

**KARAKTERISTIK PRESTASI MOTOR BENSIN 2-LANGKAH
DIRECT INJECTION 110 CC DALAM VARIASI WAKTU,
DURASI INJEKSI DAN TEKANAN BAHAN BAKAR**



**OLEH:
FAJAR RUMANTO
5315122780**

**Skripsi ini Ditulis Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Mendapatkan Gelar
Sarjana Pendidikan**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN VOKASIONAL TEKNIK
MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
2018**

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Fajar Rumanto
No. Reg : 5315122780
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin
Jurusan : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Universitas : Universitas Negeri Jakarta

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa penulisan skripsi yang berjudul **“Karakteristik Prestasi Motor Bensin 2-Langkah *Direct Injection* 110 Cc Dalam Variasi Waktu, Durasi Injeksi Dan Tekanan Bahan Bakar”** yang saya buat ini beserta seluruh isinya adalah benar hasil karya saya dan bukan salinan atau menjiplak dari karya orang lain dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan kecuali beberapa kutipan yang telah disebutkan sumbernya.

Demikian pernyataan ini untuk dijadikan pedoman yang berkepentingan, saya siap menanggung segala sanksi apabila dikemudian hari ditemukan adanya pelanggaran atas etika keilmuan dalam karya ini atau klaim dari pihak lain terhadap keaslian karya saya ini.

Jakarta, Februari 2018

Penulis

Fajar Rumanto

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Skripsi : KARAKTERISTIK PRESTASI MOTOR BENSIN 2-
LANGKAH *DIRECT INJECTION* 110 CC DALAM
VARIASI WAKTU, DURASI INJEKSI DAN
TEKANAN BAHAN BAKAR
Nama Mahasiswa : Fajar Rumanto
Nomor Registrasi : 5315122780

Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing		Tanggal
Nama	Tanda Tangan	
Dosen Pembimbing 1 <u>Dr. Darwin Rio Budi S., ST., MT.</u> NIP. 197604222006041001		12/2018 /R.....
Dosen Pembimbing 2 <u>Ragil Sukarno, ST., MT.</u> NIP. 197911022012121001		5/2 2018
Dosen Penguji		Tanggal
Nama	Tanda Tangan	
Ketua Penguji <u>Dr. Riyadi, ST., MT.</u> NIP. 196304201992031002		1/2 2018
Sekretaris <u>Ir. Nugroho G. Yoga, ST., MT.</u> NIP. 197602052006041001		2/2 2018
Dosen Ahli <u>I Wayan Sugita, ST., MT.</u> NIP. 197911142012121001		2/2 2018

Mengetahui,
Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Mesin


Ahmad Kholil, ST., MT.
NIP. 197908312005011001

Tanggal Ujian : 22 Januari 2018. Dinyatakan lulus Sidang pada tanggal : 22 Januari 2018

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Shalawat serta salam selalu tercurah kepada *Rasullullah* Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabatnya, termasuk kita sebagai umatnya.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi penulis untuk menyelesaikan studi Strata-1, Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta. Judul yang penulis ambil adalah “Karakteristik Prestasi Motor Bensin 2-Langkah *Direct Injection* 110 Cc Dalam Variasi Waktu, Durasi Injeksi Dan Tekanan Bahan Bakar”.

Keberhasilan dalam menyelesaikan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak kepada penulis, oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Agus Dudung, M.Pd., selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta.
2. Bapak Ahmad Kholil, S.T, M.T. selaku koordinator Program Studi S-1 Pendidikan Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin yang telah banyak memberikan pengarahan dalam hal mempercepat penyelesaian skripsi.
3. Bapak Dr. Darwin Rio Budi Syaka, M.T selaku dosen pembimbing pertama atas segala diskusi-diskusi, buah pemikiran yang menarik serta yang telah meluangkan waktunya membimbing, kesabarannya dan mengarahkan penulis dalam pembuatan skripsi ini.
4. Bapak Ragil Sukarno, ST., MT selaku dosen pembimbing kedua yang telah meluangkan waktunya membimbing dan mengarahkan penulis dalam pembuatan skripsi ini.
5. Bapak Ir. Nugroho Gama Yoga, M.T sebagai pembimbing akademik yang telah membimbing penulis dalam hal akademik perkuliahan dari awal perkuliahan sampai penyelesaian skripsi ini.
6. Ayah, Ibu dan kakak-adik tercinta yang selalu memberikan dukungan moral dan doanya hingga saya bisa menyelesaikan studi.
7. Rekan-rekan Mahasiswa Teknik Mesin, khususnya kepada angkatan 2012

yang telah memberikan dukungan motivasi serta membantu penulis.

8. Seluruh Dosen Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta yang telah memberikan perkuliahan, mengajarkan budi pekerti dan bimbingan untuk menjadikan saya pribadi yang baik sebagai orang terdidik.
9. Staff Tata Usaha Teknik Mesin UNJ yang telah banyak membantu dalam memberikan informasi, pemberkasan hingga saya bisa menyelesaikan studi.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari bahwa banyak kekurangan baik dalam isi maupun penyusunannya. Oleh karena itu, masukan berupa kritik dan saran sangat penulis harapkan demi kesempurnaan serta kemajuan di masa yang akan datang. Penulis juga meminta maaf jika dalam penulisan ini banyak kekeliruan baik yang disengaja maupun tidak disengaja kepada semua pihak yang terkait. Akhir kata penulis berharap semoga tugas akhir skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Jakarta, Februari 2018

Penulis Fajar Rumanto

ABSTRAK

Rumanto, Fajar. *Karakteristik Prestasi Motor Bensin 2-Langkah Direct Injection 110 Cc Dalam Variasi Waktu, Durasi Injeksi Dan Tekanan Bahan Bakar*, Skripsi. Jakarta: Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta. 2018.

Solusi untuk memperbaiki efisiensi dan mengoptimalkan motor bensin 2-langkah salah satunya dengan menggunakan teknologi sistem injeksi langsung. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh sudut waktu injeksi, sudut durasi injeksi dan tekanan bahan bakar terhadap unjuk kerja motor bensin kecil 110 cc 2-langkah *direct injection*, sehingga didapat setelan sudut dan tekanan yang tepat menghasilkan unjuk kerja yang optimal.

Penelitian menggunakan metode eksperimental. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja mesin, khususnya parameter RPM, torsi, daya dan BSFC dengan mengatur variabel tekanan bahan bakar (6, 7, 8 bar) dan waktu injeksi (85° , 90° , 95°) sebelum TMA dan durasi injeksi (45° , 55° , 65°) pada papan cakram *pickup optical*. Modul injeksi sebagai pusat kendali injeksi mengatur durasi dan timing injeksi untuk kondisi operasi mesinnya. Proses pengujian dengan pengukuran unjuk kerja menggunakan aparatus *prony brake* mengontrol beban untuk memperoleh kecepatan mesin, *brake torque* dan *brake power* sedangkan SFC dibutuhkan *stopwatch* untuk durasi konsumsi sebanyak 100ml bensin yang selanjutnya dilakukan kalkulasi BSFC.

Data hasil pengujian kinerja mesin uji menunjukkan bahwa torsi rem puncak 12.55 Nm dapat dicapai pada kecepatan mesin 1940 RPM, kecepatan mesin puncak tanpa beban 2898 RPM, daya rem puncak 2.67 kW dapat dicapai pada kecepatan mesin 2327 RPM dan BSFC terendah sebanyak 307.5 g/kWh pada kecepatan 2415 RPM (*setting* 85° - 55° -8 bar). Berdasarkan analisis data perbandingan torsi, daya dan BSFC dapat disimpulkan bahwa waktu injeksi 85° dan durasi injeksi 55° sampai 65° pada tekanan bahan bakar 8 bar menjadi yang paling optimal.

Kata kunci: *motor bensin 2-langkah, sistem bahan bakar injeksi langsung, waktu injeksi, durasi injeksi, tekanan bahan bakar, prony brake, kinerja motor*

ABSTRACT

Rumanto, Fajar. *Performance characteristics of Two-Stroke Gasoline Direct Injection Engine 110cc Under Various Fuel Injection Pressure, Timings, and Durations. Bachelor Thesis.* Jakarta: Education of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, State University of Jakarta. 2018.

The solution to improve the efficiency and optimize the two-stroke small gasoline engine one other thing by using the direct injection system technology. This research was conducted aims to determine the effect of the timing injection angle, the duration of injection and fuel pressure on the performance two-stroke small gasoline engine 110 cm³ direct injection, so that obtained settings angle and pressures right produce performance optimal.

Research using the experimental methods. Testing done to know the performance of the engine, especially the parameters RPM, torque, power and BSFC with a set of variables fuel pressure (6, 7, 8 bar) and timing injection (85°, 90°, 95°) before TDC and duration of injection (45°, 55°, 65°) on the board disc optical pickup. Module injection as a injection control center to set the duration and timing injection for operating conditions the engine. Testing process with measurements performance using apparatus the prony brake control the load to obtain engine speed, brake torque and brake power while SFC needed stopwatch for the duration of consumption as much as 100 ml gasoline which next done calculations BSFC.

Data test results engine performance test showed that the peak friction brake torque 12.55 Nm can be achieved on the engine speed 1940 rpm, peak engine speed without the load of 2898 rpm, peak the brake power of 2.67 kW can be achieved on engine speed 2327 rpm and lowest BSFC the rate of 307.5 g/kWh on engine speed 2415 rpm (setting 85°-55°-8 bar). Based on data analysis comparison brake torque, brake power and BSFC can be concluded the timing injection before TDC of 85° and duration of injection 55° until 65° on fuel pressure 8 bar to be the most optimal.

Keywords: *two-stroke gasoline engine, direct injection fuel system, timing injection, duration of injection, fuel pressure, prony brake, engine performance*

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERNYATAAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Pembatasan Masalah.....	3
1.4 Rumusan Masalah.....	3
1.5 Tujuan	3
1.5.1 Tujuan Umum	3
1.5.2 Tujuan Khusus	3
1.6 Manfaat	4
1.6.1 Manfaat bagi penulis.....	4
1.6.2 Manfaat bagi pembaca.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Motor Bakar 2-Langkah	5
2.1.1 Prinsip Kerja dasar operasi Motor 2-langkah.....	5
2.1.2 Katup Dan Kontrol Saluran.....	6
2.1.3 Peristiwa Port Timing.....	7
2.2 Sistem Bahan Bakar Motor Bensin	8
2.2.1 Karburator	8
2.2.2 Injeksi	9
2.3 Komponen Utama Sistem Injeksi.....	14
2.3.1 Injektor	14

2.3.2 Pompa Transfer Pneumatik	15
2.4 Proses Injeksi.....	16
2.4.1 Waktu Injeksi	16
2.4.2 Durasi Injeksi	16
2.5 <i>Prony Brake Dynamometer</i>	17
2.6 Kinerja Motor Bakar	18
2.6.1 Torsi.....	18
2.6.2 Daya.....	18
2.6.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik.....	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	20
3.2 Mesin Uji, Alat dan Bahan Penelitian	20
3.3 Metode Penelitian	23
3.4 Diagram Alur Penelitian	24
3.5 Eksperimental <i>Setup</i>	25
3.6 Teknik dan Prosedur Pengumpulan Data	25
3.6.1 Rencana Percobaan	25
3.6.2 Pelaksanaan Pengujian	29
BAB IV HASIL PENELITIAN	37
4.1 Deskripsi Hasil Penelitian	37
4.2 Analisis Data hasil Penelitian	38
4.2.1 Pengaruh peningkatan Tekanan Rem Terhadap Torsi.....	38
4.2.2 Pengaruh Tekanan Rem Terhadap kecepatan Mesin.....	39
4.2.3 Pengaruh Torsi friksi Rem Terhadap Kecepatan Mesin.....	48
4.2.4 Hubungan Kecepatan Mesin dengan Daya rem Mesin.....	56
4.2.5 Hubungan <i>BSFC</i> dan Kecepatan mesin atas durasi injeksi	66
4.3 Analisis Data hasil Penelitian kinerja optimal	74
4.4 Pembahasan.....	79
4.5 Aplikasi Hasil Penelitian.....	80
BAB V PENUTUP	81
5.1 Kesimpulan.....	81
5.2 Saran	81
DAFTAR PUSTAKA	83
LAMPIRAN	85

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Cara Kerja Motor 2-Langkah.....	5
Gambar 2.2. Sistem pemasukan katup daun.....	7
Gambar 2.3. <i>Port timing</i> porta di piston.....	7
Gambar 2.4. <i>Port timing</i> katup daun (a) kecepatan rendah dan (b) kecepatan tinggi	8
Gambar 2.5. Karburator.....	9
Gambar 2.6. Ruang bakar mesin 4-langkah injeksi langsung	9
Gambar 2.7. <i>Indirect Injection</i>	12
Gambar 2.8. Desain <i>manifold</i> dengan injektor dekat aliran katup masuk.....	14
Gambar 2.9. (a) <i>Nozzle</i> (b) Injektor	15
Gambar 2.10. Pompa transfer pneumatik	15
Gambar 2.11. dinamometer mengukur torsi mesin dengan menerapkan hambatan gaya ke mesin dan mengukur gaya terapan	18
Gambar 2.12. <i>Prony Brake</i>	18
Gambar 3.1. Papan Cakram Sensor	20
Gambar 3.2. <i>Pressure Gauge</i>	21
Gambar 3.3. <i>Tachometer</i>	21
Gambar 3.4. Gelas ukur.....	21
Gambar 3.5. <i>Stopwatch</i>	22
Gambar 3.6. Kompresor	22
Gambar 3.7. Diagram Alur Penelitian	24
Gambar 3.8. Skema setup eksperimental mesin	25
Gambar 3.9. (a) <i>fuel pump</i> transfer pneumatik/tangki (b) Regulator tekanan kompresor (c) Selang ke kompresor.....	26
Gambar 3.10. (a) injektor (b) <i>Swallow Nozzle</i> (c) <i>Adaptor</i> (d) kopel selang ...	26
Gambar 3.11. <i>Port Timing</i> Diagram mesin uji	27
Gambar 3.12. Rangkaian Kelistrikan Modul Sensor	28
Gambar 3.13. Modul Sensor.....	28

Gambar 3.14. Posisi Papan cakram sensor berada di antara sensor	28
Gambar 3.15. <i>Prony Brake</i>	29
Gambar 3.16. Sistem <i>Prony Brake</i>	30
Gambar 4.1. Pengaruh peningkatan Tekanan Rem Terhadap Torsi Mesin ...	38
Gambar 4.2. pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan mesin pada <i>SOI</i> 85° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 6 bar	39
Gambar 4.3. pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan mesin pada <i>SOI</i> 85° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 7 bar	40
Gambar 4.4. pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan mesin pada <i>SOI</i> 85° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 8 bar	41
Gambar 4.5. pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan mesin pada <i>SOI</i> 90° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 6 bar	42
Gambar 4.6. pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan mesin pada <i>SOI</i> 90° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 7 bar	43
Gambar 4.7. pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan mesin pada <i>SOI</i> 90° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 8 bar	44
Gambar 4.8. pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan mesin pada <i>SOI</i> 95° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 6 bar	45
Gambar 4.9. pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan mesin pada <i>SOI</i> 95° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 7 bar	46
Gambar 4.10. pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan mesin pada <i>SOI</i> 95° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 8 bar	47
Gambar 4.11. Pengaruh Torsi rem terhadap Kecepatan Mesin pada <i>SOI</i> 85° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 6 bar	48
Gambar 4.12. Pengaruh Torsi rem terhadap Kecepatan Mesin pada <i>SOI</i> 85° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 7 bar	49
Gambar 4.13. Pengaruh Torsi rem terhadap Kecepatan Mesin pada <i>SOI</i> 85° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 8 bar	50
Gambar 4.14. Pengaruh Torsi rem terhadap Kecepatan Mesin pada <i>SOI</i> 90° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 6 bar	51
Gambar 4.15. Pengaruh Torsi rem terhadap Kecepatan Mesin pada <i>SOI</i> 90° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 7 bar	52

Gambar 4.16. Pengaruh Torsi rem terhadap Kecepatan Mesin pada <i>SOI</i> 90° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 8 bar	53
Gambar 4.17. Pengaruh Torsi rem terhadap Kecepatan Mesin pada <i>SOI</i> 95° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 6 bar	54
Gambar 4.18. Pengaruh Torsi rem terhadap Kecepatan Mesin pada <i>SOI</i> 95° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 7 bar	55
Gambar 4.19. Pengaruh Torsi rem terhadap Kecepatan Mesin pada <i>SOI</i> 95° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 8 bar	56
Gambar 4.20. Karakteristik daya rem terhadap kecepatan mesin pada <i>SOI</i> 85° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 6 bar	57
Gambar 4.21. Karakteristik daya rem terhadap kecepatan mesin pada <i>SOI</i> 85° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 7 bar	58
Gambar 4.22. Karakteristik daya rem terhadap kecepatan mesin pada <i>SOI</i> 85° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 8 bar	59
Gambar 4.23. Karakteristik daya rem terhadap kecepatan mesin pada <i>SOI</i> 90° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 6 bar	60
Gambar 4.24. Karakteristik daya rem terhadap kecepatan mesin pada <i>SOI</i> 90° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 7 bar	61
Gambar 4.25. Karakteristik daya rem terhadap kecepatan mesin pada <i>SOI</i> 90° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 8 bar	62
Gambar 4.26. Karakteristik daya rem terhadap kecepatan mesin pada <i>SOI</i> 95° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 6 bar	63
Gambar 4.27. Karakteristik daya rem terhadap kecepatan mesin pada <i>SOI</i> 95° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 7 bar	64
Gambar 4.28. Karakteristik daya rem terhadap kecepatan mesin pada <i>SOI</i> 95° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 8 bar	65
Gambar 4.29. karakteristik Pengaruh kecepatan mesin terhadap BSFC pada <i>SOI</i> 85° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 6 bar	66
Gambar 4.30. karakteristik Pengaruh kecepatan mesin terhadap BSFC pada <i>SOI</i> 85° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 7 bar	67
Gambar 4.31. karakteristik Pengaruh kecepatan mesin terhadap BSFC pada <i>SOI</i> 85° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 8 bar	68

Gambar 4.32. karakteristik Pengaruh kecepatan mesin terhadap BSFC pada <i>SOI</i> 90° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 6 bar	69
Gambar 4.33. karakteristik Pengaruh kecepatan mesin terhadap BSFC pada <i>SOI</i> 90° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 7 bar	70
Gambar 4.34. karakteristik Pengaruh kecepatan mesin terhadap BSFC pada <i>SOI</i> 90° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 8 bar	71
Gambar 4.35. karakteristik Pengaruh kecepatan mesin terhadap BSFC pada <i>SOI</i> 95° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 6 bar	72
Gambar 4.36. karakteristik Pengaruh kecepatan mesin terhadap BSFC pada <i>SOI</i> 95° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 7 bar	73
Gambar 4.37. karakteristik Pengaruh kecepatan mesin terhadap BSFC pada <i>SOI</i> 95° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 8 bar	74
Gambar 4.38. Torsi Puncak dari semua penyetelan waktu, durasi injeksi dan tekanan bahan bakar	76
Gambar 4.39. Daya Puncak dari semua penyetelan waktu, durasi injeksi dan tekanan bahan bakar	77
Gambar 4.40. keekonomisan BSFC dari semua penyetelan waktu, durasi injeksi dan tekanan bahan bakar	78
Gambar 4.41. kurva kinerja mesin uji optimal pada penyetelan waktu injeksi 85°	79

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1. Pengaruh Tekanan Rem pada RPM.....	31
Tabel 3.2. Pengaruh Torsi Rem pada kecepatan mesin.....	33
Tabel 3.3. hubungan daya dengan kecepatan mesin.....	33
Tabel 3.4. konsumsi bahan bakar 100mL	35
Tabel 3.5. Pengaruh Kecepatan mesin terhadap BSFC	35
Tabel 3.6. Parameter pengoperasian mesin	36
Tabel 4.1. Parameter hasil puncak Pengoperasian Mesin	75

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Perhitungan Luas Permukaan Kanvas Rem dan Koefisien Gesek
- Lampiran 2. Perhitungan Gaya dan Torsi
- Lampiran 3. RPM dengan Tekanan rem
- Lampiran 4. Pengukuran RPM dengan Torsi
- Lampiran 5. Perhitungan Daya
- Lampiran 6. RPM dan Daya
- Lampiran 7. Durasi Konsumsi 100 ml Bahan Bakar
- Lampiran 8. Perhitungan BSFC
- Lampiran 9. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Pengereman dan RPM
- Lampiran 10. Mesin Uji

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peraturan Menteri lingkungan hidup No. 05 tahun 2006 pasal 3 ayat 1 menyatakan ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor lama sepeda motor kadar CO tidak melebihi 4.5% dan HC tidak melebihi 12000 ppm mengharuskan efisiensi pembakaran yang tepat untuk memperbaiki mesin pembakaran dalam yang akan menghasilkan emisi yang ramah lingkungan. Saat ini mesin 2-langkah dengan sistem bahan bakar karburator semakin berkurang yang diproduksi industri otomotif kecuali untuk kebutuhan suku cadang atau balap. Oleh sebab itu, mesin 2-langkah yang memiliki emisi gas buang dari hasil pembakaran yang tidak sempurna sudah beralih dengan pengembangan teknologi injeksi langsung. Teknologi injeksi langsung memungkinkan pembakaran yang homogen (pembakaran merata yang sama) dengan campuran yang tepat sehingga mereduksi emisi gas buang, memperbaiki efisiensi bahan bakar dan meningkatkan tenaga mesin.

Dewasa ini, mesin bensin injeksi langsung telah diterapkan ke mesin 2-langkah digunakan untuk menghemat penggunaan bahan bakar. Sistem yang diterapkan mesin 2-langkah ini menggunakan ragam pencampuran untuk memperoleh campuran homogen hingga campuran kurus (minim bahan bakar) homogen. Mirip mesin bensin injeksi langsung 4-langkah, kemampuan penyalaan campuran dipengaruhi oleh pemilihan waktu injeksi dan durasi injeksi.

Bentuk dasar telah di desain untuk digunakan pada *stand engine* mesin 2-langkah sistem suplai bahan bakar dari karburator yang dikonversi ke sistem injeksi langsung yang telah diterapkan oleh peneliti sebelumnya meskipun menggunakan komponen solenoid bukan khusus otomotif. Sistem bensin injeksi langsung perkuatan untuk motor bensin kecil 2-langkah, variabel tekanan rendah ke tinggi injeksi langsung, aliran udara masuk tanpa katup (*throttle*) di saluran masuk, injeksi langsung bertekanan pompa pneumatik dan pengukuran lainnya dalam pencapaian hal tersebut penelitian sebelumnya memiliki waktu terbatas¹. Semua teknik tersebut yang telah dilakukan penelitian sebelumnya dengan sukses

¹ Waritsu, M. *Studi Eksperimental Kinerja Mesin Motor 2 Langkah Dengan Mengaplikasikan Sistem Bahan Bakar Injeksi*. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta, Teknik Mesin. 2016

hanya sebatas mampu mengoperasikan mesin tanpa diketahui kinerjanya karena variasi tekanan bahan bakar dan pengaruh pemilihan waktu injeksi terhadap putaran mesin menggunakan bahan bakar bensin telah terbukti².

Mesin dengan sistem bahan bakar injeksi, waktu penginjeksian dan lamanya waktu injeksi (durasi injeksi) sangat mempengaruhi kemampuan pembakaran dari campuran, performa mesin dan konsumsi bahan bakar, terutama dalam operasi ekuivalen kecil sejak rentang waktu antara waktu injeksi lalu durasi injeksi dan waktu pengapian lalu durasi pengapian bahan bakar akan mempengaruhi formasi campuran di dalam silinder³. Semua pengaturan hal itu dirancang sistem ECU (*Electronic Control Unit*). ECU sudah di-*setting* oleh pabrikan, sehingga untuk melakukan modifikasi sistem, diperlukan langkah yang sulit. Oleh karena itu, peneliti sebelumnya membuat pengganti ECU berupa sebuah modul sederhana dan karena modul tersebut rusak maka peneliti membuat ulang modul untuk sistem injeksinya. Perbedaan besar antara waktu injeksi (*timing*) dan durasi injeksi, khusus pada penelitian ini harus mengerti seluruh pengaruh waktu injeksi, durasi injeksi dan juga tekanan bahan bakar pada performa mesin bensin injeksi langsung seperti putaran mesin, konsumsi bahan bakar, torsi dan daya maka diperlukan pengujian.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka peneliti dapat mengidentifikasi masalah sebagai berikut:

1. Penggunaan sistem bahan bakar injeksi langsung pada motor bensin 2-langkah konvensional dapat mengurangi emisi gas buang berlebih daripada sistem karburator.
2. Penggunaan sistem bahan bakar injeksi langsung pada motor bensin 2-langkah yang telah di modifikasi dapat meningkatkan kinerja/prestasi mesin.

² Ibid.

³ Z. Huang, S. Shiga, T. Ueda, *Effect of fuel injection timing relative to ignition timing on the natural-gas direct injection combustion*, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Transactions of the AMSE 125 (3) (2003) 783–790.

3. Prestasi/kinerja motor bensin 2-langkah *direct injection* dipengaruhi oleh penyetelan waktu injeksi, durasi injeksi bahan bakar dan tekanan bahan bakar diperlukan pengukuran dan pengetesan.
4. Campuran rasio bahan bakar-udara saat proses siklus pembakaran motor bensin 2-langkah *direct injection* dipengaruhi oleh penyetelan waktu injeksi, durasi injeksi bahan bakar dan tekanan bahan bakar.
5. Proses pengabutan di ruang silinder motor bensin 2-langkah *direct injection* dipengaruhi oleh bentuk semprotan dan arah semprotan dari injektor terhadap piston.

1.3 Pembatasan Masalah

Dalam skripsi ini, mengingat keterbatasan waktu dan biaya serta mengacu pada identifikasi masalah, banyak hal yang mempengaruhi torsi, daya dan konsumsi bahan bakar pada mesin uji, sehingga menetapkan penelitian dibatasi pada :

1. *Prony brake* pengukur torsi rem yang digunakan jenis rem cakram hidrolis dengan pengukur tekanan tidak ada faktor koreksi.
2. Pompa bahan bakar secara pneumatik bertenaga kompresor.
3. Papan cakram *trigger pickup* sebagai varian pengatur waktu injeksi dan durasi injeksi. Jumlah massa berdasarkan variabel derajat durasi injeksi.
4. Modul kontrol injeksi sederhana sehingga tidak mengatur jumlah laju aliran massa rasio udara-bahan bakar.
5. Unjuk kerja yang dianalisa adalah torsi rem, daya rem dan *BSFC* mesin uji secara pengukuran dan perhitungan.
6. Pengukuran dan pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali lalu dihitung rata-rata.

1.4 Rumusan Masalah

Apakah variasi sudut waktu, durasi injeksi dan tekanan bahan bakar mempengaruhi kinerja (torsi, daya, konsumsi bahan bakar spesifik) yang dihasilkan pada motor bensin 2-langkah *direct injection* 110 cc?

1.5 Tujuan

1.5.1 Tujuan Umum

Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh tiap ragam waktu injeksi, durasi injeksi atau tekanan bahan bakar mesin uji terhadap kinerja yang dapat dihasilkan.

1.5.2 Tujuan Khusus

Untuk mengetahui torsi rem, daya rem, dan konsumsi bahan bakar spesifik optimal yang dihasilkan motor bensin 2-langkah *direct injection* 110 cc yang dipengaruhi oleh waktu injeksi, durasi injeksi dan tekanan bahan.

1.6 Manfaat

1.6.1 Bagi Penulis

Penulisan Skripsi Ilmiah ini diharapkan dapat memperoleh pengetahuan tentang cara kerja dan penggunaan sistem injeksi pada mesin 2-langkah. Diharapkan dapat pemahaman lebih lanjut tentang penguatan teknologi yang di kembangkan dalam konteks motor pembakaran dalam bensin 2-langkah injeksi langsung.

1.6.2 Bagi Pembaca

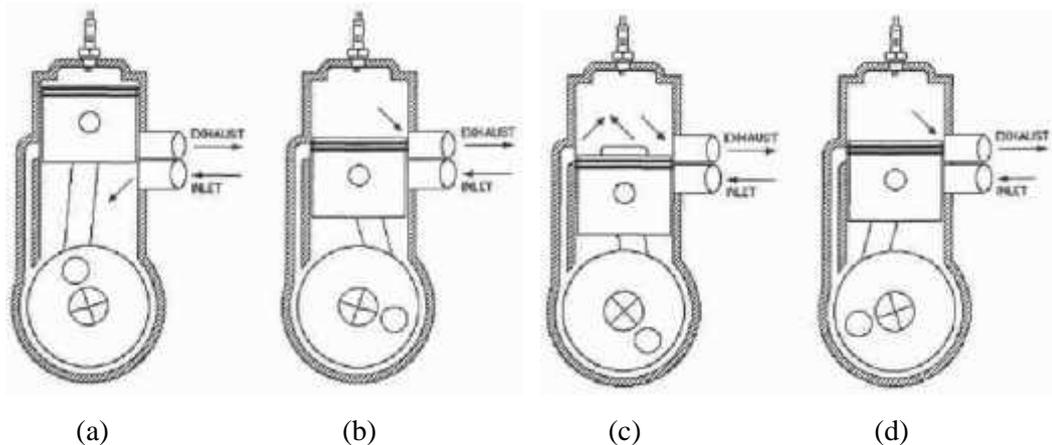
Penulisan Skripsi ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang pemikiran bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan memberikan informasi seluas-luasnya kepada masyarakat mengenai pengaruh dari sistem bahan bakar injeksi langsung terhadap performa motor bakar bensin 2-langkah sehingga dapat diterapkan pada kendaraan bermotor lama serta dirasakan manfaatnya untuk masyarakat luas. Selain itu juga diharapkan hasil dari penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh mahasiswa lain untuk dijadikan bahan belajar ataupun sebagai dasar referensi agar lebih mudah dalam pengembangan teknologi dengan variasi sistem tambahan lain.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Bakar 2-Langkah

Kesederhanaan mesin telah jelas, dengan semua proses diatur oleh tepi atas dan bawah piston. Motor bakar 2-langkah adalah mesin dengan proses usaha yang dilaksanakan dalam dua langkah piston atau satu putaran poros engkol.



Gambar 2.1. Cara Kerja Motor 2-Langkah, (a) kompresi dan induksi (b) usaha/ekspansi dan buang (c) bilas dan transfer (d) penutupan *port* buang

2.1.1 Prinsip Kerja dasar operasi Motor 2-langkah

Cara kerja motor bensin dua langkah secara terperinci adalah sebagai berikut :

2.1.1.1 Di atas torak:

- a. Langkah hisap dan langkah kompresi

Saat piston di TMB terjadi perpindahan udara dan bahan bakar dari bak engkol ke silinder dengan kata lain transfer dan sebagian ada yang terbuang ke saluran buang saat awal pergerakan menuju ke TMA (gambar 2.1 c). Bahan bakar dan udara saat kompresi (dari TMB menuju TMA) dinyalakan oleh busi (gambar 2.1 a), menghasilkan kenaikan secara cepat pada tekanan dan suhu yang akan memukul piston ke bawah dan memutar poros engkol⁴.

⁴ Blair, Gordon P. 1996. *Design and Simulation of Two-Stroke Engines*. Warrendale:SAE, hal. 6

b. langkah tenaga dan langkah buang

Setelah proses penyalaan dan terjadi pemasukan kalor, piston bergerak dari TMA ke TMB (proses ekspansi) hingga mencapai saluran buang, lalu saluran buang telah terbuka. Hal tersebut kerap kali dikenal titik “pelepas” pada siklus dan ini memberi pengiriman ke dalam saluran buang denyut panas, gas buang tekanan tinggi dari proses pembakaran (gambar 2.1 b). Seiring luas saluran (*port*) bertambah dengan sudut poros engkol dan tekanan silinder jatuh seiring waktu.

2.1.1.2 Di bawah torak

a. Langkah naik

Saat torak bergerak naik maka bagian atas torak terlebih dahulu menutup pintu pembilasan sehingga terjadi kevakuman di ruang bak engkol, kemudian torak bagian bawah membuka saluran masuk sehingga campuran bahan bakar masuk ke dalam ruang bak engkol sampai torak mencapai TMA (gambar 2.1 a).

b. Langkah turun

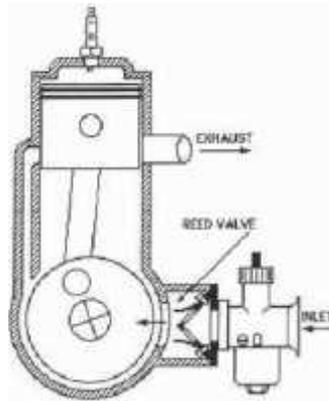
Setelah mencapai TMA torak kembali ke bawah, bawah torak terlebih dahulu menutup saluran masuk kemudian memampatkan campuran bahan bakar. Pemampatan bahan bakar di bak engkol ini terjadi sampai torak bagian atas membuka saluran pembilasan dan saluran buang sehingga terjadi pembilasan dan pengeluaran gas sisa sampai torak mencapai TMB dan kembali ke atas (gambar 2.1 c dan d)⁵.

2.1.2 Katup dan Kontrol Saluran

Cara termudah untuk membiarkan aliran udara segar masuk ke dalam dan pelepasan gas buang mesin 2-langkah adalah dengan pergerakan piston membuka saluran di dinding silinder. Dalam mesin 2-langkah sederhana semua peristiwa *port timing* berbentuk simetris tanpa adanya perbedaan saat piston bergerak dari TMA maupun TMB. Umumnya manufaktur membuat asimetris peristiwa waktu pemasukan dan pembuangan gas oleh katup cakram, katup daun dan katup per batang. Pentahapan penyesuaian port lebih presisi dengan kejadian tekanan di silinder atau di bak mesin. Mesin yang umumnya ditemukan adalah berjenis katup

⁵ Ibid., hal 7-8

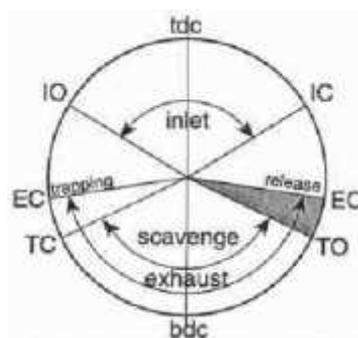
daun⁶. Dalam gambar 2.2 mengilustrasikan penggunaan katup daun untuk proses pemasukan gas kedalam bak mesin dengan waktu kontrol asimetris.



