

# Pengaruh Mekanisme *Continuously Variable Timing Control* (CVTC) Terhadap Performa Motor Bakar 4 Tak 1500 CC Berbahan Bakar Bensin

Enzo Wiranta Battra Siahaan\*, Rotama Arifin Sidabutar, Hodmiantua Sitanggang

Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Darma Agung, Medan, Indonesia  
Email: \*enzo.battra84@gmail.com, rotamaarifinsidabutar@gmail.com, hodmiantuasitanggang@gmail.com  
(\* : enzo.battra84@gmail.com)

## Abstrak

Penerapan teknologi *Continuously Variable Timing Control* (CVTC) pada mesin bensin 4-tak berkapasitas 1500 cc, seperti pada Nissan Grand Livina, terbukti secara signifikan meningkatkan performa mesin. CVTC memungkinkan pengaturan waktu buka-tutup katup yang optimal di berbagai putaran mesin, sehingga meningkatkan daya puncak, efisiensi volumetrik, dan respons akselerasi tanpa mengorbankan konsumsi bahan bakar dan emisi. Penggunaan motor bakar Otto dengan konfigurasi 4 silinder dan mekanisme DOHC CVTC menunjukkan keseimbangan ideal antara performa, efisiensi ruang mesin, kenyamanan, serta biaya perawatan. Hasil penelitian terhadap performansi mesin menunjukkan tekanan efektif rata-rata sebesar 1587,1535 kPa dan daya indikator sebesar 39,63 kW pada putaran 2000 rpm. Seiring peningkatan putaran mesin, daya indikator dan daya mesin meningkat secara linear, dengan torsi maksimum sebesar 147,98 Nm tercapai pada 4400 rpm sesuai spesifikasi pabrik. Grafik hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan overlap katup mendukung peningkatan daya mesin. Konsumsi bahan bakar spesifik (Sfc) pada 2000 rpm tercatat sebesar 0,2249103 gram/kW-jam, menandakan efisiensi pembakaran yang baik, sementara efisiensi mekanis mencapai 78,12% dan efisiensi volumetrik 10,94%, mengindikasikan adanya potensi untuk peningkatan pengisian udara. Secara keseluruhan, mekanisme CVTC terbukti efektif dalam memperbaiki performa mesin, meningkatkan efisiensi bahan bakar, serta mengurangi emisi, khususnya pada kondisi kecepatan mesin menengah hingga rendah.

**Kata Kunci:** Motor Bakar Otto; *Continuously Variable Timing Control* (CVTC); Performa Mesin; Efisiensi Bahan Bakar

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi otomotif terus bergerak menuju peningkatan efisiensi dan performa mesin, sejalan dengan tuntutan terhadap pengurangan emisi dan konsumsi bahan bakar yang lebih rendah. Salah satu inovasi penting dalam desain mesin pembakaran dalam adalah teknologi *Continuously Variable Timing Control* (CVTC). Mekanisme ini memungkinkan pengaturan waktu buka-tutup katup secara dinamis tergantung pada kondisi operasi mesin, sehingga mampu mengoptimalkan proses pembakaran pada berbagai rentang putaran mesin [1]; [2].

CVTC bekerja dengan mengubah sudut kerja camshaft secara kontinu untuk mengatur waktu buka dan tutup katup intake maupun exhaust [3]. Pengaturan ini tidak hanya mempengaruhi jumlah campuran udara-bahan bakar yang masuk ke ruang bakar, tetapi juga menentukan karakteristik tekanan dan suhu pada saat pembakaran berlangsung. Studi menunjukkan bahwa penerapan CVTC pada mesin bensin dapat meningkatkan volumetric efficiency hingga 10–15% dan menghasilkan peningkatan daya puncak sebesar 5–10% dibandingkan dengan mesin tanpa teknologi ini [4]; [5].

Pada mesin 4 tak dengan kapasitas 1500 cc, teknologi CVTC menjadi semakin relevan karena mesin di kelas ini banyak digunakan dalam kendaraan komersial dan pribadi yang membutuhkan keseimbangan antara performa dan efisiensi. Penyesuaian waktu katup yang akurat pada mesin 1500 cc dapat memberikan keuntungan dalam hal respons akselerasi, torsi putaran rendah hingga menengah, serta konsumsi bahan bakar yang lebih hemat [6][7]. Namun, efektivitas teknologi ini sangat bergantung pada strategi kontrol yang diterapkan dan karakteristik desain mesin itu sendiri.

Sejumlah penelitian terbaru telah mengkaji pengaruh teknologi variabel valve timing terhadap performa mesin bensin. Misalnya, [8] menemukan bahwa penggunaan CVTC dapat meningkatkan daya spesifik mesin sebesar 8% pada putaran menengah, sementara emisi HC dan NO<sub>x</sub> juga mengalami penurunan. Di sisi lain, penelitian oleh [9] menegaskan bahwa optimalisasi timing katup dapat memperbaiki kurva torsi mesin, terutama dalam kondisi beban parsial. Meskipun demikian, karakteristik mesin 1500 cc memiliki dinamika tersendiri yang memerlukan analisis khusus terkait pengaruh perubahan timing katup terhadap output daya mesin [10].

