

Analisis Pengaruh Sistem Kontrol Bahan Bakar Solar Dan Vi-Gas Terhadap Unjuk Kerja Motor Diesel 4-Silinder

Denny Maukar^{1*}, I.P. Tamba²

^{1,2}Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fatek Universitas Negeri Manado

*Email : dennymaukar@unima.ac.id

ABSTRAK

Berdasarkan data dari Dirjen Migas, kendaraan bermotor adalah sektor dengan konsumsi BBM terbesar, yaitu mencapai 47 % dari keseluruhan konsumsi BBM Indonesia. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya penggunaan energi alternatif untuk diaplikasikan pada kendaraan bermotor.

PT. PERTAMINA (Persero) sebagai salah satu produsen bahan bakar di Indonesia telah memproduksi bahan bakar baru untuk kendaraan bermotor dengan nama Vi-Gas yang telah diresmikan peluncurannya pada tanggal 10 Maret 2008. Vi-Gas merupakan bahan bakar alternatif yang merupakan reformulasi dari *Liquefied Petroleum Gas* (LPG), yang selama ini banyak digunakan sebagai bahan bakar kompor gas. Vi-Gas diproduksi pada kilang gas alam PT PERTAMINA (PERSERO). Pemanfaatan Vi-Gas ini turut mendukung program pemerintah, yang berdasarkan Peraturan Presiden No. 5 tahun 2006, bermaksud meningkatkan peranan gas alam menjadi lebih dari 30% dan menurunkan penggunaan minyak bumi menjadi kurang dari 20% dari konsumsi energi nasional. Selain itu, sebagai bahan bakar bagi kendaraan bermotor, Vi-Gas memiliki beberapa keunggulan, antara lain nilai kalor bahan bakarnya lebih tinggi dari bensin ataupun solar, sehingga daya yang dihasilkan lebih besar dan untuk konsumsi dengan massa yang sama, penggunaan Vi-Gas akan lebih hemat. Selain itu, Vi-Gas juga lebih ramah lingkungan.. Hingga saat ini, pemanfaatan Vi-Gas umumnya ditujukan bagi kendaraan bermotor bensin (*spark ignition engine*). Vi-Gas dapat secara keseluruhan menggantikan bensin sebagai bahan bakar kendaraan dengan sistem yang terpisah dari sistem bahan bakar bensinnya. Namun, hal ini berbeda dengan kendaraan bermotor diesel (*compression ignition engine*), yang memanfaatkan kompresi tinggi agar bahan bakar dapat menyala dengan sendirinya. Vi-Gas memiliki temperatur penyalaan sendiri (*autoignition point*) yang lebih tinggi dari solar (225o C untuk solar dan 540o C untuk Vi-Gas) Persentase komposisi Vi-Gas dalam bahan bakar ganda dapat mencapai 90%.

Keyword : Vi-Gas, Unjuk Kerja, Sistim Kontrol

PENDAHULUAN

Menipisnya cadangan minyak bumi dan tingginya konsumsi bahan bakar minyak (BBM) dalam negeri, harus diikuti dengan

upaya efisiensi, konversi dan penggunaan energi alternatif. Berdasarkan data dari Dirjen Migas, kendaraan bermotor adalah sektor dengan konsumsi BBM terbesar,

yaitu mencapai 47 % dari keseluruhan konsumsi BBM Indonesia. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya penggunaan energi alternatif untuk diaplikasikan pada kendaraan bermotor.

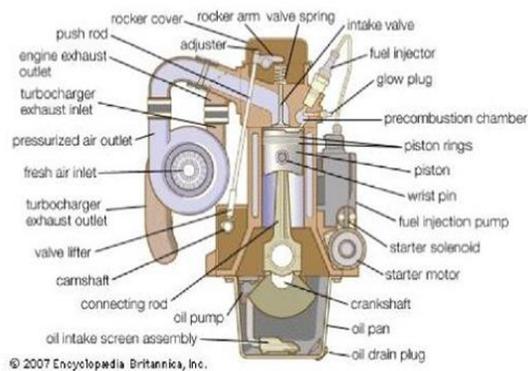
Vi-Gas dapat secara keseluruhan menggantikan bensin sebagai bahan bakar kendaraan dengan sistem yang terpisah dari sistem bahan bakar bensinnya. Namun, hal ini berbeda dengan kendaraan bermotor diesel (*compression ignition engine*), yang memanfaatkan kompresi tinggi agar bahan bakar dapat menyala dengan sendirinya. Vi-Gas memiliki temperatur penyalaan sendiri (*autoignition point*) yang lebih tinggi dari solar (225^o C untuk solar dan 540^o C untuk Vi-Gas) (www.pertamina.com). Tekanan kompresi pada motor diesel tidak dapat menyebabkan Vi-Gas mencapai temperatur penyalaannya sendiri. Sehingga, penggunaan Vi-Gas pada motor diesel memerlukan modifikasi yang lebih kompleks. Terdapat dua pilihan prinsip dalam modifikasi motor diesel tersebut. Pertama, memodifikasi motor diesel menjadi *spark ignition engine*. Untuk itu, perlu penambahan busi pada kepala silinder dan menurunkan rasio kompresi motor. Alternatif pertama ini tergolong tidak ekonomis untuk dilakukan. Alternatif kedua, yaitu dengan masih menggunakan solar

