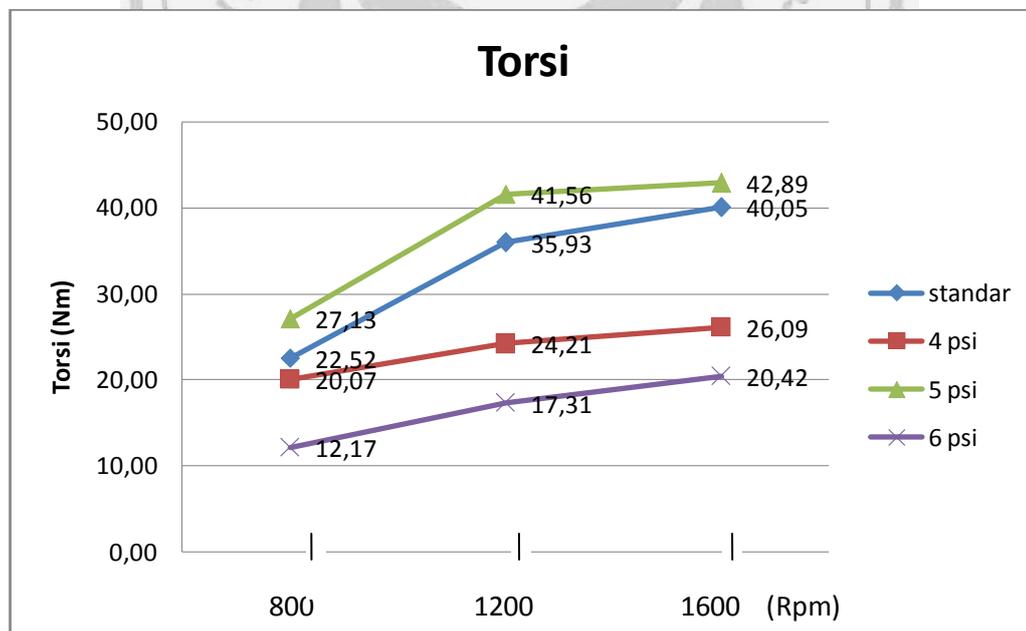
Tabel 4.3 Hasil pengujian performa mesin standar

Mesin 4E-FTE standar			
Rpm	Torsi (Nm)	Daya (hp)	Konsumsi bahan bakar (L/jam)
	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}
800	22.52	2.60	2.76
1200	35.93	6.13	3.10
1600	40.05	9.01	3.67

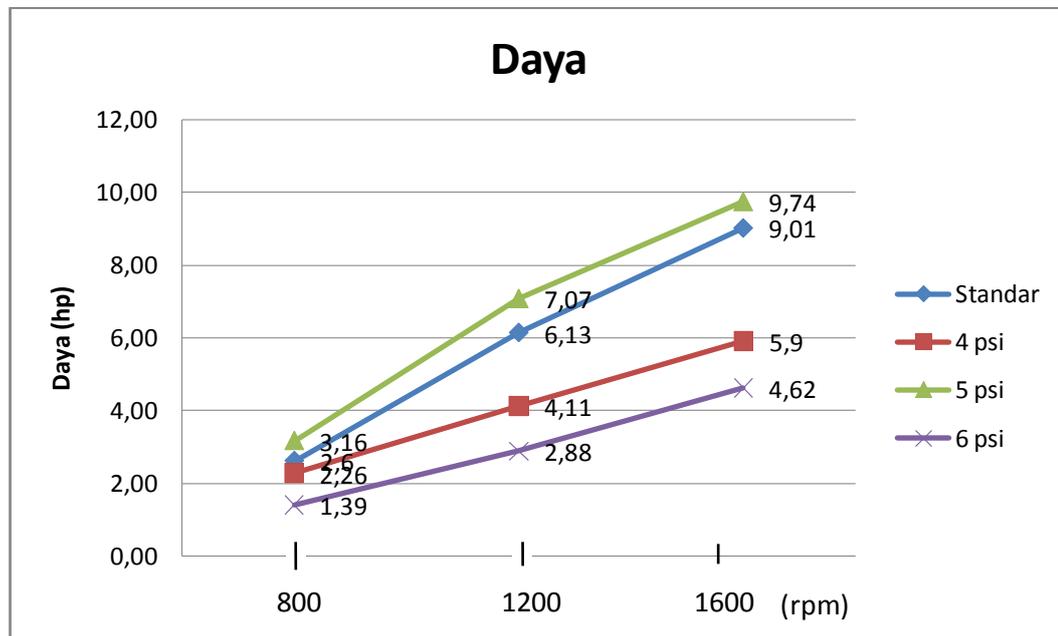
Tabel 4.4 Hasil pengujian performa mesin menggunakan *water injector*

Mesin 4E-FTE modifikasi					
Tekanan pompa	Rpm	Torsi (Nm)	Daya (hp)	Konsumsi bahan bakar (L/jam)	Volume air (L/jam)
		\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}
4 Psi	800	20.07	2.26	2.68	1.28
	1200	24.21	4.11	3	1.54
	1600	26.09	5.90	3.6	2.16
5 Psi	800	27.13	3.16	2.60	1.35
	1200	41.56	7.07	2.90	1.8
	1600	42.89	9.74	3.46	2.7
6 Psi	800	12.17	1.39	2.53	1.42
	1200	17.13	2.88	2.85	1.92
	1600	20.42	4.62	3.27	3.6

1) Hasil uji torsi

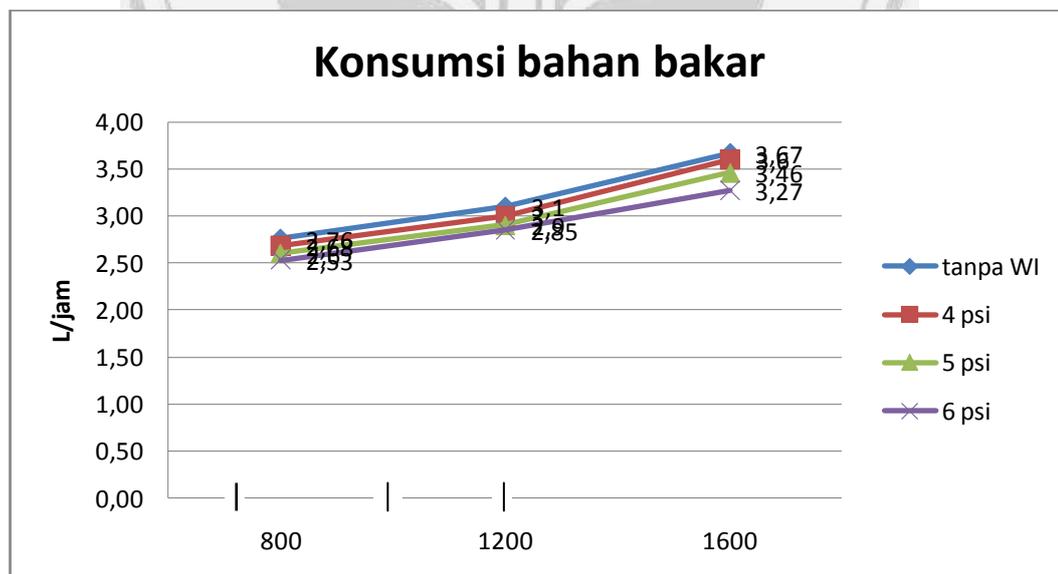
Gambar 4.1. Hasil pengujian torsi sebelum dan sesudah menggunakan *water injector*

2) Hasil uji daya



Gambar 4.2. Hasil pengujian daya sebelum dan sesudah menggunakan *water injector*