Masih terdapat kesenjangan dalam literatur mengenai pengaruh CVTC khusus pada mesin bensin 4 tak 1500 cc, terutama dalam konteks variasi daya output pada berbagai kondisi operasional, baik dalam mode akselerasi maupun cruising [11]. Oleh karena itu, studi lebih mendalam diperlukan untuk memahami bagaimana perubahan timing katup yang kontinu dapat dimanfaatkan secara optimal untuk meningkatkan daya mesin tanpa mengorbankan efisiensi bahan bakar dan emisi gas buang [12].

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi secara eksperimental pengaruh mekanisme CVTC terhadap daya mesin pembakaran dalam 4 tak 1500 cc berbahan bakar bensin. Fokus utama penelitian adalah mengukur

perubahan daya mesin pada berbagai tingkat putaran (RPM) dengan menggunakan CVTC aktif dibandingkan dengan kondisi baseline (non-CVTC) [13]. Selain itu, penelitian ini akan menganalisis hubungan antara sudut pembukaan katup variabel terhadap parameter performa mesin seperti daya maksimum, daya spesifik, dan efisiensi volumetrik [14].

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif tentang penerapan teknologi CVTC pada mesin bensin berkapasitas menengah. Hasil penelitian ini juga diharapkan menjadi referensi teknis untuk pengembangan mesin-mesin masa depan yang lebih efisien, bertenaga, dan ramah lingkungan, sejalan dengan tren global menuju kendaraan berbahan bakar fosil yang lebih bersih dan berkelanjutan [15].

## 2. TINJAUAN TEORITIS

### 2.1 Bagian-Bagian Utama Motor Bakar

Komponen utama dari mesin yang ada pada kendaraan Nissan adalah yang termasuk seperti di bawah ini :

1. Cylinder Head
2. Blok mesin
3. Piston – piston
4. Connecting rod
5. Crankshaft
6. Camshaft
7. Katup-katup
8. Intake manifold
9. Combustion chamber
10. Exhaust system
11. Sistem pengapian
12. Sistem control bahan bakar
13. Sistem pendinginan

Pada Gambar 1 dibawah ini adalah contoh dari beberapa komponen utama mesin DOHC CVTC.



**Gambar 1.** Mesin DOHC CVTC (Nissan Grand Livina 2007)

### 2.2 Pemilihan Jenis Motor Bakar

Dari spesifikasi tugas yang diberikan yaitu Analisa Pengaruh Mekanisme Katup Terhadap Daya Pada Motor 4 Tak Dengan Bahan Bakar Bensin Mesin 1500 CC Nissan Grand Livina. Dengan system *Double Over Head Camshaft Continuesly Variable Timing Control* (DOHC CVTC). Pada Mobil Nissan Grand Livina perencanaan jenis motor bakar yang digunakan adalah motor bakar Otto. Mobil Nissan Grand Livina seperti dengan mesin type *L10 HR1.5 DE* adalah mengadopsi sistim mekanisme katup DOHC CVTC sebagai variabel sistemnya.

### 2.3 Pemilihan Jenis Siklus Kerja

Setiap motor bakar penggerak dalam operasinya dalam menghasilkan tenaga senantiasa bekerja dalam satu siklus tertentu. Demikian juga halnya dengan motor bakar otto/bensin. Ada dua sistem siklus kerja pada motor bakar yaitu:

1. Siklus motor 4 langkah langkah.
2. Siklus motor 2 langkah langkah.

## 2.4 Pemilihan Jumlah Silinder

Pemilihan jumlah silinder berkaitan dengan jenis kendaraan dan ukuran body, posisi mesin, serta susunan silinder. Dalam hal ini jelas kendaraan yang dirancang jenis mobil Sedan, maka faktor kenyamanan dan faktor lebih tahan merupakan hal terpenting dari jenis kendaraan. Bila motor bakar direncanakan 6 silinder maka hal ini tidaklah sesuai sebab volume silinder akan lebih besar, sehingga memerlukan ruang mesin yang besar pula dan hal ini akan menimbulkan momen torsi yang tidak merata sehingga akan menimbulkan getaran. Pada umumnya kendaraan yang memiliki volume (1500 ÷ 2000) cc menggunakan 4 dan 6 silinder. Pada perencanaan ini dipilih 4 silinder karena:

1. Apabila digunakan 6 silinder maka akan mengakibatkan ruang penumpang yang sempit, kedua ruang yang terpasang untuk mesin lebih panjang dibanding 4 silinder.
2. Dengan demikian banyaknya jumlah silinder maka memerlukan perawatan lebih teliti, sehingga memperbesar biaya perawatan.
3. Walaupun pada mesin 4 silinder mempunyai getaran lebih besar dibanding dengan 6 silinder tetapi hal ini dapat diatasi dengan membuat sistem balancing yang baik, dan pada mesin 4 silinder ini juga memiliki suara yang bising dibanding 6 silinder. Adapun cara untuk mengatasi ini adalah dengan membuat dinding ruang mesin dan plat yang sedikit lebih tebal dari yang 6 silinder dan memasang peredam sehingga penumpang tidak merasakan atau mendengar suara bising yang dapat mengganggu ketenangan dan kenyamanan berkendara.

## 2.5 Kinematika Torak

Ada dua mekanisme gerak yang terjadi pada motor bakar, yaitu gerak bolak balik dan gerak putar. Gerak bolak balik dilakukan oleh komponen torak, batang torak (*connecting road*) dan katup. Gerak putar dihasilkan oleh komponen poros engkol, poros bubungan, dan roda penerus (*flywheel*). Torak bergerak translasi bolak – balik di dalam silinder antara TMA dan TMB dengan kecepatan purata sebanding dengan kecepatan poros engkol. Jadi, dalam sekali putaran poros engkol, torak menjalani lintasan yang sama dari TMA ke TMB dan sebaliknya sebanyak sebanyak dua kali langkahnya.