Gambar 2.2. Sistem pemasukan katup daun

2.1.3 Peristiwa Port Timing

Pada peristiwa *port timing* di mesin 2-langkah sederhana yang memiliki bentuk keliling simetris TMA dan TMB. Ini didefinisikan oleh hubungan antara batang torak-engkol. Umumnya peristiwa *port timing*, untuk piston mengatur porta dari gas buang, transfer atau bilas, dan proses pemasukan, terilustrasi pada gambar 2.3. Bentuk simetris dari proses buang dan bilas telah jelas, dimana *Exhaust port Opening (EO)* dan *Exhaust port Closing (EC)*, dan *Transfer port Opening (TO)* dan *Transfer port Closing (TC)*, berada dibawah kendali piston di posisi atas, atau waktu, atau tepi piston.

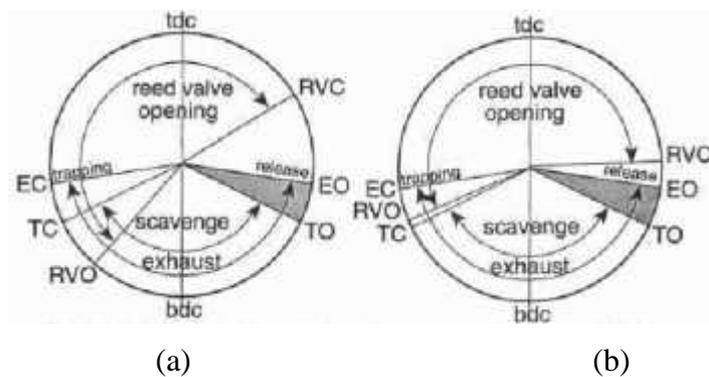


Gambar 2.3. Port timing porta di piston

Porta saluran masuk diatur dengan cara yang sama oleh piston, dalam hal ini tepi bawah rok piston seperti pada mesin potong rumput, ini juga teramati

⁶ Ibid., hal. 15-17

menjadi proses simetris. Bagaimanapun, untuk mesin yang cocok dengan situasi katup daun jauh lebih kompleks, untuk karakteristik pembukaan dan penutupan katup daun sekarang diatur oleh beberapa faktor seperti material daun, rasio kompresi bak mesin, kecepatan mesin, dan pembukaan katup gas. Gambar 2.4 a dan 2.4 b mengilustrasikan situasi umum yang sering terjadi.



Gambar 2.4 Port timing katup daun (a) kecepatan rendah dan (b) kecepatan tinggi

Hal yang menarik untuk dicatat bahwa poin pembukaan katup daun dan penutupan, ditandai sebagai RVO dan RVC, cukup mirip seperti katup cakram pada kecepatan mesin rendah dan mirip pula seperti porta piston-terkontrol pada mesin kecepatan tinggi⁷.

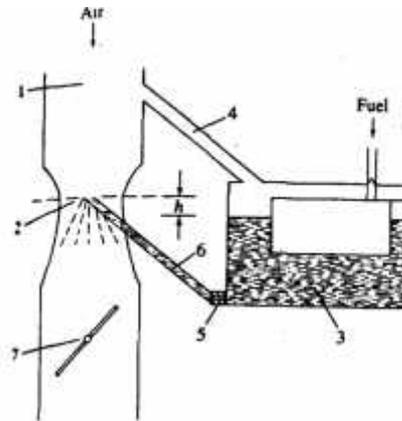
2.2 Sistem Bahan Bakar Motor Bensin

2.2.1 Sistem Karburator

Karburator adalah sebuah alat yang berfungsi mencampur udara dan bahan bakar dan mengontrol aliran bahan bakar untuk sebuah mesin pembakaran dalam. Pada dasarnya karburator bekerja menggunakan prinsip Bernoulli, semakin cepat udara bergerak maka semakin kecil tekanan statisnya, namun makin tinggi tekanan dinamisnya. Pedal gas sebenarnya tidak secara langsung mengendalikan besarnya aliran bahan bakar yang masuk ke ruang bakar. Pedal gas sebenarnya mengendalikan katup dalam karburator untuk menentukan besarnya aliran udara yang dapat masuk keruang bakar. Udara bergerak dalam karburator karena hisapan piston inilah yang memiliki tekanan untuk menarik serta bahan bakar

⁷ Ibid., hal. 18-20

masuk kedalam ruang bakar. Aliran udara yang melalui cerat kumpul-pencar disebut venturi⁸.



Gambar 2.5. Karburator

2.2.2 Sistem Injeksi

Injeksi bahan bakar adalah sebuah teknologi yang digunakan dalam mesin pembakaran dalam untuk mencampur bahan bakar dengan udara sebelum di bakar.

2.2.2.1 Injeksi Langsung

Injeksi langsung bensin (*Gasoline Direct Injection* (GDI) atau *Petrol Direct Injection* atau *Direct Petrol Injection* atau *Spark Ignited Direct Injection* (SIDI) atau *Fuel Stratified Injection* (FSI)).



Gambar 2.6. Ruang bakar mesin 4-langkah injeksi langsung

Pada mesin pembakaran dalam, bensin injeksi langsung terkadang diketahui sebagai bahan bakar injeksi bertingkat (stratifikasi) adalah jenis yang makin populer bekerja pada sistem injeksi bahan bakar pada motor bensin 4 dan 2-langkah modern. Bensin bertekanan sangat tinggi dan terinjeksi oleh tegangan

⁸ Heywood, John B. 1988. *Internal Combustion Engines Fundamentals*. New York: McGraw-Hill., hal. 282-283

tinggi solenoid menggerakkan injektor melalui aliran bahan bakar rel bersama (*common rail*) secara langsung kedalam ruang pembakaran di silinder. Dalam beberapa aplikasi bensin injeksi langsung membolehkan pembakaran dengan pengisian bahan bakar stratifikasi (pembakaran amat sangat kurus) untuk memperbaiki efisiensi bahan bakar dan mengurangi tingkat emisi pada beban rendah. Keuntungan terbesar dari motor GDI adalah level emisi sangat rendah, meningkatkan efisiensi bahan bakar dan keluaran daya motor sangat tinggi.

Tambahan efek pendingin dari bahan bakar yang terinjeksi dan campuran pembakaran lebih merata tersebar dan penurunan temperatur untuk memperbaiki penyetelan waktu penyalaan merupakan sama pentingnya sistem yang dibutuhkan. Tingkat emisi bisa lebih teliti terkontrol dengan sistem GDI (*Gasoline Direct Injection*). Tingkat terendah tercapai oleh kontrol yang lebih tepat jumlah bahan bakar, udara dan penyetelan pengapian yang bervariasi menurut kondisi beban mesin dan suhu udara lingkungan. Tambahan tidak ada kerugian bukaan katup gas (*throttle*) dalam beberapa desain motor GDI yang sangat memperbaiki efisiensi dan mengurangi kerugian pemompaan di mesin dengan tanpa plat *throttle*.

Kecepatan mesin terkontrol oleh sistem manajemen mesin yang mengatur parameter injeksi bahan bakar dan waktu pengapian sebagai ganti memiliki plat *throttle* yang membatasi suplai udara yang sedang masuk. Penambahan fungsi ini ke sistem manajemen mesin memerlukan banyak peningkatan pemrosesan dan memori sebagai injeksi langsung lebih lagi EMS lain harus memiliki pemetaan yang sangat tepat untuk performa terbaik dan kemampuan berkendara. *Engine Management System* (EMS) secara terus menerus memilih diantara 3 proses pembakaran campuran: pembakaran sangat minim bahan bakar, stoikiometrik, dan keluaran daya penuh. Setiap proses pembakaran berkarakteristik oleh rasio udara-bahan bakar (AFR).⁹

Stoikiometrik AFR untuk motor bensin adalah 14.7 : 1 berat, tapi pembakaran amat sangat kurus (minim bahan bakar) bisa melibatkan rasio tertinggi 35 :1 (atau bahkan lebih tinggi pada beberapa mesin untuk periode sangat terbatas). Campuran ini jauh lebih kurus daripada mesin konvensional bahan bakar berinjeksi dan mengurangi konsumsi bahan bakar dan sangat mengurangi tingkat tertentu emisi gas buang. Siklus pembakaran amat sangat kurus digunakan untuk kondisi berjalan pada beban ringan, pada konstan atau

⁹ Ajay Kumar Singh dkk. *Direct Fuel Injection System in Gasoline Engine – A Review*.
ISSN:2278-3075

mengurangi laju kendaraan, dimana tidak dibutuhkan percepatan. Bahan bakar tidak diinjeksikan pada langkah hisap melainkan pada tahap terakhir dari langkah kompresi sehingga jumlah kecil dari campuran udara-bahan bakar sangat optimal ditempatkan dekat busi.

pengisian stratifikasi kebanyakan mengelilingi oleh udara yang menjaga bahan bakar dan nyala api menjauh dari dinding silinder untuk emisi rendah dan menghilangkan panas. Pembakaran bahan bakar mengambil tempat pada rongga radial (bentuk donat) pada desain permukaan *piston* untuk memperbaiki adukan udara dan dikirim oleh *nozzle* injektor desain khusus. Ini memperkenalkan keberhasilan pengapian tanpa adanya gagal bahkan ketika campuran AFR terlalu kurus. campuran stoikiometrik berguna untuk kondisi beban pertengahan. Bahan bakar di injeksi selama langkah hisap menimbulkan kehomogenan campuran udara-bahan bakar dalam silinder.

Dari rasio stoikiometrik memiliki hasil terbakar optimal pada emisi gas buang yang baik selanjutnya dibersihkan oleh konverter katalitis. mode daya penuh digunakan untuk secara cepat berakselerasi dan beban berat (bahkan ketika menanjak). Campuran udara-bahan bakar yang homogen dan rasio yang sedikit lebih kaya dari stoikiometrik dapat membantu mencegah ketukan (suara mengelitik). Bahan bakar diinjeksikan selama langkah hisap.

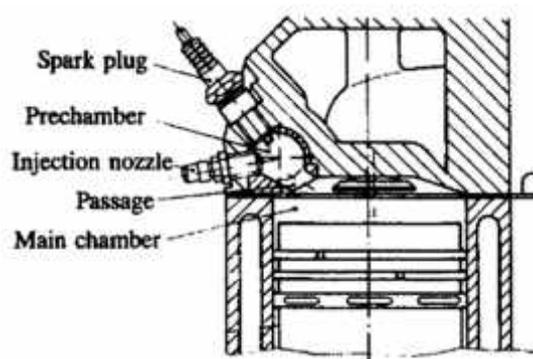
Performa tinggi katup resirkulasi gas buang knalpot (EGR) pasti dibutuhkan untuk mereduksi emisi tinggi nitrogen oksida dari hasil pembakaran campuran amat sangat kurus. Masa awal mesin injeksi langsung dimana injektor menginjeksi bahan bakar secara langsung kedalam silinder yang membatasi untuk langkah induksi dari piston. Saat RPM meningkat setiap waktu yang tersedia untuk injeksi bahan bakar berkurang. Sistem GDI terbaru memiliki cukup tekanan bahan bakar untuk injeksi lebih dari sekali selama mode tunggal. Injeksi bahan bakar mengambil tempat pada dua fasa. Selama langkah hisap, beberapa jumlah bahan bakar pra-penginjeksian kedalam ruang bakar yang terdapat aliran udara dingin sedang masuk jadi memperbaiki efisiensi volumemetric dan memastikan campuran udara/bahan bakar tetap didalam ruang bakar. Injeksi utama mengambil tempat saat piston mendekati titik mati atas (TMA) pada langkah kompresi sebentar sebelum pengapian¹⁰.

¹⁰ Ibid.

2.2.2.2 Injeksi Tidak Langsung

Injeksi tidak langsung memiliki konsep yang sama yaitu *Fuel Stratified Injection* (FSI) seperti halnya GDI. Penginjeksian dan pembakaran awal terjadi di ruangan kecil, ini yang disebut *indirect*. Injeksi tidak langsung memiliki dua ruang. Sistem ini disebut juga Pengapian jet-lidah api (*Flame-jet ignition*).

Pengapian jet-api, dengan sistem tipe ini, pengapian terjadi di sebuah rongga pra-ruang secara fisik terpisah dari ruang utama di atas piston dan terhubung ke rongga pra-ruang melalui satu atau lebih lubang kecil (*orifice*) atau *nozzle*. Sebagai pengembangan api dalam tekanan rongga ini dari kenaikan gas di pra-ruang, gaya gas keluar ke dalam ruang utama melalui lubang kecil sebagai satu atau lebih pembakaran jet turbulen. Jet atau penetrasi jet ke dalam ruang utama, menyalakan campuran yang tidak terbakar di ruang utama, dengan demikian memulai proses pembakaran utama. Pengapian dalam rongga umumnya tercapai dengan lucutan bunga api busi konvensional. Fungsi dari pra-ruang atau rongga untuk mengubah api awal dekat elektroda busi ke dalam satu atau lebih jet api di ruang utama, yang memiliki luas permukaan besar yang dapat penyalaan kurus ekstrem atau ditambah campuran dalam cara berulang. Banyak perbedaan sistem untuk mencapai tujuan ini telah dikembangkan, beberapa ini telah digunakan pada produksi motor bensin (*spark ignition*). Contoh sebuah jenis utama dari sistem penyalaan jet-lidah api ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. konsep injeksi tidak langsung penyalaan jet-lidah api

Gambar 2.7 menunjukkan pra-ruang mesin *stratified charge* konsep penyalaan jet-lidah api. Campuran ini di rongga pra-ruang yang kaya dengan penambahan dari bahan bakar sehingga akhirnya menjadi sedikit kaya

stoikiometriksnya pada waktu pelepasan bunga api. Proses penyalaan awal di rongga lalu menjadi lebih cepat dan lebih dapat diulang. Gambar 2.7 menunjukkan sistem dimana pra-ruang tidak dibilas dan bahan bakar diinjeksi secara langsung kedalam rongga pra-ruang (disamping proses utama injeksi bahan bakar yang terjadi saat pengisian udara segar di sistem pemasukan) untuk memperkaya campuran (yang secara keseluruhan campuran kurus) pada waktu bunga api dengan mudahnya menyalakan komposisi stoikiometrik kaya. Dengan pendekatan ini, volume pra-ruang umumnya 20 sampai 25 persen dari volume sisa¹¹.

2.2.2.3 Injeksi Pada Saluran

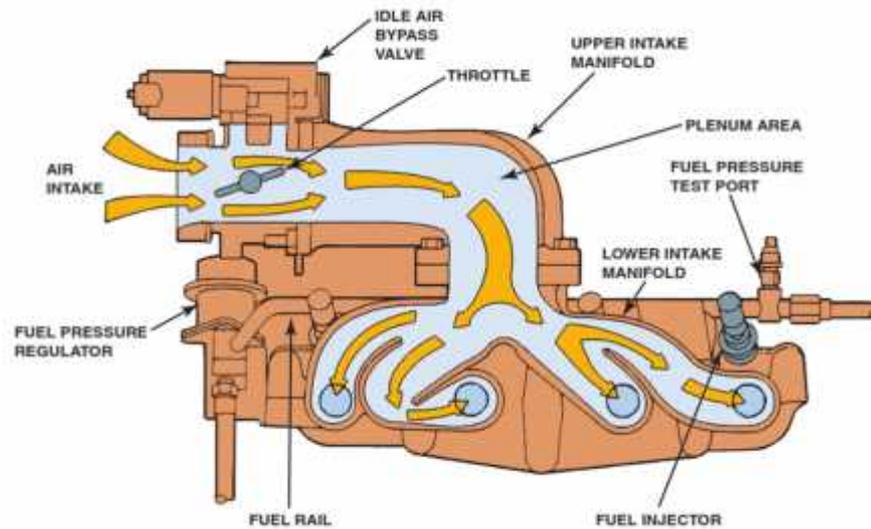
Intake manifold disebut juga *inlet manifold*. Pengoperasian mesin yang halus hanya bisa terjadi ketika tiap pembakaran menghasilkan tekanan yang sama di tiap ruangan lain di mesin. Untuk mencapai ini, tiap silinder harus menerima pengisian *intake* persisnya seperti pengisian menuju kedalam silinder lain dalam kualitas dan kuantitas. Pengisian harus memiliki properti fisikal yang sama dan campuran udara-bahan bakar yang sama.

Gaya bahan bakar dari injektor *throttle-body* dibagi menjadi tetesan halus dari bahan bakar cair kedalam udara yang datang dari campuran udara-bahan bakar yang mudah terbakar.

Ukuran dan bentuk *intake manifold* mesin porta injeksi bahan bakar bisa dioptimalkan karena hanya bentuk udara di *manifold*. Injektor bahan bakar terletak di *intake manifold* kira-kira 70-100 mm dari katup masuk. Oleh karena itu, panjang aliran dan bentuk didesain hanya untuk penyetelan. Disitu tidak dibutuhkan menjaga campuran udara-bahan bakar benar-benar tercampur (terhomogenisasi) sepanjang perjalanan dari *throttle-body* ke katup masuk. Aliran *intake manifold* disetel untuk memperbaiki performa mesin. Aliran yang panjang membuat torsi mudah tercapai pada RPM rendah. Aliran pendek memberikan daya maksimal pada RPM tinggi¹².

¹¹ Heywood, John B. Op.Cit., hal. 447

¹² James D. Halderman. *Automotive Engines: Theory and Servicing. 8th edition*. New Jersey: Pearson., hal. 281-283



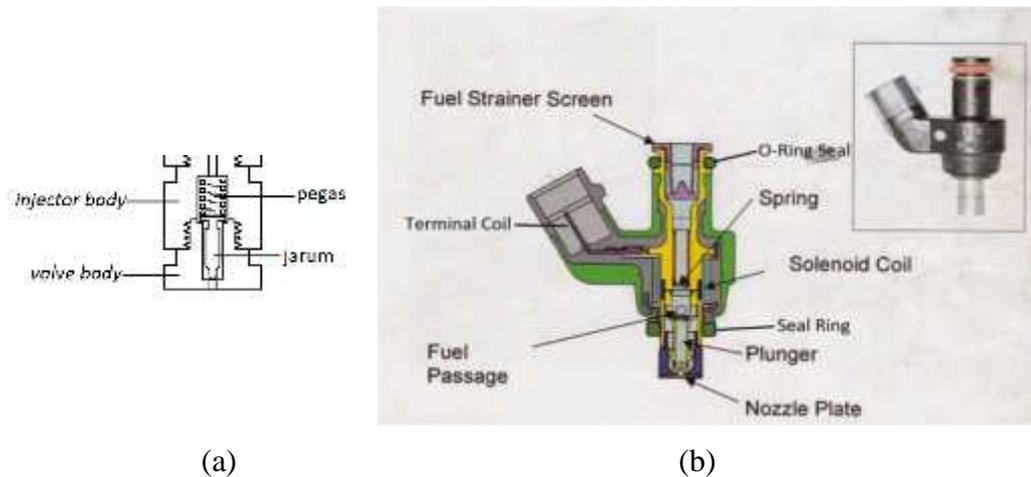
Gambar 2.8. Desain *manifold* dengan injektor dekat aliran katup masuk

2.3 Komponen Sistem Injeksi

2.3.1 Injektor

Sistem bahan bakar injeksi membutuhkan satu injektor tiap silinder. Terdapat sistem injeksi mekanis dan sistem injeksi terkontrol elektronik. Elektromagnetik yang terdapat di solenoid menggerakkan piston/katup yang mencabang ke saluran menuju ke injektor. Komponen utama injektor adalah badan injektor, badan katup, jarum, dan suplai masuk bahan bakar. Ketika solenoid tidak bangkit, pegas akan menekan katup, menutup jalan bahan bakar dari selang lalu *fuel strainer screen* yang akan ke jalan bahan bakar di dalam *nozzle*. Sebaliknya, jika kumparan solenoid bangkit maka aliran bertekanan menuju injektor. Tekanan bahan bakar mengangkat jarum dan menekan pegas. Bentuk ujung jarum injektor yang tirus mengakibatkan bahan bakar teratomisasi¹³. Semprotan yang dihasilkan injektor berbentuk kerucut melalui lubang *Nozzle* berdiameter 0.3mm. Massa bahan bakar yang diinjeksi diatur oleh macam durasi pulsa arus yang dibangkitkan oleh kumparan solenoid.

¹³ Mr. Tune Up's Auto Service 2009. *Injector cut away diagram*. Mr. Tune Up's Auto Service

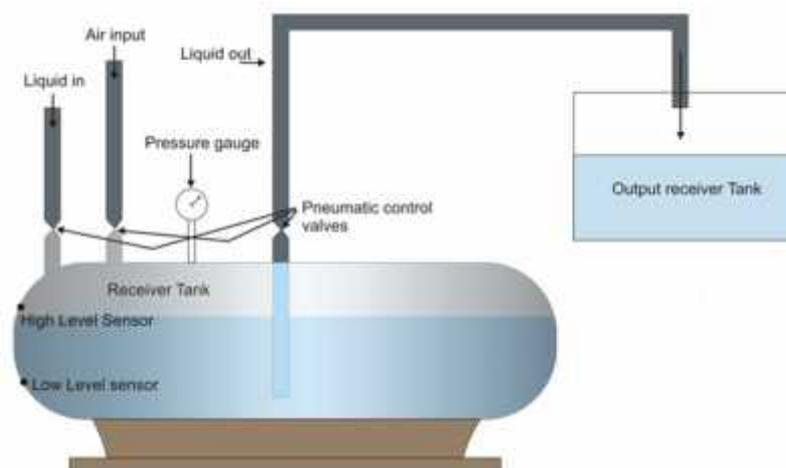


(a)

(b)

Gambar 2.9. (a) Nozzle (b) Injektor

2.3.2 Pompa Transfer Pneumatik



Gambar 2.10. Pompa Transfer Pneumatik

Pompa bekerja pada prinsip perbedaan tekanan yang disebabkan oleh sering membuka dan menutup katup masuk dan katup keluar yang dikontrol oleh PLC. Ketinggian permukaan di tangki dikelola pemancar yang terpasang di tangki. Ketika cairan mencapai tingkat tinggi pemancar, katup masuk cairan tertutup dan katup udara terbuka melalui pipa, udara dari kompresor mulai datang meningkatkan tekanan dalam tangki. Segera setelah mencapai ketentuan tekanan yang diinginkan diatur oleh katup regulator¹⁴. Perbedaan yang diterapkan oleh peneliti pada input tidak terdapat katup kontrol cairan yang masuk, tidak ada sensor ketinggian permukaan cairan bahan bakar, saluran *output* cairan tidak ada

¹⁴ Vikaspumps.com/post/15/pneumatic-transfer-pump diakses tanggal 07/06/2017

katup kontrol, dan tidak dikontrol oleh PLC. *Output* pada skema pompa transfer pneumatik berupa solenoid injektor dan input diatur oleh katup regulator.

2.4 Proses Injeksi

2.4.1 Waktu Injeksi

Selama kurangnya waktu untuk penguapan bahan bakar di mesin GDI, bahan bakar diinjeksikan kedalam silinder pada tekanan sangat tinggi untuk membantu atomisasi dan proses penguapan. Waktu injeksi lanjutan sebab membasahi piston dan waktu injeksi terlambat mengurangi waktu yang cukup untuk mencampur udara-bahan bakar. Waktu injeksi yang tepat akan menghasilkan performa optimal (minim hidrokarbon dan koefisien variasi (COV)) dengan injektor semprotan menyempit yang diperlukan pada hakekatnya penyalaan lebih awal (selama pertengahan injeksi dibanding pada akhir injeksi). Bila waktu injeksi lebih maju sejalan dengan penambahan beban, pembakaran menjadi lebih tercampur lebih dulu menurut karakternya.¹⁵

2.4.2 Durasi Injeksi

Durasi injeksi ditentukan dalam terminologi sudut poros engkol dan memberi tekanan bahan bakar tertentu, yang bervariasi untuk mengubah kuantitas bahan bakar yang diinjeksikan kedalam ruang bakar untuk tiap siklus pembakaran.

Nilai sudut durasi buka injektor aktual lebih besar dibandingkan nilai durasi buka injektor teoritis. Nilai durasi buka injektor aktual adalah nilai minimal yang dapat dicapai sebelum mesin cenderung untuk mati. Hal ini disebabkan untuk campuran yang lebih kurus (*lean*), proses pembakaran menjadi sangat lambat, *delay period* meningkat dan terjadi pembakaran parsial, akibatnya variasi pembakaran didalam silinder semakin fluktuasi begitu juga RPM yang fluktuasi. Kecenderungan bukaan injektor sebanding dengan tekanan *intake/transfer* dan kompresi. Hal ini untuk menjamin kontrol yang lebih baik dari proses injeksi dan terutama menyediakan injeksi bahan bakar yang terakhir selama langkah kompresi, ketika *intake* tertutup¹⁶. Persamaan polinomial durasi buka injektor dan tekanan *intake/transfer* dan kompresi menunjukkan periode yang sama. Terjadi beberapa keterlambatan respon injektor terhadap tekanan *intake/transfer* dan

¹⁵ Fansler, T. D and Drake, M. C. 2009. *Flow, Mixture Preparation and Combustion in Direct-Injection Two-Stroke Gasoline Engines*. Springer, Heidelberg. Hal. 100, 129

¹⁶ Sercey G. D., Use of LIF Image Acquisition and Analysis in Developing a Calibrated Technique for in-Cylinder Investigation of the Spatial Distribution of Air-to-Fuel Mixing in Direct Injection Gasoline Engines, *Computers in Industry* 56 (2005) 1005–1015.

kompresi yang sangat berfluktuasi. Untuk kecepatan putaran mesin rendah, durasi buka injektor diatur cenderung lebih kaya. Hal ini diperlukan untuk menjaga operasi mesin yang stabil.

Jumlah bahan bakar yang disemprotkan oleh injektor tergantung pada durasi injektor tersebut diaktifkan. Ketika injektor diaktifkan, solenoid yang ada di dalam injektor akan menarik katup injektor, sehingga bahan bakar bertekanan akan mengalir melalui celah sempit pada ujung injektor. Nilai lambda cenderung berubah menjadi lebih besar karena jumlah dan durasi injeksi yang disemprotkan akan semakin banyak pula.

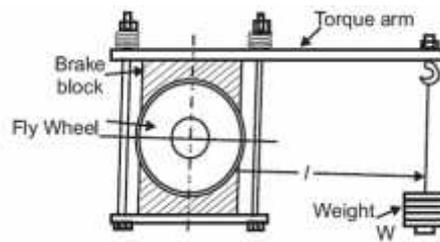
2.5 *Dinamometer*

Jenis dasar dinamometer untuk jenis rem dibagi lagi menjadi dua macam yaitu jenis hidrolis dan mekanis. Untuk jenis fluida cair dimana variabel beban yang diterapkan ke mesin dan komputer menghitung daya yang keluar berdasarkan pembacaan diambil dari sel beban atau meteran tegangan dan RPM mesin. Kebanyakan tipe rem menggunakan *impeller* air atau oli khusus seperti konverter torsi untuk menimbulkan beban pada mesin, lihat gambar 2.11¹⁷. Rem prony dapat dikelompokkan ke dalam salah satu jenis dari rem drum. Sistem dan mekanisme kerjanya hampir sama dengan rem drum, hanya saja rem prony sistem kerjanya berupa penekanan pada material yang sedang bergerak di bagian dalam sedangkan rem drum sebelah luar gaya yang diteruskan secara langsung secara mekanis. Lebih spesifiknya rem prony mempunyai kanvas rem pada sisi permukaan bagian dalam sedangkan rem drum pada sisi bagian luar, lihat pada gambar 2.12.



Gambar 2.11. Dinamometer Mengukur Torsi Mesin Dengan Menerapkan Hambatan Gaya Ke Mesin Dan Mengukur Gaya Terapan.

¹⁷ Halderman, J. D. hal. 519



Gambar 2.12. Prony Brake

2.6 Kinerja Motor Bakar

2.6.1 Torsi

Torsi dihasilkan dari tekanan efektif rata-rata rem yang terjadi di permukaan piston. Jika gaya yang telah dilakukan oleh sebuah poros berotasi, kuantitas kerja menghasilkan torsi atau momen putar diterapkan pada poros dalam newton meter, dikalikan oleh perputaran sudut melalui pengukuran dalam radian.

Jika terdapat silinder sebanyak n , total usaha yang telah dilakukan dalam silinder per putaran adalah

$$W = p \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times S \times n \times f \text{ Joule} \dots \dots \dots (2.1)$$

Jika usaha dilakukan pada kopling sama juga torsi rata-rata dikalikan oleh jarak sudut yang bergerak dalam radian atau $T \times 2\pi$ Nm per putaran, oleh karena itu-

$$T = \frac{W}{2\pi} \dots \dots \dots (2.2)^{18}$$

Keterangan: p = tekanan efektif rata-rata, N/m^2 ; D = diameter silinder, m; S = panjang langkah, m; n = jumlah silinder; f = nomor langkah efektif $\frac{1}{2}$ untuk 4-langkah dan 1 untuk 2-langkah; T = torsi rem, Nm; p = BMEP, N/m^2 ; V = volume mesin, m^3 .

2.6.2 Daya

Daya boleh didefinisikan sebagai menghitung dari usaha yang telah dilakukan per satuan waktu. Secara matematis,

¹⁸ Garrett, T. K. dkk. *The Motor Vehicle 13th Ed. 2001*. Butterworth-Heinemann, Linacre House, Jordan Hill

$$\text{Daya} = \frac{\text{usaha selesai}}{\text{waktu yang dibutuhkan}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dalam satuan standar internasional, satuan daya adalah watt (W) yang sama dengan Joule/detik atau Nm/s. jadi, daya dikembangkan oleh Gaya (N) bergerak dengan kecepatan v m/s adalah F dikali v dengan satuan watt. Biasanya satuan lebih besar dari daya disebut kilowatt (kW) yang digunakan sama dengan 1000 watt.

Jika torsi (T) adalah newton meter dan ω adalah kecepatan sudut dalam rad/s, lalu daya,

$$P = T \cdot \omega = T \times 2\pi \cdot N / 60 \text{ watt} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana N adalah kecepatan dalam RPM¹⁹.

2.6.3 Konsumsi Bahan Bakar

Dalam tes mesin, Konsumsi Bahan Bakar diukur sebagai laju aliran, aliran massa per satuan waktu \dot{m}_f . Parameter yang lebih berguna adalah *specific fuel consumption* (sfc), laju alir bahan bakar per satuan daya keluaran. Hal tersebut terukur bagaimana keefisienan mesin yang menggunakan suplai bahan bakar untuk menghasilkan kerja :

$$\text{Sfc} = \frac{\dot{m}_f}{P} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan satuan : sfc (mg/J atau g/kW.h); \dot{m}_f (g/s atau g/h); P (kW)²⁰

¹⁹ Khurmi R. S dan Gupta J.K. *A Textbook of Machine Design*. 2005. Eurasia Publishing House, Ram Nagar, New Delhi. hal. 13

²⁰ Heywood, John B. *Op.Cit.* hal. 51-53

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat : Laboratorium otomotif Gd.M Teknik Mesin Universitas Negeri Jakarta Kampus A, Rawamangun Muka

3.1.2 Waktu : dimulai dari semester 105 2016/2017 lanjut bulan maret hingga bulan Agustus 2017

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Mesin Uji

Stand Engine sepeda motor Yamaha F1ZR tahun produksi 1997

Tipe mesin : 2-langkah; Volume silinder : 110,4 cm³;

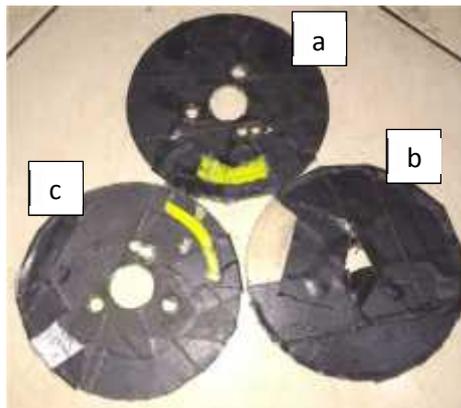
Diameter x Langkah Piston : 52 mm x 52 mm; Pengapian : CDI;

Standar pabrik : Rasio kompresi 7.1:1;

Tekanan Kompresi silinder : 5.8 bar-10 bar pada 700-800 RPM; bahan bakar yang digunakan dalam pengujian : bensin Peralite

3.2.2 Bahan Penelitian

1. Papan Cakram Pengaturan Derajat Buka-tutup Injektor



Gambar 3.1. Contoh Papan Cakram Sensor (a) waktu injeksi 85° Durasi 45° (b) waktu injeksi 85° Durasi 55° (c) waktu injeksi 85° Durasi 65°

Papan cakram sensor lain yang dibutuhkan selanjutnya bisa dibuat dengan mengkombinasikan macam waktu injeksi pada waktu injeksi 90°

dan 95° dengan durasi 45° , 55° dan 65° , total papan cakram *trigger pickup* 9 buah.

3.2.3 Alat yang Digunakan

1. *Pressure gauge*

Pressure gauge digunakan sebagai alat pengukur tekanan pada sistem pengereman (*Prony brake dynamometer*), injeksi bahan bakar, dan di regulator.



Gambar 3.2. *Pressure Gauge*

2. *Tachometer*

Tachometer tipe tembak adalah alat untuk mengukur putaran poros engkol mesin dalam satuan revolusi per menit (RPM).



Gambar 3.3. *Tachometer*

3. Gelas Ukur (buret)

Digunakan untuk mengukur volume bahan bakar 100mL yang akan dituang ke tangki.



Gambar 3.4. Gelas ukur

4. Busur derajat 0° - 360°

Digunakan untuk membuat setelan waktu injeksi dan durasi injeksi pada papan cakram sensor setelah memposisikan piston pada TMA terlebih dahulu.

5. *Stopwatch*

Alat ini digunakan untuk mengukur lamanya waktu yang dibutuhkan mesin uji mengkonsumsi bahan bakar bensin sebanyak 100 ml hingga habis.



Gambar 3.5. Stopwatch

6. Kompresor

Kompresor digunakan untuk mensuplai udara bertekanan ke tangki bahan bakar dan menekan bahan bakar yang diteruskan ke saluran bahan bakar lalu ke injektor.



Gambar 3.6. Kompresor

Tekanan udara maksimum : 9 bar.

