

# **ANALISA PENGARUH MEKANISME KATUP TERHADAP DAYA PADA MOTOR BAKAR BENSIN**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Ujian Sarjana**

Oleh :

**SUDIRMAN PURBA  
NIM : 06 813 0018**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2010**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 28/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
  2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
  3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area
- Access From (repository.uma.ac.id)28/12/23

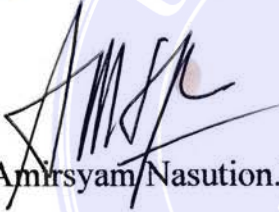
# ANALISA PENGARUH MEKANISME KATUP TEHADAP DAYA PADA MOTOR BAKAR BENSIN

TUGAS AKHIR

Oleh :  
SUDIRMAN PURBA  
NIM : 06 813 0018

Disetujui :

Pembimbing I,



( Ir.Amirsyam/Nasution.MT )

Pembimbing II,



( Ir.Surya Keliat )

Mengetahui :

Dekan



( Ir.Hj.Haniza,MT )

Ka.Program Studi,



( Ir.Amru Siregar,MT )

Tanggal Lulus :

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 28/12/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)28/12/23

## ABSTRAK

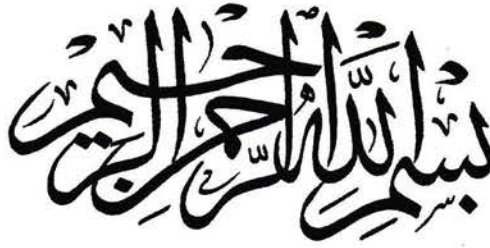
Pemakaian motor bakar untuk kendaraan penumpang adalah motor bakar yang mempunyai konstruksi mesin sederhana karena akan dipakai lebih cenderung di daerah kota yang cukup padat arus lalu lintas, karena konstruksi mesin yang sederhana akan mempunyai efek terhadap konstruksi (dimensi) keseluruhan kendaraan. Motor bakar yang dipakai juga harus dengan daya efektif yang baik, hemat bahan bakar juga emisi gas buang yang ramah lingkungan.

Kebutuhan bahan bakar yang meningkat dan harga yang semakin melambung, mengakibatkan banyaknya produsen pabrik otomotif menciptakan kendaraan yang mengkonsumsi bahan bakar lebih irit dengan performa mesin yang ideal. Yakni dengan merubah teknologi pada perangkat mesinnya. Karakteristik setiap sistem bahan bakar dan mekanisme katup tentunya perlu dianalisa terlebih dahulu untuk mengetahui sistem yang lebih unggul pada bidang dan kondisi tertentu. Salah satu mekanisme katup yang menjanjikan perbaikan daya efektif efisiensi bahan bakar juga perbaikan emisi gas buang adalah mekanisme katup Continuously Variable Timing Control (CVTC).

Dengan system Double Over Head Camshaft Continuously 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 sistem mekanisme katup DOHC CVTC sebagai variabel sistemnya.

*Kata kunci : Motor Bakar Bensin, Mekanisme Katup*

## KATA PENGANTAR



Segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT karena dengan taufik dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Selanjutnya shalawat dan salam penulis sampaikan kepada Nabi Muhammad SAW yang dengan risalahnya ummat manusia mendapat petunjuk untuk membedakan yang hak dan yang bathil sehingga menjadi pedoman untuk kebahagiaan didunia dan akhirat.

Dalam penulisan skripsi ini penulis menyadari masih ada kekurangan dan kelemahan, baik dari segi materi maupun dari teknis penulisannya, hal ini disebabkan keterbalasan ilmu dan sumber data yang penulis miliki. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang sifatnya membangun dan semua pihak terhadap skripsi ini sehingga akan memberikan perhatian untuk penulisan selanjutnya.

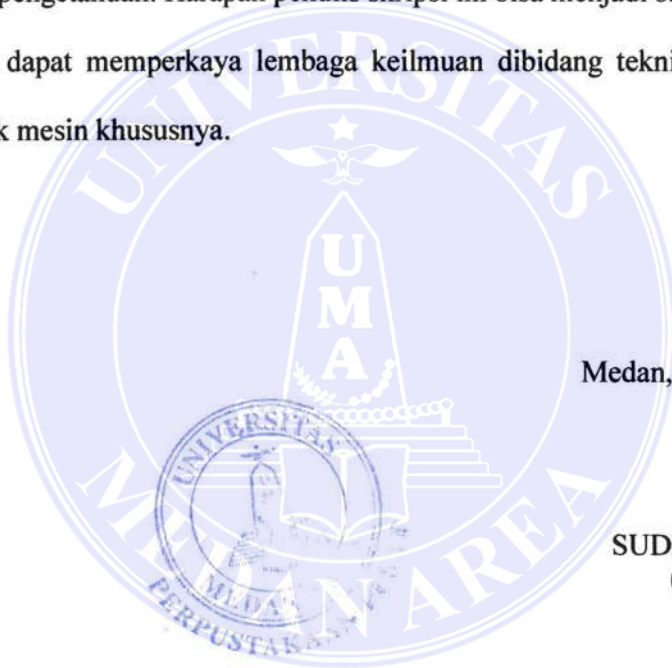
Selanjutnya dalam kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan rasa sayang sebesar-besarnya kepada Ayah dan Bunda yang mana telah memberi dukungan moral maupun moril hingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir (skripsi) ini. Terima kasih kepada teman-teman yang telah membantu, tak lupa penulis ucapkan rasa terima kasih yang sangat mendalam kepada



pembimbing I: **Ir. Amirsyam Nasution, M.T.**, dan Pembimbing II :**Ir.Surya Keliat**, yang mana bimbingan dan bantuan data-data dari bahau sangat membantu penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Begitu juga penulis sampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. **Ibu Ir. Hj. Hanija MT**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
2. **Ir. Amru Siregar MT**, selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
3. **Bapak Ir. Amirsyam Nasution, MT.**, selaku Pembantu Dekan III ,Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
4. Seluruh staff pengajar dan Karyawan Biro Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
5. Ibunda dan Keluarga yang tersayang serta Adik-adikku yang tercinta serta keluarga yang telah membantu dan memberikan dorongan baik material maupun moril sehingga penulis dapat merasakan pendidikan di perguruan tinggi dan dapat menyelesaikannya pada saat ini.
6. Kepada rekan-rekan mahasiswa teknik stambuk “2006” Jurusan Mesin Universitas Medan Area yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.
7. Kepada Bapak Dedi Kristiadi dan rekan-rekannya sekalian, selaku Trainer teknisi Nissan yang telah membagi informasi untuk penyelesaian skripsi ini.