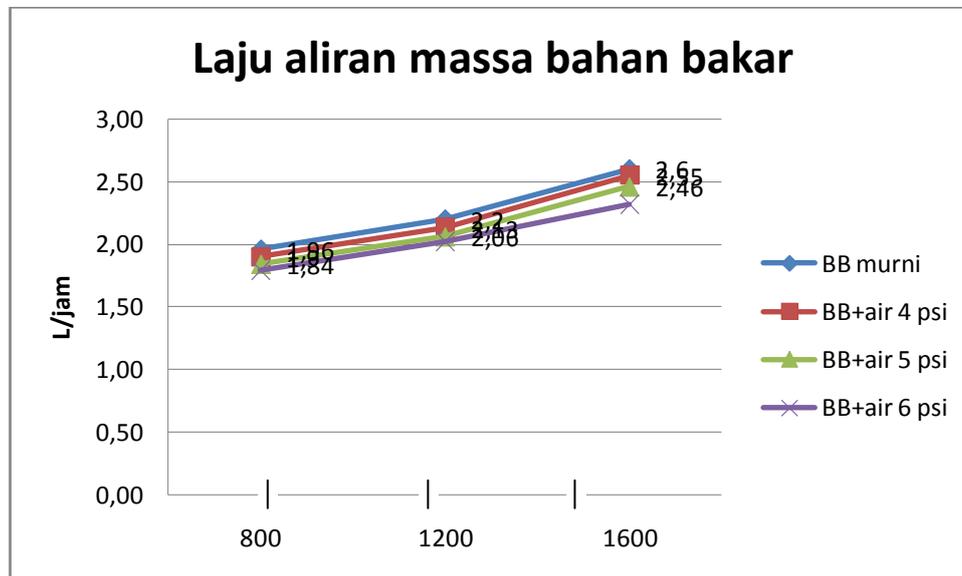
C. Hasil uji konsumsi bahan bakar



Gambar 4.3. Hasil pengujian konsumsi bahan bakar sebelum dan sesudah menggunakan *water injector*

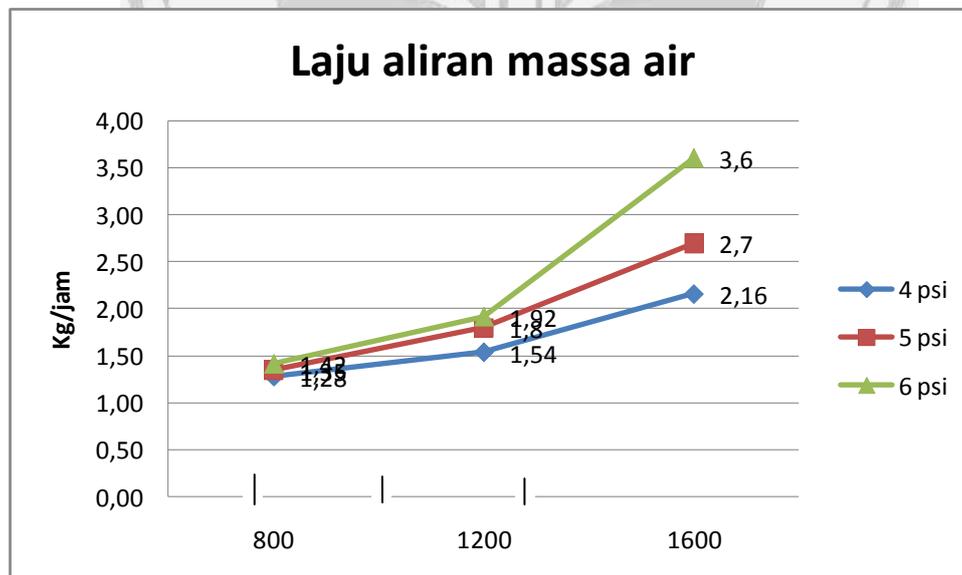
D. Hasil uji laju aliran massa bahan bakar dan air

1) Laju aliran massa bahan bakar



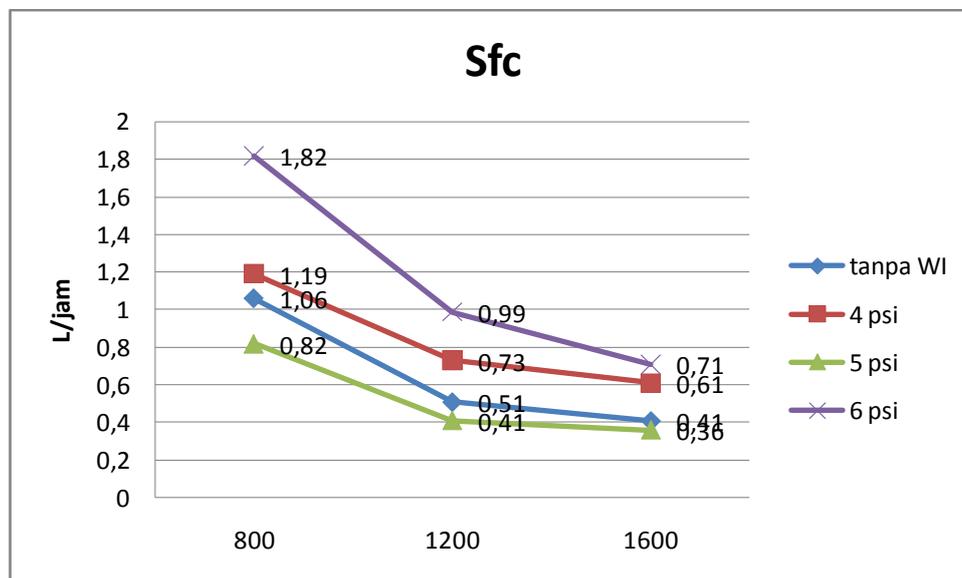
Gambar 4.4. Hasil pengujian laju aliran massa bahan bakar sebelum dan sesudah menggunakan *water injector*

2) Laju aliran massa air



Gambar 4.5. Hasil pengujian laju aliran massa air menggunakan *water injector*

E. Hasil *Specific Fuel Consumption*



Gambar 4.6. Hasil pengujian *Specific Fuel Consumption* menggunakan *water injector*

1. Pembahasan

a. Analisa pengujian torsi dan daya mesin standar dan mesin menggunakan alat *water injector* pada tekanan 4 Psi dengan putaran 800, 1200, dan 1600 rpm.

a) Pengujian performa mesin standar pada putaran 800 rpm dihasilkan torsi sebesar 22.52 Nm, daya 2.60 hp. Pada mesin menggunakan *water injector* dengan tekanan 4 Psi menghasilkan torsi 20.07 Nm, daya 2.26 hp pada putaran 800 rpm. Terjadi penurunan torsi sebesar 2.45 Nm dan penurunan daya sebesar 0.34 hp, disebabkan pencetusan bunga api terlalu cepat maka akhir pembakaran akan terjadi sebelum langkah kompresi selesai sehingga mengakibatkan *knocking* dan tekanan yang dihasilkan akan melawan arah gerakan piston yang berakibat pada penurunan tenaga.

b) Pengujian performa mesin standar pada putaran 1200 rpm dihasilkan torsi sebesar 35.93 Nm, daya 6.13 hp. Pada mesin menggunakan *water injector*

dengan tekanan 4 Psi menghasilkan 24.21 Nm, daya 4.11 HP pada putaran 1200 rpm. Terjadi penurunan torsi sebesar 15.72 Nm dan penurunan daya sebesar 2.02 hp, pencetusan bunga api terlalu cepat maka akhir pembakaran akan terjadi sebelum langkah kompresi selesai sehingga mengakibatkan *knocking* dan tekanan yang dihasilkan akan melawan arah gerakan piston yang berakibat pada penurunan tenaga.