7. Selang Poliuretan Ø luar 8mm, Ø dalam 6mm

Digunakan sebagai saluran udara bertekanan dari kompresor ke tangki, dan saluran bahan bakar bertekanan.



Gambar 3.7. Selang Pneumatik

3.2.4 Kalibrasi Alat

1. Kalibrasi *Pressure gauge*/manometer

Bourdon tube Analog Pressure gauge Cl. 1.6, EN 837-1 NG 63

Metode kalibrasi *Pressure gauge* dengan standar BS EN 837-1. Kelas akurasi 1.6.

Indikasi jumlah error pada temperatur lingkungan $-20+60^{\circ}\text{C}$ pada *gauge* tidak melebihi nilai batas error yang diijinkan sebesar $\pm 1.6\%$.

Jumlah titik ukur yang di kalibrasi pada kelas 1.6 minimum 5 titik.

Pengukuran dilakukan pada tekanan naik dan tekanan turun. Kalibrasi dilakukan pada temperatur $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ untuk kelas >0.6 .

Instruksi kerja kalibrasi *Pressure gauge*

Pembacaan alat ()		Pembacaan pressure gauge standar Pada posisi naik ()			Rata-rata ()	sd ()	Ketidakpastian	
No.	Titik ukur**)	1	2	3)))	
1							Repeat	
2							Res. Std	
3							Drift Std	
4							Drift Std	
5							Zero Err	
6							U_p	
7							Hysteresis	
8							U_c	
9							v_{rel}	
10							k	
							U_{95}	

Pembacaan alat ()		Pembacaan pressure gauge standar Pada posisi turun ()			Rata-rata ()	sd ()	Ketidakpastian	
No.	Titik ukur**)	1	2	3)))	
1							Repeat	
2							Res. Std	
3							Drift Std	
4							Drift Std	
5							Zero Err	
6							U_p	
7							Hysteresis	
8							U_c	
9							v_{rel}	
10							k	
							U_{95}	

Spasi skala dan nomor skala

Example 1: accuracy classes from 1 to 4

Nomi- nal Size (NS)	Scale (pressure range)	Scale spacing and scale numbering	Scale Interval	Number of minor divisions
40	0 ... 1		0.02	50
50	0 ... 10		0.2	
63	0 ... 100		2	
	0 ... 1000		20	
	-1 ... 0		0.02	
	-1 ... 0 ... +9		0.2	

2. Kalibrasi *Tachometer smart sensor AR926*

Akurasi $\pm(0.05+1 \text{ digit})$. Waktu sampel 0.8 detik (lebih dari 60 RPM).

Pemilihan rentang tes secara otomatis. Jarak deteksi 50-500 mm

Rentang pengukuran 2.5-99999 RPM. Resolusi 0.1 RPM (2.5-999.9 RPM), 1 RPM (diatas 1000 RPM).

3. Kalibrasi *Prony Brake*

Hidrolik konvensional dinamometer dengan cara menggunakan rem cakram hidrolik 2 piston kaliper. Torsi T diukur sebagai radius lengan torsi R dan transduser gaya F. Lengan harus dicap dengan panjang efektif. Gaya 'standar massa' digunakan pada kalibrasi lengan dengan nilai lokal gravitasi bumi 'g' biasanya diasumsikan 9.81 m/s^2 dan konstan, yang sebenarnya nilai ini hanya benar pada ketinggian laut dan garis lintang sekitar 47°N . Peneliti melakukan kalibrasi dinamometer dengan gaya tekan piston kaliper, sehingga perlu cakram rem yang senter dan kaku agar bergerak lurus tidak bergoyang (maks. 0.3 mm pada sumbu aksial). Peneliti kemudian menyesuaikan sistem sehingga memastikan bahwa terdapat kesalahan minimal seluruh rentang. Prosedur yang dilakukan diartikan bahwa indikator sel beban sebagai *Pressure gauge* dibaca pada posisi nol sebelum timbulnya beban yang diterapkan.

Pada penelitian ini panjang lengan efektif adalah $\bar{r} = 0.0835$. Asumsi koefisien gesek kanvas rem sebesar 0.36 pada suhu 50°C berdasarkan kode SAE 16FF. Luas permukaan kanvas rem 13.295 cm^2 .

Tabel 3.1. Kalibrasi Prony Brake Dinamometer

No.	Tekanan Rem (P) (kgf/cm ²)	Tekanan Kalibrasi	Gaya (kgf)	Torsi yang diterapkan (Nm)	Torsi Kalibrasi (Nm)	Error (Nm)	Error (%), perhitungan
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0.6	0.59	15.95	4.7	4.6	-0.1	-2
3	0.8	0.78	21.27	6.3	6.1	-0.2	-3
4	1.0	0.98	26.59	7.8	7.7	-0.1	-1.3
5	1.2	1.18	31.91	9.4	9.2	-0.2	-2
6	1.4	1.37	37.22	10.9	10.7	-0.2	-1.8
7	1.6	1.57	42.57	12.5	12.3	-0.2	-1.6

3.3 Metode Penelitian

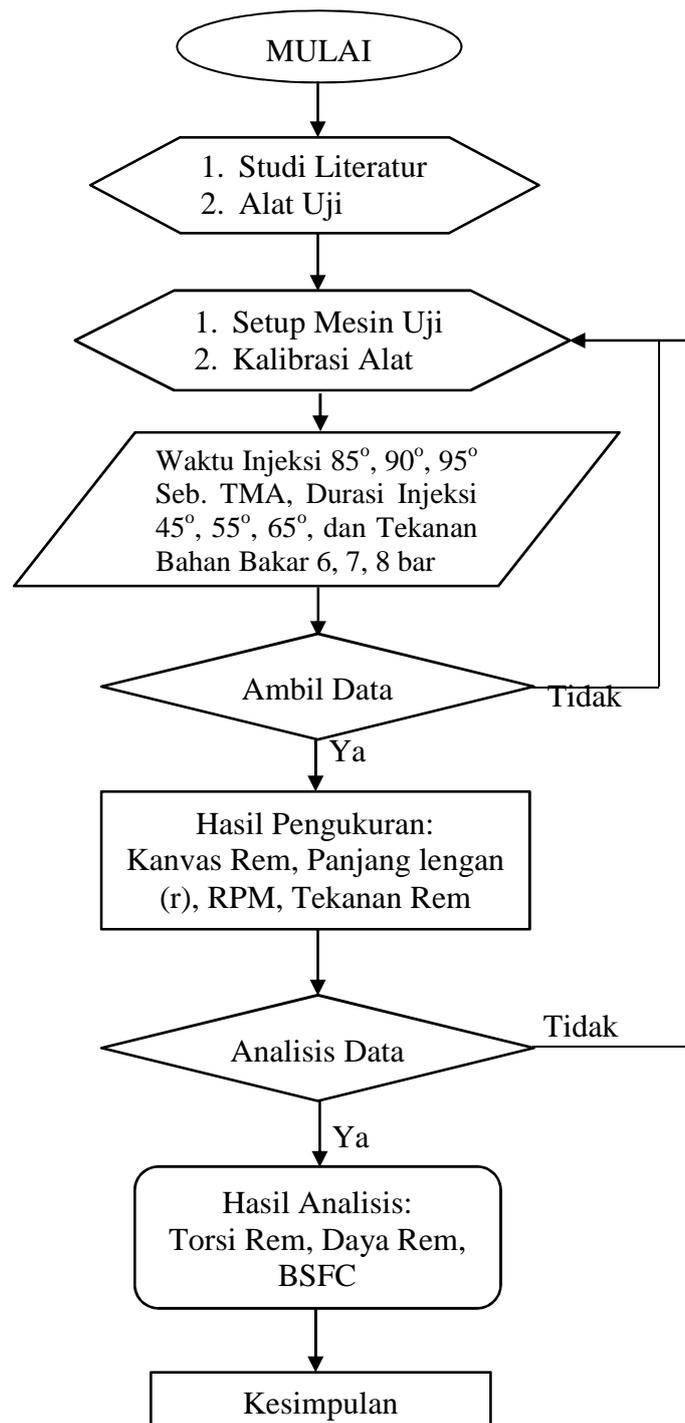
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental dengan rangkaian kegiatan sebagai berikut :

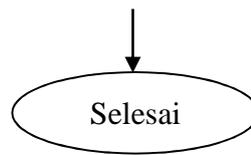
Mesin silinder tunggal yang telah dimodifikasi oleh peneliti sebelumnya menjadi mesin bensin *direct injection*, injektor yang digunakan dalam penelitian ini versi modifikasi. Pengaturan waktu injeksi dan durasi injeksi diatur oleh sebuah modul sebagai proses, cahaya infra-merah yang tembus melalui papan cakram saat cahaya mulai diterima sebagai waktu injeksi lalu durasi cahaya kemudian cahaya terputus diatur oleh sudut di papan cakram sebagai *input*, dan buka-tutup solenoid injektor sebagai *output*. Desain ulang kopling tetap cakram *prony brake* yang kokoh agar tidak terjadi kegagalan, lalu mendesain *bracket prony brake*. Membuat ulang modul elektronik pengatur buka-tutup injektor karena modul yang digunakan peneliti sebelumnya sudah tidak berfungsi.

Pembuatan varian piringan durasi dan waktu injeksi bahan bakar. Waktu injeksi adalah 85° (x_1), 90° (x_2) dan 95° (x_3) sebelum TMA. Sudut Durasi injeksi, yaitu 45° (y_1), 55° (y_2) dan 65° (y_3) sedangkan tekanan bahan bakar yang digunakan adalah 6 bar (z_1), 7 bar (z_2) dan 8 bar (z_3). Instalasi mesin uji. Pengujian dilakukan saat mesin mencapai putaran optimum dari macam papan cakram sensor yang terpasang saat *setup* mesin kemudian diberikan pembebanan

(tekanan rem) dengan *Prony Brake*. Kemudian mengukur RPM poros engkol akibat dari *brake torque* yang dilakukan secara kontinu sebelum mesin mati. Mengukur waktu konsumsi 100mL bahan bakar. Membuat tabel pengukuran penelitian, Mengumpulkan, mengolah data-data, dan analisis data yang diperoleh dari penelitian, lalu menyajikan hasil penelitian dalam bentuk grafik-grafik.

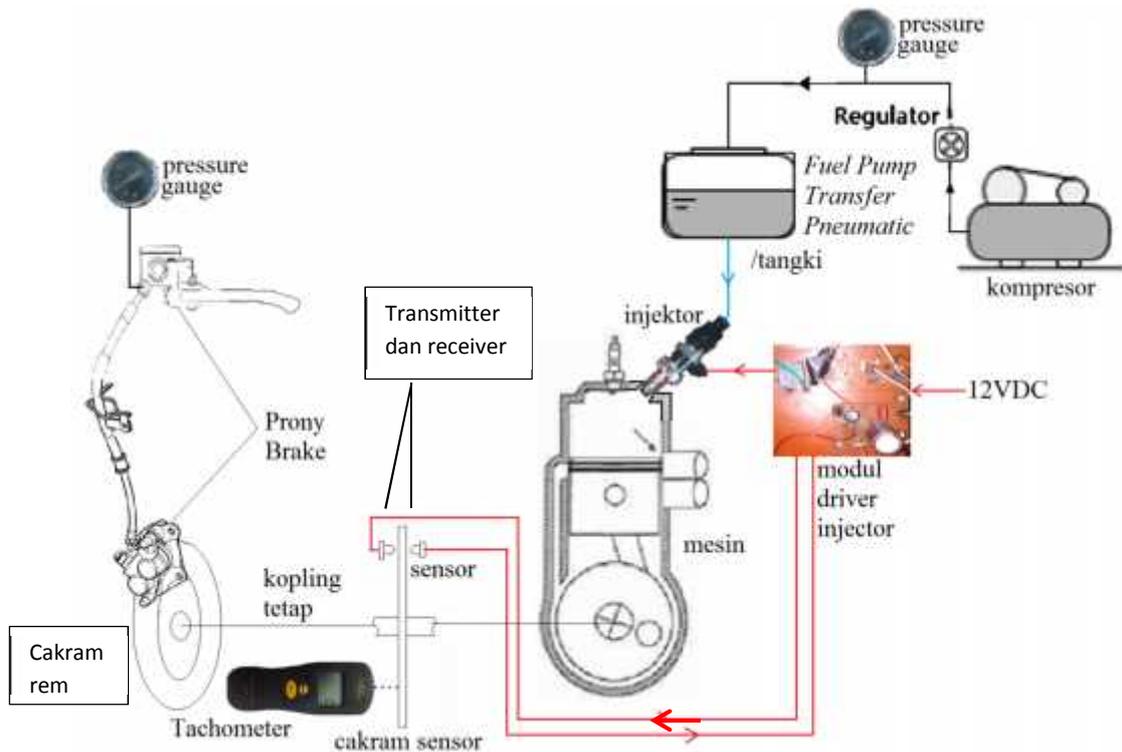
3.4 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.7. Diagram Alir Penelitian

3.5 Eksperimental Setup



Gambar 3.8. Skema setup eksperimental mesin

3.6 Teknik Dan Prosedur Pengumpulan Data

3.6.1 Rencana Percobaan

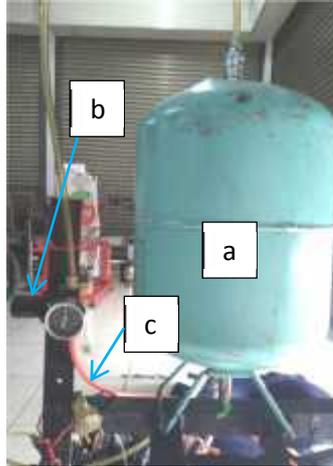
3.6.1.1 Sistem Injeksi

Sebelum melakukan pengujian pada motor bakar bensin 2-langkah dengan sistem injeksi, perlu diketahui bahwa, pada motor bakar bensin 2-langkah perlu menggunakan *injector* sebagai alat pemasok bahan bakarnya.

keadaan mesin setelah di modifikasi oleh peneliti :

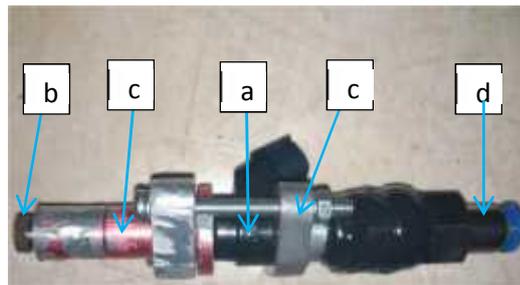
1. Dalam penelitian ini, menyiapkan sebuah *injector part* dari sepeda motor merek Keihin lalu membuat *bracket/adaptor* injektor untuk bisa terhubung ke kop silinder dan selang bahan bakar seperti yang ditunjukkan pada

gambar 3.10. Membuat *fuel pump* transfer pneumatik menggunakan tabung freon yang dimodifikasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.9. Sistem injeksi bahan bakar terdiri atas pompa transfer pneumatik dengan tekanan udara 6, 7, dan 8 bar di atur oleh regulator bersumber dari kompresor. Asumsi tekanan bahan bakar sama dengan tekanan udara.



Gambar 3.9. (a) *fuel pump* transfer pneumatik/tangki (b) Regulator tekanan kompresor (c) Selang ke kompresor

Menggunakan injektor yang diposisikan vertikal terhadap piston dan bersudut 45° dari busi dan terpusat ke ruang bakar dengan 1-lubang *nozzle* dekat dengan busi. Lubang *nozzle* berdiameter 0.3 mm.

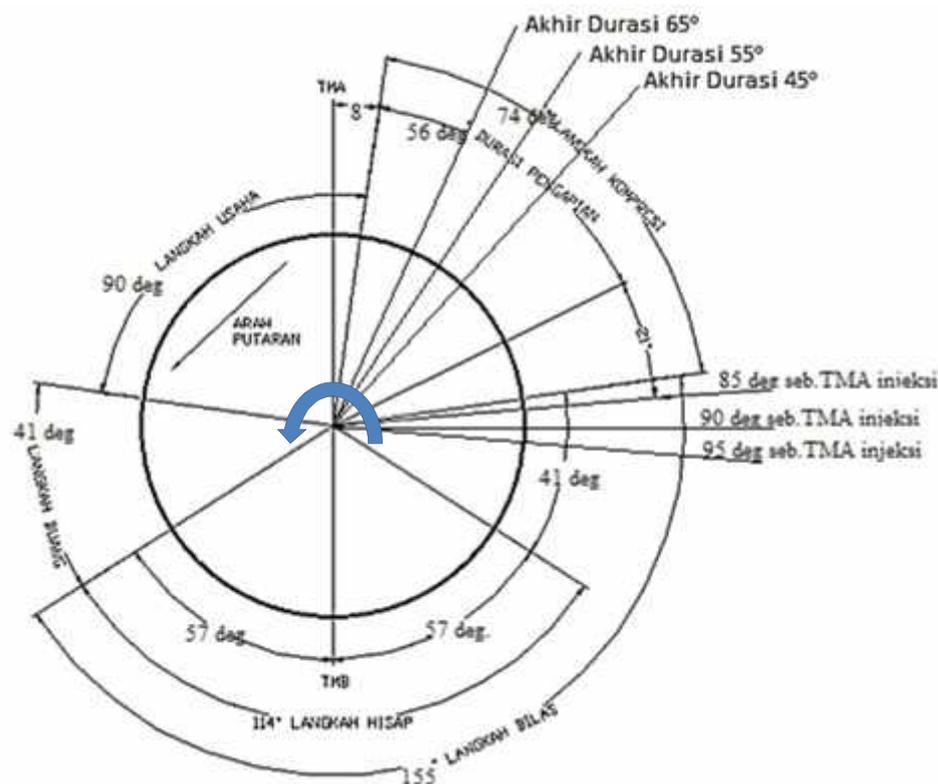


Gambar 3.10. (a) injektor (b) *Swallow Nozzle* (c) *Adaptor* (d) kopel selang

2. Langkah selanjutnya yang dilakukan peneliti adalah menghubungkan terminal *solenoid valve injector* dengan modul elektronik.
3. Langkah terakhir menghubungkan antara injektor dan *fuel pump* transfer pneumatik dengan selang sebagai saluran bahan bakarnya.

3.6.1.2 Strategi Injeksi

Pemilihan waktu injeksi diatur sebagai cara persiapan campuran kehomogenan yakni sejak permulaan piston kompresi saat tepi piston menutup *port intake*/bilas dan tersisa sedikit *port* buang, dengan memulai injeksi disetel pada 85° , 90° dan 95° sebelum TMA seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.11, agar memaksimalkan ketersediaan waktu untuk evaporasi dan atomisasi sebelum penyalaan.



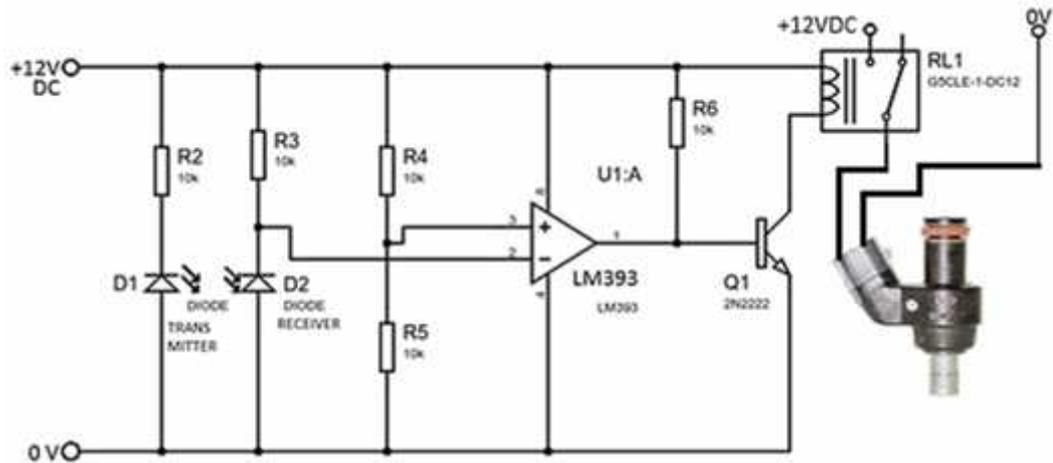
Gambar 3.11. *Port Timing* Diagram Mesin Uji

3.6.1.3 Pemasangan modul elektronik sistem injeksi

Setelah melakukan pemasangan *injektor*, maka langkah selanjutnya adalah melakukan pemasangan modul elektronik/sensor *infrared* sebagai saklar pemberi perintah secara otomatis pada *injektor*.

Prosedur yang dilakukan :

1. Peneliti membuat dan mensimulasikan rangkaian kelistrikan untuk modul sensor dengan bantuan *software* Proteus 8 seperti pada gambar 3.12, lalu memasang dan merakit komponen elektronika pada PCB pada gambar 3.13.



Gambar 3.12. Rangkaian Kelistrikan Modul Sensor



Gambar 3.13. Modul Sensor

2. Pada gambar 3.14 peneliti menempatkan sepasang sensor pada dudukan yang sesuai, yaitu pada *bracket* kaliper, papan cakram buka-tutup injektor berada diantara sepasang sensor *infrared*.



Gambar 3.14. Posisi Papan Cakram Sensor Dan Sepasang Sensor

3.6.2 Pelaksanaan Pengujian

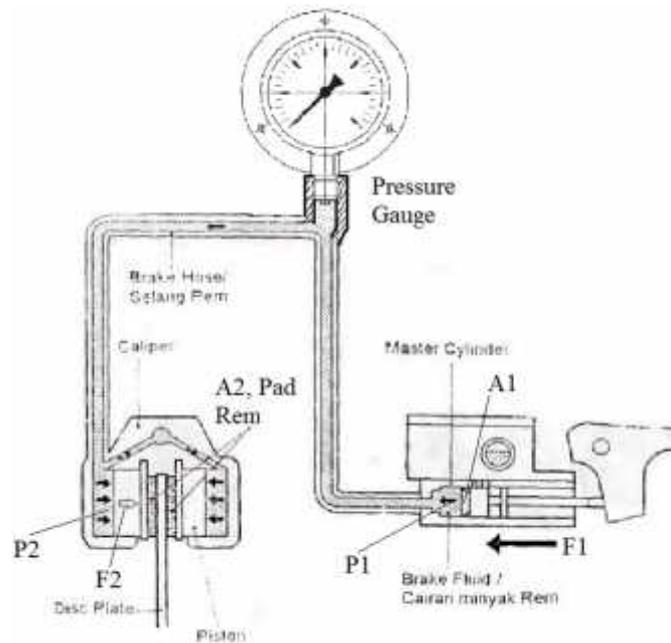
3.6.2.1 Prosedur pengukuran Kecepatan Mesin

Prosedur pengukuran RPM sebab perlakuan tekanan rem menggunakan *Prony Brake*. Pada pengujian kinerja motor bensin 2-langkah *direct injection* ini menggunakan alat bernama *Prony Brake Dynamometer* pada gambar 3.15 sebagai variabel beban pada mesin uji untuk mengukur performa mesin yang selanjutnya akan didapat RPM dan *Brake Torque*. Alat ukur yang digunakan untuk mengetahui tekanan minyak rem yang bekerja menggunakan *pressure gauge* yang di pasang pada master rem dengan kata lain *pressure gauge* terintegrasi dengan *Prony Brake*.



Gambar 3.15. *Prony Brake* Alat Uji

Prinsip rem hidrolik seperti skema sistem *prony brake* pada gambar 3.16 tersebut berdasarkan Prinsip Hukum Pascal adalah Gaya yang bekerja pada suatu penampang dengan media cair dalam bejana tertutup akan diteruskan ke segala penjuru dengan tekanan yang sama besarnya dan arah tekanan tegak lurus terhadap penampang.



Gambar 3.16. Sistem *Prony Brake*

Seperti pada gambar 3.16, jika master piston memiliki gaya F_1 dengan luas penampang A_1 sehingga tekanan sebesar P_1 , karena tekanan sama besar ($P_1 = P_2$) yang diteruskan ke piston kaliper dengan luas penampang A_2 mengakibatkan piston kaliper terdorong keluar dengan gaya sebesar F_2 yang sesuai prinsip hukum pascal dengan rumus :

$$P_1 = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} = P_2 \dots \dots \dots (3.1).$$

Ket. : P_1 = tekanan master silinder (N/m^2); F_1 = gaya master piston (Newton); A_1 = luas penampang master piston (m^2); P_2 = tekanan silinder kaliper (N/m^2); F_2 = gaya piston kaliper (Newton); A_2 = luas penampang piston kaliper (m^2).

Karena tekanan minyak rem yang bekerja sama besar antara P_1 dan P_2 sehingga untuk mempermudah digunakanlah *pressure gauge* yang telah diposisikan seperti pada gambar 3.16.

Tahapan pengujian adalah sebagai berikut :

1. Mesin uji di kopel dengan kopling tetap ke cakram rem dengan keadaan *prony brake* tidak ada tekanan.

2. Siapkan piringan cakram sensor dengan durasi 45° , 55° dan 65° yang dikombinasikan dengan waktu injeksi 85° , 90° atau 95° sebelum TMA.
3. Pastikan modul saat *pickup* buka-tutup injektor bekerja dan pastikan sensor tidak terpengaruh oleh cahaya matahari.
4. Isi bensin ke tangki, siapkan sistem bahan bakar bertekanan diatur dengan regulator dengan urutan pertama 6 bar, 7 bar lalu 8 bar.
5. Mesin dihidupkan selama 5 menit untuk mencapai suhu kerja yang optimal.
6. Berikan beban mesin dengan *prony brake* yang diatur dengan menggunakan tuas rem sehingga mendapatkan beban yang bervariasi hingga mencapai beban puncak sampai mesin mati.
7. Saat diberi beban variasi tekanan rem yang bertahap bertambah terukur oleh *pressure gauge* secara bersamaan ambil data putaran mesin uji yang didapat menggunakan *tachometer* akibat pengaruh rentang variasi tekanan rem. Lalu catat datanya.
8. Masukkan data pada tabel yang disiapkan. Ulangi prosedur pengambilan data seperti pada nomor 2 dengan mengganti variasi waktu injeksi, durasi injeksi dan tekanan bahan bakar lalu mengukur kecepatan mesin dengan perlakuan tekanan rem sehingga tabel 3.2 berjumlah 9 tabel.

Tabel 3.2. Pengaruh Tekanan Rem pada RPM

Waktu Injeksi X° seb. TMA dan Tekanan bahan bakar Z bar			
Tekanan Rem, bar	Durasi injeksi		
	45° RPM	55° RPM	65° RPM
0			
0.6			
0.8			
1			
1.2			
1.4			
1.6			

3.6.2.2 Prosedur Pengambilan Data Torsi Rem

Pembebanan yang dilakukan saat pengujian terhadap mesin uji yang berupa tekanan dengan skala/satuan kg/cm^2 pada *pressure gauge* selanjutnya

dilakukan perhitungan agar didapat beban kg gaya lalu mengkonversinya menjadi satuan Newton dan untuk luas penampang yang digunakan adalah kontak luas permukaan kampas rem tipe *annular* dikalikan 2. Rumus dasar yang digunakan adalah :

$$F = P.A \dots \dots \dots (3.2)$$

Ket. : F = gaya pada kampas rem (kgf); P = Tekanan minyak rem (kgf/cm²); A = Luas penampang kampas rem (cm²)

Dalam penelitian ini untuk mencari luas penampang kampas rem tipe *annular* menggunakan teori keausan seragam dengan alasan kampas rem memiliki keausan aksial terbesar dengan kerja gesek terbesar pada daerah terluar tersebut mengakibatkan distribusi tekanan berubah tidak merata, karena kampas rem yang digunakan dalam penelitian ini tidak baru dan permukaan tidak rata, jadi dengan kata lain kampas rem memiliki keausan seragam. Rumus luas kampas rem tipe *annular* dengan metode keausan seragam, yaitu:

$$A = (\theta_1 - \theta_2) \cdot r_i \cdot (r_o - r_i) \dots \dots \dots (3.3)^{21}$$

Ket. : A= luas kampas rem (cm²); θ_1 = sudut pertama kampas rem (derajat); θ_2 = sudut kedua kampas rem atau $(\theta_1 - \theta_2)$ = sudut *subtend*; r_o = jari-jari luar (cm); r_i = jari-jari dalam kampas rem (cm).

Setelah mendapatkan gaya pada kampas rem yang telah dikonversi ke Newton, langkah selanjutnya melakukan perhitungan Torsi gesekan dengan rumus :

$$T = \mu \cdot F \cdot \bar{r} \dots \dots \dots (3.4)^{22}$$

Ket. : T = Torsi *Prony Brake* (Nm); F = gaya pada kampas rem (N); μ = koefisien gesek kampas rem; \bar{r} = jari-jari ke titik pusat aksi gaya pada kampas rem (m).

Asumsi koefisien gesek kanvas rem sebesar 0.36 berdasarkan kode SAE 16FF.

²¹ Budynas-Nisbett, Shigley's Mechanical Engineering Design, 8th edition. McGraw-Hill Primis Online, hal. 828

²² Budynas-Nisbett, Ibid, hal. 827

Setelah tekanan rem (beban) dilakukan perhitungan untuk mendapat torsi rem maka didapat persamaan atau konversi tabel dari tabel 3.2, yaitu sebagai berikut :

Tabel 3.3. Pengaruh Torsi Rem pada kecepatan mesin

Waktu Injeksi X° seb TMA dan Tekanan bahan bakar Z bar			
Torsi rem, Nm	Durasi injeksi		
	45°	55°	65°
	RPM	RPM	RPM

3.6.2.3 Prosedur Pengumpulan data Daya rem (*Brake power output*)

Setelah didapat semua data kecepatan mesin dan torsi rem dari pengaruh waktu injeksi, durasi injeksi dan tekanan bahan bakar seperti pada tabel 3.3 selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapat data daya mesin uji. Perhitungan daya menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot N \cdot T}{60 \cdot 1000} \dots\dots\dots(3.5)$$

Keterangan : N = kecepatan mesin, RPM; T = Torsi, Nm; 60 detik = 1 menit; 1000 = 1kW; = 2 N

Setelah dilakukan perhitungan daya dari tabel 3.3 selanjutnya masukkan ke tabel berikut:

Tabel 3.4. hubungan daya dengan kecepatan mesin

Waktu injeksi X° sebelum TMA, Tekanan bahan bakar Z bar					
Durasi 45°		Durasi 55°		Durasi 65°	
Daya, kW	RPM	Daya, kW	RPM	Daya, kW	RPM

3.6.2.4 Prosedur Pengukuran Durasi Konsumsi Bahan Bakar

Pada pengujian konsumsi bahan bakar motor bensin 2-langkah *direct injection* ini menggunakan gelas ukur (buret) untuk mengukur 100 mL bahan bakar. Selanjutnya bensin 100mL tersebut dituang ke tangki atau *fuel pump* transfer pneumatik.

Asumsi bahwa massa jenis bensin pada 30°C adalah 750 kg/m³, jadi 100ml bensin sama dengan 75 gram.

Tahap pengukuran sebagai berikut:

1. Tekanan udara pada *fuel pump* transfer pneumatik atau tangki dibuang dengan memutar knob regulator berlawanan arah jarum jam. Pastikan di saluran bahan bakar ke injektor kosong dan bersih.
2. Kopel yang berada di tangki dibuka.
3. 100mL bensin yang telah diukur dituangkan ke tangki dengan menggunakan corong.
4. Kopel dipasang kembali pada tangki/*fuel pump* transfer pneumatik.
5. Kopel *male* dari kompresor dipasang ke tangki, buka keran kompresor.
6. Tekanan diatur oleh knob regulator searah jarum jam. Tekanan disesuaikan dengan pengujian yakni 6, 7 lalu 8 bar.
7. Menyiapkan mesin uji dengan papan cakram *pickup* injeksi durasi 45°, 55°, lalu 65° dikombinasikan dengan waktu injeksi 85°, 90° atau 95° sebelum TMA. Modul dipastikan bekerja dengan baik.
8. Nyalakan mesin uji dengan urutan beban 0, 0.8, lalu 1.2 bar menggunakan *prony brake*. Pengukuran konsumsi bahan bakar menggunakan *stopwatch* sehingga 100mL bensin dengan beban dan durasi tersebut seberapa lama akan habis hingga mesin mati. Lalu catat datanya. Ulangi prosedur pengukuran konsumsi bahan bakar, utamanya pada nomor 7 dan 8 hingga semua data diperoleh tabel 3.5 berjumlah 9.
9. Masukkan data pada tabel yang disiapkan.

Tabel 3.5. konsumsi bahan bakar 100mL

Waktu Injeksi X° Sebelum TMA, Tekanan bahan bakar Z bar						
Rem, bar / durasi injeksi	45°		55°		65°	
	Waktu	RPM	Waktu	RPM	Waktu	RPM
0						
0.8						
1.2						

3.6.2.5 Prosedur Pengumpulan data Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Saat pengujian konsumsi bahan bakar sebanyak 100 mL dengan penyetelan waktu, durasi injeksi dan tekanan bahan bakar dibutuhkan durasi waktu hingga 100 mL bahan bakar tersebut habis seperti pada tabel 3.5. Untuk mengetahui BSFC diperlukan kecepatan aliran massa (perhitungan dari tabel 3.5) dan daya mesin (dari tabel 3.4). Perhitungan BSFC menggunakan rumus berikut:

$$Sfc = \frac{\dot{m}_f}{P} \dots\dots\dots(3.6)$$

Keterangan: SFC (*specific fuel consumption*) (kg/kWh); \dot{m}_f = aliran massa, kg/h; P = Daya, kW

Setelah semua data pengujian konsumsi bahan bakar sebanyak 100 mL pada tiap penyetelan didapat, selanjutnya dilakukan perhitungan dengan persamaan 3.6. setelah selesai melakukan semua perhitungan, selanjutnya masukkan data pada tabel berikut:

Tabel 3.6. Pengaruh Kecepatan mesin terhadap BSFC

Waktu Injeksi X° Sebelum TMA, Tekanan bahan bakar Z bar						
Torsi rem, Nm/ durasi, deg.	45°		55°		65°	
	RPM	BSFC, g/kWh	RPM	BSFC, g/kWh	RPM	BSFC, g/kWh

3.7. Teknik Analisis Data

Data yang telah dikumpulkan pada proses pengujian akan dianalisis untuk memperoleh hasil akhir menggunakan program *excel* untuk membuat grafik-grafik dari tabel torsi, tabel daya dan tabel BSFC. Selanjutnya dari grafik-grafik tersebut akan diketahui tiap penyetelan memiliki torsi dan daya maksimal berbeda-beda sedangkan BSFC diambil nilai minimal seperti tabel berikut:

Tabel 3.7. Parameter pengoperasian mesin

No.	Durasi penyemprotan bahan bakar	Waktu injeksi, sebelum TMA	Tekanan bahan bakar, bar	Daya (maks.) kW@ RPM	Torsi (maks.) Nm@ RPM	BSFC (min.) kg/kWh@ RPM
1	45°	85°	6			
2	45°	85°	7			
3	45°	85°	8			
4	55°	85°	6			
5	55°	85°	7			
6	55°	85°	8			
7	65°	85°	6			
8	65°	85°	7			
9	65°	85°	8			
10	45°	90°	6			
11	45°	90°	7			
12	45°	90°	8			
13	55°	90°	6			
14	55°	90°	7			
15	55°	90°	8			
16	65°	90°	6			
17	65°	90°	7			
18	65°	90°	8			
19	45°	95°	6			
20	45°	95°	7			
21	45°	95°	8			
22	55°	95°	6			
23	55°	95°	7			
24	55°	95°	8			
25	65°	95°	6			
26	65°	95°	7			
27	65°	95°	8			

Selanjutnya dari tiap penyetelan yang memiliki nilai maksimal torsi dan daya (minimal untuk BSFC) dari Tabel 3.7 akan dipilih yang paling optimal.