8. Kepada rekan-rekan sesama teknisi di bengkel Nissan Gatot Subroto Medan. Yang juga turut berperan serta dalam membantu mengumpulkan informasi dan data untuk penyelesaian Tugas Akhir ini.
9. Selain itu penulis memohon maaf kepada seluruh pihak pembaca apabila nantinya menemukan kesalahan penulisan (redaksiorial) atau kurang sependapat dengan isi skripsi ini. Pembaca boleh mengkritik dengan memberikan (mendiskusikan) data bandingan yang lebih baik bagi tiap permasalahan. Kritikan yang konstruktif akan diterima demi perkembangan ilmu pengetahuan. Harapan penulis skripsi ini bisa menjadi sumbangan ilmiah yang dapat memperkaya lembaga keilmuan dibidang teknik umumnya dan teknik mesin khususnya.



Medan, 12 Oktober 2010

**SUDIRMAN PURBA**  
**06-813-0018**

## DAFTAR ISI

	<b>Hal</b>
<b>ABTRAK.....</b>	<b>i</b>
<b>KATAPENGANTAR .....</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR NOTASI .....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II LANDASAN TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1 Pernakaaian motor bakar untuk kendaraan penumpang .....	5
2.1.1 Pemilihan jenis motor bakar .....	5
2.1.2 Pemilihan jenis siklus kerja .....	7
2.1.3 Pemilihan jumlah silinder .....	13
2.1.4 Penentuan daya dan putaran motor .....	16
2.2 Mekanisme katup (valve mechanism) .....	17
2.2.1 Sistem-sistem mekanisme katup .....	18
2.2.2 Pemilihan sistim mekanisme katup .....	18
2.2.3 Mekanisme katup CVTC .....	19
2.2.4 Keefektifan Sistem CVTC .....	22

2.2.5	Pemodelan Dan Control Pada Mesin Variable	
	Valve Timing.....	26
2.2.6	Keistimewaan mekanisme katup CVTC.....	28
2.3	Bagian-bagian yang ada pada perangkat CVTC .....	31
2.3.1	Dinamika-Dinamika didalam Silinder.....	33
2.3.2	Dinamika-Dinamika Pada Intake Manifold.....	38
2.3.3	Dinamika-Dinamika Perputaran .....	40
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>41</b>
3.1	Jenis Penelitian.....	41
3.2	Tempat dan Waktu Pelaksanaan Penelitian .....	41
3.3	Prosedur Penelitian.....	43
3.4	Sasaran atau Objek Penelitian.....	44
3.5	Penyajian Data.....	44
3.6	Analisa Data.....	44
<b>BAB IV ANALISA PENGARUH MEKANISME KATUP TERHADAP DAYA PADA MOTOR BAKAR BENSLIN .....</b>		<b>45</b>
4.1	Bagian-bagian Utama Motor Bakar .....	45
4.1.2	Kepala Silinder dengan Narrow Angle CVTC	
	Valve Train.....	46
4.1.3	Blok Mesin dan Komponen-komponen Internal.....	48
4.1.4	Piston.....	50
4.1.5	Connecting rod .....	51
4.1.6	Crankshaft .....	51
4.1.7	Camshaft .....	52
4.1.8	Katup ( Valve ).....	53



4.1.9	Light weight Plastic Resin Intake Manifold Chamber	54
4.1.10	Ruang Bakar ( The Combustion Chamber ).....	55
4.1.11	Exhaust System .....	56
4.1.12	System Pengapian .....	56
4.1.13	System Control Bahan Bakar .....	57
4.1.14	System Pendinginan .....	58
4.2	Analisa Perhitungan Daya yang terjadi Dalam Engine.....	61
4.2.1	Data-data Perangkat CVTC.....	64
4.2.2	Pengukuran Camshaft run out.....	66
4.2.3	Pengukuran Camshaft journal oil clearence.....	67
4.2.4	Pengukuran Camshaft end play.....	67
4.2.5	Pengukuran Valve clearence .....	68
4.2.6	Valve Spring Squariness .....	68
4.2.7	Valve Guide clearence .....	70
4.3	Analisa Peristiwa.....	71
4.3.1	Konstruksi dan Karakteristik CVTC.....	71
4.3.2	Konstruksi CVTC.....	71
4.3.3	CVTC Controlled Cylinder Idling System.....	72
4.3.4	Exhaust dan System Emisi dengan Nitrogen Oxide Absortive Catalytic Converter.....	73
4.3.5	Mengurangi Konsumsi Bahan bakar .....	74
4.3.6	Mereduksi Emisi Gas buang .....	75
4.3.7	Carbon Dioxide .....	75
4.3.8	Kadar kebersihan Gas buang.....	76
4.3.9	Nissan Improvement of Fuel Economy.....	78

<b>BAB V KESIMPULAN .....</b>	<b>79</b>
5.1 Kerja Selanjutnya ( Further work ) .....	79
5.2 Saran-saran.....	80
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>81</b>



## DAFTAR TABEL

	<b>Hal</b>
Tabel 2.1 Spesifikasi mesin Nissan Grand Livina 1.5 L M/T.....	16
Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan.....	42
Tabel 4.1 Sparg plug Ignition System Control.....	60