dengan komposisi tertentu, yang artinya motor dijalankan dengan bahan bakar ganda (*dual fuel*) yaitu solar dengan Vi-Gas. Suplai solar lebih ditujukan sebagai penyala awal (*pilot igniters*) bagi Vi-Gas. Alternatif kedua ini berpotensi untuk diaplikasikan dan dikembangkan lebih lanjut. Untuk dapat menjalankan motor diesel dengan bahan bakar ganda ini diperlukan suatu sistem kontrol yang terintegrasi. Sistem kontrol ini bertujuan mengatur suplai Vi-Gas untuk pembakaran, baik saat penyemprotannya maupun jumlah bahan bakar yang disemprotkan. Selain itu, sistem kontrol ini juga harus memperhatikan kontrol suplai komposisi solar yang sejak awal telah dirancang pada kendaraan tersebut. Karena beberapa pertimbangan di atas, maka dilakukanlah analisis terhadap sistem kontrol pada motor diesel kendaraan bermotor berbahan bakar solar-Vi-Gas terhadap unjuk kerja motor diesel 4-silinder.

TINJAUAN TEORITIS

Motor bakar torak merupakan mesin kalor pembakaran dalam yang menggunakan torak (piston) sebagai salah satu komponen utamanya. yang dimaksud mesin kalor di sini adalah mesin yang mengubah energi termal tersebut diperoleh dari proses pembakaran yang terjadi didalam mesin, yaitu diruang bakar (silinder). Hasil

pembakaran ini kemudian menghasilkan gaya dorong terhadap torak yang berada di dalam silinder sehingga torak bergerak translasi. torak dihubungkan dengan suatu poros engkol (crankshaft) oleh batang penghubung (connecting rod), sehingga gerak translasi torak menyebabkan gerak rotasi pada poros engkol. poros engkol inilah yang berhubungan dan mentransmisikan energi pada beban, seperti roda, pompa, atau generator.



Gambar 2.1 Konfigurasi

Motor Bakar dengan *Turbocharger*

Proses pembakaran pada motor bakar torak berlangsung secara periodik dan merupakan bagian dari suatu siklus. Terdapat empat tahap atau langkah dalam satu siklus, yaitu langkah isap, langkah kompresi, langkah kerja dan langkah buang. Langkah adalah gerak translasi torak di dalam silinder dari titik mati atas (TMA) hingga titik mati bawah (TMB) atau sebaliknya. jika dilihat dari gerak rotasi poros engkol, satu langkah ini berarti poros

engkol berputar sebanyak 180° atau setengah putaran. Motor bakar torak yang bekerja dengan empat langkah torak dalam satu siklus ini disebut motor 4-langkah. Sedangkan, apabila dalam satu siklus hanya memerlukan dua langkah torak, maka disebut motor 2 langkah dimana dalam satu langkah terjadi dua proses sekaligus.

Motor bakar torak umumnya merupakan motor 4-langkah. Pada bagian kepala silinder motor ini terdapat katup isap dan katup buang. Katup isap merupakan tempat masuknya udara segar (pada motor diesel) atau gandaan udara dan bahan bakar (pada motor bensin) ke dalam silinder, sedangkan katup buang merupakan tempat keluarnya gas hasil pembakaran dari dalam silinder. Kedua katup ini bergerak membuka dan menutup dengan diatur oleh poros kam (camshaft).

Poros kam akan berhubungan dengan poros engkol melalui puli dan sabuk (belt) ataupun roda gigi, sehingga poros kam akan berputar sebanyak satu kali setiap dua kali putaran poros engkol. Posisi sudut rotasi poros engkol atau biasa disebut dengan derajat engkol, sering di jadikan acuan dalam penentuan saat timing pembukaan dan penutupan katup.

Seperti telah disebutkan diatas, motor 4-langkah terdiri dari empat urutan langkah torak dalam satu siklus, yaitu:

Langkah isap

Torak bergerak dari TMA ke TMB. Katup isap membuka sesaat sebelum langkah di mulai, yaitu sekitar 5° - 25° engkol sebelum TMA dan menutup pada sekitar 40° - 60° setelah TMB. Selama katup isap membuka ini, fluida kerja, yaitu udara segar atau gandaan udara dan bahan bakar, masuk kedalam silinder.