BAB IV

HASIL PENELITIAN

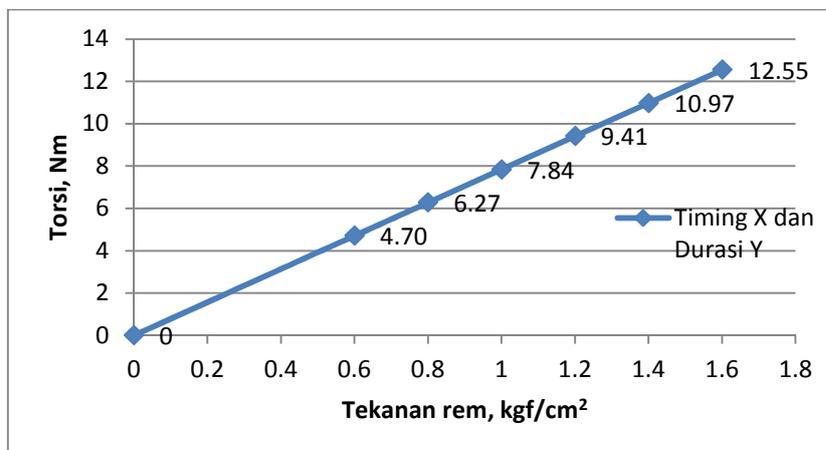
4.1 Deskripsi Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan pengujian motor bensin 2-langkah yang telah dimodifikasi sistem bahan bakarnya menjadi *direct injection* untuk mendapatkan kinerja mesin yang beragam disebabkan dari variasi waktu injeksi, variasi durasi buka-tutup injektor, variasi tekanan udara 6, 7, dan 8 bar dan variasi tekanan rem berkisar 0 bar dan 0.6 bar – 1.6 bar dengan perubahan tekanan 0,2 bar. Data yang diperoleh saat pengujian motor bensin 2-langkah sistem bahan bakar *direct injection* tersebut yang selanjutnya dilakukan analisa, yaitu :

1. Pengaruh tekanan (6, 7, dan 8 bar) pompa bahan bakar transfer pneumatik, waktu injeksi (85°, 90° dan 95° sebelum TMA) dan durasi injeksi (45°, 55° dan 65°) terhadap putaran mesin yang dihasilkan
2. Pengaruh perubahan tekanan rem di *prony brake* terhadap putaran mesin dan torsi.
3. Analisis daya melalui perhitungan dari kecepatan mesin dan torsi akibat pengaruh dari variasi tekanan bahan bakar, waktu injeksi dan durasi injeksi tersebut.
4. Pengaruh perubahan tekanan rem (beban) di *prony brake*, tekanan bahan bakar, waktu injeksi dan durasi injeksi terhadap durasi konsumsi bahan bakar (100mL) dan kecepatan mesin.
5. Pengaruh kecepatan mesin, torsi dan daya dengan penyetelan tekanan bahan bakar, waktu injeksi dan durasi injeksi tertentu terhadap konsumsi bahan bakar spesifik pengereman.

4.2 Analisis Data Penelitian

4.2.1 Pengaruh peningkatan Tekanan Rem Terhadap Torsi Mesin.



Gambar 4.1. Pengaruh peningkatan Tekanan Rem Terhadap Torsi Mesin

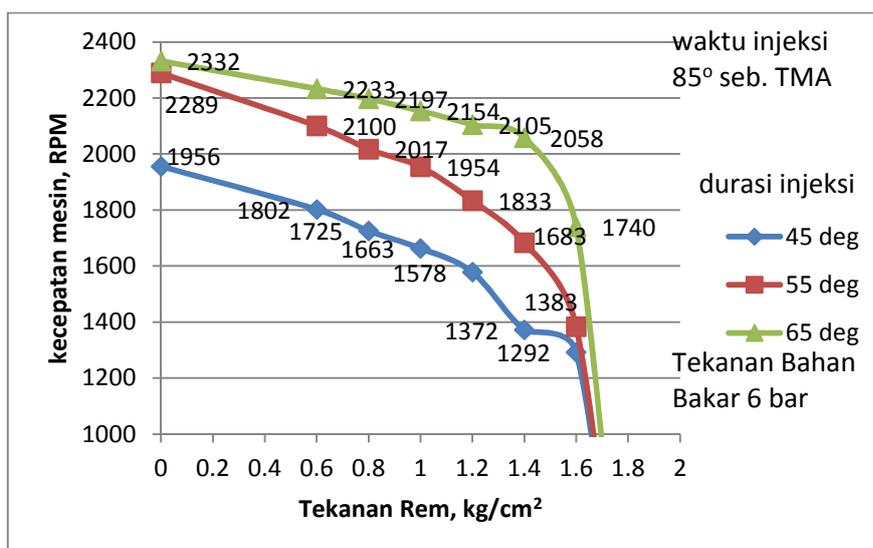
Gambar 4.1 memperlihatkan pengaruh tekanan minyak rem pada torsi mesin uji di semua penyetelan variasi waktu injeksi, durasi injeksi dan tekanan bahan bakar yang akan selalu sama pada *prony brake*. Seperti yang terlihat dari gambar 4.1, Torsi mengalami peningkatan dengan peningkatan tekanan rem pula. Nilai pertambahan dari torsi secara berangsur meningkat dengan peningkatan tekanan rem.

Nilai tekanan pada tekanan minyak rem sebesar 0 kg/cm² memiliki torsi sebesar 0 Nm. Saat tuas rem ditekan sedikit hingga tekanan minyak rem sebesar 0.6 kg/cm² memiliki torsi sebesar 4.7 Nm. Tuas rem ditekan kembali Pada Tekanan minyak rem 0.8 kg/cm² didapat torsi sebesar 6.27 Nm dan seterusnya penambahan tekanan minyak rem yang berangsur-angsur meningkat mengakibatkan torsi juga meningkat. Pertambahan tekanan rem berbanding lurus dengan gaya yang dihasilkan pada tuas rem yang ditekan. Jadi semakin besar tekanan semakin besar pula gayanya, sedangkan torsi hasil perhitungan dari gaya dengan jari-jari yang ukurannya tetap. Sehingga semakin besar tekanan rem semakin besar pula torsi yang dihasilkan.

4.2.2 Pengaruh Perubahan Tekanan Rem Terhadap Kecepatan Mesin.

4.2.2.1 Pada Penyetelan Waktu Injeksi 85° Sebelum TMA

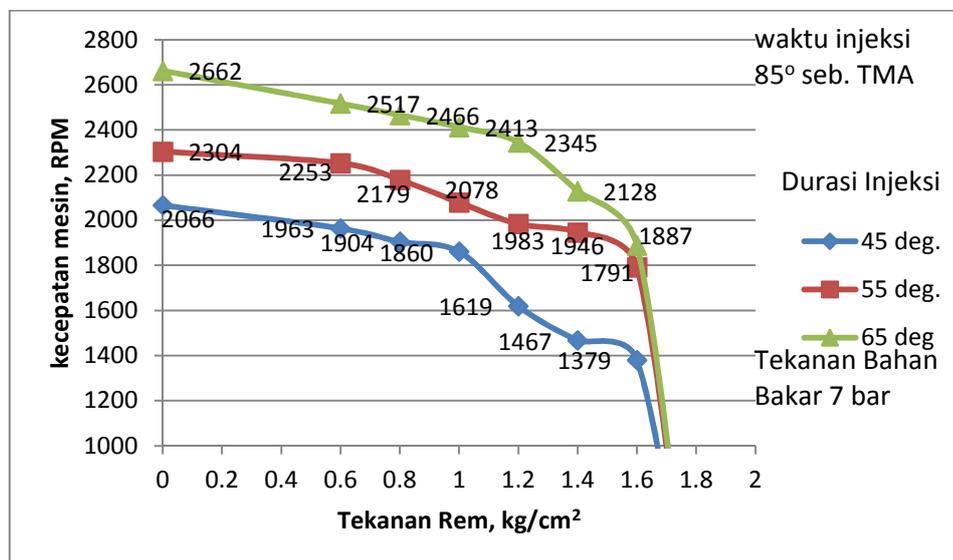
Hasil pengoperasian motor bensin 2-langkah *direct* injeksi dengan mengukur kecepatan mesinnya dengan perlakuan perubahan penambahan tekanan minyak rem berkelipatan 0.2 kgf/cm² pada penyetelan waktu injeksi 85° sebelum TMA dan tekanan bahan bakar 6 kgf/cm² atau setara 6 bar disajikan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2. pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan mesin

Pada gambar 4.2 memperlihatkan pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan mesin pada variasi durasi injeksi bahan bakar. Dari gambar 4.2 terlihat bahwa kecepatan mesin tertinggi ada pada penyetelan dengan durasi 65°. Beban awal yang diberikan menggunakan *prony brake* dengan durasi injeksi 65° pada tekanan rem sebesar 0 bar didapat kecepatan mesin 2332 RPM. Seiring bertambahnya tekanan rem (beban) hingga terakhir yang memiliki beban terbesar pada tekanan rem 1.6 bar didapat 1740 RPM. Apabila tekanan rem melebihi 1.6 bar, mesin tidak mampu lagi menangani beban yang lebih besar mengakibatkan mesin mati seketika. Kemudian pada penyetelan lain diikuti penurunan kecepatan mesin saat laju aliran massa bensin yang dioperasikan dengan variasi durasi injeksi dikurangi (45° dan 55°). Hal ini disebabkan semakin bertambah durasi injeksi, besar energi yang masuk dengan kuantitas bahan bakar bertambah di silinder sehingga terjadi peningkatan RPM walaupun pada beban yang sama.

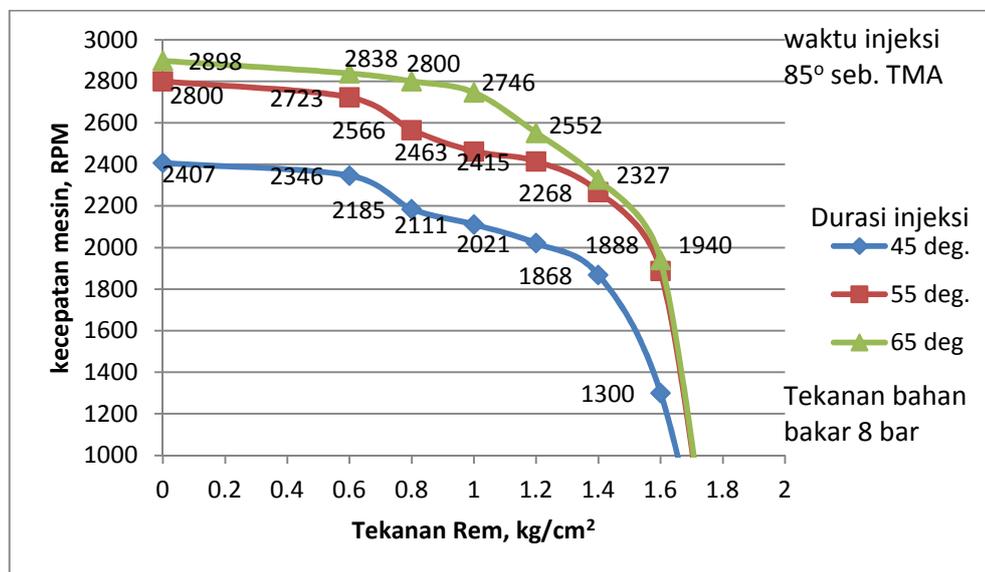
Hasil pengoperasian motor bensin 2-langkah *direct* injeksi dengan mengukur kecepatan mesinnya pada penyetelan waktu injeksi 85° sebelum TMA dan tekanan bahan bakar 7 kgf/cm^2 atau setara 7 bar disajikan pada gambar 4.3.



Gambar 4.3. pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan mesin

Pada gambar 4.3 memperlihatkan pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan mesin pada variasi durasi injeksi bahan bakar. Dari gambar 4.3 terlihat bahwa kecepatan mesin tertinggi ada pada penyetelan dengan durasi 65° . Beban awal yang diberikan menggunakan *prony brake* dengan durasi injeksi 65° pada tekanan rem sebesar 0 bar didapat kecepatan mesin 2662 RPM. Seiring bertambahnya tekanan rem (beban) hingga terakhir yang memiliki beban terbesar pada tekanan rem 1.6 bar didapat 1887 RPM. Apabila tekanan rem melebihi 1.6 atau 1.7 bar, mesin tidak mampu lagi menangani beban yang lebih besar mengakibatkan mesin mati seketika. Kemudian pada penyetelan lain diikuti penurunan kecepatan mesin saat laju aliran massa bensin yang dioperasikan dengan variasi durasi injeksi dikurangi (45° dan 55°). Hal ini disebabkan semakin bertambah durasi injeksi, besar energi yang masuk dengan kuantitas bahan bakar bertambah di silinder sehingga terjadi peningkatan RPM walaupun pada beban yang sama.

Hasil pengoperasian motor bensin 2-langkah *direct* injeksi dengan mengukur kecepatan mesinnya pada penyetelan waktu injeksi 85° sebelum TMA dan tekanan bahan bakar 8 kgf/cm^2 atau setara 8 bar disajikan pada gambar 4.4.

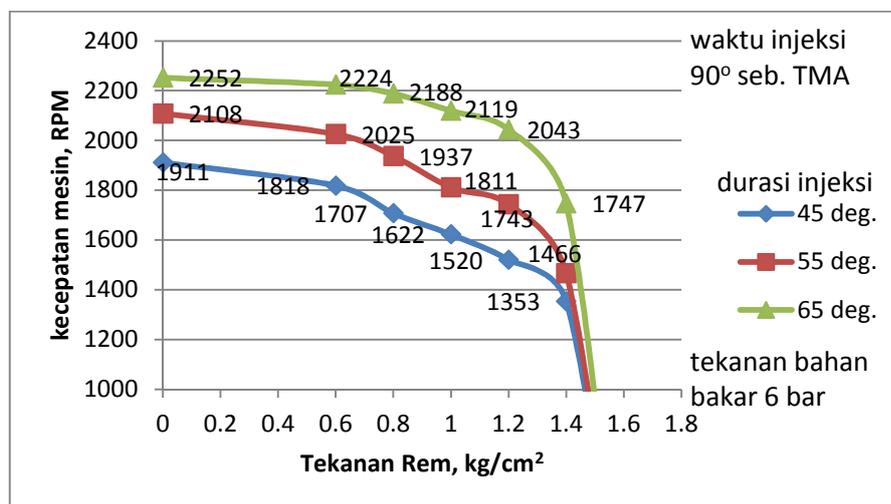


Gambar 4.4. pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan mesin

Pada gambar 4.4 memperlihatkan pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan mesin pada variasi durasi injeksi bahan bakar. Dari gambar 4.4 terlihat bahwa kecepatan mesin tertinggi ada pada penyetelan dengan durasi 65° . Beban awal yang diberikan menggunakan *prony brake* dengan durasi injeksi 65° pada tekanan rem sebesar 0 bar didapat kecepatan mesin 2898 RPM. Seiring bertambahnya tekanan rem (beban) hingga terakhir yang memiliki beban terbesar pada tekanan rem 1.6 bar didapat 1940 RPM. Apabila tekanan rem melebihi 1.6 bar, mesin tidak mampu lagi menangani beban yang lebih besar mengakibatkan mesin mati seketika. Seiring peningkatan tekanan rem yang di berikan kepada piringan cakram maka mengakibatkan perlambatan kecepatan mesin pada motor bensin 2-langkah *direct injection*. Kemudian pada penyetelan lain diikuti penurunan kecepatan mesin saat laju aliran massa bensin yang dioperasikan dengan variasi durasi injeksi dikurangi (45° dan 55°). Hal ini disebabkan semakin bertambah durasi injeksi, besar energi yang masuk dengan kuantitas bahan bakar bertambah di silinder sehingga terjadi peningkatan RPM walaupun pada beban yang sama.

4.2.2.2 Pada Penyetelan Waktu Injeksi 90° Sebelum TMA

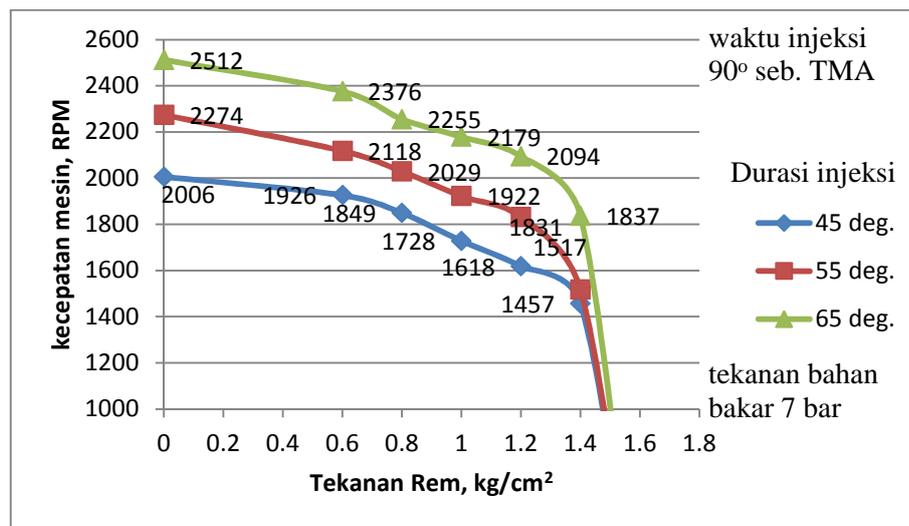
Hasil pengoperasian motor bensin 2-langkah *direct* injeksi dengan mengukur kecepatan mesinnya pada penyetelan waktu injeksi 90° sebelum TMA dan tekanan bahan bakar 6 kgf/cm² atau setara 6 bar disajikan pada gambar 4.5.



Gambar 4.5. pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan mesin

Pada gambar 4.5 memperlihatkan pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan mesin pada variasi durasi injeksi bahan bakar. Dari gambar 4.5 terlihat bahwa kecepatan mesin tertinggi ada pada penyetelan dengan durasi 65°. Beban awal yang diberikan menggunakan *prony brake* dengan durasi injeksi 65° pada tekanan rem sebesar 0 bar didapat kecepatan mesin 2252 RPM. Seiring bertambahnya tekanan rem (beban) hingga terakhir yang memiliki beban terbesar pada tekanan rem 1.4 bar didapat 1747 RPM. Apabila tekanan rem melebihi 1.4 bar, mesin tidak mampu lagi menangani beban yang lebih besar mengakibatkan mesin mati seketika. Kemudian pada penyetelan lain diikuti penurunan kecepatan mesin saat laju aliran massa bensin yang dioperasikan dengan variasi durasi injeksi dikurangi (45° dan 55°). Hal ini disebabkan semakin bertambah durasi injeksi, besar energi yang masuk dengan kuantitas bahan bakar bertambah di silinder sehingga terjadi peningkatan RPM walaupun pada beban yang sama.

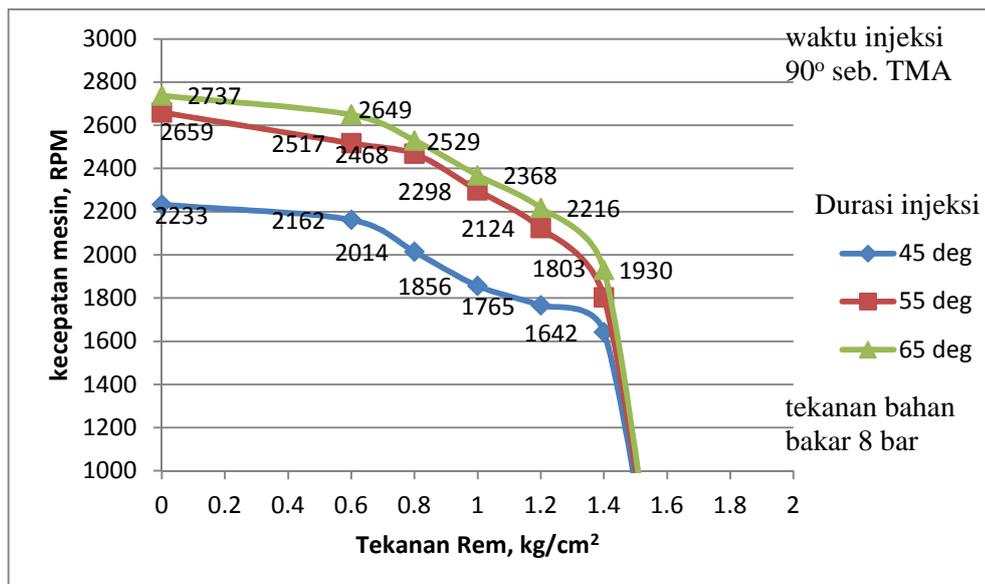
Hasil pengoperasian motor bensin 2-langkah *direct* injeksi dengan mengukur kecepatan mesinnya pada penyetelan waktu injeksi 90° sebelum TMA dan tekanan bahan bakar 7 kgf/cm² atau setara 7 bar disajikan pada gambar 4.6.



Gambar 4.6. pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan mesin

Pada gambar 4.6 memperlihatkan pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan mesin pada variasi durasi injeksi bahan bakar. Dari gambar 4.6 terlihat bahwa kecepatan mesin tertinggi ada pada penyetelan dengan durasi 65°. Beban awal yang diberikan menggunakan *prony brake* dengan durasi injeksi 65° pada tekanan rem sebesar 0 bar didapat kecepatan mesin 2512 RPM. Seiring bertambahnya tekanan rem (beban) hingga terakhir yang memiliki beban terbesar pada tekanan rem 1.4 bar didapat 1837 RPM. Apabila tekanan rem melebihi 1.4 bar, mesin tidak mampu lagi menangani beban yang lebih besar mengakibatkan mesin mati seketika. Kemudian pada penyetelan lain diikuti penurunan kecepatan mesin saat laju aliran massa bensin yang dioperasikan dengan variasi durasi injeksi dikurangi (45° dan 55°). Hal ini disebabkan semakin bertambah durasi injeksi, besar energi yang masuk dengan kuantitas bahan bakar bertambah di silinder sehingga terjadi peningkatan RPM walaupun pada beban yang sama.

Hasil pengoperasian motor bensin 2-langkah *direct* injeksi dengan mengukur kecepatannya pada penyetelan waktu injeksi 90° sebelum TMA dan tekanan bahan bakar 8 kgf/cm² atau setara 8 bar disajikan pada gambar 4.7.

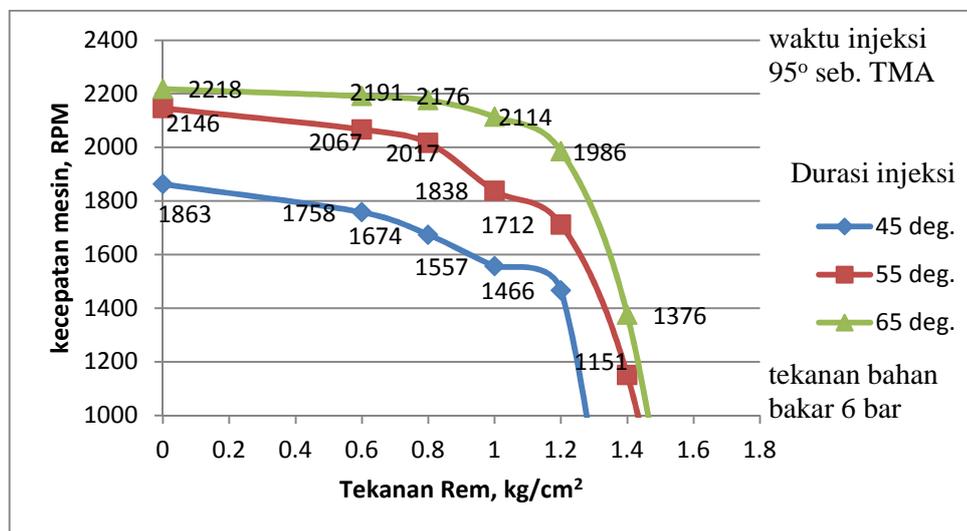


Gambar 4.7. pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan mesin

Pada gambar 4.7 memperlihatkan pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan mesin pada variasi durasi injeksi bahan bakar. Dari gambar 4.7 terlihat bahwa kecepatan mesin tertinggi ada pada penyetelan dengan durasi 65°. Beban awal yang diberikan menggunakan *prony brake* dengan durasi injeksi 65° pada tekanan rem sebesar 0 bar didapat kecepatan mesin 2737 RPM. Seiring bertambahnya tekanan rem (beban) hingga terakhir yang memiliki beban terbesar pada tekanan rem 1.4 bar didapat 1930 RPM. Apabila tekanan rem melebihi 1.4 bar, mesin tidak mampu lagi menangani beban yang lebih besar mengakibatkan mesin mati seketika. Seiring peningkatan tekanan rem yang di berikan kepada piringan cakram maka mengakibatkan perlambatan kecepatan mesin pada motor bensin 2-langkah *direct injection*. Kemudian pada penyetelan lain diikuti penurunan kecepatan mesin saat laju aliran massa bensin yang dioperasikan dengan variasi durasi injeksi dikurangi (45° dan 55°). Hal ini disebabkan semakin bertambah durasi injeksi, besar energi yang masuk dengan kuantitas bahan bakar bertambah di silinder sehingga terjadi peningkatan RPM walaupun pada beban yang sama.

4.2.2.3 Pada Penyetelan Waktu Injeksi 95° Sebelum TMA

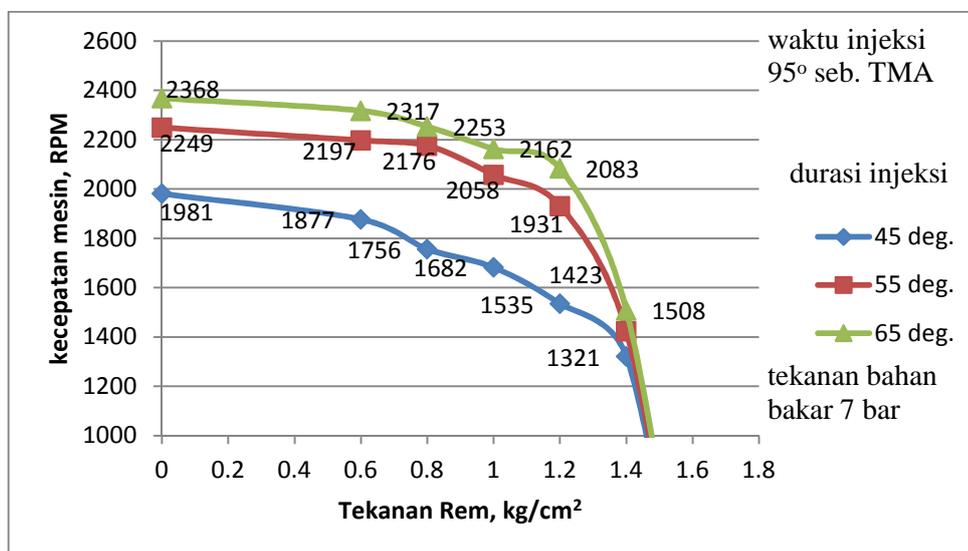
Hasil pengoperasian motor bensin 2-langkah *direct* injeksi dengan mengukur kecepatan mesinnya pada penyetelan waktu injeksi 95° sebelum TMA dan tekanan bahan bakar 6 kgf/cm² atau setara 6 bar disajikan pada gambar 4.8.



Gambar 4.8. pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan mesin

Pada gambar 4.8 memperlihatkan pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan mesin pada variasi durasi injeksi bahan bakar. Dari gambar 4.8 terlihat bahwa kecepatan mesin tertinggi ada pada penyetelan dengan durasi 65°. Beban awal yang diberikan menggunakan *prony brake* dengan durasi injeksi 65° pada tekanan rem sebesar 0 bar didapat kecepatan mesin 2218 RPM. Seiring bertambahnya tekanan rem (beban) hingga terakhir yang memiliki beban terbesar pada tekanan rem 1.4 bar didapat 1376 RPM. Apabila tekanan rem melebihi 1.4 bar, mesin tidak mampu lagi menangani beban yang lebih besar mengakibatkan mesin mati seketika. Seiring peningkatan tekanan rem yang di berikan kepada piringan cakram maka mengakibatkan perlambatan kecepatan mesin pada motor bensin 2-langkah *direct injection*. Kemudian pada penyetelan lain diikuti penurunan kecepatan mesin saat laju aliran massa bensin yang dioperasikan dengan variasi durasi injeksi dikurangi (45° dan 55°). Hal ini disebabkan semakin bertambah durasi injeksi, besar energi yang masuk dengan kuantitas bahan bakar bertambah di silinder sehingga terjadi peningkatan RPM walaupun pada beban yang sama.

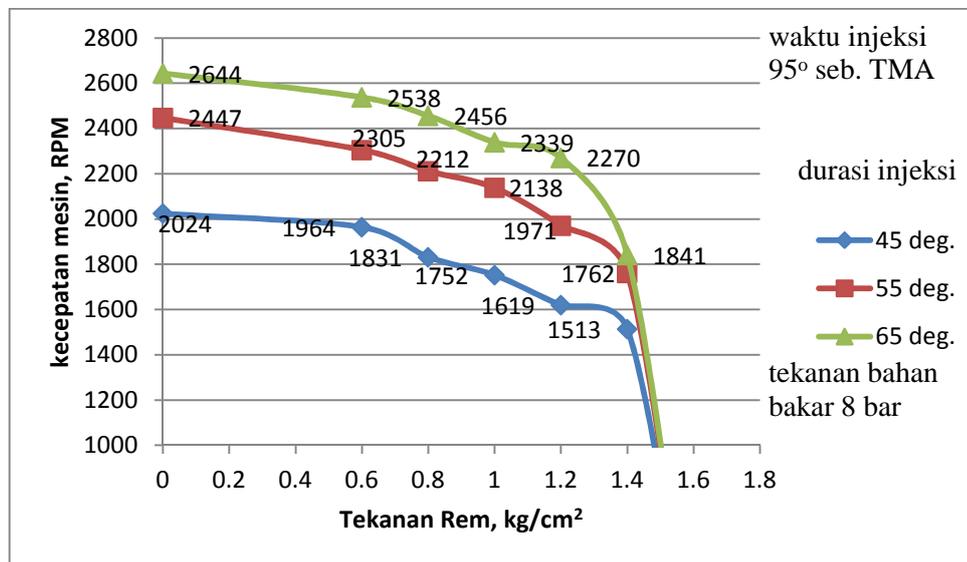
Hasil pengoperasian motor bensin 2-langkah *direct* injeksi dengan mengukur kecepatan mesinnya pada penyetelan waktu injeksi 95° sebelum TMA dan tekanan bahan bakar 7 kgf/cm^2 atau setara 7 bar disajikan pada gambar 4.9.



Gambar 4.9. pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan

Pada gambar 4.9 memperlihatkan pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan mesin pada variasi durasi injeksi bahan bakar. Dari gambar 4.9 terlihat bahwa kecepatan mesin tertinggi ada pada penyetelan dengan durasi 65° . Beban awal yang diberikan menggunakan *prony brake* dengan durasi injeksi 65° pada tekanan rem sebesar 0 bar didapat kecepatan mesin 2368 RPM. Seiring bertambahnya tekanan rem (beban) hingga terakhir yang memiliki beban terbesar pada tekanan rem 1.4 bar didapat 1508 RPM. Apabila tekanan rem melebihi 1.4 bar, mesin tidak mampu lagi menangani beban yang lebih besar mengakibatkan mesin mati seketika. Seiring peningkatan tekanan rem yang di berikan kepada piringan cakram maka mengakibatkan perlambatan kecepatan mesin pada motor bensin 2-langkah *direct injection*. Kemudian pada penyetelan lain diikuti penurunan kecepatan mesin saat laju aliran massa bensin yang dioperasikan dengan variasi durasi injeksi dikurangi (45° dan 55°). Hal ini disebabkan semakin bertambah durasi injeksi, besar energi yang masuk dengan kuantitas bahan bakar bertambah di silinder sehingga terjadi peningkatan RPM walaupun pada beban yang sama.

Hasil pengoperasian motor bensin 2-langkah *direct* injeksi dengan mengukur kecepatan mesinnya pada penyetelan waktu injeksi 95° sebelum TMA dan tekanan bahan bakar 8 kgf/cm^2 atau setara 8 bar disajikan pada gambar 4.10.