## DAFTAR GAMBAR



	<b>Hal</b>
Gambar 2.1 Engine HR 1.5 DE.....	6
Gambar 2.2 Motor Bakar OTTO.....	6
Gambar 2.3 Nissan Grand Livina.....	7
Gambar 2.4 Proses kerja Mesin 4 Langkah.....	11
Gambar 2.5 Proses kerja Mesin 4 Langkah.....	11
Gambar 2.6 Diagram P-V Siklus Volume Konstan.....	12
Gambar 2.7 Engine SOHC .....	20
Gambar 2.8 Engine DOHC CVTC .....	21
Gambar 2.9 Mekanisme Katup DOHC.....	21
Gambar 3.0 Sudut Pergeseran Katup.....	24
Gambar 3.1 CVTC Engine.....	25
Gambar 3.2 Perangkat CVTC.....	28
Gambar 3.3 Perangkat CVTC.....	28
Gambar 3.4 Sudut Pergeseran Katup.....	29
Gambar 3.5 Mekanisme Katup Hidrolik CVTC.....	30
Gambar 3.6 Bagian-bagian Perangkat CVTC.....	31
Gambar 3.7 Kinerja perangkat CVTC.....	32
Gambar 4.0 Mesin DOHC CVTC ( Nissan Grand Livina 2007 ).....	46
Gambar 4.1 Silinder Head.....	47
Gambar 4.2 Silinder Head Konsep.....	48
Gambar 4.3 Blok Mesin.....	49



Gambar 4.4	Piston.....	50
Gambar 4.5	Connecting rod.....	51
Gambar 4.6	Crankshaft.....	52
Gambar 4.7	Camshaft.....	52
Gambar 4.8	Katup ( Valve ) Konstruksi.....	54
Gambar 4.9	Intake manifold.....	55
Gambar 4.10	Combustion chamber.....	55
Gambar 4.11	Exhaust System.....	56
Gambar 4.12	System Pengapian.....	57
Gambar 4.13	Fuel System Control.....	58
Gambar 4.14	Cooling System.....	59
Gambar 4.15	Valve Componen.....	64
Gambar 4.16	Pengukuran poros Camshaft.....	66
Gambar 4.17	Pengukuran Camshaft Cam height.....	66
Gambar 4.18	Pengukuran Camshaft journal outer diameter.....	67
Gambar 4.19	Pengukuran Camshaft end play.....	67
Gambar 4.20	Pengukuran Valve clearance.....	68
Gambar 4.21	Valve spring squarness.....	69
Gambar 4.22	Pengukuran kekuatan pegas katup.....	69
Gambar 4.23	Valve guide clearance.....	70
Gambar 4.24	Konstruksi CVTC.....	72
Gambar 4.25	Catalytic converter.....	74
Gambar 4.26	Grafik konsumsi bahan bakar dengan mesin CVTC Nissan...	75

## DAFTAR NOTASI

A/F	Air/Fuel Ratio
BBM	Bahan Bakar Minyak
BDC	Bottom Dead Center
C	Carbon
CVTC	Continuously Variable Valve Timing Control
CVT	Continuously Variable Transmission
DOHC	Double Over Hed Camshaft
HC	Hydrocarbon
IL	In Line
i-VTEC	Intelligent-Variable Valve Timing and Lift Electronic Control
LDA	Lobe Displacement Angle
LEV	Low Emission Vehicle
MIVEC	Mitsubishi Innovative Valve Timing and Lift Electronic Control
NOx	Nitrogen Oxide
NVTCS	Nissan Valve Timing Control System
OCV	Oil Control Valve
PGM-FI	Program Fuel Injection
PM	Particulate matter
RON	Research Octane Number
RPM	Revolution Per Minute
SI	Sparg Ignited
SOHC	Single Over Head Camshaft

<b>SULEV</b>	<b>Super Ultra Low Emission Vehicle</b>
<b>VTEC</b>	<b>Variable Timing and Lift Electronic Control</b>
<b>VTC</b>	<b>Variable Timing Control</b>
<b>VVT- i</b>	<b>Variable Valve Timing - Intelligent</b>



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Pada era modernisasi ini, perkembangan teknologi motor bakar mengalami kemajuan yang sangat pesat. Riset-riset terus dilakukan untuk mencapai kegemilangan penguasaan teknologi tersebut. Perkembangan teknologi motor bakar yang terutama adalah terkonsentrasi pada sistem bahan bakar, sistem pengapian dan sistem mekanisme katup. Perkembangan teknologi tersebut tentu bermuara pada tingkat efisiensi dan efektifitas kerja yang tinggi pada motor bakar termasuk juga hemat pemakaian bahan bakar dan dapat memperbaiki emisi gas buang. Untuk mencapai tujuan tersebut tentu perlu penyempurnaan teknologi pada sistem bahan bakar dan mekanisme katupnya. Ada beberapa sistem bahan bakar dan mekanisme katup yang tersedia dan telah dikembangkan oleh masing-masing pemegang merk dagang kendaraan roda empat, seperti : Toyota, Ford, Nissan, Mazda, Mitsubishi, Chevrolet, Mercedes Benz, BMW dan lain-lain. Sistem bahan bakar dan mekanisme katup yang telah dikembangkan tentunya memiliki karakteristik masing-masing. Karakteristik setiap sistem bahan bakar dan mekanisme katup tentunya perlu dianalisa terlebih dahulu untuk mengetahui sistem yang lebih unggul pada bidang dan kondisi tertentu. Salah satu mekanisme katup yang menjanjikan perbaikan daya efektif efisiensi bahan bakar juga perbaikan emisi gas buang adalah mekanisme katup Continuously Variable Timing Control (CVTC). Mekanisme katup tersebut telah dikembangkan oleh



Nissan Motor Japan, dan telah diadopsi pada beberapa jenis kendaraan roda empat produksi pabrik tersebut. Beberapa jenis kendaraan produksi Nissan yang mengadopsi sistim mekanisme katup CVTC adalah: Nissan X-Trail, Nissan Latio, Nissan Grand Livina and Family, All New Nissan X-Trail dan produk Nissan lainnya.