## 2.6 Tekanan Efektif Purata

Ukuran kinerja motor yang lebih bermanfaat diperoleh dengan membagi kerja per siklus dengan volume yang dipindahkan dari silinder per siklus. Parameter yang dihasilkan mempunyai satuan gaya persatuan luas dan disebut dengan tekanan efektif purata (*Mean Effective Pressure, MEP*). Nilai maksimum BMEP motor bensin berada dalam kisaran 850 sampai 1050 kPa pada kecepatan dimana diperoleh torsi maksimum (sekitar 3000rpm). Untuk motor bensin yang dilengkapi turbocarjer, BMEP maksimum berada dalam kisaran 1250 sampai 1700 kPa. Untuk motor diesel empat langkah, BMEP maksimum berada dalam kisaran 700 sampai 900 kPa. Untuk motor diesel empat langkah yang dilengkapi turbocarjer, nilai maksimum BMEP secara khas berada dalam kisaran 1000 sampai 1200 kPa, sementara untuk motor yang dilengkapi *aftercooled turbocarger* dapat naik sampai 1400 kPa.

## 2.7 Torsi dan Daya

Torsi dan daya adalah ukuran yang menggambarkan *output* kinerja dari motor pembakaran dalam. Kedua parameter ini menjelaskan dua elemen kinerja yang berbeda, tergantung penggunaan kendaraan. Daya motor bakar diperhitungkan atas daya yang dibutuhkan oleh kendaraan, muatan serta perlengkapan. Didalam pengoperasiannya faktor-faktor hambatan dan tahanan perlawanan yang dialami kendaraan tersebut antara lain:

1. Pemilihan berat kendaraan
2. Berat total kendaraan
3. Tahanan gelinding (*rolling resistance*)
4. Tahanan angin (*air resistance*)
5. Tahanan akibat transmisi (*transmission resistance*)

## 2.8 Mekanisme Katup (Valve Mechanism)

Mekanisme katup adalah suatu mekanisme yang mengatur kerja sistem katup atau waktu terbuka dan tertutup katup masuk dan katup keluar pada suatu mesin. Ada beberapa sistem mekanisme katup yang ada dan telah dikembangkan dan diadopsi oleh beberapa jenis merk dagang kendaraan roda empat. Sistem mekanisme katup tersebut antara lain:

1. *Double Over Head Camshaft (DOHC) Variable Valve Timing – intelligent (VVTI)* yang dikembangkan dan dipakai oleh kendaraan roda empat merk Toyota.
2. SOHC dan DOHC *Variable Valve Timing and Lift Electronic Control (VTEC)* dan I-VTEC yang dikembangkan dan dipakai oleh kendaraan roda empat merk Honda.
3. MTEC dipakai oleh kendaraan roda empat merk Chevrolet.
4. *Nissan Valve Timing Control System (NVTCS)* dengan CVTC dipakai oleh kendaraan roda empat merk Nissan.

5. *Mitsubishi Innovative Valve Timing and Lift Electronic Control (MIVEC)* dipakai oleh kendaraan roda empat merk Mitsubishi.

## 2.9 Tipe Mekanisme Katup

Berdasarkan posisi poros bubungan dan katup ditempatkan, mekanisme katup dibedakan menjadi mekanisme *over head valve (OHV)* dan mekanisme *over head camshaft (OHC)*. Motor OHV mempunyai ciri fisik, yaitu poros bubungan berada pada blok silinder sedangkan katup berada di kepala silinder. Sedangkan motor OHC memiliki poros bubungan di kepala silinder, dimana tuas katup (*rocker armn*) dan katup-katup digerakkan secara langsung oleh poros bubungan.

Pada bubungan OHV, karena letak poros bubungan berjauhan dengan katup, maka dibutuhkan banyak mekanisme untuk menggerakkan katup, dari poros bubungan melalui pengangkat katup (*valve lifter*), batang penekan (*pushrod*) dan tuas katup (*rocker arm*). Akibat banyaknya mekanisme yang digunakan, mesin ini menjadi bersuara agak kasar dan kecepatan pembukaan/penutupan katup menjadi lambat.

Pada mesin OHC, baik katup maupun poros bubungan terletak di kepala silinder sehingga mekanisme yang dibutuhkan untuk menggerakkan katup menjadi lebih sedikit. Akibatnya suara mesin lebih halus. Jenis mesin ini disebut juga dengan mesin poros bubungan tunggal di kepala silinder (*single overheadcamshaft, SOHC*). Semakin dekat poros bubungan dipasang batang katup, semakin besar efisiensi mekanik sistem.

Mesin *Double Overhead Camshaft*, katup buang memiliki poros bubungan yang masing-masing terpisah. Bubungannya langsung menyentuh batang katup sehingga mekanisme yang digunakan tidak banyak. Mesin DOHC biasanya memiliki 2 katup masuk atau lebih. Demikian pula katup buangnya.