Gambar 4.10. pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan mesin

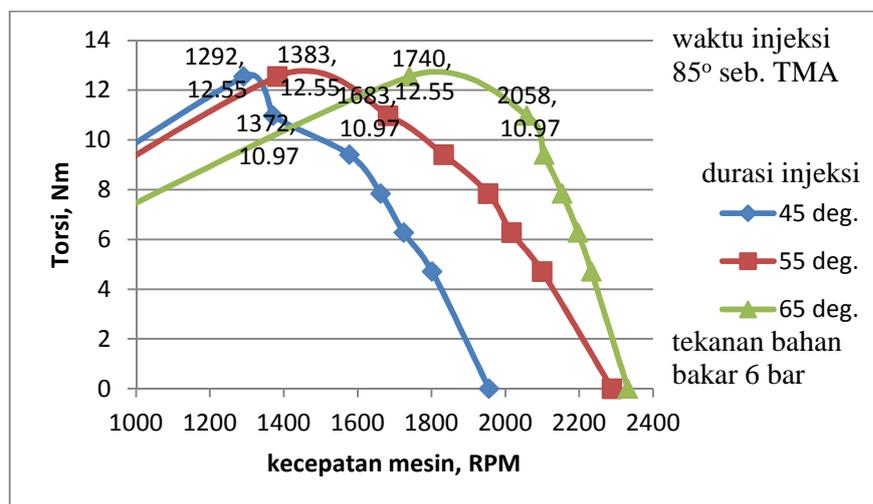
Pada gambar 4.10 memperlihatkan pengaruh tekanan rem terhadap kecepatan mesin pada variasi durasi injeksi bahan bakar. Dari gambar 4.9 terlihat bahwa kecepatan mesin tertinggi ada pada penyetelan dengan durasi 65° . Beban awal yang diberikan menggunakan *prony brake* dengan durasi injeksi 65° pada tekanan rem sebesar 0 bar didapat kecepatan mesin 2644 RPM. Seiring bertambahnya tekanan rem (beban) hingga terakhir yang memiliki beban terbesar pada tekanan rem 1.4 bar didapat 1841 RPM. Apabila tekanan rem melebihi 1.4 bar, mesin tidak mampu lagi menangani beban yang lebih besar mengakibatkan mesin mati seketika. Seiring peningkatan tekanan rem yang di berikan kepada piringan cakram maka mengakibatkan perlambatan kecepatan mesin pada motor bensin 2-langkah *direct injection*. Seiring peningkatan tekanan rem yang di berikan kepada piringan cakram maka mengakibatkan perlambatan kecepatan mesin pada motor bensin 2-langkah *direct injection*. Kemudian pada penyetelan lain diikuti penurunan kecepatan mesin saat laju aliran massa bensin yang dioperasikan dengan variasi durasi injeksi dikurangi (45° dan 55°). Hal ini disebabkan semakin bertambah durasi injeksi, besar energi yang masuk dengan

kuantitas bahan bakar bertambah di silinder sehingga terjadi peningkatan RPM walaupun pada beban yang sama.

4.2.3 Pengaruh Perubahan Torsi Mengerem Mesin Terhadap RPM Mesin

Pada gambar 4.11 sampai 4.19 menunjukkan tiap perubahan durasi injeksi dengan kecepatan mesin yang dihasilkan diberi friksi torsi rem dimulai dari torsi mengerem yang kecil hingga mencapai batasan torsi mengeremnya (maks. torsi) masing-masing sesaat sebelum akhirnya mesin mati. Pada rentang torsi rem yang meningkat tersebut akan didapat rentang kecepatan mesin secara kontinu akan mengalami perlambatan putaran mesin. Rentang torsi dalam grafik pada gambar 4.11 sampai 4.19 merupakan hasil konversi dari persamaan perhitungan tekanan rem (beban) yang terdapat pada gambar 4.1. Hasil pengoperasian mesin dari penelitian ini secara terbalik (umumnya dinamometer menggunakan inersia pada *roller* sehingga RPM semakin meningkat) dikarenakan gaya beban secara langsung berlawanan dengan poros engkol.

Gambar 4.11 berikut ini dengan kata lain merupakan hasil konversi dari gambar 4.2. Parameter *brake torque* hasil pengoperasian mesin uji diperlihatkan dalam gambar 4.11.

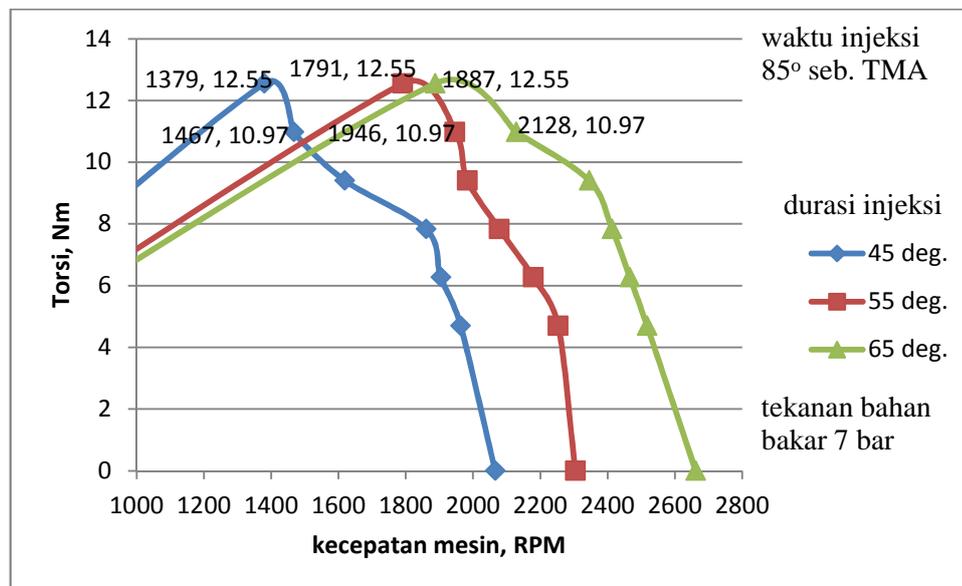


Gambar 4.11. Pengaruh variasi durasi injeksi atas Torsi friksi rem terhadap Kecepatan Mesin

Pada gambar 4.11 memperlihatkan karakteristik dari variasi durasi injeksi. Pada durasi terlama sebesar 65°, saat mesin menyala kecepatan mesin berada pada

2332 RPM tanpa beban/tidak ada torsi (0 Nm). Pada torsi 4.7 Nm kecepatan mesin berada di 2233 RPM. Terlihat bahwa kecepatan mesin puncak berada di kitaran 1740 rpm pada torsi rem puncak sebesar 12.55 Nm untuk durasi injeksi 65°. Dalam gambar 4.11 bisa dilihat bahwa dari tiap durasi, mesin dapat menahan beban terbesar dengan mencapai tingkat torsi puncak 12.55 Nm. Saat torsi ditambah melebihi 12.55 Nm, mesin tidak mampu lagi menahan beban (gaya) yang berlawanan dari putaran mesin sehingga mesin mati dengan torsi 0 Nm. Penyetelan yang mampu mencapai torsi puncak lebih cepat adalah pada waktu injeksi 85° sebelum TMA, durasi injeksi 65° tekanan bahan bakar 6 bar.

Gambar 4.12 berikut ini dengan kata lain merupakan hasil konversi dari gambar 4.3. Parameter *brake torque* hasil pengoperasian mesin uji diperlihatkan dalam gambar 4.12.

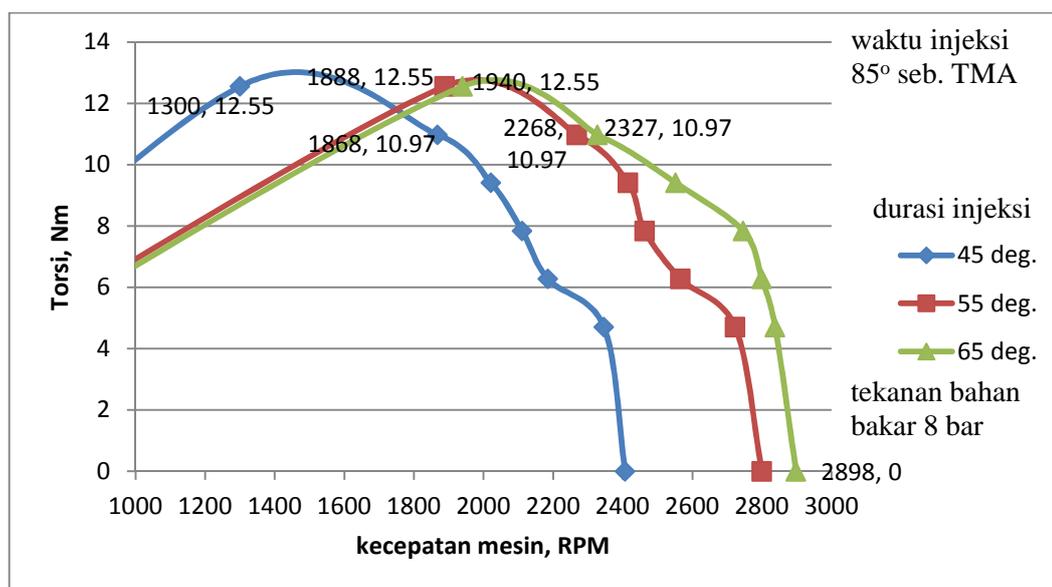


Gambar 4.12. Pengaruh variasi durasi injeksi atas Torsi friksi rem terhadap Kecepatan Mesin

Pada gambar 4.12 memperlihatkan karakteristik dari variasi durasi injeksi. Pada durasi terlama sebesar 65°, saat mesin menyala kecepatan mesin berada pada 2662 RPM tanpa beban/tidak ada torsi (0 Nm). Pada torsi 4.7 Nm kecepatan mesin berada di 2517 RPM. Terlihat bahwa kecepatan mesin puncak berada di kitaran 1887 rpm pada torsi rem puncak sebesar 12.55 Nm untuk durasi injeksi 65°. Dalam gambar 4.12 bisa dilihat bahwa dari tiap durasi, mesin dapat menahan beban terbesar dengan mencapai tingkat torsi puncak 12.55 Nm. Saat torsi

ditambah melebihi 12.55 Nm, mesin tidak mampu lagi menahan beban (gaya) yang berlawanan dari putaran mesin sehingga mesin mati dengan torsi 0 Nm. Penyetelan yang mampu mencapai torsi puncak lebih cepat adalah pada waktu injeksi 85° sebelum TMA, durasi injeksi 65° tekanan bahan bakar 7 bar.

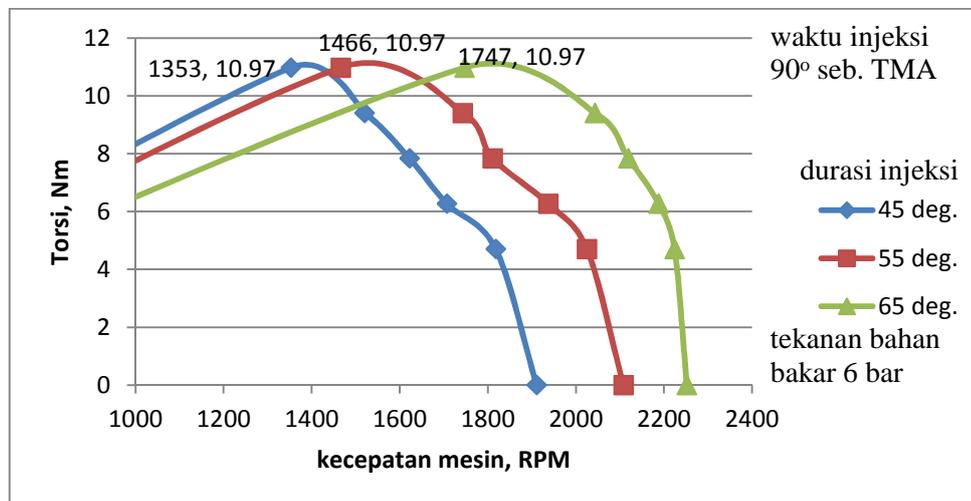
Gambar 4.13 berikut ini dengan kata lain merupakan hasil konversi dari gambar 4.4. Parameter *brake torque* hasil pengoperasian mesin uji diperlihatkan dalam gambar 4.13.



Gambar 4.13. Pengaruh variasi durasi injeksi atas Torsi friksi rem terhadap Kecepatan Mesin

Pada gambar 4.13 memperlihatkan karakteristik dari variasi durasi injeksi. Pada durasi terlama sebesar 65°, saat mesin menyala kecepatan mesin berada pada 2898 rpm tanpa beban/tidak ada torsi (0 Nm). Pada torsi 4.7 Nm kecepatan mesin berada di 2838 RPM. Terlihat bahwa kecepatan mesin puncak berada di kitaran 1940 rpm pada torsi rem puncak sebesar 12.55 Nm untuk durasi injeksi 65°. Dalam gambar 4.13 bisa dilihat bahwa dari tiap durasi, mesin dapat menahan beban terbesar dengan mencapai tingkat torsi puncak 12.55 Nm. Saat torsi ditambah melebihi 12.55 Nm, mesin tidak mampu lagi menahan beban (gaya) yang berlawanan dari putaran mesin sehingga mesin mati dengan torsi 0 Nm. Penyetelan yang mampu mencapai torsi puncak lebih cepat adalah pada waktu injeksi 85° sebelum TMA, durasi injeksi 65° tekanan bahan bakar 8 bar.

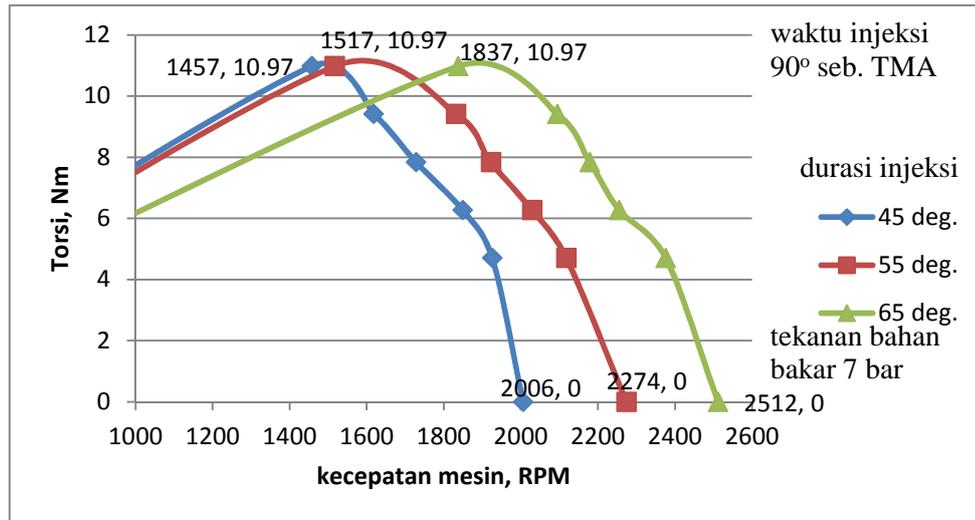
Gambar 4.14 berikut ini dengan kata lain merupakan hasil konversi dari gambar 4.5. Parameter *brake torque* hasil pengoperasian mesin uji diperlihatkan dalam gambar 4.14.



Gambar 4.14. Pengaruh variasi durasi injeksi atas Torsi friksi rem terhadap Kecepatan Mesin

Pada gambar 4.14 memperlihatkan karakteristik dari variasi durasi injeksi. Pada durasi terlama sebesar 65° , saat mesin menyala kecepatan mesin berada pada 2252 RPM tanpa beban/tidak ada torsi (0 Nm). Pada torsi 4.7 Nm kecepatan mesin berada di 2224 RPM. Terlihat bahwa kecepatan mesin puncak berada di kitaran 1747 rpm pada torsi rem puncak sebesar 10.97 Nm untuk durasi injeksi 65° . Dalam gambar 4.14 bisa dilihat bahwa dari tiap durasi, mesin dapat menahan beban terbesar dengan mencapai tingkat torsi puncak 10.97 Nm. Saat torsi ditambah melebihi 10.97 Nm, mesin tidak mampu lagi menahan beban (gaya) yang berlawanan dari putaran mesin sehingga mesin mati dengan torsi 0 Nm. Penyetelan yang mampu mencapai torsi puncak lebih cepat adalah pada waktu injeksi 90° sebelum TMA, durasi injeksi 65° tekanan bahan bakar 6 bar.

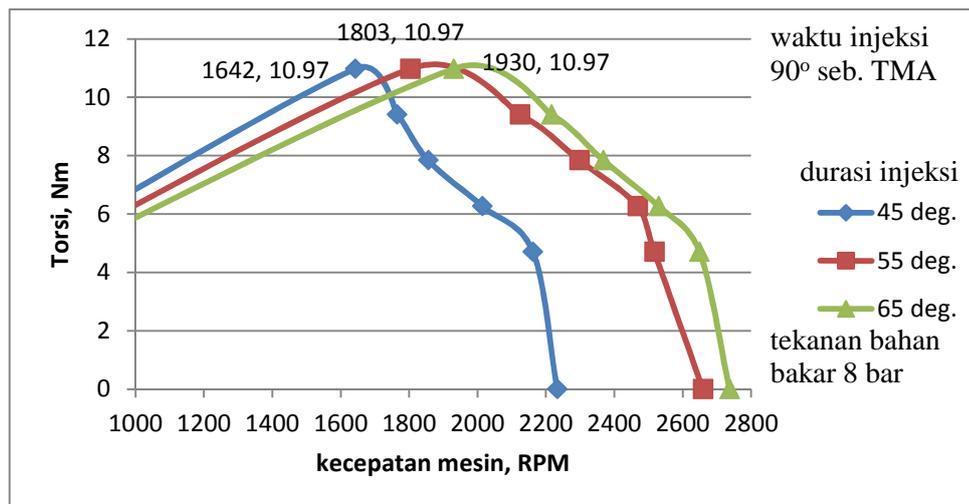
Gambar 4.15 berikut ini dengan kata lain merupakan hasil konversi dari gambar 4.6. Parameter *brake torque* hasil pengoperasian mesin uji diperlihatkan dalam gambar 4.15.



Gambar 4.15. Pengaruh variasi durasi injeksi atas Torsi friksi rem terhadap Kecepatan Mesin

Pada gambar 4.15 memperlihatkan karakteristik dari variasi durasi injeksi. Pada durasi terlama sebesar 65° , saat mesin menyala kecepatan mesin berada pada 2512 rpm tanpa beban/tidak ada torsi (0 Nm). Pada torsi 4.7 Nm kecepatan mesin berada di 2376 RPM. Terlihat bahwa kecepatan mesin puncak berada di kitaran 1837 rpm pada torsi rem puncak sebesar 10.97 Nm untuk durasi injeksi 65° . Dalam gambar 4.15 bisa dilihat bahwa dari tiap durasi, mesin dapat menahan beban terbesar dengan mencapai tingkat torsi puncak 10.97 Nm. Saat torsi ditambah melebihi 10.97 Nm, mesin tidak mampu lagi menahan beban (gaya) yang berlawanan dari putaran mesin sehingga mesin mati dengan torsi 0 Nm. Penyetelan yang mampu mencapai torsi puncak lebih cepat adalah pada waktu injeksi 90° sebelum TMA, durasi injeksi 65° tekanan bahan bakar 7 bar.

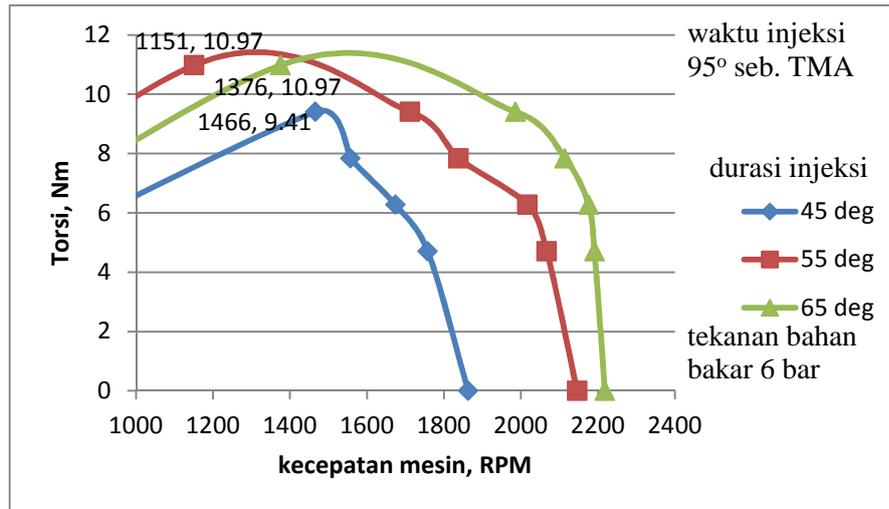
Gambar 4.16 berikut ini dengan kata lain merupakan hasil konversi dari gambar 4.7. Parameter *brake torque* hasil pengoperasian mesin uji diperlihatkan dalam gambar 4.16.



Gambar 4.16. Pengaruh variasi durasi injeksi atas Torsi friksi rem terhadap Kecepatan Mesin

Pada gambar 4.16 memperlihatkan karakteristik dari variasi durasi injeksi. Pada durasi terlama sebesar 65° , saat mesin menyala kecepatan mesin berada pada 2737 RPM tanpa beban/tidak ada torsi (0 Nm). Pada torsi 4.7 Nm kecepatan mesin berada di 2649 RPM. Terlihat bahwa kecepatan mesin puncak berada di kitaran 1930 rpm pada torsi rem puncak sebesar 10.97 Nm untuk durasi injeksi 65° . Dalam gambar 4.16 bisa dilihat bahwa dari tiap durasi, mesin dapat menahan beban terbesar dengan mencapai tingkat torsi puncak 10.97 Nm. Saat torsi ditambah melebihi 10.97 Nm, mesin tidak mampu lagi menahan beban (gaya) yang berlawanan dari putaran mesin sehingga mesin mati dengan torsi 0 Nm. Penyetelan yang mampu mencapai torsi puncak lebih cepat adalah pada waktu injeksi 90° sebelum TMA, durasi injeksi 65° tekanan bahan bakar 8 bar.

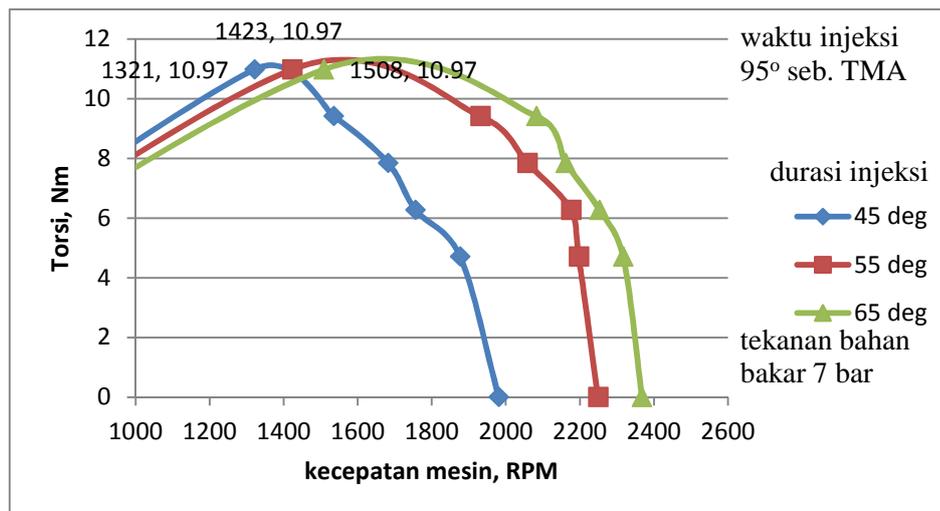
Gambar 4.17 berikut ini dengan kata lain merupakan hasil konversi dari gambar 4.8. Parameter *brake torque* hasil pengoperasian mesin uji diperlihatkan dalam gambar 4.17.



Gambar 4.17. Pengaruh variasi durasi injeksi atas Torsi friksi rem terhadap Kecepatan Mesin

Pada gambar 4.17 memperlihatkan karakteristik dari variasi durasi injeksi. Pada durasi terlama sebesar 65° , saat mesin menyala kecepatan mesin berada pada 2218 rpm tanpa beban/tidak ada torsi (0 Nm). Pada torsi 4.7 Nm kecepatan mesin berada di 2191 RPM. Terlihat bahwa kecepatan mesin puncak berada di kitaran 1376 rpm pada torsi rem puncak sebesar 10.97 Nm untuk durasi injeksi 65° . Dalam gambar 4.17 bisa dilihat bahwa dari tiap durasi, mesin dapat menahan beban terbesar dengan mencapai tingkat torsi puncak 10.97 Nm kecuali untuk durasi 45° torsi rem puncak 9.41 Nm. Saat torsi ditambah melebihi 10.97 Nm, mesin tidak mampu lagi menahan beban (gaya) yang berlawanan dari putaran mesin sehingga mesin mati dengan torsi 0 Nm. Penyetelan yang mampu mencapai torsi puncak lebih cepat adalah pada waktu injeksi 95° sebelum TMA, durasi injeksi 65° tekanan bahan bakar 6 bar.

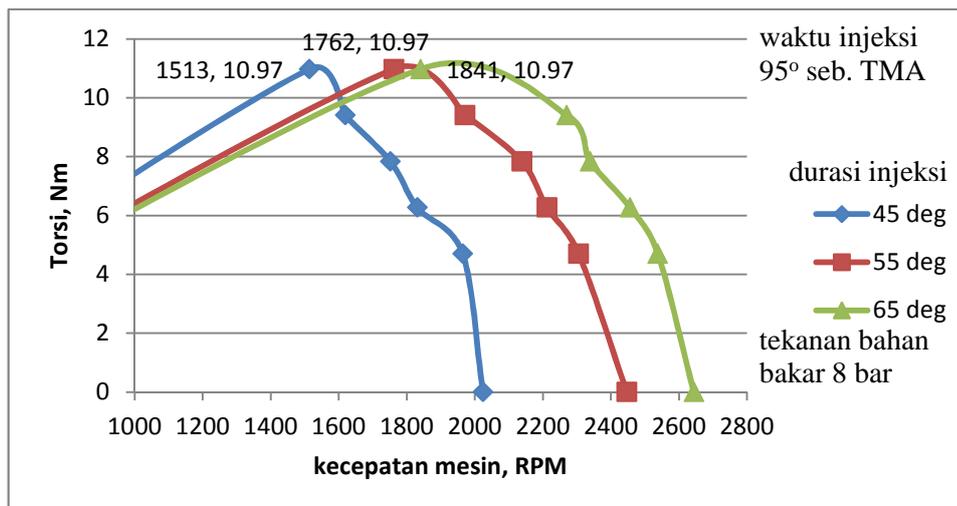
Gambar 4.18 berikut ini dengan kata lain merupakan hasil konversi dari gambar 4.9. Parameter *brake torque* hasil pengoperasian mesin uji diperlihatkan dalam gambar 4.18.



Gambar 4.18. Pengaruh variasi durasi injeksi atas Torsi friksi rem terhadap Kecepatan Mesin

Pada gambar 4.18 memperlihatkan karakteristik dari variasi durasi injeksi. Pada durasi terlama sebesar 65° , saat mesin menyala kecepatan mesin berada pada 2368 rpm tanpa beban/tidak ada torsi (0 Nm). Pada torsi 4.7 Nm kecepatan mesin berada di 2317 RPM Terlihat bahwa kecepatan mesin puncak berada di kitaran 1508 rpm pada torsi rem puncak sebesar 10.97 Nm untuk durasi injeksi 65° . Dalam gambar 4.18 bisa dilihat bahwa dari tiap durasi, mesin dapat menahan beban terbesar dengan mencapai tingkat torsi puncak 10.97 Nm. Saat torsi ditambah melebihi 10.97 Nm, mesin tidak mampu lagi menahan beban (gaya) yang berlawanan dari putaran mesin sehingga mesin mati dengan torsi 0 Nm. Penyetelan yang mampu mencapai torsi puncak lebih cepat adalah pada waktu injeksi 95° sebelum TMA, durasi injeksi 65° tekanan bahan bakar 7 bar.

Gambar 4.19 berikut ini dengan kata lain merupakan hasil konversi dari gambar 4.10. Parameter *brake torque* hasil pengoperasian mesin uji diperlihatkan dalam gambar 4.19.

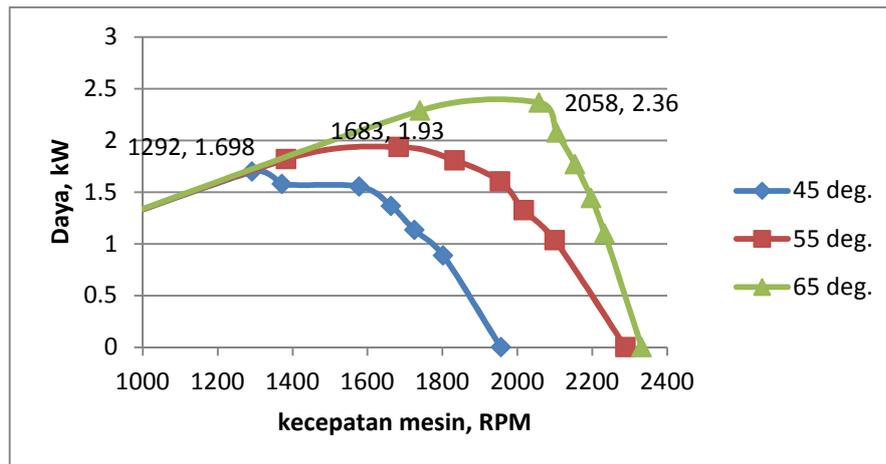


Gambar 4.19. Pengaruh variasi durasi injeksi atas Torsi friksi rem terhadap Kecepatan Mesin

Pada gambar 4.19 memperlihatkan karakteristik dari variasi durasi injeksi. Pada durasi terlama sebesar 65° , saat mesin menyala kecepatan mesin berada pada 2644 RPM tanpa beban/tidak ada torsi (0 Nm). Pada torsi 4.7 Nm kecepatan mesin berada di 2538 RPM. Terlihat bahwa kecepatan mesin puncak berada di kitaran 1841 rpm pada torsi rem puncak sebesar 10.97 Nm untuk durasi injeksi 65° . Dalam gambar 4.19 bisa dilihat bahwa dari tiap durasi, mesin dapat menahan beban terbesar dengan mencapai tingkat torsi puncak 10.97 Nm. Saat torsi ditambah melebihi 10.97 Nm, mesin tidak mampu lagi menahan beban (gaya) yang berlawanan dari putaran mesin sehingga mesin mati dengan torsi 0 Nm. Penyetelan yang mampu mencapai torsi puncak lebih cepat adalah pada waktu injeksi 95° sebelum TMA, durasi injeksi 65° tekanan bahan bakar 8 bar.

4.2.4 Hubungan Kecepatan Mesin dengan Daya Rem Mesin

Analisis daya didapat dari perhitungan torsi friksi rem dan kecepatan mesin, dari olah data hasil perhitungan daya mesin, didapatkan grafik daya – kecepatan mesin sebagai berikut:



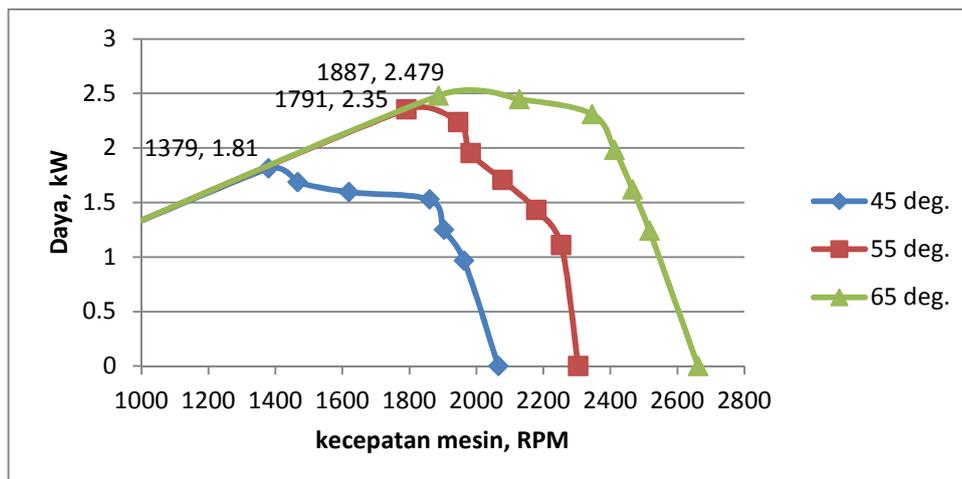
Gambar 4.20. Karakteristik daya terhadap kecepatan mesin pada penyetelan Waktu injeksi 85° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 6 bar

Pada gambar 4.20 menunjukkan karakteristik daya yang mampu dicapai atas rentang kecepatan mesin pada tiap durasi injeksi bahan bakar. Terlihat bahwa *setting* durasi injeksi 65° yang paling lama dalam pengoperasian mesin memiliki daya rem yang besar.

Pada durasi injeksi 65°, awal mesin menyala kecepatan mesin di 2332 RPM dengan torsi friksi mengerem 0 Nm maka daya 0 kW. Saat terdapat torsi sebesar 4.7 Nm pada kecepatan mesin 2233 RPM didapat daya pengereman mesin sebesar 1.099 kW. Selanjutnya saat torsi meningkat daya pun ikut meningkat hingga mencapai daya mengerem maksimum sebesar 2.365 kW terjadi pada kecepatan mesin 2058 RPM. Akibat torsi mengerem meningkat tidak diimbangi dengan kecepatan mesin yang cukup yang selanjutnya terjadi penurunan daya pada kecepatan mesin 1740 RPM dengan daya rem 2.286 kW.

Dari gambar 4.20 bisa dilihat bahwa dengan menambah durasi injeksi mampu meningkatkan keluaran daya rem (*brake power output*). Daya maksimum bisa terjadi pada RPM tinggi dengan torsi 10.97 Nm. Penyetelan terbaik yang mampu mencapai daya puncak 2.365 kW adalah pada durasi injeksi 65°, waktu injeksi 85° sebelum TMA dan tekanan bahan bakar 6 bar.