- c) Pengujian performa mesin standar pada putaran 1600 rpm dihasilkan torsi sebesar 40.05 Nm, daya 9.01 hp. Pada mesin menggunakan *water injector* dengan tekanan 4 Psi menghasilkan 26.09 Nm, daya 5.90 hp pada putaran 1600 rpm. Terjadi penurunan torsi sebesar 13.96 Nm dan penurunan daya sebesar 3.11 hp, pencetusan bunga api terlalu cepat maka akhir pembakaran akan terjadi sebelum langkah kompresi selesai sehingga mengakibatkan *knocking* dan tekanan yang dihasilkan akan melawan arah gerakan piston yang berakibat pada penurunan tenaga.
- b. Analisa pengujian torsi dan daya mesin standar dan mesin menggunakan alat *water injector* pada tekanan 5 Psi dengan putaran 800, 1200, dan 1600 rpm.
- a) Pengujian performa mesin standar pada putaran 800 rpm dihasilkan torsi sebesar 22.52 Nm, daya 2.60 hp. Pada mesin menggunakan *water injector* dengan tekanan 5 Psi menghasilkan 27.13 Nm, daya 3.16 hp pada putaran 800 rpm. Terjadi peningkatan torsi sebesar 4.61 Nm dan peningkatan daya sebesar 0.56 hp, disebabkan bahwa campuran air dan bahan bakar tidak terlalu banyak yang masuk diruang bakar sehingga tidak mengalami

penundaan pembakaran karena sebelum TMA terjadi pembakaran oleh sebab itu torsi naik.

b) Pengujian performa mesin standar pada putaran 1200 rpm dihasilkan torsi sebesar 35.93 Nm, daya 6.13 hp. Pada mesin menggunakan *water injector* dengan tekanan 5 Psi menghasilkan 41.56 Nm, daya 7.07 hp pada putaran 1200 rpm. Terjadi peningkatan torsi sebesar 5.63 Nm dan peningkatan daya sebesar 0.94 hp, disebabkan bahwa campuran air dan bahan bakar tidak terlalu banyak yang masuk diruang bakar sehingga tidak mengalami penundaan pembakaran karena sebelum TMA terjadi pembakaran oleh sebab itu torsi naik.

c) Pengujian performa mesin standar pada putaran 1600 rpm dihasilkan torsi sebesar 40.05 Nm, daya 9.01 hp. Pada mesin menggunakan *water injector* dengan tekanan 5 Psi menghasilkan 42.89 Nm, daya 9.74 hp pada putaran 1600 rpm. Terjadi peningkatan torsi sebesar 2.84 Nm dan peningkatan daya sebesar 0.73 hp, disebabkan bahwa campuran air dan bahan bakar tidak terlalu banyak yang masuk diruang bakar sehingga tidak mengalami penundaan pembakaran karena sebelum TMA terjadi pembakaran oleh sebab itu torsi naik.

c. Analisa pengujian torsi dan daya mesin standar dan mesin menggunakan alat *water injector* pada tekanan 6 Psi dengan putaran 800, 1200, dan 1600 rpm.

a) Pengujian performa mesin standar pada putaran 800 rpm dihasilkan torsi sebesar 22.52 Nm, daya 2.60 hp. Pada mesin menggunakan *water injector* dengan tekanan 6 Psi menghasilkan 12.17 Nm, daya 1.39 hp pada putaran

800 rpm. Terjadi penurunan torsi sebesar 10.35 Nm dan penurunan daya sebesar 1.21 hp, pencetusan bunga api terlalu cepat maka akhir pembakaran akan terjadi sebelum langkah kompresi selesai sehingga mengakibatkan *knocking* dan tekanan yang dihasilkan akan melawan arah gerakan piston yang berakibat pada penurunan tenaga dan sebaliknya jika pencetusan bunga api terlalu lambat maka piston sudah melakukan langkah ekspansi sebelum terbentuk tekanan yang tinggi akibatnya tenaga yang dihasilkan tidak maksimal.

b) Pengujian performa mesin standar pada putaran 1200 rpm dihasilkan torsi sebesar 35.93 Nm, daya 6.13 hp. Pada mesin menggunakan *water injector* dengan tekanan 6 Psi menghasilkan 17.31 Nm, daya 2.88 hp pada putaran 1200 rpm. Terjadi penurunan torsi sebesar 18.62 Nm dan penurunan daya sebesar 3.25 hp, pencetusan bunga api terlalu cepat maka akhir pembakaran akan terjadi sebelum langkah kompresi selesai sehingga mengakibatkan *knocking* dan tekanan yang dihasilkan akan melawan arah gerakan piston yang berakibat pada penurunan tenaga dan sebaliknya jika pencetusan bunga api terlalu lambat maka piston sudah melakukan langkah ekspansi sebelum terbentuk tekanan yang tinggi akibatnya tenaga yang dihasilkan tidak maksimal.

c) Pengujian performa mesin standar pada putaran 1600 rpm dihasilkan torsi sebesar 40.05 Nm, daya 9.01 hp. Pada mesin menggunakan *water injector* dengan tekanan 6 Psi menghasilkan 20.42 Nm, daya 4.62 hp pada putaran 1600 rpm. Terjadi penurunan torsi sebesar 19.63 Nm dan penurunan daya

sebesar 4.39 hp, pencetusan bunga api terlalu cepat maka akhir pembakaran akan terjadi sebelum langkah kompresi selesai sehingga mengakibatkan *knocking* dan tekanan yang dihasilkan akan melawan arah gerakan piston yang berakibat pada penurunan tenaga dan sebaliknya jika pencetusan bunga api terlalu lambat maka piston sudah melakukan langkah ekspansi sebelum terbentuk tekanan yang tinggi akibatnya tenaga yang dihasilkan tidak maksimal.

- d. Hasil pengujian konsumsi bahan bakar sebelum dan sesudah menggunakan alat *water injector* dengan putaran 800, 1200, dan 1600 rpm pada setiap 50 mL/dtk dalam satuan L/jam.
- a) Pengujian konsumsi bahan bakar sebelum menggunakan *water injector* pada putaran 800 rpm dihasilkan sebesar 2.76 L/jam dan hasil sesudah menggunakan *water injector* sebesar pada tekanan 4 Psi 2.68, pada tekanan 5 Psi 2.6, pada tekanan 6 Psi 2.53 L/jam. Hasil uji konsumsi bahan bakar setelah menggunakan *water injector* terjadi penurunan sebesar 0.08, 0.16, 0.23 L/jam, terjadi penurunan konsumsi bahan bakar bahan bakar menjadi lebih irit dengan menggunakan *water injector* pada tiap putaran tertentu. Penurunan jumlah konsumsi bahan bakar dikarenakan efek dari *water injector* yang memperlambat terbakarnya bensin, sehingga pembakaran terjadi lebih sempurna.
 - b) Pengujian konsumsi bahan bakar sebelum menggunakan *water injector* pada putaran 1200 rpm dihasilkan sebesar 3.10 L/jam dan hasil sesudah menggunakan *water injector* sebesar pada tekanan 4 Psi 3, pada tekanan 5

Psi 2.90, pada tekanan 6 Psi 2.85 L/jam. Hasil uji konsumsi bahan bakar setelah menggunakan *water injector* terjadi penurunan sebesar 2.8, 0.20, 0.25 L/jam, terjadi penurunan konsumsi bahan bakar bahan bakar menjadi lebih irit dengan menggunakan *water injector* pada tiap putaran tertentu. Penurunan jumlah konsumsi bahan bakar dikarenakan efek dari *water injector* yang memperlambat terbakarnya bensin, sehingga pembakaran terjadi lebih sempurna.

- c) Pengujian konsumsi bahan bakar sebelum menggunakan *water injector* pada putaran 1600 rpm dihasilkan sebesar 3.67 L/jam dan hasil sesudah menggunakan *water injector* sebesar pada tekanan 4 Psi 3.6, pada tekanan 5 Psi 3.46, pada tekanan 6 Psi 3.27 L/jam. Hasil uji konsumsi bahan bakar setelah menggunakan *water injector* terjadi penurunan sebesar 0.07, 0.21, 0.40 L/jam.

Pada analisa hasil uji konsumsi bahan bakar mesin Toyota Starlet 4E-FTE sebelum menggunakan *water injector* dengan sesudah menggunakan *water injector* terjadi penurunan konsumsi bahan bakar. Bahan bakar menjadi lebih irit dengan menggunakan *water injector* pada tiap putaran tertentu. Penurunan jumlah konsumsi bahan bakar dikarenakan efek dari *water injector* yang memperlambat terbakarnya bensin, sehingga pembakaran terjadi lebih sempurna.