Langkah Kompresi

Torak bergerak dari TMB ke TMA. Kedua katup menutup selama langkah ini, sehingga fluida kerja mengalami kenaikan temperature dan tekanan. Pada akhir langkah ini, terjadi penyalan pembakaran, sehingga tekanan dan temperature kembali mengalami kenaikan

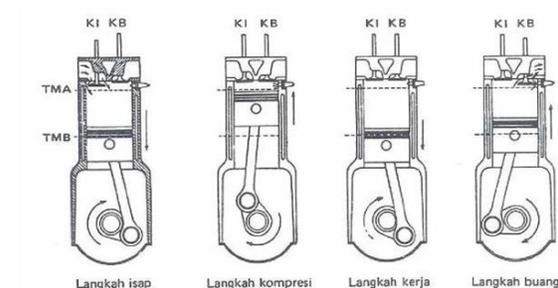
Langkah Kerja

Torak bergerak dari TMA ke TMB, sebagai akibat gaya dorong dari tekanan yang tinggi. Kedua katup masih dalam keadaan tertutup. Langkah inilah yang menghasilkan tenaga bagi poros engkol.

Langkah Buang

Torak bergerak dari TMB ke TMA. Katup buang membuka sesaat sebelum langkah kerja berakhir, yaitu sekitar 40° - 60° sebelum TMB dan akan menutup sekitar 10° - 30°

setelah TMA. Dengan dorongan gerakan torak ini, gas hasil pembakaran akan mengalir keluar silinder selama katup buang membuka. Setelah langkah ini, torak bergerak kembali menuju TMB dan memulai langkah isap kembali.



Gambar 2.2 Langkah Torak dan Katup Dalam pada Silinder Motor 4-Langkah Motor bakar torak juga dapat dibedakan menurut tipe penyalan pembakarannya, yaitu motor bensin dan motor diesel. Motor bensin disebut juga spark ignition (SI) engine, karena penyalan pembakarannya terjadi akibat adanya percikan api dari busi. Hal ini berbeda dengan motor diesel yang akan dijelaskan kemudian.

B. Tinjauan Umum Motor Diesel

Motor diesel merupakan *compression ignition (CI) engine*, dimana penyalan pembakarannya terjadi akibat adanya tekanan kompresi yang tinggi. Hal ini dapat terjadi karena konstruksi motor diesel menghasilkan perbandingan kompresi yang lebih tinggi dari motor bensin. Pada langkah isap hanyalah udara

segar yang masuk kedalam silinder. Terjadilah proses penyalaan untuk pembakaran ketika gandaan bahan bakar dan udara telah mencapai temperature nyala sendirinya (*autoignition temperature*).

Pembakaran pada motor diesel tidak terjadi sekaligus saat bahan bakar disemprotkan, tetapi memerlukan waktu. Waktu yang diperlukan antara saat bahan bakar mulai disemprotkan hingga mulai terjadi pembakaran disebut dengan periode persiapan pembakaran (*ignition delay*). Periode ini harus diusahakan sesingkat-singkatnya untuk mencegah terbentuknya terlalu banyak gandaan homogen antara bahan bakar dengan udara. Apabila gandaan homogen terbentuk terlalu banyak . ketika terjadi pembakaran laju kanikan tekanan pada yang dihasilkan akan terlalu tinggi. Hal ini merugikan karena menimbulkan detonasi (knocking) yang dapat merusak silinder. Lamanya periode pembakaran ini dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain waktu penyemprotan bahan bakar, tingkat turbulensi udara di ruang bakar.

Mesin diesel adalah sejenis mesin pembakaran dalam, lebih spesifik lagi, sebuah mesin pemicu kompresi, dimana bahan bakar dinyalakan oleh suhu tinggi gas yang dikompresi, dan bukan oleh alat berenergi lain (seperti busi).

Mesin ini ditemukan pada tahun 1892 oleh Rudolf Diesel, yang menerima paten pada 23 Februari 1893. Diesel menginginkan sebuah mesin untuk dapat digunakan dengan berbagai macam bahan bakar termasuk debu batu bara. Dia mempertunjukkannya pada Exposition Universelle (Pameran Dunia) tahun 1900 dengan menggunakan minyak kacang (biodiesel). Kemudian diperbaiki dan disempurnakan oleh Charles F. Kettering (wikipedia.org).

Pada tahun 1893 Dr. Rudolf Diesel mengadakan eksperimen sebuah motor percobaan. Setelah mengalami banyak kegagalan dan kesukaran, maka pada akhirnya pada tahun 1897 berhasil menemukan sebuah motor yang bekerja berdasarkan bahan bakar yang disemprotkan atau dihamburkan ke dalam ruang bakar dari motor dengan memakai tekanan udara. Tekanan udara ini didapat dari sebuah kompresor udara yang terdapat pada sisi motor tersebut. Motor tersebut sudah dapat menghasilkan putaran tetapi masih belum sempurna.