## 1.2 Permasalahan

Kebutuhan bahan bakar yang meningkat dan harga yang semakin melambung, mengakibatkan banyaknya produsen pabrik otomotif menciptakan kendaraan yang mengkonsumsi bahan bakar lebih irit dengan performa mesin yang ideal. Yakni dengan merubah teknologi pada perangkat mesinnya.

Berdasarkan pada kapasitas penumpang maka kendaraan penumpang dapat dibagi pada beberapa kategori:

- A. Sedan, berkapasitas sampai dengan 5 (lima) orang penumpang.
- B. Van atau Mini Bus, berkapasitas 7 (tujuh) orang penumpang.
- C. Kendaraan SUV jeep dan sekelasnya.

Sesuai dengan spesifikasi yang ada maka pada skripsi ini penulis merencanakan jenis kendaraan keluarga dengan kapasitas 7 (tujuh) orang penumpang yaitu jenis sedan untuk kendaraan pribadi atau kendaraan keluarga.

Karena meningkatnya kebutuhan bahan bakar pada era ini, maka penulis akan menghitung daya dan efisiensi yang dihasilkan mesin dengan konstruksi katup CVTC pada kendaraan nissan.

### 1.3 Batasan Masalah

Pada skripsi ini penulis membatasi masalah yang akan dibahas pada:

- a. Pemilihan sistem mekanisme katup untuk kendaraan penumpang
- b. Pembahasan pada pemodelan dan kontrol mesin CVTC
- c. Pembahasan bagian-bagian utama motor bakar
- d. Pembahasan konstruksi dan karakteristik CVTC
- e. Perhitungan daya mesin dengan CVTC system.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian pada skripsi ini adalah

- Mengetahui tentang mekanisme katup CVTC (bagian-bagian utama, konstruksi dan unjuk kerja),
- Mengetahui karakteristik mekanisme katup CVTC pada kendaraan Nissan Grand Livina,
- Pembahasan tentang pemodelan dan kontrol pada mesin yang menggunakan sistem mekanisme katup Variabel Valve Timing (VVT),
- Efektivitas mekanisme katup CVTC terhadap daya mesin, torsi, efisiensi bahan bakar dan tingkat emisi gas buang,
- Untuk menambah wawasan dibidang otomotif khususnya tentang kinerja katup.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada perencanaan ini menguraikan tentang isi dan setiap bab, sub bab serta hal-hal yang berkaitan dengan penelitian ini.

BAB I : Berisikan pendahuluan yang meliputi latar belakang, permasalahan, batasan masalah, dan sistematika penulisan

BAB II : Tentang landasan teori

BAB III: Berisikan Metodologi Penelitian.

BAB IV : Membahas Analisa Pengaruh Mekanisme Katup Terhadap Daya Pada Motor Bakar Bensin

BAB V : Kesimpulan dan saran



## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Pemakaian Motor Bakar Untuk Kendaraan Penumpang

Pemakaian motor bakar untuk kendaraan penumpang adalah motor bakar yang mempunyai konstruksi mesin sederhana karena akan dipakai lebih cenderung di daerah kota yang cukup padat arus lalu lintas, karena konstruksi mesin yang sederhana akan mempunyai efek terhadap konstruksi (dimensi) keseluruhan kendaraan. Motor bakar yang dipakai juga harus dengan daya efektif yang baik, hemat bahan bakar juga emisi gas buang yang ramah lingkungan.

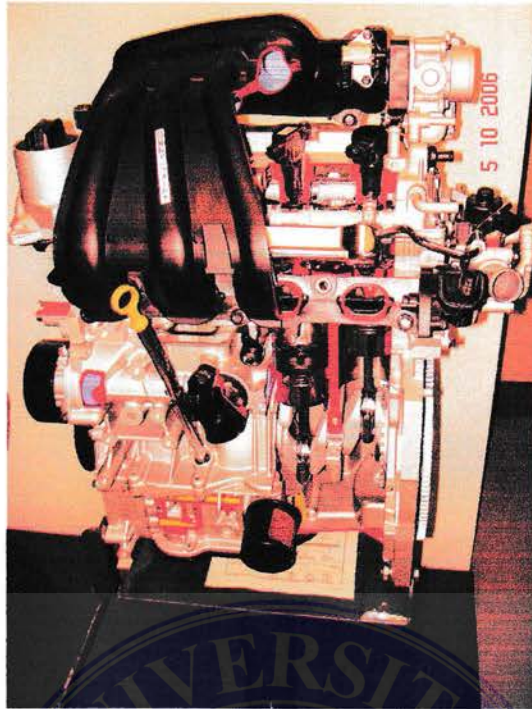
##### 2.1.1 Pemilihan Jenis Motor Bakar

Dari spesifikasi tugas yang diberikan yaitu: Pengaruh Mekanisme Katup Terhadap Daya Pada Motor Bakar Bensin. 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.

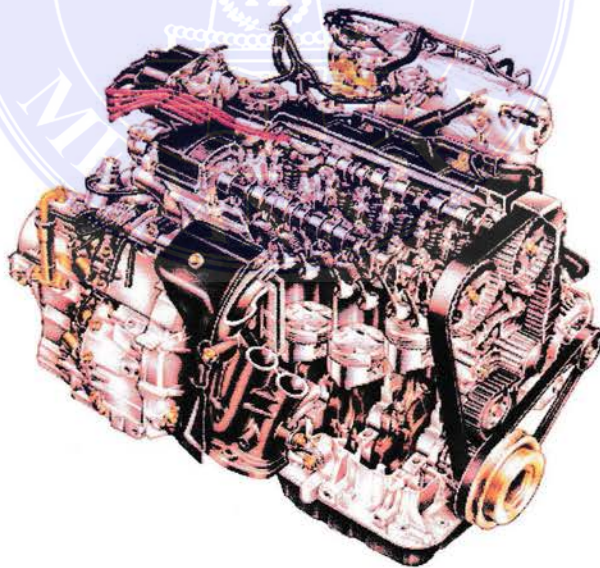
Mobil Nissan Grand Livina seperti dengan mesin type L10 HR1.5 DE adalah mengadopsi sistim mekanisme katup DOHC CVTC sebagai variabel sistemnya.