- e. Hasil uji laju aliran massa bahan bakar sebelum dan sesudah menggunakan *water injector* pada putaran 800, 1200, dan 1600 rpm.

- a) Pengujian laju aliran massa bahan bakar sebelum menggunakan *water injector* pada putaran 800 rpm dihasilkan sebesar 1.96 kg/jam dan hasil sesudah menggunakan *water injector* pada tekanan 4 Psi 1.90, tekanan 5 Psi 1.84, tekanan 6 Psi 1.79 kg/jam. Hasil uji laju aliran massa bahan bakar terjadi penurunan sebesar 0.06, 0.12, 0.17 kg/jam, dikarenakan adanya perubahan tekanan pompa. Sehingga saat tekanan pompa dinaikan maka laju aliran massa air semakin cepat.
- b) Pengujian laju aliran massa bahan bakar sebelum menggunakan *water injector* pada putaran 1200 rpm dihasilkan sebesar 2.20 kg/jam dan hasil sesudah menggunakan *water injector* pada tekanan 4 Psi 2.13, tekanan 5 Psi 2.06, tekanan 6 Psi 2.02 kg/jam. Hasil uji laju aliran massa bahan bakar terjadi penurunan sebesar 0.07, 0.14, 0.18 kg/jam, dikarenakan adanya perubahan tekanan pompa. Sehingga saat tekanan pompa dinaikan maka laju aliran massa air semakin cepat.
- c) Pengujian laju aliran massa bahan bakar sebelum menggunakan *water injector* pada putaran 1600 rpm dihasilkan sebesar 2.60 kg/jam dan hasil sesudah menggunakan *water injector* pada tekanan 4 Psi 2.55 tekanan 5 Psi 2.46 tekanan 6 Psi 2.32 kg/jam. Hasil uji laju aliran massa bahan bakar terjadi penurunan sebesar 0.05, 0.14, 0.28 kg/jam, dikarenakan adanya perubahan tekanan pompa. Sehingga saat tekanan pompa dinaikan maka laju aliran massa air semakin cepat.

f. Hasil uji laju aliran massa air dengan menggunakan tekanan *water injector* sebesar 4, 5, dan 6 Psi, putaran 800, 1200, dan 1600 rpm pada setiap 15 mL/dtk dalam satuan L/jam.

a) Pengujian laju aliran massa air pada putaran 800 rpm dengan tekanan 4, 5, dan 6 Psi sebesar 1.28, 1.35, 1.42 L/jam. Terjadi kenaikan laju aliran massa air pada setiap perubahan tekanan air dan pada perubahan putaran mesin.

b) Pengujian laju aliran massa air pada putaran 1200 rpm dengan tekanan 4, 5, dan 6 Psi sebesar 1.54, 1.8, 1.92 L/jam. Terjadi kenaikan laju aliran massa air pada setiap perubahan tekanan air dan pada perubahan putaran mesin.

c) Pengujian laju aliran massa air pada putaran 1600 rpm dengan tekanan 4, 5, dan 6 Psi sebesar 2.16, 2.7, 3.6 L/jam.

Analisa laju aliran massa air mengalami penurunan pada rpm rendah, dikarenakan putaran mesin semakin rendah semakin turun laju aliran massa air dan sebaliknya dengan adanya perubahan tekanan pompa setiap rpm. Jika tekanan pompa dinaikan maka laju aliran massa air semakin cepat.

2. 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 :

Inertia Dynamometer menggunakan putaran *flywheel* sehingga pembebanan yang dapat diberikan sangatlah terbatas. Besarnya rpm mesin yang dapat diberikan pada pengujian performa mesin ini juga belum bisa

maksimal dikarenakan kapasitas *flywheel* yang kurang berat sehingga pembebanan kurang maksimal terhadap daya mesin yang besar. Hal ini menjadikan hasil pengukuran belum tentu cocok jika diterapkan untuk pengujian mesin kendaraan yang lain.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa data dan pembahasan penelitian pada bab IV beserta lampiran, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa ada pengaruh terhadap tekanan pompa *water injector* pada performa Toyota Starlet GT turbo 4E-FTE. Peningkatan performa terjadi pada variasi tekanan 5 Psi dan hanya pada putaran tinggi sekitar 1600 rpm dan terjadi penurunan konsumsi bahan bakar setelah menggunakan alat *water injector* dengan variasi tekanan pompa 4, 5 dan 6 Psi.

B. Saran

Dapat dimaklumi jika hasil pengujian performa menggunakan *inertia dynamometer* ini tidak sebagus data yang dihasilkan oleh *dynamometer* yang sesungguhnya. Beberapa hal yang perlu diadakan penelitian lebih lanjut telah sedikit disinggung di dalam bab sebelumnya. Beberapa saran yang bisa dipertimbangkan agar penelitian ini lebih sempurna antara lain:

1. Perlu dilakukan penyempurnaan *inertia dynamometer* agar pembebanan yang dapat diberikan bisa maksimal dan dapat dilakukan pengujian performa mesin pada rpm tinggi /maksimal.
2. Perlu dilakukan pengujian dengan menggunakan mesin yang benar-benar baru, sehingga dapat diketahui performa mesin yang belum mengalami penurunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, Suharsimi. 1998. *Prosedur Penelitian*. Jakarta: Bineka Cipta.
- I.Roumeliotis, K. Mathioudakis / *Applied Energy*, 87 : 2010. 1207–1216
- Martyr, A; Plint M (2007). *Engine Testing - Theory and Practice* (Thirded.).
Oxford, UK: Butterworth-Heinemann.
- Mathur. M. L. 1980. *internal combustion Engines*. Nai sarak: Delhi
- Pramono, Sigit. 2009. *pengaruh water injection pada performa sepeda motor empat langkah*. Skripsi : UMS
- Sharma. R. P. 1980. *internal combustion Engines*. Nai sarak: Delhi
- Sudjana. 2002. *Desain dan Analisis Eksperimen*. Bandung: Tarsito
- Saftari, Firmansyah. 2006. *Utak-Atik Otomotif*. Jakarta : Elek Media Kompotindo.
- www.wikipedia.com
- Diakses, 10 November 2010.
- <http://starlet2e.blogspot.com/water-injection-starlet.html>
- Diakses, 07 Desember 2010.

Lampiran-lampiran.

A. Pengujian torsi dan daya mesin 4E-FTE standar

1. Pengujian mesin 4E-FTE rpm 800

$$\begin{aligned}
 \text{Inersia} &= 0.638375 \text{ kg.m}^2 \\
 \text{Percepatan sudut } w(1) &= (797.4542/60) \times 2 \times 3.14 \\
 &= 83.46688 \text{ detik} \\
 \text{Percepatan sudut } w(2) &= (822.2762/60) \times 2 \times 3.14 \\
 &= 86.06491 \text{ detik} \\
 \text{energy rotasi} &= 0.638375 (86.06491^2/2) \text{ joule} \\
 &= 2364.2757 \text{ joule} \\
 &= 0.638375 (83.46688^2/2) \text{ joule} \\
 &= 2223.69 \text{ joule} \\
 \text{Selisih energy rotasi} &= 2364.2757 - 2223.69 \\
 &= 140.5857 \text{ joule} \\
 \text{Power (kW)} &= 140.5857 \text{ joule} / 0.073674 \text{ detik} / 1000 \\
 &= 1.9082132 \text{ KW} \\
 \text{Power (HP)} &= 1.9082132 \times 1.3410 \\
 &= 2.55 \text{ HP} \\
 \text{Torsi (Nm)} &= 1.9082132 \text{ (KW)} \times 9549.305 / 822.2762 \\
 &= 22.16 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