Pada tahun 1902 Dr. Rudolf Diesel bekerja sama dengan pabrik mesin Augsburg Nurnburg Jerman. Mereka terus mengadakan percobaan untuk menyempurnakan motor tersebut, sehingga

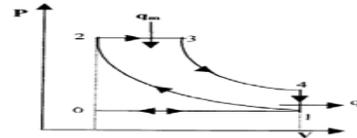
terbentuklah suatu motor yang dianggap sempurna dan mempunyai jaminan yang cukup untuk digunakan dalam dunia usaha. Atas jasanya maka motor itu dikenal dengan nama Motor Diesel (E, Karyanto, 2001).

Motor diesel banyak mempunyai persamaan dengan Motor Bensin terutama mengenai susunan konstruksi dari blok motor, silinder, piston, kepala silinder, karter, poros engkol, bantalan dari poros engkol, batang pemutar, kelengkapan dari katup-katup, susunan poros bubungan, bentuk dari manifold masuk dan manifold buang, sistem pendinginan dan sistem pelumasan. Perbedaannya adalah bahwa motor diesel tidak terdapat karburator, maka dengan demikian bahan bakar yang digunakan bukan bensin melainkan solar. Tidak terdapat kelengkapan listrik untuk pengapian antara lain, busi, platina, alat pembagi, *coil*, dan *icu*. Dan sebagai gantinya kelengkapan itu adalah sebuah pompa bahan bakar yang dilengkapi dengan pengabut (*injection nozzle*). Seperti halnya pada motor bensin, motor diesel juga terdapat jenis motor 4 tak dan 2 tak, dimana motor 4 tak jenis yang paling banyak digunakan (E, Karyanto, 2001).

Siklus Ideal Motor Bakar Diesel

Pada motor bakar Diesel, pengidealan siklusnya sama dengan motor bakar bensin

(siklus Otto). Hanya saja pada siklus Diesel pemasukan panas terjadi pada kondisi dimana tekanan konstan. Siklus diesel dapat digambarkan dalam diagram P terhadap v seperti pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Siklus Diesel

Sifat ideal yang dipergunakan untuk keterangan mengenai proses siklus Diesel adalah sebagai berikut:

- Fluida kerja dianggap sebagai gas ideal dengan kalor spesifik yang konstan.
- Langkah hisap (0-1) adalah proses tekanan konstan.
- Langkah kompresi (1-2) adalah proses isentropik.
- Pemasukan kalor (2-3) pada tekanan konstan.
- Langkah kerja (3-4) dianggap proses isentropik.
- Proses (4-1) dianggap sebagai pengeluaran kalor pada volume konstan.

Dibandingkan motor bensin, motor diesel memiliki beberapa kelebihan selain juga memiliki beberapa kekurangan.

Adapun Beberapa kelebihan dari motor diesel dibandingkan dengan motor bensin adalah :

1. Dapat dioperasikan dalam jangka waktu yang lama karena tidak menggunakan komponen pengapian seperti busi, koil, kondensor. Komponen sistem pengapian tersebut peka terhadap panas yang tinggi dan lama.
2. Dapat menggunakan bahan bakar kualitas rendah sehingga bahan bakar dapat diganti dengan bahan bakar lain tanpa kesulitan.
3. Momen kopel yang dihasilkan lebih tinggi dari pada motor bensin.

Kekurangan pada motor diesel :

1. Tekanan kompresi pada motor diesel lebih tinggi dari pada tekanan kompresi motor bensin, maka getaran yang ditimbulkan oleh mesin diesel akan lebih keras dari motor bensin sehingga suara motor diesel lebih kasar.
2. Bobot motor diesel untuk satuan motor yang sama lebih berat karena bahan yang digunakan untuk membuatnya lebih berat untuk mengimbangi kompresi yang tinggi (Boentarto, 1997).

Sistem Penyalaan motor diesel terdiri atas :
(E, Karyanto, 2001)

- Pengabut (*Injection nozzle*)
- Pompa bahan bakar (*Fuel injection pump*)
- Pengatur pompa bahan bakar (*Governor pump*)

- Saringan bahan bakar (*Fuel filter*)
- Katup pembebas (*Relief valve*)
- Pompa pemindah bahan bakar (*Fuel transfer pump*)
- Tangki bahan bakar (*Fuel service tank*)
- Pipa-pipa aliran bahan bakar (*Fuel pipe lines*)

Vi-Gas merupakan bahan bakar untuk kendaraan bermotor yang diproduksi oleh PT. PERTAMINA (Persero). Vi-Gas merupakan merek dagang bahan bakar LPG (Liquefied Petroleum Gas) untuk kendaraan atau lebih dikenal dengan LGV (Liquefied Gas for Vehicle). Selain diproduksi dari minyak bumi . Vi –Gas juga diperoleh dari penyulingan gas alam. Untuk itu, Vi-Gas di tujukan sebagai bahan bakar alternative mengingat cadangan minyak bumi yang semakin menipis. Selain itu, penggunaan Vi-Gas ini juga dapat mendukung program langit biru milik pemerintah, karena pada dasarnya emisi pembakarannya lebih bersih disbanding bahan bakar cair komersial yang sudah ada.