Berdasarkan komponen pemindah putaran dari poros engkol keporos bubungan, mekanisme katup dibedakan menjadi:

1. Tipe gigi timing (*timing gear*)
2. Tipe sabuk timing (*timing belt*)
3. Tipe rantai timing (*timing chain*)

## 2.10 Pemilihan Sistem Mekanisme Katup

Faktor pemilihan jenis mekanisme katup adalah berdasarkan kemampuan teknologinya dalam mengaktifkan tenaga (daya) mesin, meningkatkan efisiensi mesin, mengurangi emisi gas buang, keefektifan dan efisiensinya dalam mereduksi konsumsi bahan bakar. Pemfokusan dalam hal mereduksi konsumsi bahan bakar, yang terpenting adalah bagaimana tersedianya sistem yang baik pada kontrol mesin, pada mesin itu sendiri, alat-alat yang membantu dan keseluruhan sistem transmisi yang baik. Pada pengoptimuman waktu untuk memperbaiki (mereduksi) konsumsi bahan bakar, dimana, perbedaan konsumsi bahan bakar tergantung pada kondisi pengoperasian (kerja). Bisa juga disebut, pada suatu kasus saat tidak terbebani (bekerja), sisa gas pembakaran berkurang dan untuk memperbaiki pada saat pembakaran, katup masuk terbuka secara perlahan dan katup buang tertutup secara cepat. Maksudnya, pada saat operasi (kerja) tidak penuh (beban sebagian), untuk mengurangi kerugian pemompaan, pada katup masuk terbuka secara cepat, pada katup buang tertutup secara perlahan.

## 2.11 Mekanisme Katup CVTC

Nissan CVTC sistem sudah lebih canggih dari awal sistem *variabel-valve-timing* yang telah dikembangkan oleh pabrikan-pabrikan lain, yang akan hanya merubah waktu kedua-dua *valve intake/exhaust* selama terbuka pada periode tumpang tindih pada saat transisi antara exhaust dan langkah induksi.

CVTC membuktikan kesuksesan dalam meningkatkan karakteristik mesin, mesin ini menemukan solusi yang cepat dalam meningkatkan karakternya, dalam satu bentuk atau lainnya, pada tiap-tiap Nissan Model, gas/electric adalah sebagai sarana Nissan hybrid. Sistem CVTC telah dipakai pada mesin-mesin (*Double-overhead camshaft*) standar ini adalah lebih sederhana-tiga tekuk cara dua-valve sistem adalah hanya untuk intake valve; pada exhaust valve beroperasi seperti pada mesin *non-CVTC*. Adapun desain dan struktur sistem mekanisme katup CVTC adalah seperti gambar dibawah ini:



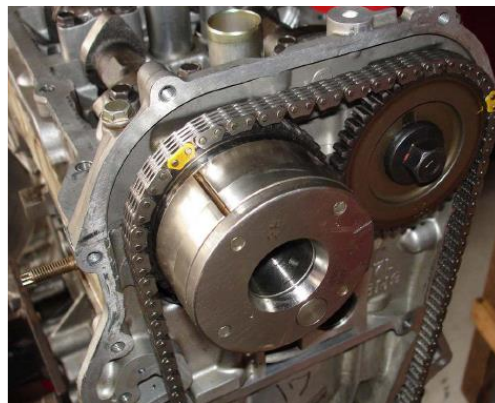
**Gambar 2.** Engine DOHC CVTC

### 2.12 Mekanisme Katup CVTC

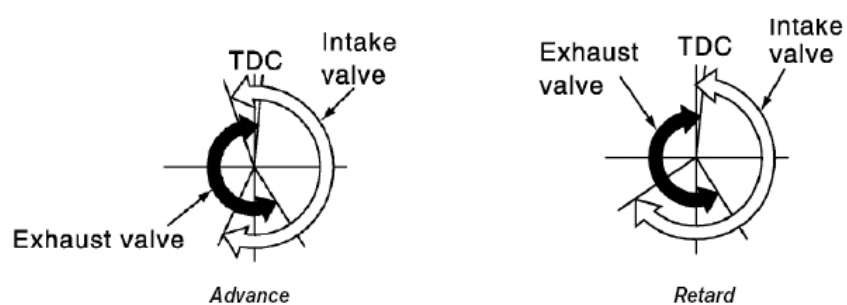


**Gambar 3.** Perangkat CVTC

Sistem CVTC memaksimalkan tenaga (*horsepower*) engine, *torque* dan efisiensi. Sistem ini memungkinkan Intake *Camshaft* untuk *ADVANCE* maksimal 15°.