2. Pengujian mesin 4E-FTE rpm 1200

$$\begin{aligned}
 \text{Inersia} &= 0.638375 \text{ kg.m}^2 \\
 \text{Percepatan sudut } w(1) &= (1190.057/60) \times 2 \times 3.14
 \end{aligned}$$

$$= 124.5593 \text{ detik}$$

Percepatan sudut w (2) $= (1215.663/60) \times 2 \times 3.14$

$$= 127.23939 \text{ detik}$$

energy rotasi $= 0,638375 (124.5593^2 / 2) \text{ joule}$

$$= 4952.2001 \text{ joule}$$

$$= 0.638375 (127.23939^2 / 2) \text{ joule}$$

$$= 5167.6016 \text{ joule}$$

Selisih energy rotasi $= 4952.2001 - 5167.6016$

$$= 215.4015 \text{ joule}$$

Power (kW) $= 215.4015 \text{ joule} / 0.0476417 / 1000$

$$= 4.5212807 \text{ KW}$$

Power (HP) $= 4.5212807 \times 1.3410$

$$= 6.06 \text{ HP}$$

Torsi (Nm) $= 4.5212807 \text{ (KW)} \times 9549.305 / 1215.663$

$$= 35.51 \text{ Nm}$$

3. Pengujian mesin 4E-FTE rpm 1600

Inersia $= 0.638375 \text{ kg.m}^2$

Percepatan sudut w (1) $= (1579.945/60) \times 2 \times 3.14$

$$= 165.367 \text{ detik}$$

Percepatan sudut w (2) $= (1602.6727/60) \times 2 \times 3.14$

$$= 167.746 \text{ detik}$$

energy rotasi $= 0.638375 (165.367^2 / 2) \text{ joule}$

$$= 8728.579 \text{ joule}$$

$$= 0.638375 (167.746^2 / 2) \text{ joule}$$

$$= 8981.528 \text{ joule}$$

Selisih energy rotasi $= 8728.579 - 8981.528$

$$= 252.949 \text{ joule}$$

Power (kW) $= 252.949 \text{ joule} / 0.03794 \text{ detik} / 1000$

$$= 6.66707 \text{ KW}$$

Power (HP) $= 6.66707 \times 1.3410$

$$= 8.94 \text{ HP}$$

Torsi (Nm) $= 6.66707 \text{ (KW)} \times 9549.305 / 1602.6727$

$$= 39.72 \text{ Nm}$$

B. Pengujian torsi dan daya mesin 4E-FTE dengan alat *water injector* pada 800 rpm

1. Pengujian mesin 4E-FTE dengan tekanan *water injector* 4 Psi

Inersia $= 0.638375 \text{ kg.m}^2$

Percepatan sudut $w(1) = (779.417 / 60) \times 2 \times 3.14$

$$= 81.578977 \text{ detik}$$

Percepatan sudut $w(2) = (801.885 / 60) \times 2 \times 3.14$

$$= 83.93063 \text{ detik}$$

energy rotasi $= 0.638375 (81.578977^2 / 2) \text{ joule}$

$$= 2124.2342 \text{ joule}$$

$$= 0.638375 (83.93063^2 / 2) \text{ joule}$$

$$= 2248.4687 \text{ joule}$$

Selisih energy rotasi $= 2124.2342 - 2248.4687$

$$= 124.2345 \text{ joule}$$

$$\text{Power (kW)} = 124.2345 \text{ joule} / 0.07483 \text{ detik} / 1000$$

$$= 1.66022 \text{ KW}$$

$$\text{Power (HP)} = 1.66022 \times 1.3410$$

$$= 2.22 \text{ HP}$$

$$\text{Torsi (Nm)} = 1.66022 \text{ (KW)} \times 9549.305 / 801.885$$

$$= 19.77 \text{ Nm}$$

2. Pengujian mesin 4E-FTE dengan tekanan *water injector* 5 Psi

$$\text{Inersia} = 0.638375 \text{ kg.m}^2$$

$$\text{Percepatan sudut } \omega (1) = (798.1025/60) \times 2 \times 3.14$$

$$= 83.534726 \text{ detik}$$

$$\text{Percepatan sudut } \omega (2) = (828.2724/60) \times 2 \times 3.14$$

$$= 86.692511 \text{ detik}$$

$$\text{energy rotasi} = 0.638375 (83.534726^2 / 2) \text{ joule}$$

$$= 2227.3065 \text{ joule}$$

$$= 0.638375 (86.692511^2 / 2) \text{ joule}$$

$$= 2398.8829 \text{ joule}$$

$$\text{Selisih energy rotasi} = 2398.8829 - 2227.3065$$

$$= 171.5764 \text{ joule}$$

$$\text{Power (kW)} = 171.5764 \text{ joule} / 0.074353 \text{ detik} / 1000$$

$$= 2.3075922 \text{ KW}$$

$$\text{Power (HP)} = 2.3075922 \times 1.3410$$

$$= 3.09 \text{ HP}$$

$$\begin{aligned} \text{Torsi (Nm)} &= 2.3075922 \text{ (KW)} \times 9549.305/828.2724 \\ &= 26.60 \text{ Nm} \end{aligned}$$

3. Pengujian torsi dan daya mesin 4E-FTE dengan tekanan *water injector* 6

Psi

$$\text{Inersia} = 0.638375 \text{ kg.m}^2$$

$$\text{Percepatan sudut } \omega (1) = (797.7885/60) \times 2 \times 3.14$$

$$= 83.501863 \text{ detik}$$

$$\text{Percepatan sudut } \omega (2) = (810.8888/60) \times 2 \times 3.14$$

$$= 84.873026 \text{ detik}$$

$$\text{energy rotasi} = 0.638375 (83.501863^2/2) \text{ joule}$$

$$= 2225.554 \text{ joule}$$

$$= 0.638375 (84.873026^2/2) \text{ joule}$$

$$= 2299.245 \text{ joule}$$

$$\text{Selisih energy rotasi} = 2225.554 - 2299.245$$

$$= 73.691 \text{ joule}$$

$$\text{Power (kW)} = 73.691 \text{ joule}/0.07198 \text{ detik}/1000$$

$$= 1.0237705 \text{ KW}$$

$$\text{Power (HP)} = 1.0237705 \times 1.3410$$

$$= 1.37 \text{ HP}$$

$$\text{Torsi (Nm)} = 1.0237705 \text{ (KW)} \times 9549.305/810.8888$$

$$= 12.05 \text{ Nm}$$

C. Pengujian torsi dan daya mesin 4E-FTE dengan alat *water injector* pada 1200 rpm

1. Pengujian mesin 4E-FTE dengan tekanan *water injector* 4 Psi

$$\text{Inersia} = 0.638375 \text{ kg.m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Percepatan sudut } w(1) &= (1192.957155/60) \times 2 \times 3.14 \\ &= 124.86284 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\text{Percepatan sudut } w(2) = (1209.976944/60) \times 2 \times 3.14$$