Adapun keunggulan Vi-Gas, antara lain :

1. Ramah Lingkungan
2. Pembakarannya bersih
3. Memiliki octane number ≥ 98
4. Memperpanjang umur mesin
5. Memperpanjang pemakaian pelumas

6. Suara mesin lebih halus serta bebas knocking
7. Tekanan Vi-Gas didalam tangki rendah 8 Bar – 12 Bar
8. Bebas Sulphur dan Timbal

Motor Diesel dengan Bahan Bakar Ganda Solar dan Vi-Gas

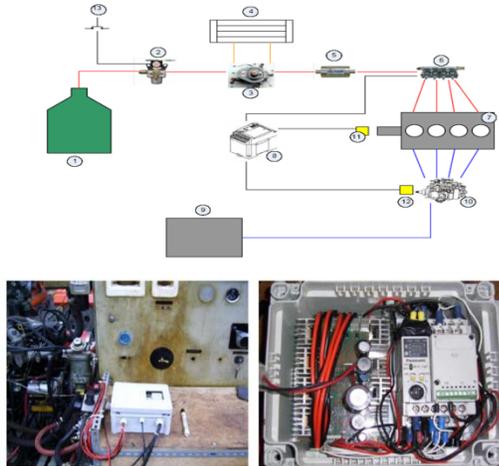
Motor Diesel dengan bahan bakar ganda solar dan Vi-Gas berarti motor digerakkan oleh tenaga hasil pembakaran dua bahan bakar sekaligus pada saat yang hamper bersamaan. Suplai solar lebih ditujukan sebagai penyala (*pilot igniters*) bagi Vi-Gas. Vi-Gas diinjeksikan pada saluran udara masuk (*intake manifold*) dekat silinder, yang kemudian bercampur dengan udara masuk. Maka saat langkah isap, yang masuk ke dalam silinder adalah campuran udara dan Vi-Gas. Saat langkah kompresi, ruang bakar mengalami kenaikan temperatur hingga mendekati temperatur penyalaan sendiri (*autoignition temperature*) Vi-Gas. Menjelang akhir langkah kompresi, solar di injeksikan ke dalam silinder. Solar akan terbakar lebih dahulu karena memiliki temperatur penyalaan sendiri yang lebih rendah dari Vi-Gas. Pembakaran solar ini mengakibatkan temperatur di dalam silinder menjadi lebih tinggi lagi hingga mencapai temperatur penyalaan Vi-Gas sehingga Vi-

Gas terbakar. Hal ini berlangsung setiap periode pembakaran.

Pada pengkonversian ini, tidak dilakukan perubahan spesifikasi motor. Modifikasi dilakukan hanya dengan menambahkan alat pengkonversi (*conversion kit*) untuk pengaplikasian Vi-Gas. Perangkat konversi dan sistem injeksi yang diaplikasikan mengacu pada sistem LPG *sequential injection sequential injection* yang telah terlebih dahulu diaplikasikan pada motor bensin. Sistem ini dipilih karena tergolong sistem terkini dalam aplikasi LPG yang diyakini dapat menghasilkan performa dan efisiensi yang baik.

Motor Diesel ini dapat dioperasikan baik dengan menggunakan solar sepenuhnya ataupun dengan bahan bakar ganda solar dan Vi-Gas. Pengalihan antara kedua pilihan operasi ini diatur dengan saklar *on/off*.

Salah satu perangkat penting yang ditambahkan dalam pengkonversian alat uji ini adalah sistem kontrol elektronik. Sistem kontrol ini berfungsi untuk mengatur injeksi Vi-Gas baik itu *timing* maupun jumlahnya. Selain itu, sistem ini juga mengatur perbandingan komposisi solar dan Vi-Gas dalam bahan bakar ganda pada setiap kondisi operasi motor.



Gambar 3.13 PLC yang digunakan



Gambar 3.15 lokasi injeksi Vi-Gas pada saluran udara masuk

pengatur tekanan dan filter gas. Katup ini digunakan untuk mengatur tekanan Vi-Gas secara manual. Selama pengujian katup variabel diatur konstan pada tekanan 0,5 bar. Pengaturan *throttle* pompa solar juga dimodifikasi dengan mempergunakan rack yang panjang, sehingga bukaan *throttle* dapat dijaga pada kondisi tetap disetiap posisi. Instalasi pengujian dapat dilihat pada gambar berikut



HASIL PENGUJIAN

Seperti telah disebutkan sebelumnya, rangkaian pengujian dilakukan dua kali. Pertama, motor dijalankan dengan bahan bakar solar sepenuhnya, yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.3. Kedua, motor dijalankan dengan bahan bakar ganda solar dan Vi-Gas yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.4

HASIL PENELITIAN

Alat-alat yang digunakan dalam pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.1.