**Gambar 4.** Perangkat CVTC

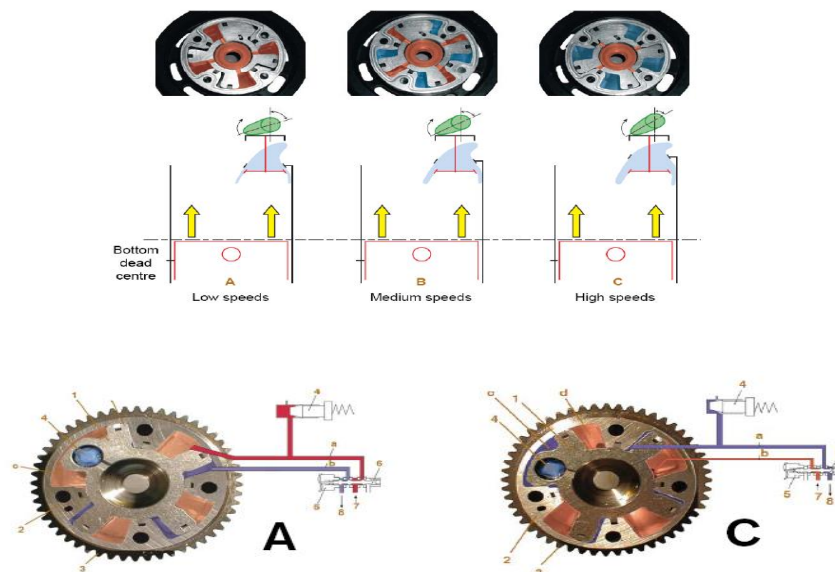


**Gambar 5.** Advance dan Retard Katup

### 2.13 Bagian-Bagian Yang Ada Pada Perangkat CVTC

1. *Vane* terpasang pada *Camshaft*
2. *Honeycomb cylinder* terpasang pada *drivegear*
3. *Drive Gear (Sprocket)*
4. *Cover*
5. *Locking piston*
6. *Sealing ring*
7. *Ring spring*
8. Baut pengikat

*Honeycomb Cyl (2)* adalah tempat beradanya oli bertekanan dari *control solenoid valve*. Komputer mengaktifkan S/V dengan pulsa arus. Pembukaan dari *intake valve* dapat di-majukan (*Advance*) atau dimundurkan (*Retard*) dengan menaikkan atau menurunkan panjang pulsa. Komputer menstabilkan posisi (2) untuk menjaga posisi yang diperlukan.



**Gambar 6.** Kinerja Perangkat CVTC

Pada putaran tinggi [C], *intake valve* akan membuka lebih lama memungkinkan campuran bahan bakar masuk lebih lama/lebih banyak. Sebaliknya pada putaran rendah [A]. Inersia gas adalah rendah sehingga akan mencegah campuran bahan bakar [gas] masuk di awal pembukaan *intakevalve* yang dapat menyebabkan kehilangan torque karena gas akan berbalik arah [*poor filling*]. Semakin tinggi putaran engine semakin lama intake valve akan ditunda [*delay*]. Pada engine QR-series, variasi penundaan ini bervariasi antara 0° - 30° *crankshaft*.

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen. Eksperimen dilakukan di bengkel dealer Nissan Gatot Subroto selama 2 bulan. Bahan yang digunakan minyak bensin sedangkan alat yang digunakan adalah Computized On Board System Universal Tester (CONSULT) (dapat dilihat pada gambar 7) dan Dynamometer. Objek penelitian yang digunakan untuk analisa pengaruh katup CVTC adalah mesin Nissan Grand Livina 1.5 M/T dengan spesifikasi mesin dapat dilihat pada tabel 2.

**Tabel 2.** Spesifikasi Mesin Nissan Grand Livina 1.5 L M/T

No	Data Spesifikasi Perhitungan Daya	
1	Daya	109PS
2	Putaran	6000rpm
3	Kapasitas	1498cc
4	Momen maksimum	15,1Kg.m pada Putaran ( 4400rpm )
5	Type	<i>Cylinder inline, 16 Valve, DOHC, CVTC</i>
6	<i>Efisiensi Mekanik</i>	85 %(nm)
7	Diameter Piston	77.965-77.980mm (3,0694-3.0700in)

No	Data Spesifikasi Perhitungan Daya	
8	Fuel System	ECCS
9	Piston to Cylinder Bore Clearence	0.020-0.050mm
10	Diameter Piston	77.965-77.980mm (3,0694-3.0700in)
11	Standard inner diameter Cylinder bore	78,000-78,015(3,0708-3,0714in)
12	Out of round(Difference between "X" and "Y")	0,015mm(0,0006in)
13	Taper Limit (Difference between "A" and "C")	0,010mm (0,00040in)



**Gambar 7.** CONSULT(Computerized On Bord System Universal Tester) III PLUS

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Parameter Performansi Mesin Nissan Grand Livina 1500 CC

#### 4.1.1 Tekanan Efektif Rata-Rata

Dengan nilai  $W_{net}$  = 0,594389 kJ dan besarnya volume langkah  
 ( $V_d = 3,745 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ )

maka berdasarkan tekanan efektif rata-rata adalah :

$$mep = \frac{0,594389 \text{ kJ}}{3,745 \times 10^{-4} \text{ m}^3}$$

$$mep = 1587,1535 \text{ kPa}$$

#### 4.1.2. Daya Indikator

Daya indikator adalah daya yang di hasilkan dalam satu silinder motor sehingga merupakan basis perhitungan atau penentu efisiensi pembakaran atau besarnya laju panas akibat pembakaran di dalam silinder. Besarnya nilai daya indikator ( $W_i$ ) pada putaran 2000 rpm dapat di rumuskan :