$$= 126.64425 \text{ detik}$$

$$\text{energy rotasi} = 0.638375 (124.86284^2 / 2) \text{ joule}$$

$$= 4976.3658 \text{ joule}$$

$$= 0.638375 (126.64425^2 / 2) \text{ joule}$$

$$= 5119.3736 \text{ joule}$$

$$\text{Selisih energy rotasi} = 4976.3658 - 5119.3736$$

$$= 143.0078 \text{ joule}$$

$$\text{Power (kW)} = 143.0078 \text{ joule} / 0.047 \text{ detik} / 1000$$

$$= 3.0427191 \text{ KW}$$

$$\text{Power (HP)} = 3.0427191 \times 1.3410$$

$$= 4.08 \text{ HP}$$

$$\text{Torsi (Nm)} = 3.0427191 \text{ (KW)} \times 9549.305 / 1209.976944$$

$$= 24.01 \text{ Nm}$$

2. Pengujian mesin 4E-FTE dengan tekanan *water injector* 5 Psi

$$\text{Inersia} = 0.638375 \text{ kg.m}^2$$

$$\text{Percepatan sudut } w(1) = (1179.616/60) \times 2 \times 3.14$$

$$= 123.46648 \text{ detik}$$

Percepatan sudut w (2) $= (1210.573/60) \times 2 \times 3.14$

$$= 126.70664 \text{ detik}$$

energy rotasi $= 0.638375 (123.46648^2 / 2) \text{ joule}$

$$= 4865.6853 \text{ joule}$$

$$= 0.638375 (126.70664^2 / 2) \text{ joule}$$

$$= 5124.419 \text{ joule}$$

Selisih energy rotasi $= 4865.6853 - 5124.419$

$$= 258.7337 \text{ joule}$$

Power (kW) $= 258.7337 \text{ joule} / 0.049796 \text{ detik} / 1000$

$$= 5.1958732 \text{ KW}$$

Power (HP) $= 5.1958732 \times 1.3410$

$$= 6.96 \text{ HP}$$

Torsi (Nm) $= 5.1958732 \text{ (KW)} \times 9549.305 / 1210.573$

$$= 40.98 \text{ Nm}$$

3. Pengujian mesin 4E-FTE dengan tekanan *water injector* 6 Psi

Inersia $= 0.638375 \text{ kg.m}^2$

Percepatan sudut w (1) $= (1192.48/60) \times 2 \times 3.14$

$$= 124.81291 \text{ detik}$$

Percepatan sudut w (2) $= (1204.00/60) \times 2 \times 3.14$

$$= 126.01867 \text{ detik}$$

energy rotasi $= 0.638375 (124.81291^2 / 2) \text{ joule}$

$$= 4972.3868 \text{ joule}$$

$$= 0.638375 (126.01867^2 / 2) \text{ joule}$$

$$= 5068.9225 \text{ joule}$$

Selisih energy rotasi $= 4972.3868 - 5068.9225$

$$= 96.5357 \text{ joule}$$

Power (kW) $= 96.5357 \text{ joule} / 0.044467 \text{ detik} / 1000$

$$= 2.1709515 \text{ KW}$$

Power (HP) $= 2.1709515 \times 1.3410$

$$= 2.91 \text{ HP}$$

Torsi (Nm) $= 2.1709515 \text{ (KW)} \times 9549.305 / 1204.00$

$$= 17.21 \text{ Nm}$$

D. Pengujian torsi dan daya mesin 4E-FTE dengan alat *water injector* pada 1600 rpm

1. Pengujian mesin 4E-FTE dengan tekanan *water injector* 4 Psi

Inersia $= 0.638375 \text{ kg.m}^2$

Percepatan sudut $w (1) = (1596.078366 / 60) \times 2 \times 3.14$

$$= 167.0562 \text{ detik}$$

Percepatan sudut $w (2) = (1610.952082 / 60) \times 2 \times 3.14$

$$= 168.61298$$

energy rotasi $= 0.638375 (167.0562^2 / 2) \text{ joule}$

$$= 8907.8126 \text{ joule}$$

$$= 0.638375 (168.61298^2 / 2) \text{ joule}$$

$$= 9074.6085 \text{ joule}$$

Selisih energy rotasi $= 8907.8126 - 9074.6085$

$$= 166.7959 \text{ joule}$$

$$\text{Power (kW)} = 166.7959 \text{ joule} / 0.03812 \text{ detik} / 1000$$

$$= 4.3755483 \text{ KW}$$

$$\text{Power (HP)} = 4.3755483 \times 1.3410$$

$$= 5.86 \text{ HP}$$

$$\text{Torsi (Nm)} = 4.3755483 \text{ (KW)} \times 9549.305 / 1610.952082$$

$$= 25.93 \text{ Nm}$$

2. Pengujian mesin 4E-FTE dengan tekanan *water injector* 5 Psi

$$\text{Inersia} = 0.638375 \text{ kg.m}^2$$

$$\text{Percepatan sudut } \omega (1) = (1592.523/60) \times 2 \times 3.14$$

$$= 166.68407 \text{ detik}$$

$$\text{Percepatan sudut } \omega (2) = (1616.423/60) \times 2 \times 3.14$$

$$= 169.18561 \text{ detik}$$

$$\text{energy rotasi} = 0.638375 (166.68407^2 / 2) \text{ joule}$$

$$= 8868.1714 \text{ joule}$$

$$= 0.638375 (169.18561^2 / 2) \text{ joule}$$

$$= 9136.3502 \text{ joule}$$

$$\text{Selisih energy rotasi} = 8868.1714 - 9136.3502$$

$$= 268.1788 \text{ joule}$$

$$\text{Power (kW)} = 268.1788 \text{ joule} / 0.03726 \text{ detik} / 1000$$

$$= 7.1974987 \text{ KW}$$

$$\text{Power (HP)} = 7.1974987 \times 1.3410$$

$$= 9.65 \text{ HP}$$

$$\begin{aligned} \text{Torsi (Nm)} &= 7.1974987 \text{ (KW)} \times 9549.305/1616.423 \\ &= 42.52 \text{ Nm} \end{aligned}$$

3. Pengujian mesin 4E-FTE dengan tekanan *water injector* 6 Psi

$$\text{Inersia} = 0.638375 \text{ kg.m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Percepatan sudut } \omega (1) &= (1598.1749/60) \times 2 \times 3.14 \\ &= 167.27564 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\text{Percepatan sudut } \omega (2) = (1609.5467/60) \times 2 \times 3.14$$

$$= 168.46589 \text{ detik}$$

$$\text{energy rotasi} = 0.638375 (167.27564^2 / 2) \text{ joule}$$

$$= 8931.2301 \text{ joule}$$

$$= 0.638375 (168.46589^2 / 2) \text{ joule}$$

$$= 9058.7826 \text{ joule}$$

$$\text{Selisih energy rotasi} = 8931.2301 - 9058.7826$$

$$= 127.5516 \text{ joule}$$

$$\text{Power (kW)} = 127.5516 \text{ joule} / 0.037234 \text{ detik} / 1000$$

$$= 3.4256755 \text{ KW}$$

$$\text{Power (HP)} = 3.4256755 \times 1.3410$$

$$= 4.59 \text{ HP}$$

$$\text{Torsi (Nm)} = 3.4256755 \text{ (KW)} \times 9549.305 / 1609.5467$$

$$= 20.32 \text{ Nm}$$

E. Konsumsi bahan bakar

$$FC = \frac{vf}{T} \cdot \frac{3600}{1000}$$

FC = konsumsi bahan bakar (L/jam)

vf = konsumsi bahan bakar selama t detik (mL)

t = interval waktu pengukuran konsumsi bahan bakar (detik)

1) Konsumsi bahan bakar pada putaran 800 rpm

$$FC \text{ standar} = \frac{50}{65} \times \frac{3600}{1000} = \frac{180000}{65000} = 2.76 \text{ L/jam}$$

$$FC \text{ tekanan 4 Psi} = \frac{50}{67} \times \frac{3600}{1000} = \frac{180000}{67000} = 2.68 \text{ L/jam}$$

$$FC \text{ tekanan 5 Psi} = \frac{50}{69} \times \frac{3600}{1000} = \frac{180000}{69000} = 2.60 \text{ L/jam}$$

$$FC \text{ tekanan 6 Psi} = \frac{50}{71} \times \frac{3600}{1000} = \frac{180000}{71000} = 2.53 \text{ L/jam}$$

2) Konsumsi bahan bakar pada putaran 1200 rpm

$$FC \text{ standar} = \frac{50}{58} \times \frac{3600}{1000} = \frac{180000}{58000} = 3.10 \text{ L/jam}$$

$$FC \text{ tekanan 4 Psi} = \frac{50}{60} \times \frac{3600}{1000} = \frac{180000}{60000} = 3 \text{ L/jam}$$

$$FC \text{ tekanan 5 Psi} = \frac{50}{62} \times \frac{3600}{1000} = \frac{180000}{62000} = 2.90 \text{ L/jam}$$

$$FC \text{ tekanan 6 Psi} = \frac{50}{63} \times \frac{3600}{1000} = \frac{180000}{63000} = 2.85 \text{ L/jam}$$