No.	Nama Alat	Keterangan
1	Dinamometer	Mengukur Beban (Torsi)
2	Tabung Ukur 50 ml	Mengukur laju konsumsi solar
3	Tachometer	Mengukur putaran motor
4	Timbangan	Mengukur massa tabung Vi-Gas untuk memperoleh laju pemakaian Vi-Gas
5	Stopwatch	Mengukur waktu yang diperlukan untuk konsumsi solar maupun Vi-Gas

Tabel 4.1 Jenis Alat Ukur Yang digunakan

Untuk keperluan pengujian, digunakan tangki Vi-Gas yang berbentuk seperti tabung LPG rumah tangga. Selain itu, khusus untuk pengujian, digunakan katup variable yang dipasang antara

Tabel 4.3 Hasil Pengujian dengan Solar Sepenuhnya

Putaran(rpm)	Beban(N/m)	Persentase Beban(%)	Posisi Throttle (°)	Laju Pemakaian Solar (L/mn)
1200	0	0	5	1,14
	13,5	25	7	1,53
	27	50	8	1,88
	40,5	75	9	2,28
1500	0	100	10	2,73
	0	0	10	1,33
	13,5	25	12	1,82
	27	50	13	2,37
1800	0	75	14	2,81
	40,5	100	16	3,46
	0	0	15	1,75
	13,5	25	16	2,25
2100	27	50	17	2,81
	40,5	75	19	3,40
	54	100	20	4,09
	0	0	17	2,14
2400	13,5	25	18	2,73
	27	50	19	3,21
	40,5	75	20	3,83
	54	100	21	4,62
	0	0	18	2,25
	13,5	25	19	2,86
	27	50	20	3,75
	40,5	75	22	4,50
	54	100	23	5,29

Tabel 4.4 Hasil Pengujian dengan Bahan Bakar Ganda

Putaran (rpm)	Persentase Beban (%)	Persentase Solar Berdasarkan massa(%)	Persentase Vi-Gas Berdasarkan n massa(%)	Persentase Solar berdasarkan energi (%)	Persentase Vi-Gas berdasarkan energi(%)
1500	0	19,37	80,63	18,08	81,92
	25	15,23	84,77	14,16	85,84
	50	15,37	84,63	14,30	85,70
	75	14,56	85,44	13,53	86,47
	100	14,89	85,11	13,84	86,16
1800	0	23,24	76,76	21,76	78,24
	25	19,97	80,03	18,64	81,36
	50	18,27	81,73	17,03	82,97
	75	24,38	75,62	22,84	77,16
	100	33,94	66,06	32,06	67,94
2100	0	36,62	63,38	34,66	65,34
	25	34,71	65,29	32,81	67,19
	50	16,30	83,70	15,17	84,83
	75	12,21	87,79	11,32	88,68
	100	26,42	73,58	24,80	75,20
2400	0	46,31	53,69	44,20	55,80
	25	40,88	59,12	38,83	61,17
	50	42,93	57,07	40,86	59,14
	75	29,68	70,32	27,93	72,07
	100	23,74	76,26	22,23	77,77

Putaran (rpm)	Beban (Nm)	Persentase Beban (%)	Lama Injeksi (ms)	Posisi Throttle (°)	Laju Konsumsi Solar (L/jam)	Laju Konsumsi Vi-Gas (L/jam)
1200	0	0	5	2	0,22	1,80
	13,5	25	5	2	0,24	3,29
	27	50	6	2	0,23	4,06
	40,5	75	6	2	0,39	4,31
	54	100	6	3	0,31	4,03
1500	0	0	3	8	0,57	3,86
	13,5	25	5	8	0,49	4,42
	27	50	7	8	0,51	4,54
	40,5	75	10	8	0,53	4,99
	54	100	12	8	0,58	5,33
1800	0	0	3	12	0,74	3,97
	13,5	25	6	12	0,70	4,54
	27	50	12	12	0,75	5,44
	40,5	75	13	13	1,04	5,22
	54	100	12	14	1,41	4,42
2100	0	0	2	16	1,62	4,54
	13,5	25	3	15	1,34	4,08
	27	50	5	14	0,73	6,03
	40,5	75	6	14	0,73	8,51
	54	100	5	16	1,49	6,69
2400	0	0	3	17	1,65	3,09
	13,5	25	3	17	1,70	3,97
	27	50	3	17	1,68	3,61
	40,5	75	5	17	1,75	6,69
	54	100	7	17	1,59	8,27