Berikut ini adalah gambar engine nya :





Gambar 2.1 Engine HR1.5 DE



Gambar 2.2 Motor Bakar Otto



Gambar 2.3 Nissan Grand Livina

Motor bakar Otto banyak disukai orang disebabkan beberapa hal antara lain:

- Harga motor bakar relatif murah
- Mesin relatif ringan persatuan daya
- Kompresi rasio (Cr) motor Otto lebih rendah dan motor Diesel
- Getaran mesin terhadap bodi relatif tidak terlalu keras
- Sisa gas pembakaran tidak terlalu membahayakan lingkungan karena pada kendaraan ini sudah tersedia sistem pembuangan emisi dan mesin yang relatif terkontrol.

### 2.1.2 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
1. Siklus motor 4 (empat) langkah
    - a. Untuk tiap proses dibutuhkan 4 kali langkah torak turun naik didalam blok silinder dengan dua kali putaran poros engkol (CrankShaft).
    - b. Tersedianya sari langkah penuh untuk pemasukan dan pengeluaran.
    - c. Pembakaran yang terjadi lebih sempurna dan motor bekerjanya lebih hemat dalam pemakaian bahan bakar.
  2. Siklus motor 2 (dua) langkah
    - a. Pada setiap proses kerja dibutuhkan dua kali langkah torak turun naik di dalam blok silinder dengan satu-kali putaran proses engkol.
    - b. Pembakaran yang terjadi kurang sempurna karena tidak tersedianya langkah khusus untuk proses pembakaran, dalam sisa pembakaran masih belum terbuang habis saat pembakaran berikutnya.
    - c. Untuk putaran dan ukuran yang sama motor dua langkah melakukan pembakaran lebih cepat. Oleh karena itu suhu motor dan dinding silinder menjadi lebih tinggi pada motor empat langkah.
    - d. Pemakaian bahan bakar, lebih boros dari pada motor empat langkah karena dalam pembakaran selalu ada bahan bakar yang terbawa bersama gas pembuangan. Dalam hal ini cara proses pemasukan dan pembilasan berlangsung hampir bersamaan waktunya.

Perbedaan umum dan kedua siklus ini terletak pada cara pengisian udara ataupun campuran udara dengan bahan bakar ke dalam silinder serta cara pembuangan gas-gas hasil pembuangan. Pada motor empat langkah, hal ini di



kerjakan oleh torak masing-masing pada langkah isap dan langkah buang. Pada motor dua langkah hal ini di kerjakan oleh pompa udara atau penghembusan sendiri/tersendiri atau sebagai kesimpulan dari kedua siklusnya dengan satu kali pembakaran selama dua kali putaran selama dua kali putaran poros engkol. Untuk motor bakar 2 langkah yaitu, motor bakar torak yang melingkapi siklusnya dengan satu kali pembakaran selama satu kali putaran poros engkol.

Adapun kerugian/keuntungan pada motor 4 langkah dan 2 langkah adalah.

Pada motor 4 langkah:

Keuntungan:

- a. Pembuangan gas hasil pembakaran dari pengertian udara sangat baik, karena masing-masing terjadi pada langkah tersendiri.
- b. Putaran-putaran relatif besar/tinggi.
- c. Panas yang di hasilkan relatif lebih kecil sehingga lebih tahan lama di jalankan.

Kerugiannya:

- a. Kontruksinya yang rumit dan sukar karena adanya mekanisme katup-katup serta memerlukan perawatan yang besar.
- b. Kurang efisiensi untuk daya yang besar
- c. Getaran yang lebih besar

Motor 2 langkah:

Keuntungan:

- a. Kontruksi lebih sederhana
- b. Tenaga yang dihasilkan pada setiap putaran poros engkol



c. Getaran lebih kecil

d. Lebih efisien untuk daya yang besar pada putaran yang rendah/kecil

Kerugiannya:

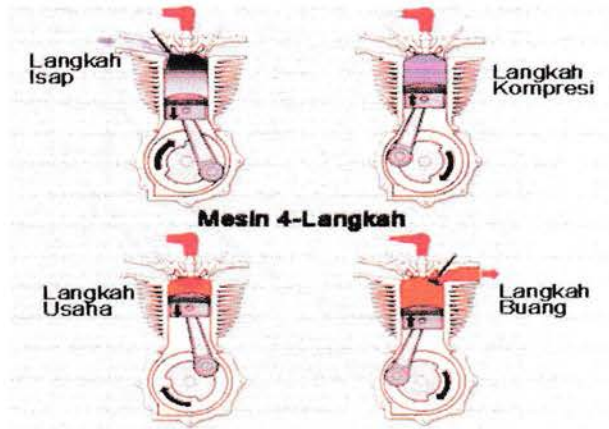
a. Pergantian gas-gas hasil pembakaran kurang sempurna karena tidak mempunyai langkah tersendiri

### 3. Proses pembakaran usaha (Combustion Stroke)

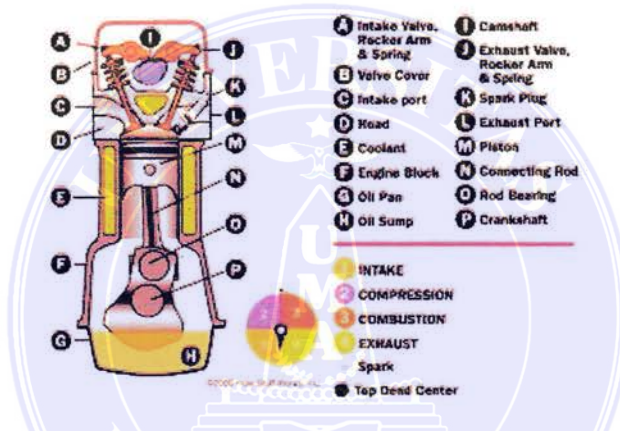
Langkah ini terjadi pada saat torak hampir mencapai titik mati atas, dalam hal ini katup buang dan katup hisap sama-sama menutup sehingga campuran bahan bakar dan udara yang sudah dimanfaatkan dibakar dengan loncatan bunga api dan busi, akibat dari pembakaran bahan bakar tersebut tekanan akan naik sementara torak menuju titik mati atas (TMA) sehingga volume ruang bakar semakin kecil dengan sendirinya tekanan akan naik dan lebih tinggi akhirnya sampai di TMA didorong kembali ke TMB oleh gas hasil pembakaran tersebut, inilah yang disebut dengan langkah kerja.