Analisis daya didapat dari friksi torsi mengerem dan kecepatan mesin terukur, hasil olah data tersebut disajikan sebagai berikut:



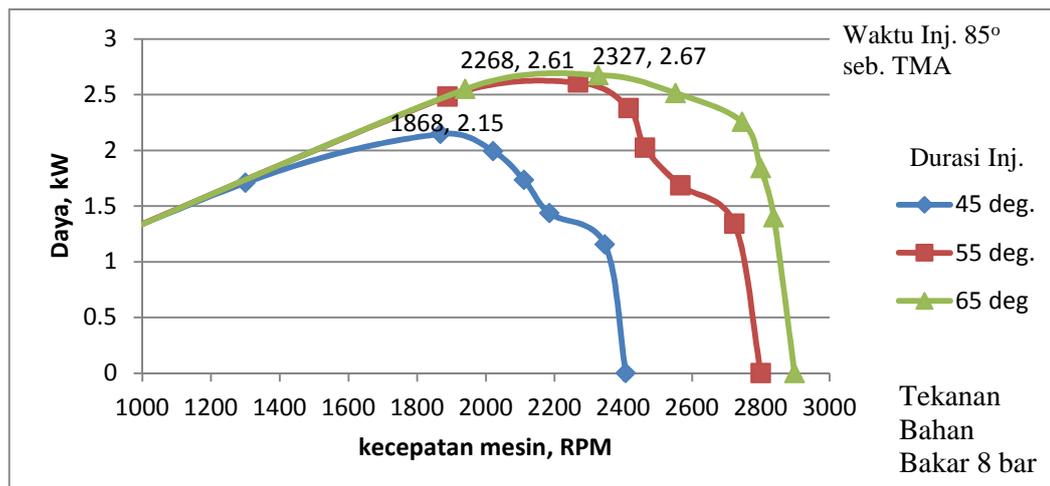
Gambar 4.21. Karakteristik daya terhadap kecepatan mesin pada penyetelan Waktu injeksi 85° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 7 bar

Pada gambar 4.21 menunjukkan karakteristik daya yang mampu dicapai atas rentang kecepatan mesin pada tiap durasi injeksi bahan bakar. Terlihat bahwa *setting* durasi injeksi 65° yang paling lama dalam pengoperasian mesin memiliki daya rem yang besar. Pada durasi injeksi 55°, saat torsi meningkat daya pun ikut meningkat hingga mencapai daya pengereman maksimum sebesar 2.354 kW terjadi pada kecepatan mesin 1791 RPM, lebih rendah dari durasi 65° dikarenakan kecepatan aliran massa berkurang untuk menghasilkan usaha.

Pada durasi injeksi 65°, awal mesin menyala kecepatan mesin di 2662 RPM dengan torsi friksi mengerem 0 Nm maka daya 0 kW. Saat terdapat torsi sebesar 4.7 Nm pada kecepatan mesin 2517 RPM didapat daya pengereman mesin sebesar 1.24 kW. Selanjutnya saat torsi meningkat daya pun ikut meningkat hingga mencapai daya maksimum sebesar 2.479 kW terjadi pada kecepatan mesin 1887 RPM.

Dari gambar 4.21 bisa dilihat bahwa dengan menambah durasi injeksi mampu meningkatkan keluaran daya rem (*brake power output*). Daya maksimum bisa terjadi pada RPM tinggi dengan torsi 10.97 Nm. Penyetelan terbaik yang mampu mencapai daya puncak 2.479 kW adalah pada durasi injeksi 65°, waktu injeksi 85° sebelum TMA dan tekanan bahan bakar 7 bar.

Analisis daya didapat dari friksi torsi mengerem dan kecepatan mesin terukur, hasil olah data tersebut disajikan sebagai berikut:



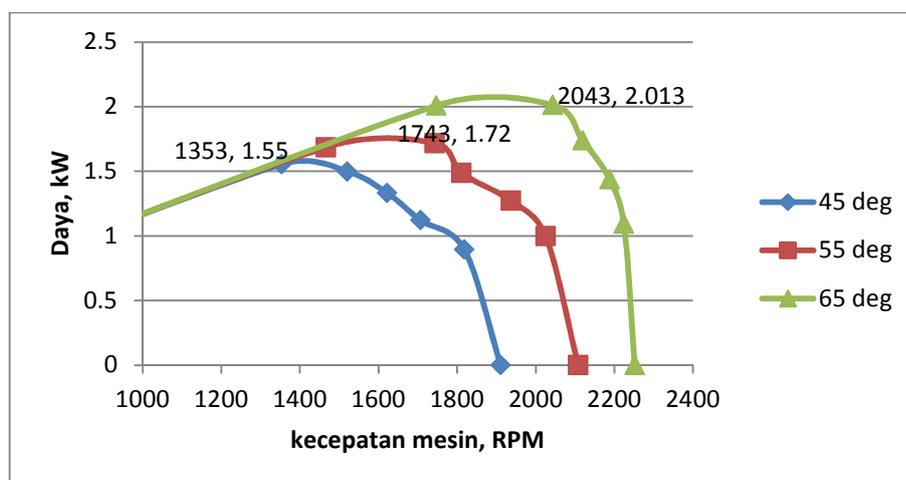
Gambar 4.22. Karakteristik daya terhadap kecepatan mesin pada penyetulan Waktu injeksi 85° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 8 bar

Pada gambar 4.22 menunjukkan karakteristik daya yang mampu dicapai atas rentang kecepatan mesin pada tiap durasi injeksi bahan bakar. Terlihat bahwa *setting* durasi injeksi 65° yang paling lama dalam pengoperasian mesin memiliki daya rem yang besar. Pada durasi injeksi 55°, saat torsi meningkat daya pun ikut meningkat hingga mencapai daya pengereman maksimum sebesar 2.61 kW terjadi pada kecepatan mesin 2268 RPM., lebih rendah dari durasi 65° dikarenakan kecepatan aliran massa berkurang untuk menghasilkan usaha.

Pada durasi injeksi 65°, awal mesin menyala kecepatan mesin di 2898 RPM dengan torsi friksi mengerem 0 Nm maka daya 0 kW. Saat terdapat torsi sebesar 4.7 Nm pada kecepatan mesin 2838 RPM didapat daya pengereman mesin sebesar 1.397 kW. Selanjutnya saat torsi meningkat daya pun ikut meningkat hingga mencapai daya mengerem maksimum sebesar 2.67 kW terjadi pada kecepatan mesin 2327 RPM. Akibat torsi mengerem meningkat tidak diimbangi dengan kecepatan mesin yang cukup yang selanjutnya terjadi penurunan daya pada kecepatan mesin 1940 RPM dengan daya rem 2.55 kW.

Dari gambar 4.22 bisa dilihat bahwa dengan menambah durasi injeksi mampu meningkatkan keluaran daya rem (*brake power output*). Daya maksimum bisa terjadi pada RPM tinggi dengan torsi 10.97 Nm. Penyetulan terbaik yang mampu mencapai daya puncak 2.67 kW pada 2327 RPM adalah pada durasi injeksi 65°, waktu injeksi 85° sebelum TMA dan tekanan bahan bakar 8 bar.

Analisis daya didapat dari friksi torsi mengerem dan kecepatan mesin terukur, hasil olah data tersebut disajikan sebagai berikut:



Gambar 4.23. Karakteristik daya terhadap kecepatan mesin pada penyetelan Waktu injeksi 90° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 6 bar

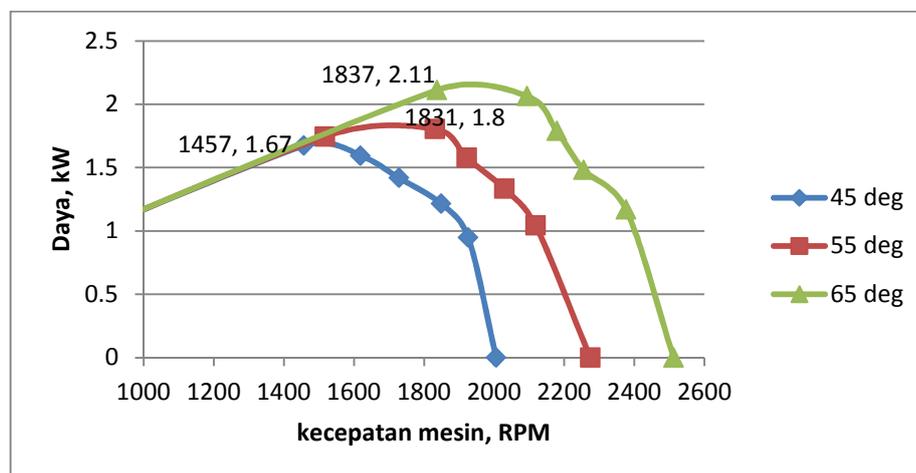
Pada gambar 4.23 menunjukkan karakteristik daya yang mampu dicapai atas rentang kecepatan mesin pada tiap durasi injeksi bahan bakar. Terlihat bahwa *setting* durasi injeksi 65° yang paling lama dalam pengoperasian mesin memiliki daya rem yang besar. Pada durasi injeksi 55°, saat torsi meningkat daya pun ikut meningkat hingga mencapai daya pengereman maksimum sebesar 1.717 kW terjadi pada kecepatan mesin 1743 RPM, lebih rendah dari durasi 65° dikarenakan kecepatan aliran massa berkurang untuk menghasilkan potensial energi.

Pada durasi injeksi 65°, awal mesin menyala kecepatan mesin di 2252 RPM dengan torsi friksi mengerem 0 Nm maka daya 0 kW. Saat terdapat torsi sebesar 4.7 Nm pada kecepatan mesin 2224 RPM didapat daya pengereman mesin sebesar 1.095 kW. Selanjutnya saat torsi meningkat daya pun ikut meningkat hingga mencapai daya mengerem maksimum sebesar 2.01 kW terjadi pada kecepatan mesin 2043 RPM. Akibat torsi mengerem meningkat tidak diimbangi dengan kecepatan mesin yang cukup yang selanjutnya terjadi penurunan daya pada kecepatan mesin 1747 RPM dengan daya rem 2.0 kW.

Dari gambar 4.23 bisa dilihat bahwa dengan menambah durasi injeksi mampu meningkatkan keluaran daya rem (*brake power output*). Daya maksimum bisa terjadi pada RPM tinggi dengan torsi 10.97 Nm. Penyetelan terbaik yang

mampu mencapai daya puncak 2.01 kW pada 2043 RPM adalah pada durasi injeksi 65° , waktu injeksi 90° sebelum TMA dan tekanan bahan bakar 6 bar.

Analisis daya didapat dari friksi torsi mengerem dan kecepatan mesin terukur, hasil olah data tersebut disajikan sebagai berikut:



Gambar 4.24. Karakteristik daya terhadap kecepatan mesin pada penyetulan Waktu injeksi 90° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 7 bar

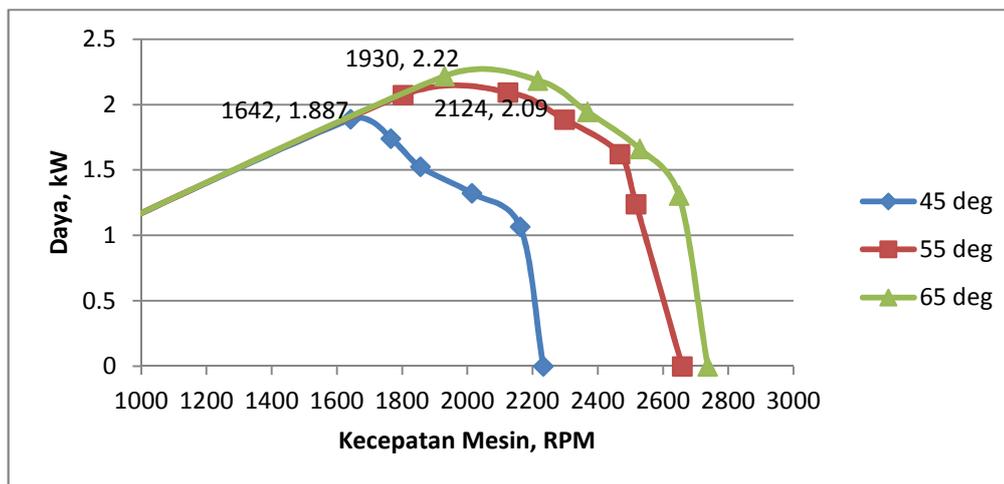
Pada gambar 4.24 menunjukkan karakteristik daya yang mampu dicapai atas rentang kecepatan mesin pada tiap durasi injeksi bahan bakar. Terlihat bahwa *setting* durasi injeksi 65° yang paling lama dalam pengoperasian mesin memiliki daya rem yang besar. Pada durasi injeksi 55° , saat torsi meningkat daya pun ikut meningkat hingga mencapai daya pengereman maksimum sebesar 1.8 kW terjadi pada kecepatan mesin 1831 RPM, lebih rendah dari durasi 65° dikarenakan kecepatan aliran massa berkurang untuk menghasilkan potensial energi, begitu pula pada durasi 45° .

Pada durasi injeksi 65° , awal mesin menyala kecepatan mesin di 2512 RPM dengan torsi friksi mengerem 0 Nm maka daya 0 kW. Saat terdapat torsi sebesar 4.7 Nm pada kecepatan mesin 2376 RPM didapat daya pengereman mesin sebesar 1.17 kW. Selanjutnya saat torsi meningkat daya pun ikut meningkat hingga mencapai daya maksimum sebesar 2.11 kW terjadi pada kecepatan mesin 1837 RPM.

Dari gambar 4.24 bisa dilihat bahwa dengan menambah durasi injeksi mampu meningkatkan keluaran daya rem (*brake power output*). Daya maksimum

bisa terjadi pada RPM tinggi dengan torsi 10.97 Nm. Penyetelan terbaik yang mampu mencapai daya puncak 2.11 kW pada 1837 RPM adalah pada durasi injeksi 65°, waktu injeksi 90° sebelum TMA dan tekanan bahan bakar 7 bar.

Analisis daya didapat dari friksi torsi mengerem dan kecepatan mesin terukur, hasil olah data tersebut disajikan sebagai berikut:



Gambar 4.25. Karakteristik daya terhadap kecepatan mesin pada penyetelan Waktu injeksi 90° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 8 bar

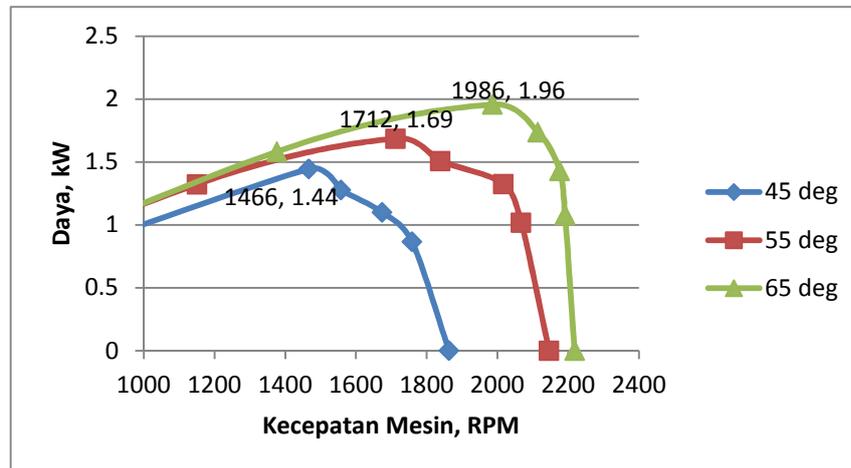
Pada gambar 4.25 menunjukkan karakteristik daya yang mampu dicapai atas rentang kecepatan mesin pada tiap durasi injeksi bahan bakar. Terlihat bahwa *setting* durasi injeksi 65° yang paling lama dalam pengoperasian mesin memiliki daya rem yang besar. Pada durasi injeksi 55°, saat torsi meningkat daya pun ikut meningkat hingga mencapai daya pengereman maksimum sebesar 2.09 kW terjadi pada kecepatan mesin 2124 RPM, lebih rendah dari durasi 65° dikarenakan kecepatan aliran massa berkurang untuk menghasilkan potensial energi, begitu pula pada durasi 45°

Pada durasi injeksi 65°, awal mesin menyala kecepatan mesin di 2737 RPM dengan torsi friksi mengerem 0 Nm maka daya 0 kW. Saat terdapat torsi sebesar 4.7 Nm pada kecepatan mesin 2649 RPM didapat daya pengereman mesin sebesar 1.3 kW. Selanjutnya saat torsi meningkat daya pun ikut meningkat hingga mencapai daya maksimum sebesar 2.22 kW terjadi pada kecepatan mesin 1930 RPM.

Dari gambar 4.25 bisa dilihat bahwa dengan menambah durasi injeksi mampu meningkatkan keluaran daya rem (*brake power output*). Daya maksimum

bisa terjadi pada RPM tinggi dengan torsi 10.97 Nm. Penyetelan terbaik yang mampu mencapai daya puncak 2.22 kW pada 1930 RPM adalah pada durasi injeksi 65°, waktu injeksi 90° sebelum TMA dan tekanan bahan bakar 8 bar.

Analisis daya didapat dari friksi torsi mengerem dan kecepatan mesin terukur, hasil olah data tersebut disajikan sebagai berikut:



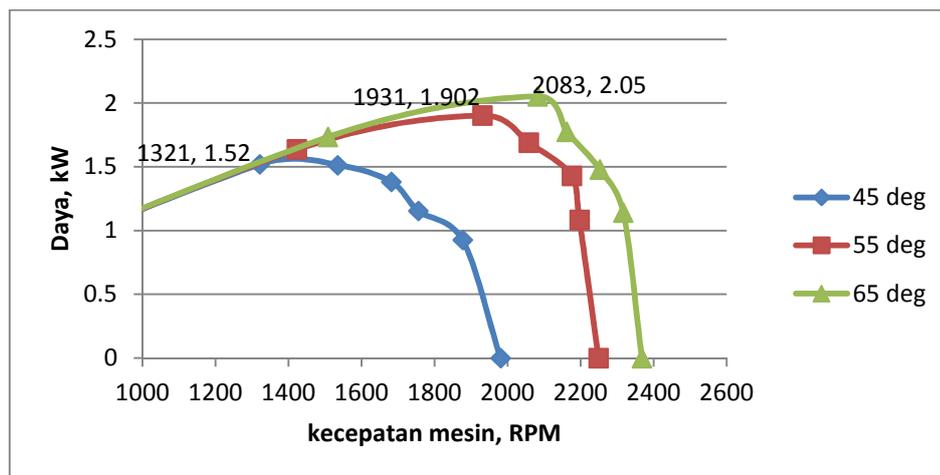
Gambar 4.26. Hubungan Kecepatan Mesin dengan Daya Mesin pada penyetelan Waktu injeksi 95° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 6 bar

Pada gambar 4.26 menunjukkan karakteristik daya yang mampu dicapai atas rentang kecepatan mesin pada tiap durasi injeksi bahan bakar. Terlihat bahwa *setting* durasi injeksi 65° yang paling lama dalam pengoperasian mesin memiliki daya rem yang besar. Pada durasi injeksi 55°, saat torsi meningkat daya pun ikut meningkat hingga mencapai daya pengereman maksimum sebesar 1.69 kW terjadi pada kecepatan mesin 1712 RPM, lebih rendah dari durasi 65° dikarenakan kecepatan aliran massa berkurang untuk menghasilkan potensial energi, begitu pula pada durasi 45°.

Pada durasi injeksi 65°, awal mesin menyala kecepatan mesin di 2218 RPM dengan torsi friksi mengerem 0 Nm maka daya 0 kW. Saat terdapat torsi sebesar 4.7 Nm pada kecepatan mesin 2191 didapat daya pengereman mesin sebesar 1.08 kW. Selanjutnya saat torsi meningkat daya pun ikut meningkat hingga mencapai daya mengerem maksimum sebesar 1.96 kW terjadi pada kecepatan mesin 1986 RPM. Akibat torsi mengerem meningkat tidak diimbangi dengan kecepatan mesin yang cukup yang selanjutnya terjadi penurunan daya pada kecepatan mesin 1376 RPM dengan daya rem 1.58 kW.

Dari gambar 4.26 bisa dilihat bahwa dengan menambah durasi injeksi mampu meningkatkan keluaran daya rem (*brake power output*). Daya maksimum bisa terjadi pada RPM tinggi dengan torsi 10.97 Nm. Penyetelan terbaik yang mampu mencapai daya puncak 1.96 kW pada 1986 RPM adalah pada durasi injeksi 65°, waktu injeksi 95° sebelum TMA dan tekanan bahan bakar 6 bar.

Analisis daya didapat dari friksi torsi mengerem dan kecepatan mesin terukur, hasil olah data tersebut disajikan sebagai berikut:



Gambar 4.27. Hubungan Kecepatan Mesin dengan Daya Mesin pada penyetelan Waktu injeksi 95° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 7 bar

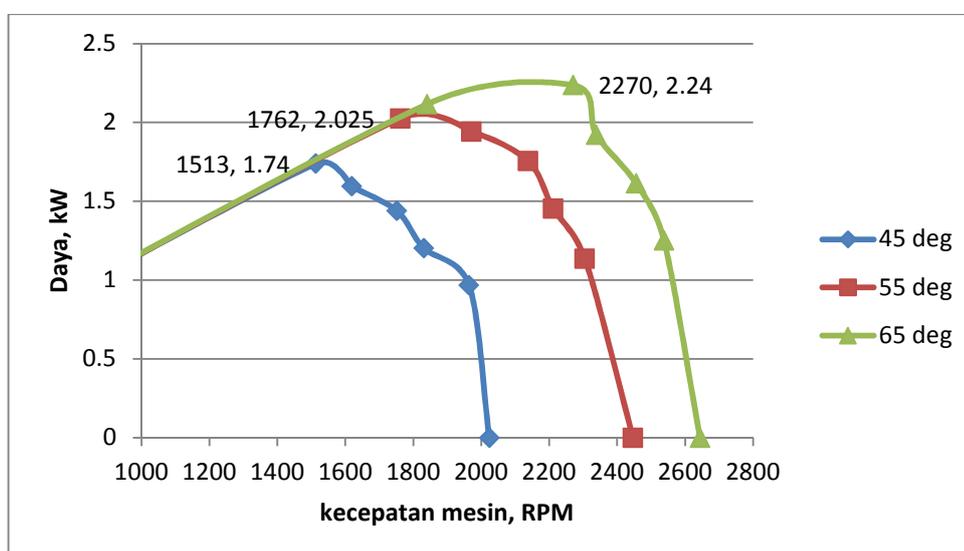
Pada gambar 4.27 menunjukkan karakteristik daya yang mampu dicapai atas rentang kecepatan mesin pada tiap durasi injeksi bahan bakar. Terlihat bahwa *setting* durasi injeksi 65° yang paling lama dalam pengoperasian mesin memiliki daya rem yang besar. Pada durasi injeksi 55°, saat torsi meningkat daya pun ikut meningkat hingga mencapai daya pengereman maksimum sebesar 1.9 kW terjadi pada kecepatan mesin 1931 RPM, lebih rendah dari durasi 65° dikarenakan kecepatan aliran massa berkurang untuk menghasilkan potensial energi, begitu pula pada durasi 45°.

Pada durasi injeksi 65°, awal mesin menyala kecepatan mesin di 2368 RPM dengan torsi friksi mengerem 0 Nm maka daya 0 kW. Saat terdapat torsi sebesar 4.7 Nm pada kecepatan mesin 2317 didapat daya pengereman mesin sebesar 1.14 kW. Selanjutnya saat torsi meningkat daya pun ikut meningkat hingga mencapai daya mengerem maksimum sebesar 2.05 kW terjadi pada

kecepatan mesin 2083 RPM. Akibat torsi mengerem meningkat tidak diimbangi dengan kecepatan mesin yang cukup yang selanjutnya terjadi penurunan daya pada kecepatan mesin 1508 RPM dengan daya rem 1.733 kW.

Dari gambar 4.27 bisa dilihat bahwa dengan menambah durasi injeksi mampu meningkatkan keluaran daya rem (*brake power output*). Daya maksimum bisa terjadi pada RPM tinggi dengan torsi 10.97 Nm. Penyetelan terbaik yang mampu mencapai daya puncak 2.05 kW pada 2083 RPM adalah pada durasi injeksi 65°, waktu injeksi 95° sebelum TMA dan tekanan bahan bakar 7 bar.

Analisis daya didapat dari friksi torsi mengerem dan kecepatan mesin terukur, hasil olah data tersebut disajikan sebagai berikut:



Gambar 4.28. Hubungan Kecepatan Mesin dengan Daya Mesin pada penyetelan Waktu injeksi 95° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 8 bar

Pada gambar 4.28 menunjukkan karakteristik daya yang mampu dicapai atas rentang kecepatan mesin pada tiap durasi injeksi bahan bakar. Terlihat bahwa *setting* durasi injeksi 65° yang paling lama dalam pengoperasian mesin memiliki daya rem yang besar. Pada durasi injeksi 55°, saat torsi meningkat daya pun ikut meningkat hingga mencapai daya pengereman maksimum sebesar 2.025 kW terjadi pada kecepatan mesin 1762 RPM, lebih rendah dari durasi 65° dikarenakan kecepatan aliran massa berkurang untuk menghasilkan potensial energi, begitu pula pada durasi 45°.

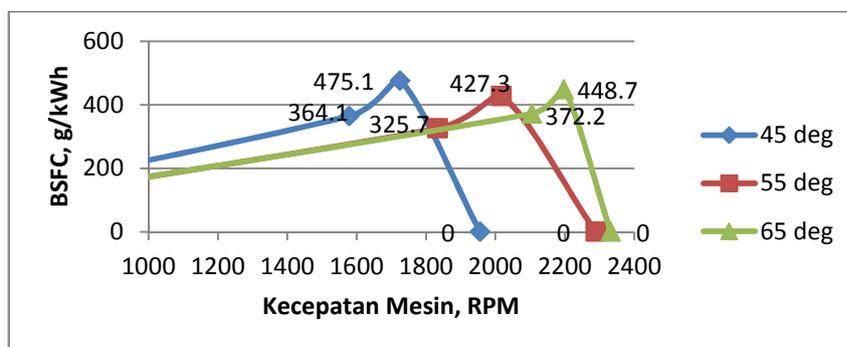
Pada durasi injeksi 65° , awal mesin menyala kecepatan mesin di 2644 RPM dengan torsi friksi mengerem 0 Nm maka daya 0 kW. Saat terdapat torsi sebesar 4.7 Nm pada kecepatan mesin 2538 RPM didapat daya pengereman mesin sebesar 1.25 kW. Selanjutnya saat torsi meningkat daya pun ikut meningkat hingga mencapai daya mengerem maksimum sebesar 2.24 kW terjadi pada kecepatan mesin 2270 RPM. Akibat torsi mengerem meningkat tidak diimbangi dengan kecepatan mesin yang cukup yang selanjutnya terjadi penurunan daya pada kecepatan mesin 1841 RPM dengan daya rem 2.11 kW.

Dari gambar 4.28 bisa dilihat bahwa dengan menambah durasi injeksi mampu meningkatkan keluaran daya rem (*brake power output*). Daya maksimum bisa terjadi pada RPM tinggi dengan torsi 10.97 Nm. Penyetelan terbaik yang mampu mencapai daya puncak 2.24 kW pada 2270 RPM adalah pada durasi injeksi 65° , waktu injeksi 95° sebelum TMA dan tekanan bahan bakar 8 bar.

Dari gambar 4.20 sampai 4.28 dapat dilihat daya akan semakin berkembang selama torsi terus meningkat dan kecepatan mesin terus bertambah, apabila torsi menurun tetapi kecepatan mesin berada di rpm tinggi maka daya tetap terus meningkat hingga mencapai batas lalu daya akan turun dikarenakan torsi tetap ada walaupun secara kontinu berkurang.

4.2.5 Pengaruh Perubahan Tekanan Rem dan Durasi Injeksi Terhadap BSFC dan Kecepatan mesin

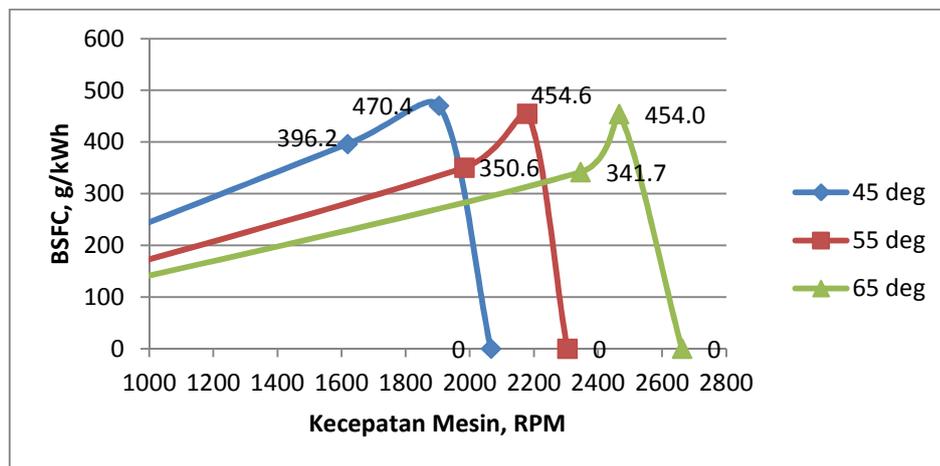
Analisis konsumsi bahan bakar spesifik didapat dari *brake power*, dan kecepatan aliran massa bahan bakar, hasil penelitian olah data tersebut disajikan sebagai berikut:



Gambar 4.29. karakteristik Pengaruh kecepatan mesin terhadap BSFC pada waktu injeksi 85° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 6 bar

Pada gambar 4.29 menunjukkan karakteristik tingkat keekonomisan BSFC mesin uji yang mampu dicapai pada tiap penyetelan durasi injeksi bahan bakar. Bahwa nilai SFC semakin naik seiring dengan penambahan beban yang semakin tinggi, hal ini menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diterima mesin, bahan bakar yang diperlukan meningkat. Pada gambar 4.29 terlihat tingkat keiritan bahan bakar bisa diperoleh dengan penyetelan durasi injeksi 55°.

Pada durasi injeksi 55°, pada saat mesin start kecepatan mesin terus meningkat. Saat diterapkan daya rem (beban) dengan kecepatan mesin 1833 RPM dengan konsumsi bahan bakar spesifik 325.7 g/kWh. Saat daya bertambah untuk menanggulangi beban, kecepatan mesin dikisaran 2017 RPM dengan konsumsi bahan bakar spesifik 427.3 g/kWh. Kecepatan mesin berada pada 2289 RPM tanpa daya mengerem maka BSFC 0 g/kWh. Pada durasi injeksi 55° terjadi keseimbangan untuk menghasilkan daya efektif dalam mengatasi beban. Pada gambar 4.29 terlihat bahwa RPM tinggi di durasi 65° akan memerlukan sedikit lebih banyak konsumsi bahan bakar kisaran 448.7 g/kWh sedangkan di durasi 45° tidak mampu mengatasi beban yang diterima dan kecepatan mesin rendah 1725 rpm akibatnya konsumsi bahan bakar lebih banyak untuk menghasilkan 1 kWh

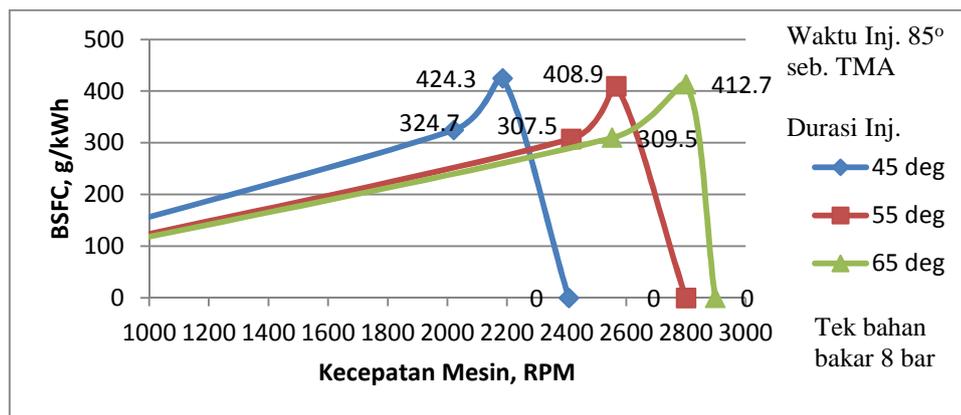


Gambar 4.30. karakteristik Pengaruh kecepatan mesin terhadap BSFC pada waktu injeksi 85° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 7 bar

Pada gambar 4.30 menunjukkan karakteristik tingkat keekonomisan BSFC mesin uji yang mampu dicapai pada tiap penyetelan durasi injeksi bahan bakar.

Bahwa nilai SFC semakin naik seiring dengan penambahan beban yang semakin tinggi, hal ini menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diterima mesin, bahan bakar yang diperlukan meningkat. Pada gambar 4.30 terlihat tingkat keiritan bahan bakar bisa diperoleh dengan penyetelan durasi injeksi 65° .

Pada durasi injeksi 65° , pada saat mesin start kecepatan mesin terus meningkat. Saat diterapkan daya rem (beban) dengan kecepatan mesin 2345 RPM dengan konsumsi bahan bakar spesifik 341.7 g/kWh. Saat daya bertambah untuk menanggulangi beban, kecepatan mesin dikisaran 2466 RPM dengan konsumsi bahan bakar spesifik 454 g/kWh. Kecepatan mesin berada pada 2662 RPM tanpa daya mengerem maka BSFC 0 g/kWh. Pada durasi injeksi 65° mampu meningkatkan efisiensi konsumsi bahan bakar dengan mereduksi 0.6 gram bahan bakar dengan meningkatnya kecepatan mesin jika dibandingkan dengan durasi injeksi 55° .

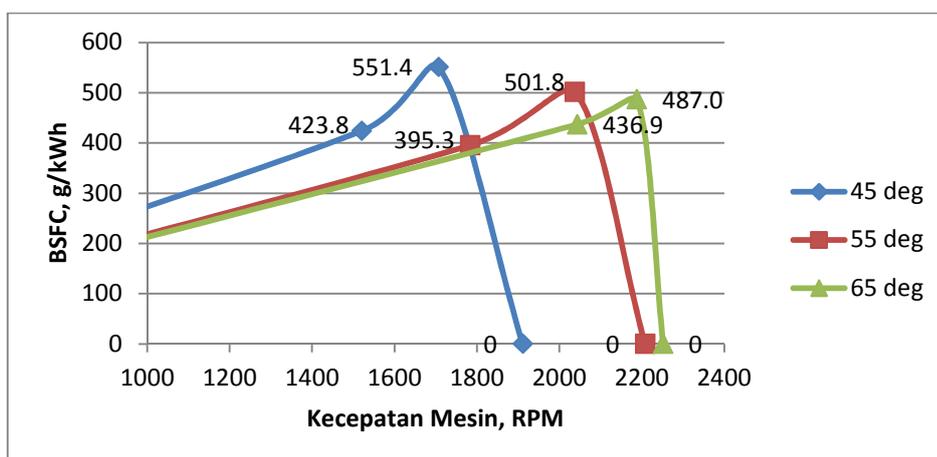


Gambar 4.31. karakteristik Pengaruh kecepatan mesin terhadap BSFC pada waktu injeksi 85° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 8 bar

Pada gambar 4.31 menunjukkan karakteristik tingkat keekonomisan BSFC mesin uji yang mampu dicapai pada tiap penyetelan durasi injeksi bahan bakar. Bahwa nilai SFC semakin naik seiring dengan penambahan beban yang semakin tinggi, hal ini menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diterima mesin, bahan bakar yang diperlukan meningkat. Pada gambar 4.31 terlihat tingkat keiritan bahan bakar bisa diperoleh dengan penyetelan durasi injeksi 55° .