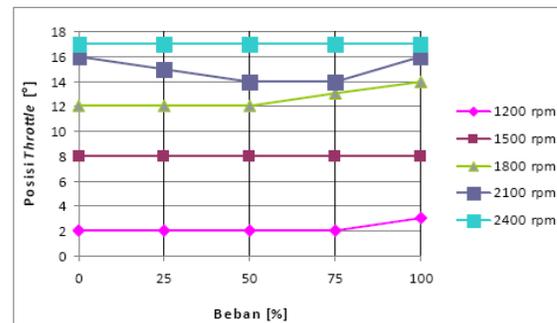
Tabel 4.5 Perbandingan Komposisi dalam bahan bakar ganda

Putaran (rpm)	Persentase Beban (%)	Persentase Solar Berdasarkan massa(%)	Persentase Vi-Gas Berdasarkan n massa(%)	Persentase Solar berdasarkan energi (%)	Persentase Vi-Gas berdasarkan energi(%)
1200	0	16,69	83,31	15,54	84,46
	25	10,42	89,58	9,66	90,34
	50	8,49	91,51	7,85	92,15
	75	12,72	87,28	11,81	88,19
	100	10,96	89,04	10,16	89,84

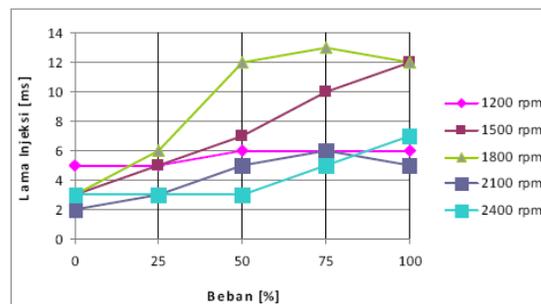
Persentase Komposisi solar dan Vi-Gas merupakan data yang diperoleh dalam

pengujian, dengan cara mengukur laju konsumsi solar dan Vi-Gas masing-masing menggunakan tabung ukur dan timbangan. Kemudian, kedua data laju konsumsi ini diolah sehingga diperoleh data persentase komposisi yang disajikan berdasarkan konsumsi massa dan energinya. Data konsumsi energy diperoleh dengan mengalikan masing-masing laju konsumsi massa solar dan Vi-Gas dengan nilai kalor minimum (LHV) masing-masing bahan bakar. Perlu diketahui, LHV solar adalah 42.610 kJ/kg dan LHV Vi-Gas adalah 46.400 kJ/kg.

a. Posisi Throttle dan Lama Injeksi



Gambar 4.2 Grafik Posisi throttle

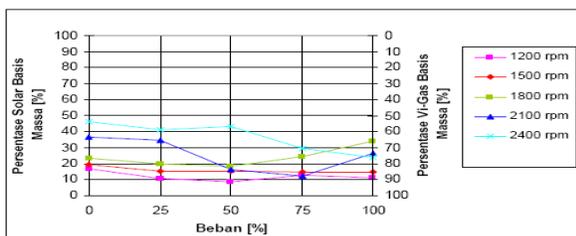


Gambar 4.3 Grafik Lama Injeksi Vi-Gas

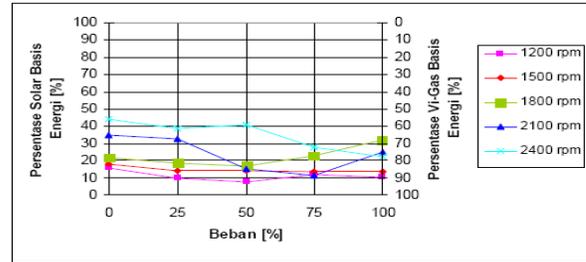
Dari gambar 4.2, terlihat pada posisi throttle cenderung tetap sesuai kenaikan

beban. Sedangkan pada gambar 4.3, terlihat bahwa injeksi Vi-Gas cenderung semakin besar. Hal ini sesuai dengan tujuan penggunaan Vi-Gas, dimana penambahan daya dilakukan dengan penambahan konsumsi Vi-Gas. Fenomena yang berbeda terjadi pada kenaikan beban dari 75% ke 100% pada putaran 1800 dan 2400 rpm. Pertambahan beban tidak bisa diikuti dengan menambah lama injeksi Vi-Gas. Hal ini dikarenakan apabila lama injeksi dinaikkan sehingga jumlah Vi-Gas semakin banyak, maka justru oksigen yang masuk ke dalam ruang bakar akan berkurang. Hal ini menimbulkan detonasi dan mengurangi pembakaran yang terjadi. Daya yang dihasilkan pun akan turun dan bila Vi-Gas terus ditambah, motor akan mati. Oleh karena itu, lama injeksi Vi-Gas perlu diturunkan dan posisi bukan throttle diperbesar.

b. Komposisi Solar dan Vi-Gas dalam Bahan Bakar



Gambar 4.4 Grafik Presentase Solar dan Vi-Gas basis massa



Gambar 4.5 Grafik Presentase Solar dan Vi-Gas basis energy

Dari gambar 4.4 dan 4.5, terlihat bahwa persentase Vi-Gas cenderung meningkat dengan meningkatnya beban Hal ini sesuai dengan hasil data pada gambar 4.2 dan 4.3. Lama injeksi Vi-Gas bertambah sedangkan posisi *throttle* cenderung tetap.