### 4. Langkah buang (Exhaust Stroke)

Apabila torak akan mencapai TMB maka katub buang akan terbuka, sedangkan katub isap akan tertutup dan pada saat torak mencapai akhir TMA torak akan menekan sisa gas pembakaran keluar melalui katup buang pada saat langkah buang ini akan terjadi overlapping dimana katub masuk dan katub buang sama-sama terbuka hal ini terjadi sampai awal langkah isap dengan tujuan supaya gas bekas sisa pembakaran dapat keluar seluruhnya, kemudian pada langkah siklus berikutnya udara bahan bakar berada dalam silinder.

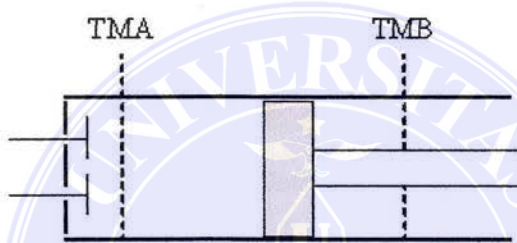
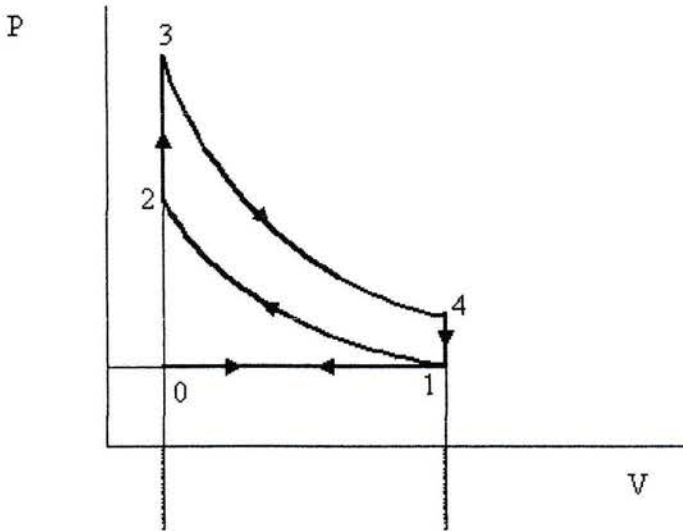


Gambar2.4 Proses Kerja Mesin 4 Langkah



Gambar 2.5 Proses Kerja Motor 4 Langkah

Karena dalam perencanaan ini kendaraan penumpang roda empat yang memakai motor bensin (gasoline engine), maka siklus yang digunakan adalah siklus volume konstan (Otto), dengan diagram P-V dan urutan dari siklus ini adalah seperti pada gambar



Gambar 2.6 Diagram P-V Volume Konstan

Arends dan Berenschot (1992) menyimpulkan motor otto empat-langkah juga disebut motor campur mengisap campuran yang mudah terbakar biasanya terdiri atas bensin dan udara pada saat terjadi langkah hisap motor. Berlawanan dengan motor diesel (pencampuran bahan bakar dengan udara terjadi dalam silinder pada akhir langkah pemanfaatan). Perubahan tekanan selama proses kerja terjadi dalam ruang di atas piston. Bila piston berada di TMB, volume ruang ini adalah yang terbesar, yakni  $V_s + V_c$

Dimana:

$V_s$  = Volume langkah

$V_c$  = Volume ruang sisa

Proses kerja pada seperti gambar 2.5 menurut urutan langkah:

0 - 1 : Langkah Isap

Bahan bakar dan udara masuk kedalam silinder (Proses tekanan konstan)

1-2 : Langkah kompresi

Campuran bahan bakar dan udara dikompresikan didalam silinder  
(Proses Adiabattis)

2-3 : Proses pembakaran

Campuran hahan bakar dan udara terbakar didalam ruang bakar  
(dianggap sebagai proses pemasukan kalor pada volume konstan)

3-4 : Langkah kerja (Ekspansi)

Berlangsung dalam proses adiabatik

4-1 : Proses pembuangan

Proses pembuangan kalori pada volume konstan

1-0 : Langkah buang

Pembuangan gas sisa pembakaran pada tekanan konstan

### 2.1.3 Pemilihan Jumlah Silinder

Pemilihan jumlah silinder berkaitan dengan jenis kendaraan dan ukuran bodi, 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.

Alasan:

- a. Konstruksi lebih sederhana
- b. Pelumasan lebih mudah sehingga keausan yang terjadi dapat diperkecil
- c. Pendinginannya juga mudah dan lebih baik

Untuk pemilihan jumlah silinder dapat didasarkan pada pertimbangan-pertimbangan berikut ini

- a. Dengan bertambah banyaknya silinder, maka poros engkol akan menerima beban lebih sempurna dan konstruksi motor, serta getaran-getaran berkurang.
- b. Fly wheel yang dipergunakan akan lebih kecil untuk jumlah silinder yang lebih banyak.