3) Konsumsi bahan bakar pada putaran 1600 rpm

$$FC \text{ standar} = \frac{50}{49} \times \frac{3600}{1000} = \frac{180000}{49000} = 3.67 \text{ L/jam}$$

$$FC \text{ tekanan 4 Psi} = \frac{50}{50} \times \frac{3600}{1000} = \frac{180000}{50000} = 3.6 \text{ L/jam}$$

$$\text{FC tekanan 5 Psi} = \frac{50}{52} \times \frac{3600}{1000} = \frac{180000}{52000} = 3.46 \text{ L/jam}$$

$$\text{FC tekanan 6 Psi} = \frac{50}{55} \times \frac{3600}{1000} = \frac{180000}{55000} = 3.27 \text{ L/jam}$$

F. Laju aliran massa bahan bakar

$$\dot{m}_f = \frac{FC \times \rho_f}{3600 \times 1000}$$

\dot{m}_f = laju aliran bahan bakar (kg/detik)

FC = konsumsi bahan bakar (L/jam)

ρ_f = massa jenis bahan bakar (kg/m^3)

1) Laju aliran massa bahan bakar putaran mesin 800 rpm

$$\dot{m}_f \text{ standar} = \frac{2.76 \times 711}{3600 \times 1000} = \frac{1962.36}{3600000} = 0.0005451 \text{ kg/detik} = 1.96 \text{ kg/jam}$$

$$\dot{m}_f \text{ tekanan 4 Psi} = \frac{2.68 \times 711}{3600 \times 1000} = \frac{1905.48}{3600000} = 0.0005293 \text{ kg/detik} = 1.90 \text{ kg/jam}$$

$$\dot{m}_f \text{ tekanan 5 Psi} = \frac{2.60 \times 711}{3600 \times 1000} = \frac{1848.6}{3600000} = 0.0005135 \text{ kg/detik} = 1.84 \text{ kg/jam}$$

$$\dot{m}_f \text{ tekanan 6 Psi} = \frac{2.53 \times 711}{3600 \times 1000} = \frac{1798.83}{3600000} = 0.0004997 \text{ kg/detik} = 1.79 \text{ kg/jam}$$

2) Laju aliran massa bahan bakar putaran mesin 1200 rpm

$$\dot{m}_f \text{ standar} = \frac{3.10 \times 711}{3600 \times 1000} = \frac{2204.1}{3600000} = 0.0006123 \text{ kg/detik} = 2.20 \text{ kg/jam}$$

$$\dot{m}_f \text{ tekanan 4 Psi} = \frac{3 \times 711}{3600 \times 1000} = \frac{2133}{3600000} = 0.0005925 \text{ kg/detik} = 2.13 \text{ kg/jam}$$

$$\dot{m}_f \text{ tekanan 5 Psi} = \frac{2.90 \times 711}{3600 \times 1000} = \frac{2061.9}{3600000} = 0.0005728 \text{ kg/detik} =$$

2.06 kg/jam

$$\dot{m}_f \text{ tekanan 6 Psi} = \frac{2.85 \times 711}{3600 \times 1000} = \frac{2026.35}{3600000} = 0.0005629 \text{ kg/detik} =$$

2.02 kg/jam

3) Laju aliran massa bahan bakar putaran mesin 1600 rpm

$$\dot{m}_f \text{ standar} = \frac{3.67 \times 711}{3600 \times 1000} = \frac{2609.37}{3600000} = 0.000724825 \text{ kg/detik} =$$

2.60 kg/jam

$$\dot{m}_f \text{ tekanan 4 Psi} = \frac{3.6 \times 711}{3600 \times 1000} = \frac{2559.6}{3600000} = 0.000711 \text{ kg/detik} =$$

2.55 kg/jam

$$\dot{m}_f \text{ tekanan 5 Psi} = \frac{3.46 \times 711}{3600 \times 1000} = \frac{2460.06}{3600000} = 0.0006834 \text{ kg/detik} =$$

2.46 kg/jam

$$\dot{m}_f \text{ tekanan 6 Psi} = \frac{3.27 \times 711}{3600 \times 1000} = \frac{2324.97}{3600000} = 0.0006458 \text{ kg/detik} =$$

2.32 kg/jam

G. Laju aliran massa air

$$\dot{m}_w = \frac{W_c \cdot \rho_f}{3600 \times 1000}$$

\dot{m}_w = laju aliran Air (kg/detik)

W_c = konsumsi Air (L/jam)

ρ_f = massa jenis Air (kg/m³)

1) Laju aliran massa air putaran mesin 800 rpm

$$\dot{m}_w \text{ tekanan 4 Psi} = \frac{1.28 \times 1000}{3600 \times 1000} = \frac{1280}{3600000} = 0.0003556 \text{ kg/detik} =$$

1.28 kg/jam

$$\dot{m}_w \text{ tekanan 5 Psi} = \frac{1.35 \times 1000}{3600 \times 1000} = \frac{1350}{3600000} = 0.000375 \text{ kg/detik} =$$

1.35 kg/jam

$$\dot{m}_w \text{ tekanan 6 Psi} = \frac{1.42 \times 1000}{3600 \times 1000} = \frac{1420}{3600000} = 0.0003944 \text{ kg/detik} =$$

1.42 kg/jam

2) Laju aliran massa air putaran mesin 1200 rpm

$$\dot{m}_w \text{ tekanan 4 Psi} = \frac{1.54 \times 1000}{3600 \times 1000} = \frac{1540}{3600000} = 0.0004278 \text{ kg/detik} =$$

1.54 kg/jam

$$\dot{m}_w \text{ tekanan 5 Psi} = \frac{1.8 \times 1000}{3600 \times 1000} = \frac{1800}{3600000} = 0.0005 \text{ kg/detik} = 1.8 \text{ kg/jam}$$

$$\dot{m}_w \text{ tekanan 6 Psi} = \frac{1.92 \times 1000}{3600 \times 1000} = \frac{1920}{3600000} = 0.0005333 \text{ kg/detik} =$$

1.92 kg/jam

3) Laju aliran massa air putaran mesin 1600 rpm

$$\dot{m}_w \text{ tekanan 4 Psi} = \frac{2.16 \times 1000}{3600 \times 1000} = \frac{2160}{3600000} = 0.0006 \text{ kg/detik} = 2.16 \text{ kg/jam}$$

$$\dot{m}_w \text{ tekanan 5 Psi} = \frac{2.7 \times 1000}{3600 \times 1000} = \frac{2700}{3600000} = 0.00075 \text{ kg/detik} = 2.7 \text{ kg/jam}$$

$$\dot{m}_w \text{ tekanan 6 Psi} = \frac{3.6 \times 1000}{3600 \times 1000} = \frac{3600}{3600000} = 0.001 \text{ kg/detik} = 3.6 \text{ kg/jam}$$

Massa air adalah berat jenis. Air berhubungan dengan tekanan, semakin tekanan air itu encer maka semakin mudah untuk dikabutkan dan sebaliknya jika tekanan air itu kental maka sulit untuk dikabutkan

H. *Sfc* (*Specific fuel consumption*)

$$Sfc = \frac{\dot{m}_f}{P}$$

\dot{m}_f = Laju aliran massa bahan bakar (kg/jam)

P = Daya (hp)

1) *Specific Fuel Consumption* standar tanpa menggunakan *water injector*

a. Pada 800 rpm

$$\begin{aligned} Sfc &= \frac{1.96 \text{ kg/jam}}{2.6 \text{ hp}} \\ &= 1.32 \text{ kg/hp.jam} \end{aligned}$$

b. Pada 1200 rpm

$$\begin{aligned} Sfc &= \frac{2.2 \text{ kg/jam}}{6.13 \text{ hp}} \\ &= 0.35 \text{ kg/hp.jam} \end{aligned}$$

c. Pada 1600 rpm

$$\begin{aligned} Sfc &= \frac{2.6 \text{ kg/jam}}{9.01 \text{ hp}} \\ &= 0.28 \text{ kg/hp.jam} \end{aligned}$$