Pada durasi injeksi 55° , pada saat mesin start kecepatan mesin terus meningkat. Saat diterapkan daya rem (beban) dengan kecepatan mesin 2415 RPM

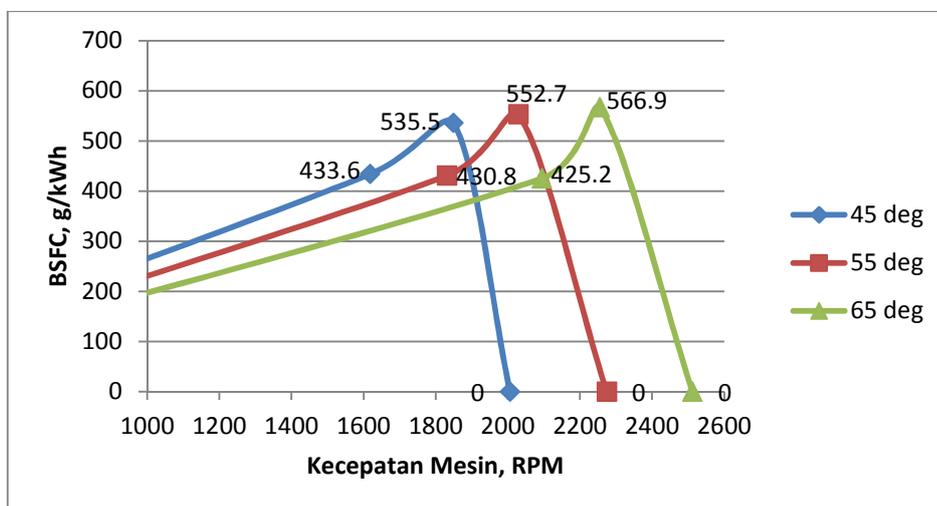
dengan konsumsi bahan bakar spesifik 307.5 g/kWh. Saat daya bertambah untuk menanggulangi beban, kecepatan mesin dikisaran 2566 RPM dengan konsumsi bahan bakar spesifik 408.9 g/kWh. Kecepatan mesin berada pada 2800 RPM tanpa daya mengerem maka BSFC 0 g/kWh. Pada durasi injeksi 65° mampu meningkatkan konsumsi bahan bakar dengan menambah 3.8 gram bahan bakar dengan meningkatnya kecepatan mesin jika dibandingkan dengan durasi injeksi 55°. Pada durasi injeksi 55° terjadi keseimbangan untuk menghasilkan daya efektif dalam mengatasi beban. Pada gambar 4.31 terlihat bahwa RPM tinggi di durasi 65° akan memerlukan sedikit lebih banyak konsumsi bahan bakar kisaran 412.7 g/kWh sedangkan di durasi 45° tidak mampu mengatasi beban yang diterima dan kecepatan mesin rendah 2185 rpm akibatnya konsumsi bahan bakar lebih banyak untuk menghasilkan 1 kWh.



Gambar 4.32. karakteristik Pengaruh kecepatan mesin terhadap BSFC pada waktu injeksi 90° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 6 bar

Pada gambar 4.32 menunjukkan karakteristik tingkat keekonomisan BSFC mesin uji yang mampu dicapai pada tiap penyetelan durasi injeksi bahan bakar. Bahwa nilai SFC semakin naik seiring dengan penambahan beban yang semakin tinggi, hal ini menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diterima mesin, bahan bakar yang diperlukan meningkat. Pada gambar 4.32 terlihat tingkat keiritan bahan bakar bisa diperoleh dengan penyetelan durasi injeksi 65° untuk rpm tinggi dan durasi injeksi 55° untuk kecepatan mesin rpm rendah.

Pada durasi injeksi 65° , pada saat mesin start kecepatan mesin terus meningkat. Saat diterapkan daya rem (beban) dengan kecepatan mesin 2043 RPM dengan konsumsi bahan bakar spesifik 436.9 g/kWh. Saat daya bertambah untuk menanggulangi beban, kecepatan mesin dikisaran 2188 RPM dengan konsumsi bahan bakar spesifik 487 g/kWh. Kecepatan mesin berada pada 2252 RPM tanpa daya mengerem maka BSFC 0 g/kWh. Pada durasi injeksi 65° mampu meningkatkan efisiensi konsumsi bahan bakar dengan mereduksi 14.8 gram bahan bakar dengan meningkatnya kecepatan mesin jika dibandingkan dengan durasi injeksi 55° , tetapi durasi injeksi 55° pada kecepatan mesin rendah 1783 rpm lebih irit konsumsi 395.3 g/kWh.

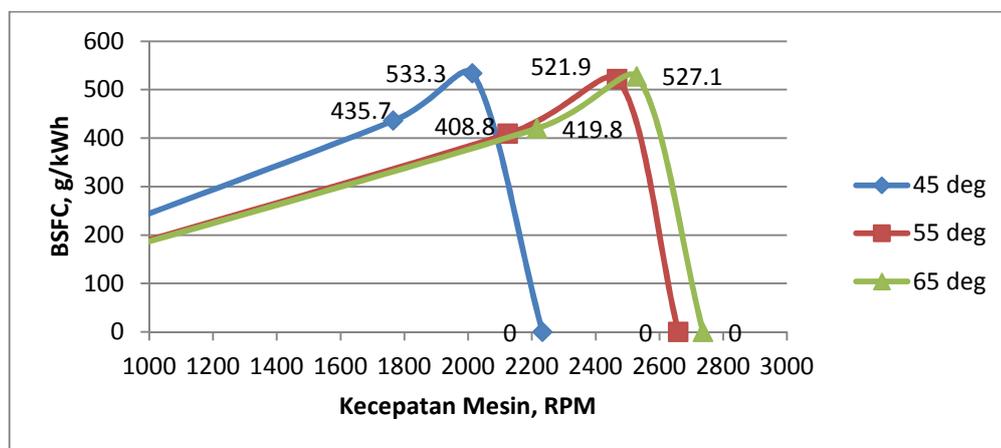


Gambar 4.33. karakteristik Pengaruh kecepatan mesin terhadap BSFC pada waktu injeksi 90° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 7 bar

Pada gambar 4.33 menunjukkan karakteristik tingkat keekonomisan BSFC mesin uji yang mampu dicapai pada tiap penyetulan durasi injeksi bahan bakar. Bahwa nilai SFC semakin naik seiring dengan penambahan beban yang semakin tinggi, hal ini menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diterima mesin, bahan bakar yang diperlukan meningkat. Pada gambar 4.33 terlihat tingkat keiritan bahan bakar bisa diperoleh dengan penyetulan durasi injeksi 65° untuk rpm tinggi.

Pada durasi injeksi 65° , pada saat mesin start kecepatan mesin terus meningkat. Saat diterapkan daya rem (beban) dengan kecepatan mesin 2094 RPM dengan konsumsi bahan bakar spesifik 425.2 g/kWh. Saat daya bertambah untuk

menanggulangi beban, kecepatan mesin dikisaran 2255 RPM dengan konsumsi bahan bakar spesifik 566.9 g/kWh. Kecepatan mesin berada pada 2512 RPM tanpa daya mengerem maka BSFC 0 g/kWh. Pada durasi injeksi 45°, waktu injeksi 90° dan tekanan bahan bakar 7 bar mampu meningkatkan efisiensi konsumsi bahan bakar pada kecepatan mesin rendah 1618 rpm dengan SFC 433.6 g/kWh sampai 535 g/kWh. Pada gambar 4.33 pada durasi 65° jauh lebih optimal untuk mencapai rpm tinggi karena mereduksi bahan bakar sebesar 8.4 gram daripada rpm rendah durasi 45° yang membutuhkan 433.6 g/kWh.

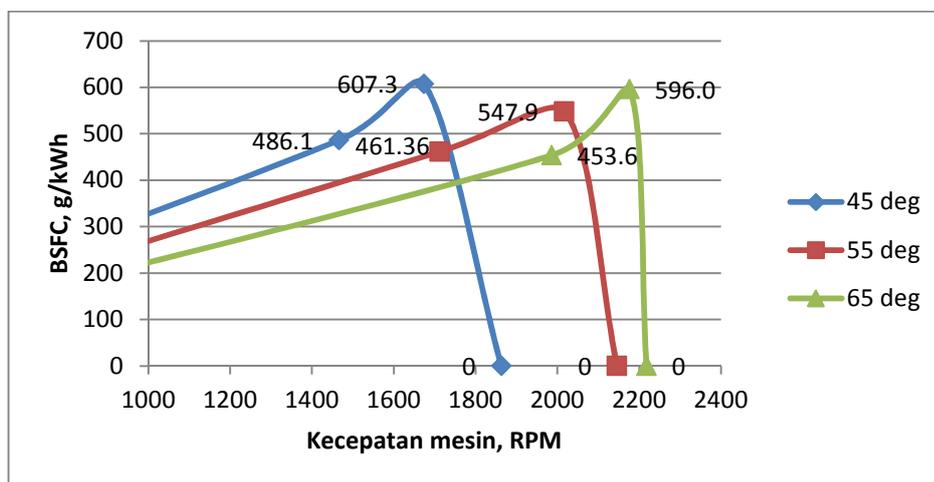


Gambar 4.34. karakteristik Pengaruh kecepatan mesin terhadap BSFC pada waktu injeksi 90° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 8 bar

Pada gambar 4.34 menunjukkan karakteristik tingkat keekonomisan BSFC mesin uji yang mampu dicapai pada tiap penyetulan durasi injeksi bahan bakar. Bahwa nilai SFC semakin naik seiring dengan penambahan beban yang semakin tinggi, hal ini menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diterima mesin, bahan bakar yang diperlukan meningkat. Pada gambar 4.34 terlihat tingkat keiritan bahan bakar bisa diperoleh dengan penyetulan durasi injeksi 55°.

Pada durasi injeksi 55°, pada saat mesin start kecepatan mesin terus meningkat. Saat diterapkan daya rem (beban) dengan kecepatan mesin 2124 RPM dengan konsumsi bahan bakar spesifik 408.8 g/kWh. Saat daya bertambah untuk menanggulangi beban, kecepatan mesin dikisaran 2468 RPM dengan konsumsi bahan bakar spesifik 521.9 g/kWh. Kecepatan mesin berada pada 2659 RPM tanpa daya mengerem maka BSFC 0 g/kWh. Pada durasi injeksi 55° terjadi keseimbangan untuk menghasilkan daya efektif dalam mengatasi beban. Pada

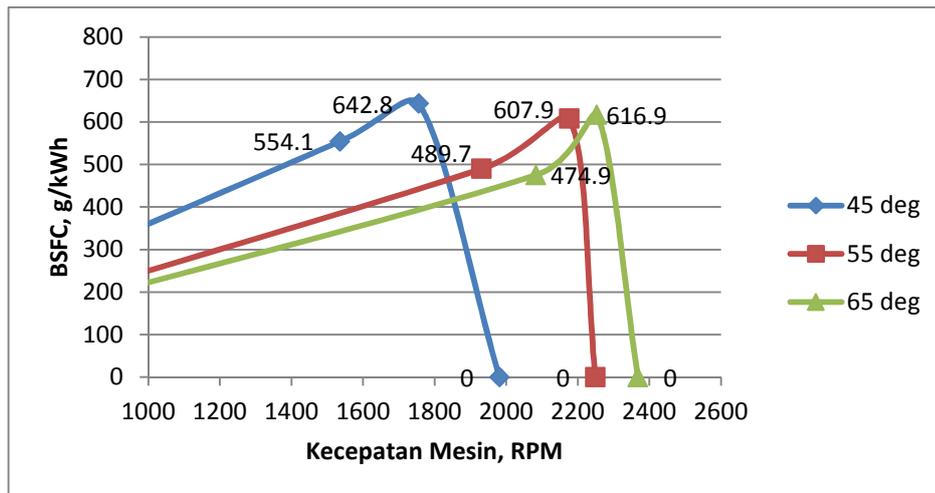
gambar 4.34 terlihat bahwa RPM tinggi di durasi 65° akan memerlukan sedikit lebih banyak konsumsi bahan bakar kisaran 527.1 g/kWh sedangkan di durasi 45° tidak mampu mengatasi beban yang diterima dan kecepatan mesin rendah 2014 rpm akibatnya konsumsi bahan bakar lebih banyak untuk menghasilkan 1 kWh .



Gambar 4.35. karakteristik Pengaruh kecepatan mesin terhadap BSFC pada waktu injeksi 95° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 6 bar

Pada gambar 4.35 menunjukkan karakteristik tingkat keekonomisan BSFC mesin uji yang mampu dicapai pada tiap penyetelan durasi injeksi bahan bakar. Bahwa nilai SFC semakin naik seiring dengan penambahan beban yang semakin tinggi, hal ini menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diterima mesin, bahan bakar yang diperlukan meningkat. Pada gambar 4.35 terlihat tingkat keiritan bahan bakar bisa diperoleh dengan penyetelan durasi injeksi 55° .

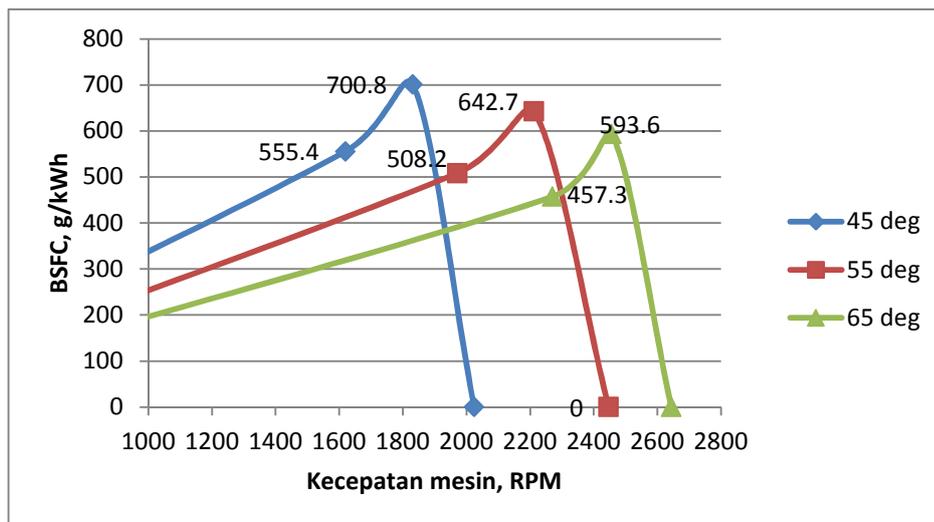
Pada durasi injeksi 55° , pada saat mesin start kecepatan mesin terus meningkat. Saat diterapkan daya rem (beban) dengan kecepatan mesin 1712 RPM dengan konsumsi bahan bakar spesifik 461.3 g/kWh . Saat daya bertambah untuk menanggulangi beban, kecepatan mesin dikisaran 2017 RPM dengan konsumsi bahan bakar spesifik 547.9 g/kWh . Kecepatan mesin berada pada 2146 RPM tanpa daya mengerem maka BSFC 0 g/kWh . Pada gambar 4.35 terlihat bahwa saat memulai untuk mencapai RPM tinggi 1986 rpm di durasi 65° jauh lebih irit selisih 7.7 gram dibanding durasi injeksi 55° .



Gambar 4.36. karakteristik Pengaruh kecepatan mesin terhadap BSFC pada waktu injeksi 95° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 7 bar

Pada gambar 4.36 menunjukkan karakteristik tingkat keekonomisan BSFC mesin uji yang mampu dicapai pada tiap penyetelan durasi injeksi bahan bakar. Bahwa nilai SFC semakin naik seiring dengan penambahan beban yang semakin tinggi, hal ini menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diterima mesin, bahan bakar yang diperlukan meningkat. Pada gambar 4.36 terlihat tingkat keiritan bahan bakar bisa diperoleh dengan penyetelan durasi injeksi 65° pada kecepatan mesin tinggi.

Pada durasi injeksi 65°, pada saat mesin start kecepatan mesin terus meningkat. Saat diterapkan daya rem (beban) dengan kecepatan mesin 2083 RPM dengan konsumsi bahan bakar spesifik 474.9 g/kWh. Saat daya bertambah untuk menanggulangi beban, kecepatan mesin dikisaran 2253 RPM dengan konsumsi bahan bakar spesifik 616.9 g/kWh. Kecepatan mesin berada pada 2368 RPM tanpa daya mengerem maka BSFC 0 g/kWh. Pada gambar 4.36 terlihat bahwa saat memulai untuk mencapai RPM tinggi 2083 rpm di durasi 65° mampu mereduksi 14.8 gram dibanding durasi injeksi 55° dengan beban yang sama.



Gambar 4.37. karakteristik Pengaruh kecepatan mesin terhadap BSFC pada waktu injeksi 95° sebelum TMA, tekanan bahan bakar 8 bar

Pada gambar 4.37 menunjukkan karakteristik tingkat keekonomisan BSFC mesin uji yang mampu dicapai pada tiap penyetelan durasi injeksi bahan bakar. Bahwa nilai SFC semakin naik seiring dengan penambahan beban yang semakin tinggi, hal ini menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diterima mesin, bahan bakar yang diperlukan meningkat. Pada gambar 4.37 terlihat tingkat keiritan bahan bakar bisa diperoleh dengan penyetelan durasi injeksi 65° pada kecepatan mesin tinggi.

Pada durasi injeksi 65°, pada saat mesin start kecepatan mesin terus meningkat. Saat diterapkan daya rem (beban) dengan kecepatan mesin 2270 RPM dengan konsumsi bahan bakar spesifik 457.3 g/kWh. Saat daya bertambah untuk menanggulangi beban, kecepatan mesin dikisaran 2456 RPM dengan konsumsi bahan bakar spesifik 593.6 g/kWh. Kecepatan mesin berada pada 2644 RPM tanpa daya mengerem maka BSFC 0 g/kWh. Pada gambar 4.37 terlihat bahwa efisiensi konsumsi bahan bakar lebih optimal dengan durasi injeksi 65° jika dibandingkan dengan durasi injeksi yang lain walaupun dengan beban yang sama.

4.3 Analisis Data hasil Penelitian kinerja optimal

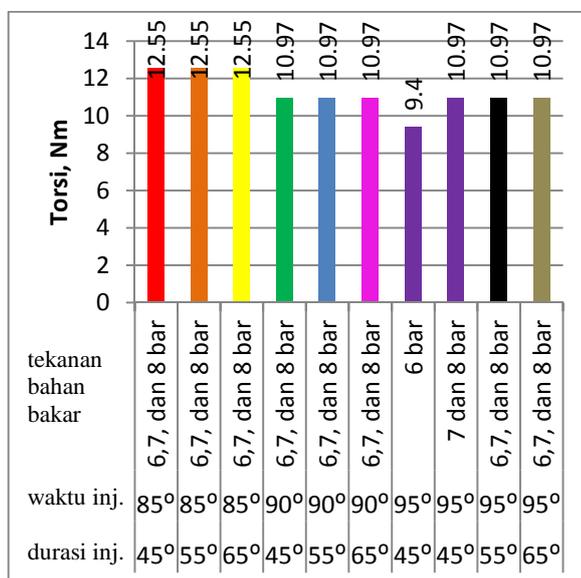
Dari hasil pengujian menggunakan *Prony brake* dinamometer, pengukuran dan perhitungan yang didapat torsi, daya maupun BSFC yang sebelumnya telah disajikan dengan grafik-grafik akan diketahui nilai maksimal torsi dan daya dan

minim konsumsi bahan bakar dari masing-masing kombinasi penyetelan waktu injeksi, durasi injeksi dan tekanan bahan bakar. Berikut adalah tabel data yang terhimpun dari tiap penyetelan dengan nilai puncaknya (kecuali BSFC terendah).

Tabel 4.1. Parameter hasil puncak Pengoperasian Mesin

no.	waktu injeksi sebelum TMA	durasi injeksi	tekanan bahan bakar, bar	torsi puncak/kecepatan mesin, Nm/RPM	Daya puncak/kecepatan mesin, kW/RPM	ekonomis bahan bakar/kecepatan mesin, kg/kwh@RPM
1	85°	45°	6	12.55/1292	1.7/1292	0.36/1578
2	85°	45°	7	12.55/1379	1.81/1379	0.4/1619
3	85°	45°	8	12.55/1300	2.15/1868	0.32/2021
4	85°	55°	6	12.55/1383	1.93/1683	0.32/1833
5	85°	55°	7	12.55/1791	2.35/1791	0.35/1983
6	85°	55°	8	12.55/1888	2.61/2268	0.307/2415
7	85°	65°	6	12.55/1740	2.36/2058	0.37/2105
8	85°	65°	7	12.55/1887	2.48/1887	0.34/2345
9	85°	65°	8	12.55/1940	2.67/2327	0.31/2552
10	90°	45°	6	10.97/1353	1.55/1353	0.42/1520
11	90°	45°	7	10.97/1457	1.67/1457	0.43/1618
12	90°	45°	8	10.97/1642	1.89/1642	0.44/1765
13	90°	55°	6	10.97/1466	1.72/1743	0.39/1783
14	90°	55°	7	10.97/1517	1.8/1831	0.43/1831
15	90°	55°	8	10.97/1803	2.09/2124	0.41/2124
16	90°	65°	6	10.97/1747	2.01/2043	0.44/2043
17	90°	65°	7	10.97/1837	2.11/1837	0.42/2094
18	90°	65°	8	10.97/1930	2.22/1930	0.42/2216
19	95°	45°	6	9.4/1466	1.44/1466	0.49/1466
20	95°	45°	7	10.97/1321	1.52/1321	0.55/1535
21	95°	45°	8	10.97/1513	1.74/1513	0.55/1619
22	95°	55°	6	10.97/1151	1.69/1712	0.46/1712
23	95°	55°	7	10.97/1423	1.9/1931	0.49/1931
24	95°	55°	8	10.97/1762	2.02/1762	0.51/1971
25	95°	65°	6	10.97/1376	1.96/1986	0.45/1986
26	95°	65°	7	10.97/1508	2.05/2083	0.47/2083
27	95°	65°	8	10.97/1841	2.24/2270	0.46/2270

Torsi maksimal dari kombinasi waktu injeksi (85° , 90° , dan 95°) dengan durasi injeksi (45° , 55° , dan 65°) dan tekanan bahan bakar (6, 7, dan 8 bar) yang telah diuji dari tabel 4.1 dapat dilihat pada diagram sebagai berikut :

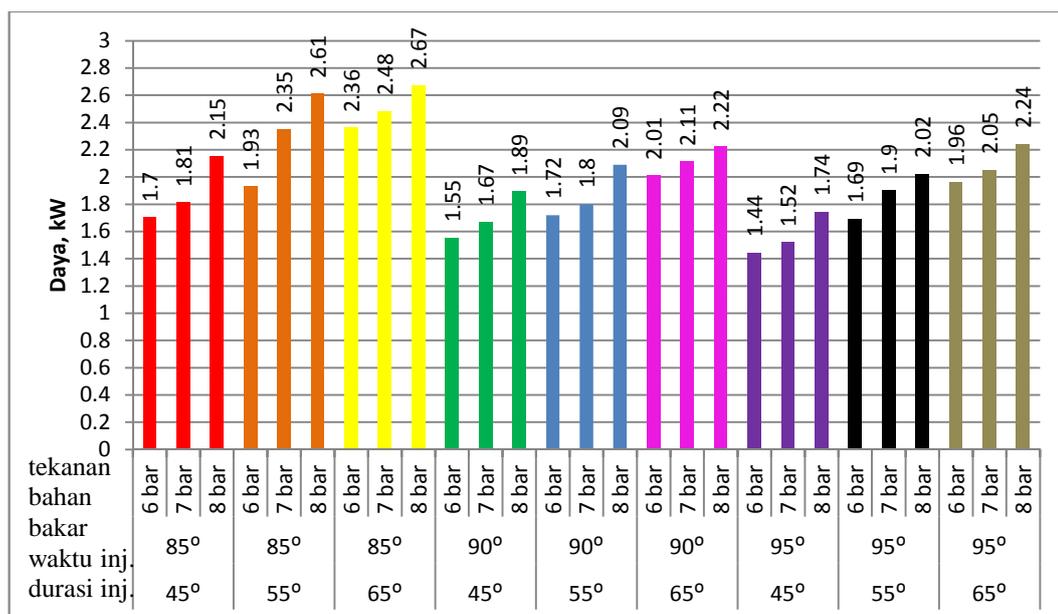


Gambar 4.38. Torsi Puncak dari semua penyetelan waktu, durasi injeksi dan tekanan bahan bakar

Pada gambar 4.38 memperlihatkan torsi puncak pada tiap *setting*. Terlihat bahwa di penyetelan waktu injeksi dan tekanan bahan bakar yang sama yaitu 85° dan 6 bar, 7 bar atau 8 bar dengan beban (tekanan rem) yang sama yaitu 1.6 bar (maksimum) *setting* $85^\circ - 65^\circ - 8$ bar mencapai *brake torque* 12.55 Nm pada kecepatan mesin 1940 rpm, jadi *setting* $85^\circ - 65^\circ - 8$ bar memiliki hasil parameter tertinggi, sedangkan *setting* $95^\circ - 45^\circ - 6$ bar memiliki hasil parameter terendah mencapai *brake torque* 9.41 Nm pada kecepatan mesin 1466 rpm. Jika dilihat dari perbandingan torsi antar *setting* waktu injeksi pada rpm puncak maka *setting* waktu injeksi 85° memiliki nilai torsi tiap rpm yang lebih tinggi dibandingkan yang 90° atau 95° . Ini berhubungan dengan *trapped volume* untuk waktu injeksi, karena diketahui waktu injeksi lebih dari 95° sebelum TMA akan lebih banyak sejumlah bahan bakar yang terbuang melalui port *exhaust*. Peningkatan *setting* durasi injeksi dari $45^\circ - 65^\circ$, torsi dari mesin akan semakin besar. Hal ini terjadi karena laju aliran massa bahan bakar yang terus bertambah untuk mengatasi perubahan beban dengan memperkaya campuran bensin-udara. Apabila durasi injeksi dikombinasikan tekanan bahan bakar yang terjadi akan

semakin bertambah banyaknya bahan bakar yang diinjeksikan hanya saja semakin besar tekanan bahan bakar akan memperbaiki pengabutan memperkecil atomisasi bensin.

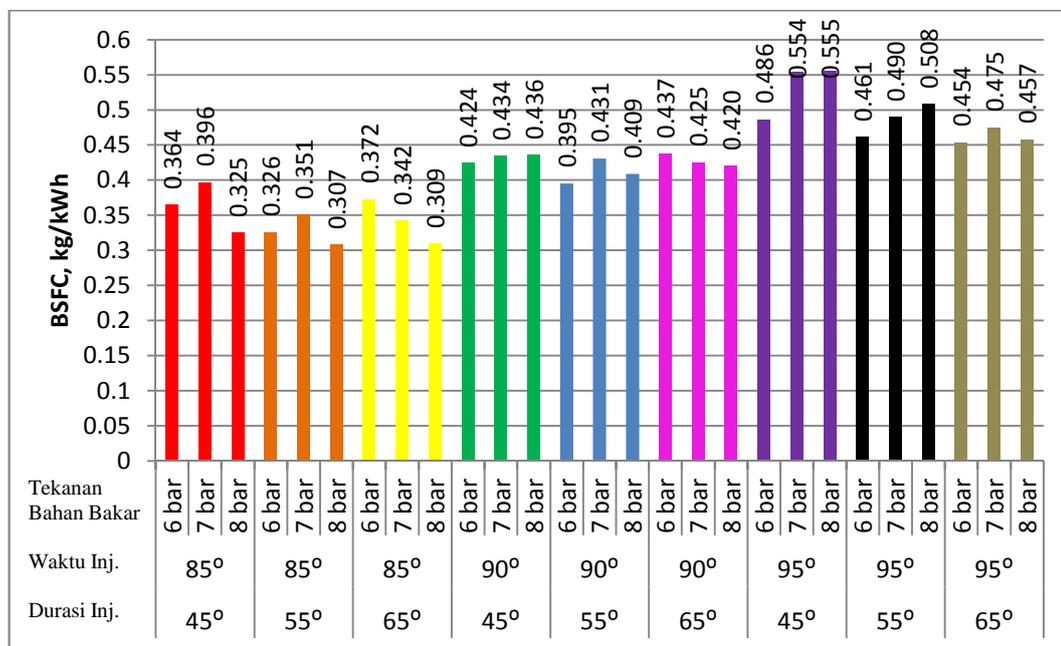
Daya maksimal dari kombinasi waktu injeksi (85° , 90° , dan 95°) dengan durasi injeksi (45° , 55° , dan 65°) dan tekanan bahan bakar (6, 7, dan 8 bar) yang telah diuji dari tabel 4.1 dapat dilihat pada diagram sebagai berikut :



Gambar 4.39. Daya Puncak dari semua penyetelan waktu, durasi injeksi dan tekanan bahan bakar

Daya dikembangkan didalam silinder mesin oleh pembakaran dari pengisian. Pengisian tersebut berupa laju aliran massa bensin dalam variabel durasi injeksi dan peningkatan tekanan seperti yang diperlihatkan pada gambar 4.39. Daya berguna diketahui sebagai *brake power output* karena daya bisa diserap dan diukur di bangku percobaan (dalam pengujian ini menggunakan *prony brake*) dengan cara gesekan rem, hasilnya adalah Pada gambar 4.39. Pada gambar 4.39 terlihat bahwa daya puncak diperoleh dengan durasi injeksi yang panjang, *setting* pada 65° dan tekanan yang ditingkatkan sebesar 8 bar. Pada gambar 4.39 daya puncak optimal bisa tercapai pada *setting* waktu injeksi 85° sebelum TMA, durasi 65° dan tekanan bahan bakar 8 bar dengan hasil 2.67 kW pada 2327 RPM.

Minim konsumsi bahan bakar dari kombinasi waktu injeksi (85° , 90° , dan 95°) dengan durasi injeksi (45° , 55° , dan 65°) dan tekanan bahan bakar (6, 7, dan 8 bar) yang telah diuji dari tabel 4.1 dapat dilihat pada diagram sebagai berikut :



Gambar 4.40. Keekonomisan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Dari Semua Penyetelan Waktu, Durasi Injeksi Dan Tekanan Bahan Bakar

Pada gambar 4.40 memperlihatkan kehematan BSFC dari keseluruhan penyetelan. *Specific Fuel Consumption (sfc)* adalah jumlah massa bahan bakar yang dikonsumsi mesin untuk menghasilkan daya efektif 1 KW selama 1 jam. Spesifik konsumsi bahan bakar sangat erat kaitannya dengan daya mesin. Telah jelas dengan memajukan waktu injeksi pada mode injeksi langsung maka pada penyetelan waktu injeksi 95° saat injektor mulai menyembrotkan bahan bakar posisi piston belum menutup port buang sehingga terdapat bahan bakar yang terbuang percuma tidak diubah sepenuhnya menjadi daya dibandingkan dengan waktu injeksi 85° yang menghasilkan daya lebih besar kisaran 2.36kW sampai 2.67 kW. Pada gambar 4.40 terlihat bahwa pada *setting* $85^\circ - 55^\circ - 8$ bar konsumsi bahan bakar paling hemat 307.5 g/kWh pada 2415 RPM dengan daya yang mampu dicapai 2.61 kW pada 2415 RPM.

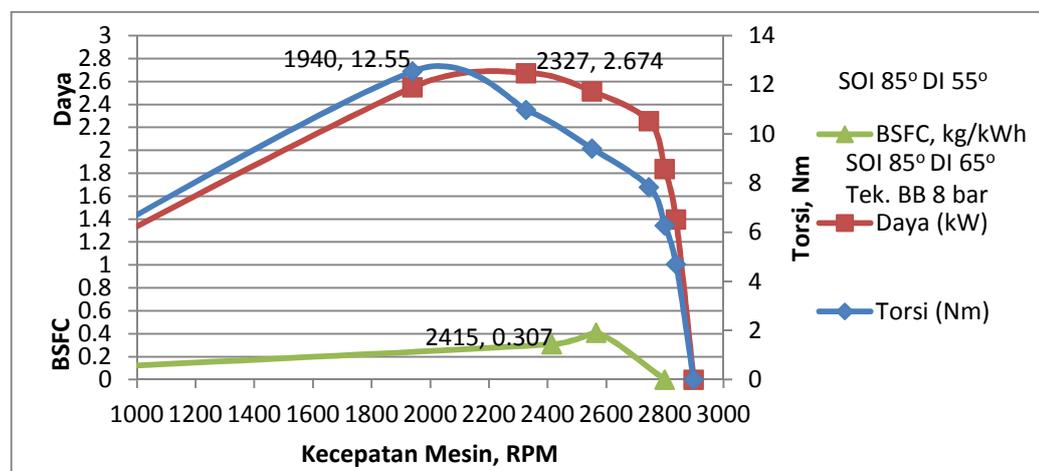
Berdasarkan persamaan $BSFC = m_f/W_b$ kendaraan bisa dikatakan irit bahan bakar, jika waktu yang dibutuhkan untuk menghabiskan sejumlah bahan

bakar dengan menghasilkan daya efektif yang besar maka nilai BSFC yang dihasilkan adalah kecil. Telah jelas nilai BSFC yang dihasilkan besar, akan terjadi nilai daya yang dihasilkan tidak terlalu besar seperti pada *settingan* 95°-45°-8 bar bsfc 555 g/kWh. Perlu diperhatikan bahwa berapapun durasi injeksi dan peningkatan tekanan bahan bakar untuk mesin 2-langkah ini apabila bahan bakar diinjeksikan saat sebelum langkah terperangkap (*trapped stroke*) akan membuat boros konsumsi bahan bakar yang berakibat pada kurangnya untuk menghasilkan daya efektif. AFR tidak merubah banyak dan konsumsi bahan bakar terendah diperoleh kira-kira pada kecepatan yang memiliki torsi maksimum mulai berkembang- optimum efisiensi volumemetric.