Selain dari pada itu pemilihan jumlah silinder berdasarkan kepada data-data praktis yang dipergunakan. Jumlah silinder yang banyak dapat memperkecil ukuran utama motor sampai batas tertentu, dan dapat pula memberikan putaran yang lebih halus pada motor tersebut, namun sebaliknya untuk jumlah silinder yang banyak akan memerlukan pembiayaan dan pemeliharaan yang lebih besar. Dengan kata lain, untuk jumlah silinder yang banyak dengan diameter silinder yang lebih kecil jauh lebih baik digunakan dari motor yang jumlah silindernya lebih sedikit dengan diameter piston yang lebih besar. Karena semakin banyak selinder motor bakar maka akan menghasilkan impuls yang lebih besar dari putaran. Berdasarkan dari pertimbangan-pertimbangan diatas sesuai dengan data-data pembanding maka dalam perencanaan ini dipilih dan ditetapkan jumlah silinder 4 buah, data spesifikasi mesin dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Spesifikasi mesin Nissan Grand Livina 1.5 L M/T

<b>Engine</b>	
Code	HR15DE
Type	4 Cylinder inline,16 valve,DOHC,CVTC
Displacement(cc)	1498
Bore x stroke(mm)	78.0 x 78.4
Compression ratio	10.5:1
Max. output (PS/rpm)	109 / 6000
Max. torque (kg-m/rpm)	15.1 / 4400
<b>Fuel system</b>	ECCS
<b>Transmission</b>	M/T 5-speed
<b>Steering</b>	Rack & pinion with EPS
<b>Suspension</b>	
Front	McPherson strut with stabilizer
Rear	Torsion beam with stabilizer
<b>Brakes</b>	
System	Standard
Front	Ventilated Disc
Rear	Drums
Length x width x height (mm)	4420 x 1690 x 1595
Wheelbase (mm)	2600
Ground clearance (mm)	185
Curb weight (kg)	1185
Min. turning radius (m)	5.3
Tire size	
Body construction	Monocoque
Fuel tank capacity (L)	52.4 L

#### 2.1.4 Penentuan Daya Dan Putaran Motor

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:

- a. pemilihan berat kendaraan
- b. berat total kendaraan
- c. tahanan gelinding (rolling resistance)

d. tahanan angin (air resistance)

e. tahanan akibat transmisi (transmission resistance)

Pemilihan putaran mesin harus disesuaikan menurut kebutuhan dengan tidak mengabaikan faktor-faktor yang ditimbulkan. Seperti telah diketahui bahwa bila putaran naik maka daya akan semakin besar, tapi putaran ini ada batasnya karena jika putaran naik maka efisiensi mekanis akan turun sehingga walaupun daya besar tetapi sebanding pula dengan kenaikan daya gesek yang merupakan kerugian serta mengakibatkan efisiensi mekanis menjadi turun.

## 2.2 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 jenis valve train yang ada antara lain

1. Over Head Valve (OHV)
2. Over Head Camshaft (OH-C)
3. Single Over Head Camshaft (SOHC)
4. Double Over Head Camshaft (DOHC)

Tiap-tiap valve train mengatur waktu buka dan tutup katup masuk dan buang dengan konstruksi yang berbeda dan jumlah katup yang berbeda pula. Pada valve train sistem OHV dan SOHC tiap piston terdiri dari masing-masing satu katup masuk dan katup buang. Pada valve train sistem DOHC tiap piston terdiri dari masing-masing dua katup masuk dan 2 katup buang. Jumlah katup masuk dan katup buang tergantung dari berapa banyak jumlah piston yang ada pada mesin.



### 2.2.1 Sistim-Sistim Mekanisme Katup

Ada beberapa sistim mekanisme katup yang ada dan telah dikembangkan dan diadopsi oleh beberapa jenis merk dagang kendaraan roda empat. Sistim 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 (NVTC) 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.

Jenis-jenis mekanisme katup tersebut memiliki karakteristik masing-masing pada kondisi kerja dan spesifikasi tertentu.

### 2.2.2 Pemilihan Sistim 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 efesiansinya dalam mereduksi konsumsi bahan bakar. Pemfokusan dalam hal mereduksi konsumsi bahan bakar, yang terpenting adalah bagaimana tersedianya sistim yang baik pada kontrol mesin, pada mesin itu sendiri, alat-alat yang membantu dan keseluruhan

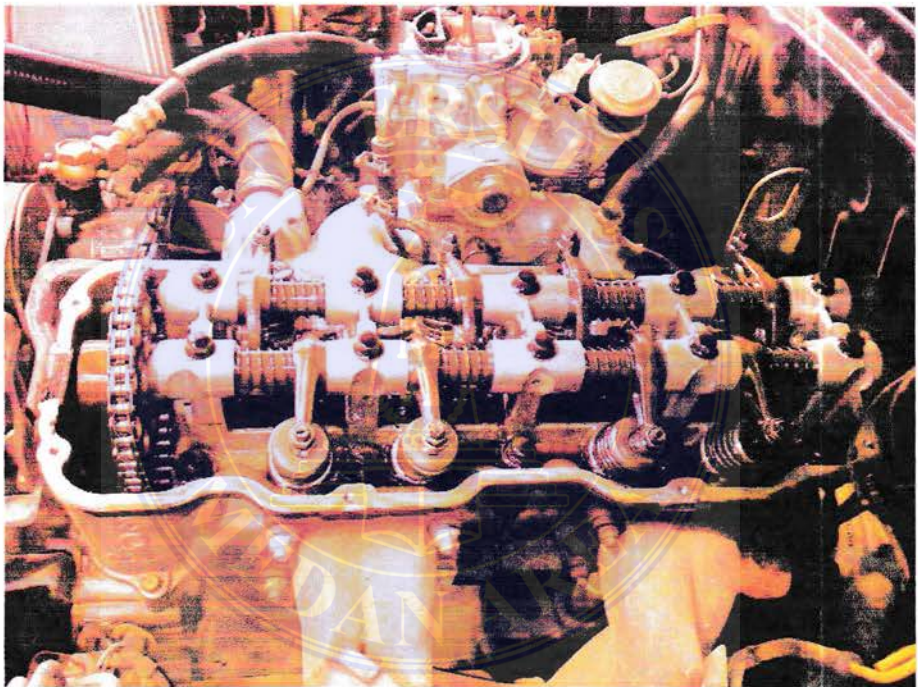
sistim transmisi yang baik (Masami et al. 2004). Pada pengoptimuman waktu untuk memperbaiki (mereduksi) konsumsi bahan bakar, dimana, perbedaan konsumsi bahan bakar tergantung pada kondisi pengoperasion (kerja). Bisa juga disebut, pada suatu kasus saat tidak terbebani (bekerja), sisa gas pembakaran berkurang 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.