2) *Specific Fuel Consumption* dengan menggunakan *water injector*

a. Pada 800 rpm, tekanan 4 Psi

$$\begin{aligned} Sfc &= \frac{1.9 \text{ kg/jam}}{2.26 \text{ hp}} \\ &= 0.84 \text{ kg/hp.jam} \end{aligned}$$

b. Pada 800 rpm, tekanan 5 Psi

$$\begin{aligned} Sfc &= \frac{1.84 \text{ kg/jam}}{3.16 \text{ hp}} \\ &= 0.58 \text{ kg/hp.jam} \end{aligned}$$

c. Pada 800 rpm, tekanan 6 Psi

$$\begin{aligned} Sfc &= \frac{1.79 \text{ kg/jam}}{1.39 \text{ hp}} \\ &= 1.28 \text{ kg/hp.jam} \end{aligned}$$

d. Pada 1200 rpm, tekanan 4 Psi

$$\begin{aligned} Sfc &= \frac{2.13 \text{ kg/jam}}{4.11 \text{ hp}} \\ &= 0.51 \text{ kg/hp.jam} \end{aligned}$$

e. Pada 1200 rpm, tekanan 5 Psi

$$\begin{aligned} Sfc &= \frac{2.06 \text{ kg/jam}}{7.07 \text{ hp}} \\ &= 0.29 \text{ kg/hp.jam} \end{aligned}$$

f. Pada 1200 rpm, tekanan 6 Psi

$$\begin{aligned} Sfc &= \frac{2.02 \text{ kg/jam}}{2.88 \text{ hp}} \\ &= 0.70 \text{ kg/hp.jam} \end{aligned}$$

g. Pada 1600 rpm, tekanan 4 Psi

$$\begin{aligned} Sfc &= \frac{2.55 \text{ kg/jam}}{5.9 \text{ hp}} \\ &= 0.43 \text{ kg/hp.jam} \end{aligned}$$

h. Pada 1600 rpm, tekanan 5 Psi

$$\begin{aligned} Sfc &= \frac{2.46 \text{ kg/jam}}{9.74 \text{ hp}} \\ &= 0.25 \text{ kg/hp.jam} \end{aligned}$$

i. Pada 1600 rpm, tekanan 6 Psi

$$\begin{aligned} Sfc &= \frac{2.32 \text{ kg/jam}}{4.62 \text{ hp}} \\ &= 0.50 \text{ kg/hp.jam} \end{aligned}$$

1. Tabel. Spesifikasi mesin

Mesin Starlet GT Turbo 4E-FTE	
Mesin	4E-FTE L4 1331cc EFI DOHC 16 <i>valve</i>
Turbo	Toyota ct-9 Turbocharger (CT-9A)
Daya mesin	133hp pada 6400rpm
Torsi	16.0kgm pada 4800rpm
Rpm maksimal	7200 rpm
Kompresi	8.2:1
Diameter & langkah	74 x 77.4
Kapasitas <i>injector</i>	4 x 295cc/min
Tekanan turbo	0.40 bar – 0.65 bar





7. Filter



8. Pompa air



5. Nozzel



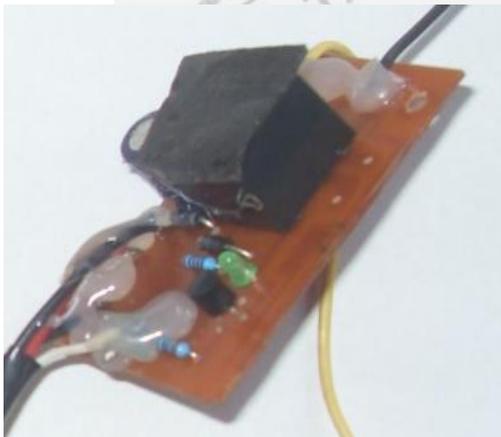
6. Selang air



3. *Pressure gauge*



4. *Tangki air*



1. *Relay*



2. *Sensor infra red*



9. T fitting



10. Solenoid

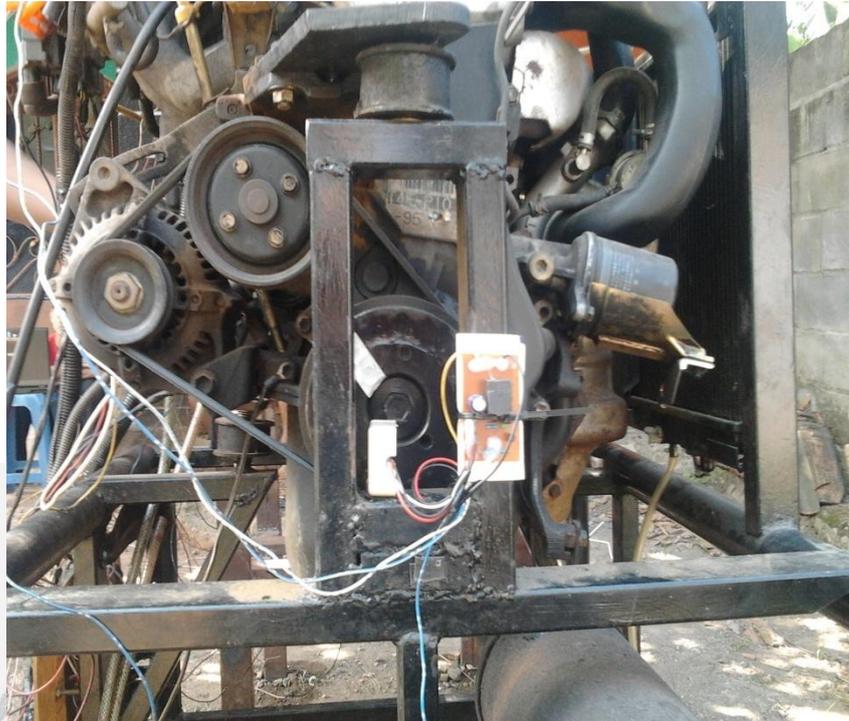




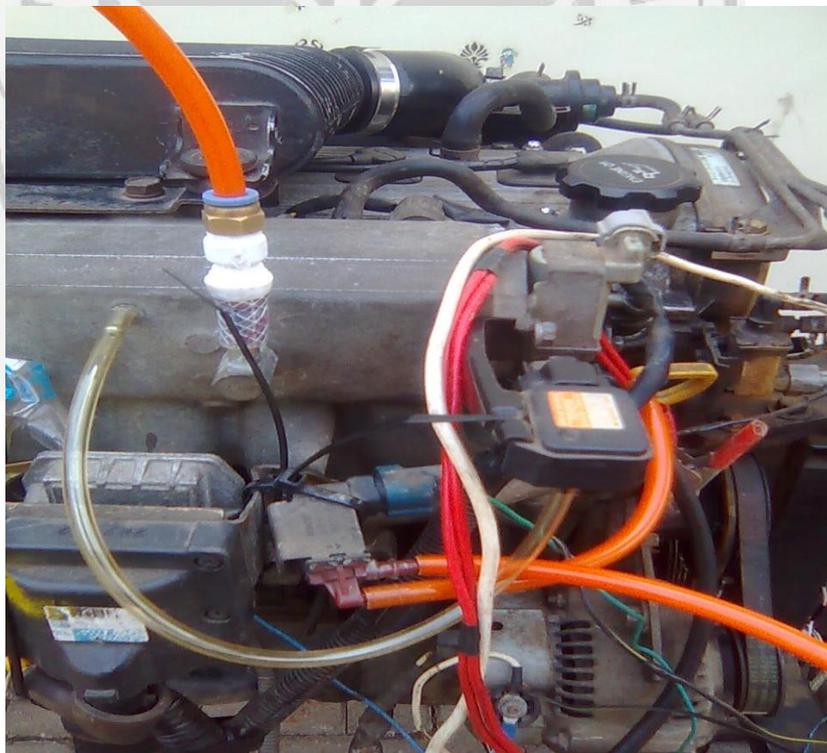
1. Foto penelitian konsumsi bahan bakar



2. Foto penelitian uji alat *water injector*



3. Foto penelitian sensor *infra red* dan *relay*



4. Foto penelitian pemasangan alat *water injector*



5. Foto penelitian *inertia dynamometer*