Bila diamati untuk beban yang sama dan putaran yang berbeda, terlihat bahwa persentase Vi-Gas cenderung menurun dengan semakin meningkatnya putaran. Persentase terkecil terdapat pada putaran 2400 rpm dan beban nol, yaitu sebesar 55,8 %. Kecenderungan ini dikarenakan dengan semakin cepatnya putaran, gerak torak dan gerak membuka serta menutupnya katup isap lebih cepat. Akibatnya, waktu untuk terbakarnya Vi-Gas lebih singkat. Selain itu, lama injeksi Vi-Gas juga tidak dapat panjang, karena langkah isap semakin pendek yang diikuti lama bukanya katup isap yang pendek juga. Hal yang sebaliknya terjadi pada putaran yang lebih rendah. Waktu terbakarnya Vi-Gas menjadi lebih lama. Langkah isap dan waktu terbukanya

katup isap juga lebih lama, sehingga jumlah Vi-Gas yang diinjeksikan pun juga lebih banyak. Oleh karena itu, persentase Vi-Gas pada putaran rendah ini menjadi lebih tinggi. Persentase tertinggi tercapai pada putaran 1200 rpm dan beban 50% yaitu sebesar 92,15%.

Akan tetapi, hal berbeda terjadi pada kondisi putaran 1800 dan beban 100%. Persentase Vi-Gas justru lebih sedikit dibandingkan dengan putaran di atasnya yaitu 2100 rpm dan 2400 rpm. Hal ini dikarenakan lama injeksi Vi-Gas telah cukup panjang, bila diperbesar lagi pasokan oksigen akan berkurang. Oleh karena itu, posisi bukaan *throttle* diperbesar dan injeksi dikurangi.

Kesimpulan

1. Dengan adanya sistem kontrol yang mengatur *timing* dan jumlah injeksi, Vi-Gas dapat menjadi bahan bakar bagi motor diesel dengan tetap memerlukan solar sebagai penyala awalnya.
2. Persentase komposisi Vi-Gas dalam bahan bakar ganda dapat mencapai 90%.
3. Pada tiap putaran, lama injeksi Vi-Gas dapat diperbesar seiring dengan kenaikan beban. Sedangkan, posisi bukaan *throttle* dapat dijaga konstan. Hal ini mengindikasikan penambahan daya dapat dilakukan dengan memperbanyak jumlah

Vi-Gas yang diinjeksikan sementara suplai solar cenderung dapat dijaga konstan.

4. Hubungan antara posisi bukaan *throttle pompa solar* dengan lama injeksi Vi-gas tidak menunjukkan hubungan yang linier.

DAFTAR PUSTAKA

- Pudjanarsa Astu dan Narsuhud Djati. 2006. *Mesin Konversi Energi*. Andi. Jogjakarta.
- Muljowidodo Kartidjo, 1996. *Mekatronika, Kids* : Bandung
- Thomas Husanto, 2007. *PLC (Programmable Logic Controller) FP Sigma*, ANDI : Yogyakarta.
- Trommelmans, 1993. J. Mesin Diesel, Prinsip- Prinsip Mesin Diesel Untuk Otomotif. PT.Rosda Jayaputra : Jakarta.
- W. Arismunandar, 2005. *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*, Edisi 5, Penerbit ITB : Bandung.
- Yogaswara Eka. 2004. *Motor Bakar Torak*. Armico : Bandung.
- Boentarto. 2006. *Panduan Praktis Tune-Up Mesin Mobil*. Rineka Cipta
- Daryanto. 2000. *Sistem Pengapain Mobil*. Rineka Cipta. Jakarta.
- L.A. de Bruijn dan L. Muilwijk. 1979. *Motor Bakar*. Bharata Jakarta.
- Soenarta Nakoela. 2007. *Motor Serba Guna*. Pradnya Paramita. Jakarta
- Sutarto Andi. 2000. *Kelistrikan Otomotif*. Surakarta.
- Yogaswara, Eka. 2005. *Motor Bakar Torak*. Penerbit Armico. Bandung.
- Sistem Pengapian Konvensional*. 2000. VEDC Malang.