4.4 Pembahasan

Injektor bahan bakar dinilai dari kg/jam untuk menghasilkan 1 kW dengan parameternya BSFC. Dalam memodifikasi sistem aliran udara atau bahan bakar untuk menghasilkan tenaga lebih, faktor batas adalah kecepatan aliran injektor. Tentu, kecepatan aliran injektor hanya satu dari sekian banyak variabel yang mempengaruhi *output* tenaga dalam penelitian ini yang menggunakan injektor berbeda dari peneliti sebelumnya, lihat gambar 3.10.

Dari keseluruhan penyetelan (kombinasi waktu, durasi dan tekanan injeksi bahan bakar) diperoleh hasil karakteristik berbeda dari tiap penyetelan, melalui analisis data akan diperoleh penyetelan terbaik yang mampu mengeluarkan torsi dan daya tertinggi. Berdasarkan pengujian pada *prony brake* maka hasil kinerja mesin yang terukur optimal dari penyetelan dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 4.41. kurva kinerja optimal mesin uji pada penyetelan waktu injeksi 85° seb. TMA

Pada gambar 4.41 memperlihatkan kurva kinerja mesin 2-langkah injeksi langsung pada penyetelan terbaik (85° - 55° - 65° -8bar) dengan hasil kinerja yang optimal. Torsi ditunjang secara langsung berhubungan dengan tekanan efektif rata-rata. Seperti terlihat pada gambar 4.41 pada penyetelan 85° - 65° -8 bar, saat kecepatan mesin rpm rendah menuju rpm tinggi BMEP terus berkembang, torsi pun ikut meningkat hingga mencapai torsi puncak 12.55 Nm pada 1940 RPM. Torsi akan turun setelah mencapai nilai puncak pada rpm tinggi di karenakan tekanan diatas piston berkurang untuk menjaga kecepatan mesin tetap konstan pada rpm tinggi dengan memajukan pengapian. Daya puncak pada karakter motor bensin selalu terjadi setelah torsi puncak pada rentang rpm tinggi, seperti yang diperlihatkan gambar 4.41, daya puncak diperoleh 2.67 kW pada 2327 RPM. Sedangkan untuk konsumsi bahan bakar, nilai optimal pada penyetelan 85° - 55° -8 bar terjadi dekat setelah daya puncak pada kecepatan mesin 2415 RPM dengan BSFC 307.5 g/kWh.

Sesuai dengan tujuan penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi penyetelan durasi, waktu injeksi bahan bakar dan tekanan bahan bakar terhadap macam karakteristik torsi, daya, dan konsumsi bahan bakar spesifik motor bensin 2-langkah *direct injection* dari analisa data yang akan didapat penyetelan durasi, waktu injeksi bahan bakar dan tekanan bahan bakar terbaik untuk menghasilkan karakteristik yang optimal bisa diaplikasikan.

4.5 Aplikasi Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan penulis maka di dapat macam penyetelan optimal yang dapat di terapkan pada sepeda motor kecil bensin 2-langkah diantaranya waktu injeksi 85° sebelum TMA, durasi injeksi 55° - 65° dengan tekanan bahan bakar 8 bar yang mampu menghasilkan *brake torque* puncak 12.55 Nm pada putaran 1940 RPM, *brake power* puncak 2.67 kW pada putaran 2327 RPM dengan BSFC kisaran 307 sampai 309 g/kWh (durasi 55° - 65° tekanan 8 bar) sehingga dapat mengoptimalkan karakteristik kinerja mesin dengan menggunakan sistem injeksi langsung yang akan meningkatkan efisiensi bahan bakar.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan hasil analisa data pada kinerja motor bensin 2-langkah injeksi langsung dengan variasi waktu injeksi (85° , 90° , 95°), dikombinasikan dengan durasi injeksi (45° , 55° , 65°) dan tekanan bahan bakar (6, 7, 8 bar) maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Setelah peneliti melakukan analisa pada mesin uji maka didapatkan karakteristik torsi mesin uji yakni torsi rem tertinggi sebesar 12.55 Nm pada kecepatan mesin 1940 RPM didapat pada waktu injeksi 85° sebelum TMA dan durasi injeksi 65° pada tekanan bahan bakar 8 bar.
2. Karakteristik kinerja mesin uji pada waktu injeksi 85° sebelum TMA, durasi injeksi 65° pada tekanan bahan bakar 8 bar didapat pula daya yang paling optimal yaitu menghasilkan daya rem 2.67 kW pada kecepatan mesin 2327 RPM.
3. Spesifik konsumsi bahan bakar (BSFC) terendah mesin uji didapat pada penyetelan waktu injeksi 85° sebelum TMA, sudut durasi injeksi 55° dan tekanan bahan bakar 8 bar yaitu sebanyak 307.5 g/kWh pada kecepatan mesin 2415 RPM.

Dapat disimpulkan bahwa waktu injeksi 85° dan durasi injeksi 55° sampai 65° pada tekanan bahan bakar 8 bar menjadi yang paling optimal.

5.2 Saran

Berdasarkan kegiatan selama pengujian dan hasil penelitian, maka penulis mempunyai saran sebagai berikut :

1. Hasil penelitian ini dapat diterapkan di sepeda motor Yamaha F1ZR, namun perlu modifikasi penempatan injektor pada kepala silinder.
2. Untuk penelitian selanjutnya sangat dianjurkan waktu injeksi 85° sebelum TMA lalu meningkatkan ketelitian lebih rapat durasi injeksi per 1° dengan pengaturan AFR yang sebaiknya untuk durasi injeksi tersebut menggunakan microcontoller Arduino.

3. Menggunakan *water brake dynamometer* dan sel pembebanan untuk hasil yang akurat.
4. Injektor sebaiknya diperuntukkan secara khusus untuk mesin kecil GDI. Penambahan sistem *throttle body* dan sensor-sensor input untuk mengetahui dan mengatur aliran udara.

5.2.1. Kelemahan Penelitian

1. Belum adanya dinamometer khusus *stand engine* pada lab. Otomotif.
2. Belum adanya alat ukur laju aliran massa injektor.
3. Sensor input durasi dalam satuan derajat bukan satuan mili sekon sehingga tingkat keakurasian sangat rendah.
4. Tidak ada kontrol AFR.
5. Dalam penelitian tidak adanya parameter input sensor *manifold air pressure* dan temperatur, temperatur mesin, sensor lambda .

DAFTAR PUSTAKA

Ajay Kumar Singh dkk. *Direct Fuel Injection System in Gasoline Engine – A Review*. ISSN:2278-3075

Blair, G. P. (1990) “*Design and Simulation of Two-Stroke Engines*”, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA.

Edmond Vieillednt. "Low Pressure Electronic Fuel Injection System for Two-Stroke Engines". SAE paper No. 780767.

Fansler, T.D. and Draker, M.C. 2009. “*Flow, Mixture Preparation and Combustion in Direct-Injection Two-Stroke Gasoline Engines in Flow and Combustion in Reciprocating Engines*” (eds C. Arcoumanis and T. Kamimoto), Springer-Verlag, Berlin Heidelberg (Ch. 2)

Garrett, T. K. dkk. *The Motor Vehicle 13th Ed. 2001*. Butterworth-Heinemann, Linacre House, Jordan Hill

Halderman, James D. *Automotive Engines: Theory and Servicing. 8th edition*. New Jersey: Pearson.

Harsanto, *Motor Bakar*. Jakarta: NV Penerbit Djambatan, 1978., h. 18

Heywood, John B. 1988. *Internal Combustion Engines Fundamentals*. New York: McGraw-Hill.

Ke Zeng, Zuohua Huang, dkk, “*combustion characteristics of a direct-injection natural gas engine under various fuel injection timings*”. Xi'an Jiaotong University, 2005.

Khurmi R. S dan Gupta J.K. *A Textbook of Machine Design*. 2005. Eurasia Publishing House, Ram Nagar, New Delhi.

Martyr, A, Plint M, *Engine Testing-Theory and Practice* (Third ed.). Oxford, UK, 2007.

Mr. Tune Up's Auto Service. 2009. *Injector cut away diagram. Mr. Tune Up's Auto Service*

Nathan LORENZ, Bryan WILLSON, “*Design of a Direct Injection Retrofit Kit for Small Two-Stroke Engines*”. Colorado State University, SAE 2005.

Vikaspumps.com/post/15/pneumatic-transfer-pump diakses tanggal 07/06/2017

Waritsu. Studi Eksperimental Kinerja Mesin Motor 2 Langkah Dengan Mengaplikasikan Sistem Bahan Bakar Injeksi. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta, Teknik Mesin. 2016

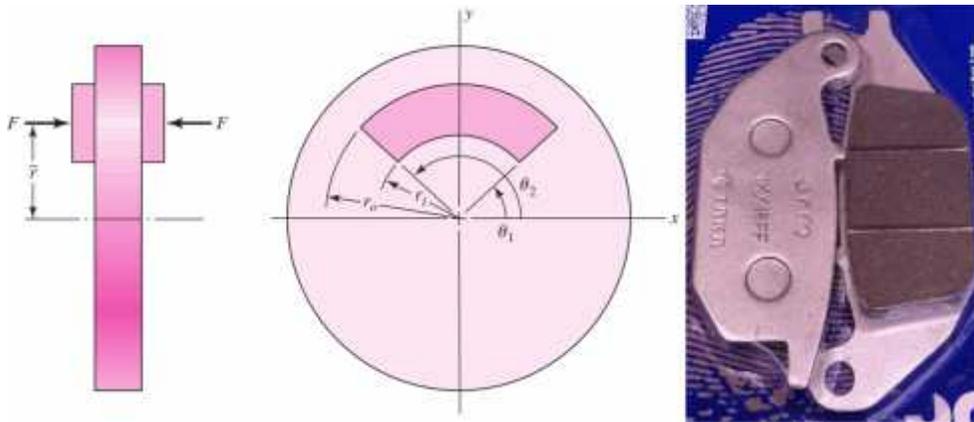
Winther, J. B. *Dynamometer Handbook of Basic Theory and Applications*, Cleveland, Ohio: Eaton Corp. 1975

Yew Heng Teoh dkk, "Direct Fuel Injection of LPG in Small Two-Stroke Engines", ISC, 2011

Yusro, M. dkk, "Buku Panduan Penyusunan Skripsi dan Non-skripsi". Universitas Negeri Jakarta, FT, 2015.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Luas Permukaan Kanvas Rem dan koefisien gesek



Diketahui :

$\alpha = 46^\circ$; $\frac{1}{2}$ putaran = 180° ; π (Pi) = 3.14~; \varnothing Cakram = 19 cm; $r_o = 9.5$ cm;
 $r_i = 7.2$ cm; $r_o - r_i = 2.3$ cm; $\bar{r} = 0.5 * (r_o - r_i) + r_i = 8.35$ cm = 0.0835 m

Dicari : luas permukaan (A) kanvas rem cakram ?

Perhitungan :

Berdasarkan keausan seragam

$$A = (\alpha - 1) r_i (r_o - r_i)$$

$$A = (46^\circ) * (\pi / 180^\circ) * 7.2 \text{ cm} * (2.3 \text{ cm})$$

$$A = 13.295 \text{ cm}^2$$

Tabel kode koefisien gesek

μ	kode
Up to 0.15	C
Over 0.15 up to 0.25	D
Over 0.25 up to 0.35	E
Over 0.35 up to 0.45	F
Over 0.45 up to 0.55	G
Over 0.55	H

NKX 16 FF artinya NKX (kode MANUFAKTUR), 16 (kode MATERIALNYA) dan huruf 'F' Pertama Pada KONDISI DINGIN, Huruf 'F' Kedua Pada KONDISI PANAS, $\mu = 0.36$ pada suhu 50°C

Lampiran 2. Perhitungan Gaya dan Torsi

No.	Tekanan Rem (P) (kgf/cm ²)	Kanvas Rem, A (cm ²)	Gaya (kgf)	Gaya (N)	Jari-jari, (m)	Koefisien gesek (μ)	Torsi (Nm)
1	0	13.295	0	0	0.0835	0.36	0
2	0.6	13.295	15.95429	156.4582	0.0835	0.36	4.703132
3	0.8	13.295	21.2742	208.6286	0.0835	0.36	6.271376
4	1.0	13.295	26.59044	260.7631	0.0835	0.36	7.83854
5	1.2	13.295	31.91401	312.9695	0.0835	0.36	9.407863
6	1.4	13.295	37.22849	365.0867	0.0835	0.36	10.97451
7	1.6	13.295	42.5701	417.4699	0.0835	0.36	12.54914

Keterangan :

$$F = P \cdot (A \cdot 2); T = \mu \cdot F \cdot \bar{r}$$

Konversi : 1 kgf/cm² = 0.980665 bar; 1 kgf = 9.80665 Newton

Lampiran 4. Torsi

No.	injektor timing 85° seb TMA tekanan BB 6 bar						injektor timing 85° seb TMA tekanan BB 7 bar					
	Durasi injeksi						Durasi injeksi					
	45°		55°		65°		45°		55°		65°	
	RPM	Torsi, Nm	RPM	Torsi, Nm	RPM	Torsi, Nm	RPM	Torsi, Nm	RPM	Torsi, Nm	RPM	Torsi, Nm
1	1956	0	2289	0	2332	0	2066	0	2304	0	2662	0
2	1802	4.70313	2100	4.70313	2233	4.70313	1963	4.70313	2253	4.70313	2517	4.70313
3	1725	6.27138	2017	6.27138	2197	6.27138	1904	6.27138	2179	6.27138	2466	6.27138
4	1663	7.83854	1954	7.83854	2154	7.83854	1860	7.83854	2078	7.83854	2413	7.83854
5	1578	9.40786	1833	9.40786	2105	9.40786	1619	9.40786	1983	9.40786	2345	9.40786
6	1372	10.9745	1683	10.9745	2058	10.9745	1467	10.9745	1946	10.9745	2128	10.9745
7	1292	12.5491	1383	12.5491	1740	12.5491	1379	12.5491	1791	12.5491	1887	12.5491

No.	injektor timing 85° seb TMA tekanan BB 8 bar					
	Durasi injeksi					
	45°		55°		65°	
	RPM	Torsi, Nm	RPM	Torsi, Nm	RPM	Torsi, Nm
1	2407	0	2800	0	2898	0
2	2346	4.70313	2723	4.70313	2838	4.70313
3	2185	6.27138	2566	6.27138	2800	6.27138
4	2111	7.83854	2463	7.83854	2746	7.83854
5	2021	9.40786	2415	9.40786	2552	9.40786
6	1868	10.9745	2268	10.9745	2327	10.9745
7	1300	12.5491	1888	12.5491	1940	12.5491

No.	injektor timing 90° seb TMA tekanan BB 6 bar						injektor timing 90° seb TMA tekanan BB 7 bar					
	Durasi injeksi						Durasi injeksi					
	45°		55°		65°		45°		55°		65°	
	RPM	Torsi, Nm	RPM	Torsi, Nm	RPM	Torsi, Nm	RPM	Torsi, Nm	RPM	Torsi, Nm	RPM	Torsi, Nm
1	1911	0	2108	0	2252	0	2006	0	2274	0	2512	0
2	1818	4.70313	2025	4.70313	2224	4.70313	1926	4.70313	2118	4.70313	2376	4.70313
3	1707	6.27138	1937	6.27138	2188	6.27138	1849	6.27138	2029	6.27138	2255	6.27138
4	1622	7.83854	1811	7.83854	2119	7.83854	1728	7.83854	1922	7.83854	2179	7.83854
5	1520	9.40786	1743	9.40786	2043	9.40786	1618	9.40786	1831	9.40786	2094	9.40786
6	1353	10.9745	1466	10.9745	1747	10.9745	1457	10.9745	1517	10.9745	1837	10.9745

No.	injektor timing 90° seb TMA tekanan BB 8 bar					
	Durasi injeksi					
	45°		55°		65°	
	RPM	Torsi, Nm	RPM	Torsi, Nm	RPM	Torsi, Nm
1	2233	0	2659	0	2737	0
2	2162	4.70313	2517	4.70313	2649	4.70313
3	2014	6.27138	2468	6.27138	2529	6.27138
4	1856	7.83854	2298	7.83854	2368	7.83854
5	1765	9.40786	2124	9.40786	2216	9.40786
6	1642	10.9745	1803	10.9745	1930	10.9745
7						

No.	injektor timing 95° seb TMA tekanan BB 6 bar						injektor timing 95° seb TMA tekanan BB 7 bar					
	Durasi injeksi						Durasi injeksi					
	45°		55°		65°		45°		55°		65°	
	RPM	Torsi, Nm	RPM	Torsi, Nm	RPM	Torsi, Nm	RPM	Torsi, Nm	RPM	Torsi, Nm	RPM	Torsi, Nm
1	1863	0	2146	0	2218	0	1981	0	2249	0	2368	0
2	1758	4.70313	2067	4.70313	2191	4.70313	1877	4.70313	2197	4.70313	2317	4.70313
3	1674	6.27138	2017	6.27138	2176	6.27138	1756	6.27138	2176	6.27138	2253	6.27138
4	1557	7.83854	1838	7.83854	2114	7.83854	1682	7.83854	2058	7.83854	2162	7.83854
5	1466	9.40786	1712	9.40786	1986	9.40786	1535	9.40786	1931	9.40786	2083	9.40786
6	0	0	1151	10.9745	1376	10.9745	1321	10.9745	1423	10.9745	1508	10.9745
7												

No.	injektor timing 95° seb TMA tekanan BB 8 bar					
	Durasi injeksi					
	45°		55°		65°	
	RPM	Torsi, Nm	RPM	Torsi, Nm	RPM	Torsi, Nm
1	2024	0	2447	0	2644	0
2	1964	4.70313	2305	4.70313	2538	4.70313
3	1831	6.27138	2212	6.27138	2456	6.27138
4	1752	7.83854	2138	7.83854	2339	7.83854
5	1619	9.40786	1971	9.40786	2270	9.40786
6	1513	10.9745	1762	10.9745	1841	10.9745
7						

Lampiran 5. Contoh Perhitungan Daya

Contoh : Pada penyetelan waktu injeksi 85° sebelum TMA dengan durasi injeksi 65° dan tekanan bahan bakar 8 bar memiliki kecepatan mesin dan torsi sebagai berikut:

RPM	Torsi, Nm
2898	0
2838	4.70313
2800	6.27138
2746	7.83854
2552	9.40786
2327	10.9745
1940	12.5491

Diketahui: kecepatan mesin 2838 RPM dengan torsi 4.7 Nm.

$$\text{Perhitungan: } Power = \frac{2\pi NT}{60000} = \frac{2.3.14.2838.4.7}{60000} = 1.397 \text{ kWatt}$$

$$Power = \frac{2\pi NT}{60000} = \frac{2.3.14.2800.6.27}{60000} = 1.84 \text{ kWatt}$$

$$Power = \frac{2\pi NT}{60000} = \frac{2.3.14.2746.7.84}{60000} = 2.25 \text{ kWatt}$$

$$Power = \frac{2\pi NT}{60000} = \frac{2.3.14.2552.9.41}{60000} = 2.51 \text{ kWatt}$$

$$Power = \frac{2\pi NT}{60000} = \frac{2.3.14.2327.10.97}{60000} = 2.67 \text{ kWatt}$$

$$Power = \frac{2\pi NT}{60000} = \frac{2.3.14.1940.12.55}{60000} = 2.55 \text{ kWatt}$$

Lampiran 6. Daya

No.	injektor timing 85° seb TMA tekanan BB 6 bar						injektor timing 85° seb TMA tekanan BB 7 bar					
	Durasi injeksi						Durasi injeksi					
	45°		55°		65°		45°		55°		65°	
	RPM	Daya, kW	RPM	Daya, kW	RPM	Daya, kW	RPM	Daya, kW	RPM	Daya, kW	RPM	Daya, kW
1	1956	0	2289	0	2332	0	2066	0	2304	0	2662	0
2	1802	0.8875	2100	1.03427	2233	1.09978	1963	0.9668	2253	1.10963	2517	1.23965
3	1725	1.13287	2017	1.32464	2197	1.44285	1904	1.25043	2179	1.43103	2466	1.61951
4	1663	1.36507	1954	1.60394	2154	1.76811	1860	1.52678	2078	1.70573	2413	1.98071
5	1578	1.55463	1833	1.80585	2105	2.07382	1619	1.59502	1983	1.95363	2345	2.31027
6	1372	1.57677	1683	1.93418	2058	2.36515	1467	1.68595	1946	2.23644	2128	2.4456
7	1292	1.69787	1383	1.81746	1740	2.28661	1379	1.8122	1791	2.35363	1887	2.47979

No.	injektor timing 85° seb TMA tekanan BB 8 bar					
	Durasi injeksi					
	45°		55°		65°	
	RPM	Daya, kW	RPM	Daya, kW	RPM	Daya, kW
1	2407	0	2800	0	2898	0
2	2346	1.15543	2723	1.34111	2838	1.39775
3	2185	1.43497	2566	1.68519	2800	1.83886
4	2111	1.73281	2463	2.02175	2746	2.25405
5	2021	1.99107	2415	2.37923	2552	2.5142
6	1868	2.14679	2268	2.60649	2327	2.6743
7	1300	1.70839	1888	2.4811	1940	2.54944

No.	injektor timing 90° seb TMA tekanan BB 6 bar						injektor timing 90° seb TMA tekanan BB 7 bar					
	Durasi injeksi						Durasi injeksi					
	45°		55°		65°		45°		55°		65°	
	RPM	Daya, kW	RPM	Daya, kW	RPM	Daya, kW	RPM	Daya, kW	RPM	Daya, kW	RPM	Daya, kW
1	1911	0	2108	0	2252	0	2006	0	2274	0	2512	0
2	1818	0.89538	2025	0.99733	2224	1.09534	1926	0.94858	2118	1.04314	2376	1.17021
3	1707	1.12105	1937	1.2721	2188	1.43694	1849	1.21431	2029	1.33252	2255	1.48094
4	1622	1.33142	1811	1.48656	2119	1.73938	1728	1.41843	1922	1.57767	2179	1.78863
5	1520	1.49749	1743	1.71718	2043	2.01274	1618	1.59404	1831	1.80388	2094	2.06299
6	1353	1.55493	1466	1.6848	1747	2.00774	1457	1.67445	1517	1.74341	1837	2.11117
7												

No.	injektor timing 90° seb TMA tekanan BB 8 bar					
	Durasi injeksi					
	45°		55°		65°	
	RPM	Daya, kW	RPM	Daya, kW	RPM	Daya, kW
1	2233	0	2659	0	2737	0
2	2162	1.06481	2517	1.23965	2649	1.30466
3	2014	1.32267	2468	1.62083	2529	1.66089
4	1856	1.5235	2298	1.88631	2368	1.94377
5	1765	1.73886	2124	2.09254	2216	2.18318
6	1642	1.88706	1803	2.07209	1930	2.21805
7						

No.	injektor timing 95° seb TMA tekanan BB 6 bar						injektor timing 95° seb TMA tekanan BB 7 bar					
	Durasi injeksi						Durasi injeksi					
	45°		55°		65°		45°		55°		65°	
	RPM	Daya, kW	RPM	Daya, kW	RPM	Daya, kW	RPM	Daya, kW	RPM	Daya, kW	RPM	Daya, kW
1	1863	0	2146	0	2218	0	1981	0	2249	0	2368	0
2	1758	0.86583	2067	1.01802	2191	1.07909	1877	0.92444	2197	1.08205	2317	1.14115
3	1674	1.09938	2017	1.32464	2176	1.42906	1756	1.15323	2176	1.42906	2253	1.47963
4	1557	1.27806	1838	1.50872	2114	1.73528	1682	1.38067	2058	1.68931	2162	1.77468
5	1466	1.44429	1712	1.68664	1986	1.95659	1535	1.51227	1931	1.9024	2083	2.05215
6	0	0	1151	1.32278	1376	1.58136	1321	1.51816	1423	1.63538	1508	1.73307
7												

No.	injektor timing 95° seb TMA tekanan BB 8 bar					
	Durasi injeksi					
	45°		55°		65°	
	RPM	Daya, kW	RPM	Daya, kW	RPM	Daya, kW
1	2024	0	2447	0	2644	0
2	1964	0.96729	2305	1.13524	2538	1.24999
3	1831	1.20249	2212	1.4527	2456	1.61295
4	1752	1.43813	2138	1.75498	2339	1.91997
5	1619	1.59502	1971	1.94181	2270	2.23638
6	1513	1.73881	1762	2.02497	1841	2.11577
7						

Lampiran 7. Durasi Konsumsi 100 mL Bahan Bakar

injektor timing 85° Sebelum TMA, Tekanan BB 6 bar							injektor timing 85° Sebelum TMA, Tekanan BB 7 bar					
T.Rem, bar / durasi injeksi	45°		55°		65°		45°		55°		65°	
	RPM	Waktu, menit	RPM	Waktu, menit	RPM	Waktu, menit	RPM	Waktu, menit	RPM	Waktu, menit	RPM	Waktu, menit
0	1956	8.53	2274	8.2	2332	7.46	2066	8.06	2304	7.37	2671	6.35
0.8	1725	8.36	2051	7.95	2197	6.95	1904	7.65	2179	6.917	2458	6.12
1.2	1578	7.95	1833	7.65	2105	5.83	1619	7.12	1983	6.57	2354	5.7

injektor timing 85° Sebelum TMA, Tekanan BB 8 bar						
T.Rem, bar / durasi injeksi	45°		55°		65°	
	RPM	Waktu, menit	RPM	Waktu, menit	RPM	Waktu, menit
0	2407	7.75	2800	6.82	2898	6.23
0.8	2185	7.39	2566	6.53	2800	5.93
1.2	2021	6.96	2415	6.15	2552	5.52

injektor timing 90° Sebelum TMA, Tekanan BB 6 bar							injektor timing 90° Sebelum TMA, Tekanan BB 7 bar					
T.Rem, bar / durasi injeksi	45°		55°		65°		45°		55°		65°	
	RPM	Waktu, menit	RPM	Waktu, menit	RPM	Waktu, menit	RPM	Waktu, menit	RPM	Waktu, menit	RPM	Waktu, menit
0	1911	7.64	2208	7.317	2252	6.73	2006	7.25	2274	6.34	2512	5.74
0.8	1707	7.28	2037	7.05	2188	6.43	1849	6.92	2029	6.11	2255	5.36
1.2	1520	7.09	1783	6.63	2043	5.117	1618	6.51	1831	5.79	2094	5.13

injektor timing 90° Sebelum TMA, Tekanan BB 8 bar						
T.Rem, bar / durasi injeksi	45°		55°		65°	
	RPM	Waktu, menit	RPM	Waktu, menit	RPM	Waktu, menit
0	2233	6.73	2659	5.97	2737	5.58
0.8	2014	6.38	2468	5.32	2529	5.14
1.2	1765	5.94	2124	5.26	2216	4.91

injektor timing 95° Sebelum TMA, Tekanan BB 6 bar							injektor timing 95° Sebelum TMA, Tekanan BB 7 bar					
T.Rem, bar / durasi injeksi	45°		55°		65°		45°		55°		65°	
	RPM	Waktu, menit	RPM	Waktu, menit	RPM	Waktu, menit	RPM	Waktu, menit	RPM	Waktu, menit	RPM	Waktu, menit
0	1863	7.17	2146	6.6	2218	5.57	1981	6.42	2249	5.417	2368	5.167
0.8	1674	6.74	2017	6.2	2176	5.283	1756	6.07	2176	5.18	2253	4.93
1.2	1466	6.41	1712	5.783	1986	5.07	1535	5.37	1931	4.83	2083	4.617

injektor timing 95° Sebelum TMA, Tekanan BB 8 bar						
T.Rem, bar / durasi injeksi	45°		55°		65°	
	RPM	Waktu, menit	RPM	Waktu, menit	RPM	Waktu, menit
0	2024	6.17	2447	5.183	2644	4.917
0.8	1831	5.34	2212	4.82	2456	4.7
1.2	1619	5.08	1971	4.56	2270	4.4

Lampiran 8. Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Contoh : Pada penyetelan waktu injeksi 85° sebelum TMA dengan durasi injeksi 65° dan tekanan bahan bakar 8 bar dengan tekanan rem 0.8 bar memiliki kecepatan mesin dan durasi konsumsi untuk 100ml bensin adalah 2800 RPM dan 5.93 menit

Diketahui : pada kecepatan mesin 2800 RPM mampu menghasilkan daya rem sebesar 1.84 kW

Durasi konsumsi 100ml bensin adalah 5.93 menit = 0.09883 jam

Asumsi massa jenis bensin 750 kg/m³ pada suhu 40°C, maka 100mL bensin setara 75 gram

Sehingga laju aliran massa yaitu:

$$\dot{m}_f = m_f/t = 75 \text{ gram}/0.09883 \text{ jam} = 758.88 \text{ gram/jam}$$

jadi untuk Konsumsi Bahan Bakar Spesifik rem yaitu:

$$\text{Bsfc} = \frac{\dot{m}_f}{P} = \frac{758.88 \text{ gram/jam}}{1.84 \text{ kW}} = 412.67 \text{ g/kW.h}$$

Jadi, pada kecepatan mesin 2800 RPM untuk menghasilkan 1 kW.h membutuhkan bensin seberat 412.67 g atau 0.41 kg

Lampiran 9. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Pengereman

injektor timing 85° Sebelum TMA, Tekanan BB 6 bar							injektor timing 85° Sebelum TMA, Tekanan BB 7 bar					
T.Rem, bar / durasi injeksi	45°		55°		65°		45°		55°		65°	
	RPM	BSFC, g/kWh	RPM	BSFC, g/kWh	RPM	BSFC, g/kWh	RPM	BSFC, g/kWh	RPM	BSFC, g/kWh	RPM	BSFC, g/kWh
0	1956	#DIV/0!	2289	#DIV/0!	2332	#DIV/0!	2066	#DIV/0!	2304	#DIV/0!	2662	#DIV/0!
0.8	1725	475.145	2017	427.3149	2197	448.752	1904	470.428	2179	454.617	2466	454.022
1.2	1578	364.098	1833	325.7385	2105	372.196	1619	396.247	1983	350.594	2345	341.724

injektor timing 85° Sebelum TMA, Tekanan BB 8 bar						
T.Rem, bar / durasi injeksi	45°		55°		65°	
	RPM	BSFC, g/kWh	RPM	BSFC, g/kWh	RPM	BSFC, g/kWh
0	2407	#DIV/0!	2800	#DIV/0!	2898	#DIV/0!
0.8	2185	424.351	2566	408.932	2800	412.675
1.2	2021	324.726	2415	307.539	2552	309.481

injektor timing 90° Sebelum TMA, Tekanan BB 6 bar							injektor timing 90° Sebelum TMA, Tekanan BB 7 bar					
T.Rem, bar / durasi injeksi	45°		55°		65°		45°		55°		65°	
	RPM	BSFC, g/kWh	RPM	BSFC, g/kWh	RPM	BSFC, g/kWh	RPM	BSFC, g/kWh	RPM	BSFC, g/kWh	RPM	BSFC, g/kWh
0	1911	#DIV/0!	2208	#DIV/0!	2252	#DIV/0!	2006	#DIV/0!	2274	#DIV/0!	2512	#DIV/0!
0.8	1707	551.387	2037	501.767	2188	487.038	1849	535.523	2029	552.711	2255	566.904
1.2	1520	423.841	1783	395.259	2043	436.927	1618	433.644	1831	430.85	2094	425.206

injektor timing 90° Sebelum TMA, Tekanan BB 8 bar						
T.Rem, bar / durasi injeksi	45°		55°		65°	
	RPM	BSFC, g/kWh	RPM	BSFC, g/kWh	RPM	BSFC, g/kWh
0	2233	#DIV/0!	2659	#DIV/0!	2737	#DIV/0!
0.8	2014	533.262	2468	521.872	2529	527.12
1.2	1765	435.674	2124	408.839	2216	419.799

injektor timing 95° Sebelum TMA, Tekanan BB 6 bar							injektor timing 95° Sebelum TMA, Tekanan BB 7 bar					
T.Rem, bar / durasi injeksi	45°		55°		65°		45°		55°		65°	
	RPM	BSFC, g/kWh	RPM	BSFC, g/kWh	RPM	BSFC, g/kWh	RPM	BSFC, g/kWh	RPM	BSFC, g/kWh	RPM	BSFC, g/kWh
0	1863	#DIV/0!	2146	#DIV/0!	2218	#DIV/0!	1981	#DIV/0!	2249	#DIV/0!	2368	#DIV/0!
0.8	1674	607.303	2017	547.928	2176	596.048	1756	642.847	2176	607.9	2253	616.897
1.2	1466	486.072	1712	461.356	1986	453.634	1535	554.128	1931	489.738	2083	474.946

injektor timing 95° Sebelum TMA, Tekanan BB 8 bar						
T.Rem, bar / durasi injeksi	45°		55°		65°	
	RPM	BSFC, g/kWh	RPM	BSFC, g/kWh	RPM	BSFC, g/kWh
0	2024	#DIV/0!	2447	#DIV/0!	2644	#DIV/0!
0.8	1831	700.796	2212	642.671	2456	593.601
1.2	1619	555.37	1971	508.208	2270	457.314

Lampiran 10. Mesin Uji



RIWAYAT HIDUP



Fajar Rumanto, lahir di Cilacap, 21 Februari 1994, anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Saryono dan Almh.Wasriyah. Bertempat tinggal di Jl. Karanggan no. 24 Rt 02/03 Ds. Puspasari Kec. Citeureup Kab. Bogor 16810. Pendidikan yang ditempuh yaitu SD N Puspanegara 07 (2000-2006), SMP N 01 Citeureup (2006-2009), kemudian

melanjutkan ke SMA PGRI Cibinong (2009-2012). Dan sekarang menyelesaikan studi di Jurusan Teknik Mesin program studi S1 Pendidikan Teknik Mesin di Universitas Negeri Jakarta.

Kegiatan yang pernah diikuti selama menjalani kuliah: Pelatihan Autocad Jurusan Teknik Mesin UNJ tahun 2012, Guru Praktek Keterampilan Mengajar di SMK N 34 Jakarta Jl. Kramat Raya tahun 2016. Kegiatan Praktek Kerja Lapangan di PT. Sanggar Mustika Indah Menara Mulia Jl. Jend. Gatot Subroto kav.9-11 tahun 2016.