$$W_i = \frac{W_{net} \times N}{n}$$

$$W_i = (0,594389 \times 2000/60)/2$$

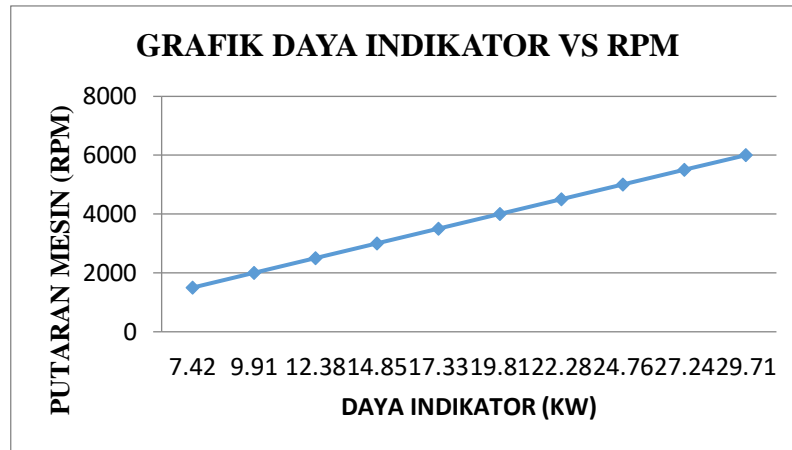
Untuk 4 silinder adalah  $4 \times 9,91 \text{ Kw} = 39,63 \text{ kW}$

Berikut akan di tampilkan tabel dan grafik daya indikator hasil perhitungan :

**Tabel 3.** Daya Indikator

Putaran Mesin (rpm)	Daya Mesin (Kw)
1000	4,95
1500	7,42
2000	9,91
2500	12,38
3000	14,85
3500	17,33
4000	19,81

Putaran Mesin (rpm)	Daya Mesin (Kw)
4500	22,28
5000	24,76
5500	27,24



**Gambar 8.** Grafik Daya Indikator Mesin

Sesuai dengan gambar 8 dapat kita perhatikan bahwa seiring dengan bertambahnya putaran mesin, otomatis akan meningkatkan daya indikator. Hal ini secara terus menerus akan meningkat seiring dengan putaran mesin yang bertambah.

#### 4.1.3 Torsi dan Daya

Torsi yang di dihasilkan dari sebuah mesin dapat di ukur dengan menggunakan *dynamometer* yang di kopel dengan poros *output* mesin. Oleh karena sifat *dynamometer* yang bertidak seolah-olah seperti sebuah rem dalam sebuah mesin, maka daya yang di dihasilkan poros output ini sering disebut sebagai daya rem (*brake power*) yaitu:

$$W_b = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} T$$

$$W_b = \frac{2 \times \pi \times 2000}{60} \times 147,9 \text{ Nm}$$

$$W_b = 30960,4 \text{ Nm / det}$$

$$W_b = 30,9604 \text{ kW}$$

Dari data spesifikasi motor bensin nissan grand livina, dapat data-data sebagai berikut :

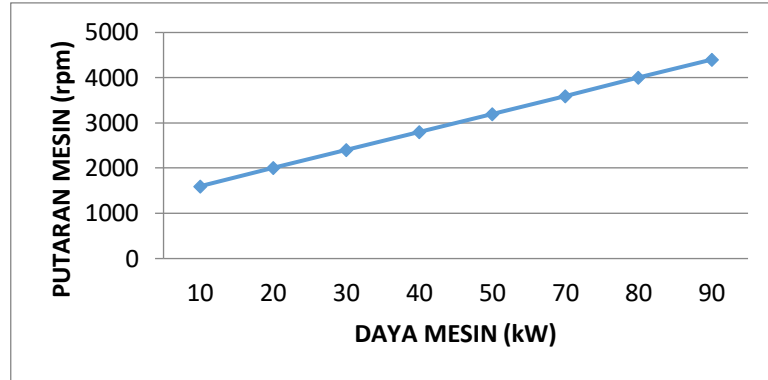
1. Output maksimum (N) : 109 PS ( 80,16 kW ) / 6000 rpm
2. Momen maksimum (T) : 151 kg ( 147,98 N.m ) / 4400 rpm

Artinya adalah torsi atau momen maksimum dicapai pada rentang putaran mesin 4400 rpm sebesar 147,98 Nm. Maka, dengan demikian untuk putaran 4400 rpm didapatkan torsi atau momen sebesar 147,98 Nm.

Untuk hasil perhitungan daya mesin dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

**Tabel 4.** Daya Mesin

Putaran Mesin (rpm)	Daya Mesin (Kw)
1200	18,576
1600	24,768
2000	30,960
2400	37,152
2800	43,080
3200	49,536
3600	55,728
4000	61,920
4400	68,112
1200	18,576

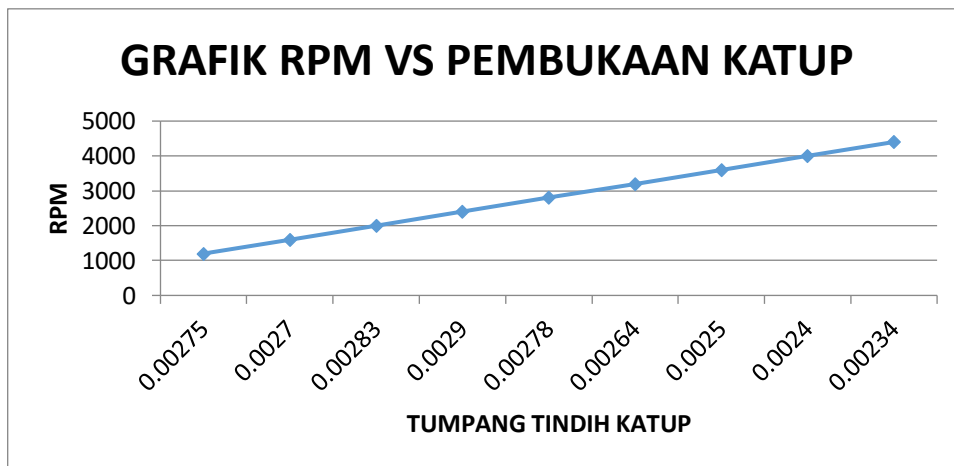


**Gambar 9.** Grafik Daya Mesin

Sesuai dengan gambar 9 dapat di simpulkan bahwa putaran mesin meningkat akan membuat daya mesin semakin bertambah. Hal ini adalah hal yang wajar dimana ketika sebuah mesin mempercepat laju kendaraan maka otomatis daya yang di butuhkan akan semakin bertambah.

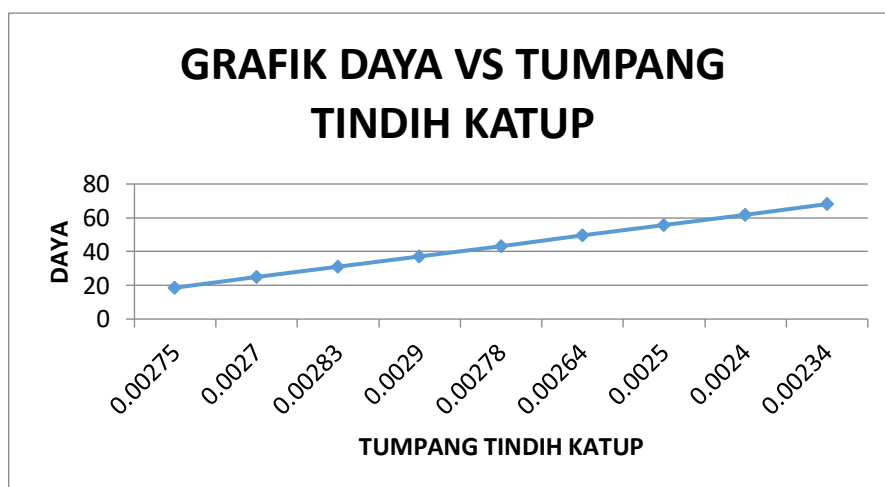
#### 4.1.4 Tumpang Tindih Katub

Untuk data hasil perhitungan tumpang tindih katup dapat di lihat pada tabel di bawah ini:



**Gambar 10.** Grafik Tumpang Tindih Katup vs RPM

Sesuai dengan grafik gambar 10 dihasilkan semakin besar putaran yang di berikan maka pembukaan katup akan semakin lama, dan dapat di simpulkan lagi semakin lama pembukaan katup di putaran tinggi maka daya yang dihasilkanpun semakin besar juga, dan pembukaan pada katup sangat mempengaruhi sebuah daya.



**Gambar 11.** Grafik Daya vs Tumpang Tindih Katup

Sesuai dengan grafik gambar 11 semakin besar daya yang di berikan maka pembukaan katup akan semakin lama, dan dapat di simpulkan lagi semakin lama pembukaan kutup di putaran tinggi maka daya yang dihasilkan semakin besar juga, dan pembukaan pada katup sangatlah mempengaruhi sebuah daya.

#### 4.1.5 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Laju aliran bahan bakar sebesar  $2,90428557 \times 10^{-5} \text{ kg/det}$  dan daya ( $W_b$ ) sebesar 30,9604 kW, maka konsumsi bahan bakar spesifik pada putaran 2000 rpm adalah sebagai berikut :

$$Sfc = mf / Wb$$

$$Sfc = \frac{2,90428557 \times 10^{-5} \times \frac{2000}{60} \times 0,5 \times 4}{30,9604}$$

$$Sfc = 6,24751024 \times 10^{-5} \text{ kg / kW - det}$$

$$Sfc = 0,2249103 \text{ gram / kW - jam}$$

#### 4.1.6 Efisiensi Mekanis

Merupakan perbandingan antara daya poros ( $W_b$ ) dengan daya indikator ( $W_i$ ). Dengan daya poros ( $W_b$ ) sebesar 30,9604 kW dan daya indikator ( $W_i$ ) sebesar 39,63 kW. Maka besar efisiensi mekanis dapat kita hitung dengan menggunakan persamaan yaitu:

$$\eta_m = \frac{W_b}{W_i}$$

$$\eta_m = \frac{30,9604 \text{ kW}}{39,63 \text{ kW}}$$

$$\eta_m = 0,7812$$

$$\eta_m = 78.12\%$$

#### 4.1.7 Efisiensi Volumetrik

Merupakan indikasi sejauh mana volume sapuan (*swept volume*) mesin tersebut dapat terisi fluida kerja. Dengan massa udara sebesar  $4,063 \times 10^{-7} \text{ kg}$  densitas udara  $0,9872 \text{ kg / m}^3$ , dan volume langkah  $3,745 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ , maka efisiensi volumetrik :

$$\eta_v = \frac{4,063 \times 10^{-7} \text{ kg/m}^3}{0,9872 \text{ kg} \times 3,745 \times 10^{-4} \text{ m}^3}$$

$$\eta_v = 0,10943$$

$$\eta_v = 10,94 \%$$

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian terhadap performansi mesin Nissan Grand Livina 1500 CC berbahan bakar bensin, didapatkan bahwa tekanan efektif rata-rata mencapai 1587,1535 kPa, dengan daya indikator sebesar 39,63 kW pada empat silinder pada putaran 2000 rpm. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa seiring peningkatan putaran mesin, daya indikator dan daya mesin meningkat secara linear. Torsi maksimum sebesar 147,98 Nm dicapai pada 4400 rpm sesuai dengan spesifikasi pabrik. Selain itu, hasil grafik menunjukkan bahwa semakin besar tumpang tindih katup, maka pembukaan katup bertambah lama sehingga mendukung peningkatan daya mesin. Konsumsi bahan bakar spesifik ( $Sfc$ ) pada putaran 2000 rpm tercatat sebesar 0,2249103 gram/kW-jam, menunjukkan efisiensi pembakaran yang cukup baik. Efisiensi mekanis mesin mencapai 78,12%, sedangkan efisiensi volumetrik berada pada 10,94%, menandakan bahwa masih terdapat ruang untuk peningkatan optimalisasi pengisian udara ke ruang bakar. Secara keseluruhan, mekanisme kerja mesin menunjukkan performansi yang stabil dan dapat ditingkatkan lebih lanjut dengan optimasi katup dan sistem pengisian udara. Sistem CVTC berguna untuk menghemat bahan bakar. memperbaiki performa mesin menjadi lebih baik dan mengurangi emisi gas buang. Mekanisme secara kontinuitas yang diharapkan dalam hal waktu pembukaan/penutupan katup masuk adalah berdasarkan kondisi kerja mesin Nissa Grand Livina 1500 CC untuk memperbaiki performa mesin pada kondisi saat kecepatan mesin medium ke rendah.

## REFERENCES

- [1] A. H. Abadi, "Analysis of variable valve timing intelligent mechanism of gasoline performance," 2021. doi: 10.1088/1742-6596/1833/1/012027.

- [2] T. Wang, "Influence of injection valve opening manner and injection timing on mixing effect of direct injection compressed natural gas-fueled engine," *International Journal of Engine Research*, vol. 22, no. 7, pp. 2244–2253, 2021, doi: 10.1177/1468087420931352.
- [3] E. A. Raouf, "Analyzing the S.I. Engine's Changeable Exhaust Valve Timing and Exhaust Gas Recirculation (EGR) System in Comparison," *International Journal of Heat and Technology*, vol. 43, no. 1, pp. 93–102, 2025, doi: 10.18280/ijht.430111.
- [4] N. Bakhshinezhad, "Development of an Extended Mean Value Model for Control-Oriented Modeling of Gasoline Engines Equipped with Continuously Variable Valve Timing," 2022. doi: 10.4271/2022-01-5071.
- [5] M. K. Pal, "Development and Study of a Low-Cost Mass Flow Characterization Technique for Port Fuel Injector," 2024. doi: 10.1007/978-981-99-5613-5\_7.
- [6] S. Sahoo, "Effect of injection timing on combustion and IMEP variation of a bi-fuel compressed natural gas SI engine," *Environ Prog Sustain Energy*, vol. 40, no. 6, 2021, doi: 10.1002/ep.13694.
- [7] S. Sahoo, "Experimental Study of Effect of Injection Timing on Port Fuel Injection Gasoline, Port Fuel Injection Compressed Natural Gas, and Direct Injection Compressed Natural Gas Engine Performance, Combustion, and Emissions Characteristics," *J Eng Gas Turbine Power*, vol. 145, no. 6, 2023, doi: 10.1115/1.4056263.
- [8] Z. Liu, "Study of water injection on suppressing knock in a high compression ratio and supercharged hybrid gasoline engine," *Energy*, vol. 287, 2024, doi: 10.1016/j.energy.2023.129702.
- [9] X. Zhou, "Combustion and energy balance analysis of an unthrottled gasoline engine equipped with innovative variable valvetrain," *Appl Energy*, vol. 268, 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.115051.
- [10] X. Liang, "Effects of fuel combination and IVO timing on combustion and emissions of a dual-fuel HCCI combustion engine," *Frontiers in Energy*, vol. 14, no. 4, pp. 778–789, 2020, doi: 10.1007/s11708-020-0698-8.
- [11] M. F. Hushim, "Single Parameter Engine Analysis and Performance Optimization of a Medium Duty Gasoline Engine," 2020. doi: 10.1088/1757-899X/824/1/012003.
- [12] X. Li, "Influence of Valve Overlap Angle on GDI Engine Performance and Particulate Emission," *Qiche Gongcheng/Automotive Engineering*, vol. 45, no. 4, pp. 654–662, 2023, doi: 10.19562/j.chinasae.qcgc.2023.04.014.
- [13] T. Vipartas, "THE INFLUENCE OF INTAKE VALVE CLOSE TIMING ON THE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF A SPARK IGNITION ENGINE USING GASOLINE AND NATURAL GAS," *Transport Problems*, vol. 18, no. 3, pp. 175–187, 2023, doi: 10.20858/tp.2023.18.3.15.
- [14] X. Li, "Study on the Influence of Different Internal Exhaust Gas Recirculation Formation Modes on the Combustion Performance of Gasoline, Methanol, and Ethanol SI Engine," *International Journal of Automotive Technology*, vol. 25, no. 3, pp. 495–505, 2024, doi: 10.1007/s12239-024-00039-1.
- [15] M. Mohamed, "Hydrogen Engine Insights: A Comprehensive Experimental Examination of Port Fuel Injection and Direct Injection," 2024. doi: 10.4271/2024-01-2611.