### 2.2.3 Mekanisme Katup CVTC

Nissan CVTC sistim sudah lebih canggih dari awal sistim 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.

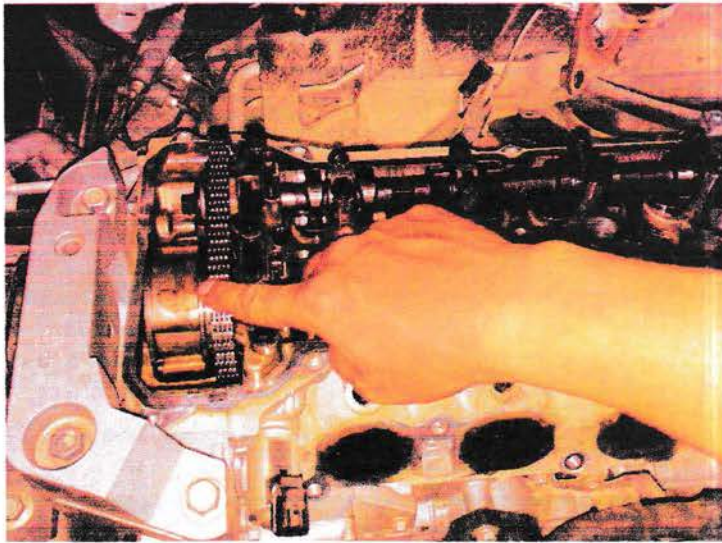
CVTC membuktikan kesuksesan dalam meningkatkan karakteristik mesin, mesin ini menemukan solusi yang cepat dalam meningkatkan karakternya, dalam satu bentuk atau lainnya, pada tiap-tiap Nissan Model, gas/electric adalah sebagai sarana Nissan hybrid. Sistim CVTC telah dipakai pada mesin-mesin(Double-overhead camshaft) standar ini adalah lebih sederhana-tiga tekuk cara /dua-valve sistim adalah hanya untuk intake valve; pada exhaust valve beroperasi seperti pada mesin non-CVTC. Mesin CVTC telah dikembangkan untuk bahan bakar jarak mil tinggi seperti pada Nissan X-TRAIL dan . Seperti SOHC sistem, mesin ini menggunakan dua profil berlekuk untuk menggerakkan katup intake, tetapi

untuk memaksimalkan efisiensi dan mencapai suatu pembakaran yang sangat baik; kedua-dua lekuk adalah sangat lembut dan secara mendasar akan mempengaruhi campuran teraduk. Motor CVTC seri juga telah dipakai pada beberapa Mobil Nissan Murano dan itu meluaskan the powerband dengan sederhana mempercepat atau memperlambat cam dibawah kondisi-kondisi yang berbeda. Adapun desain dan struktur sistem mekanisme katup CVTC adalah seperti gambar dibawah ini :

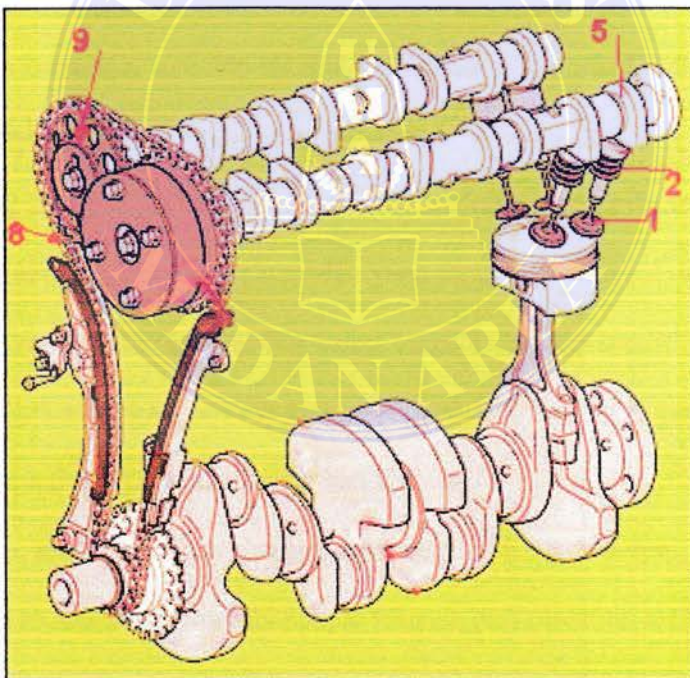


Gambar 2.7 Engine SOHC





Gambar 2.8 Engine DOHC CVTC



Gambar 2.9 Mekanisme Katup DOHC



### 2.2.4 Keefektifan Sistem CVTC

Pada prinsipnya, cara kerja CVTC ini adalah meningkatkan efisiensi mesin dengan cara mengatur kerja sistim katup sesuai dengan beban kerja yang sedang berlangsung. Hasilnya, ia dapat menekan konsumsi bahan bakar sesuai dengan kekuatan kerja mesin. Bila beban ringan maka pasokan bahan bakarnya akan menjadi proporsional, dan ketika beban mulai meningkat pasokannya juga ikut menyetarakan, tidak seperti sebelumnya dimana bahan bakar ini akan menyuplai jumlah yang sama di tiap putaran mesin. Gambaran kerja seperti ini akan menjadikan mesin lebih efisien dan dapat meminimalisasi pembuangan emisi.

Pasokan bensin ke ruang bakar dilakukan lewat katup masuk yang dikontrol oleh camshaft. Camshaft itu sendiri merupakan sebuah batang yang melintang diatas silinder dan memiliki beberapa 'tonjolan. Ketika camshaft berputar pada porosnya, tonjolan ini ikut berputar dan memukul rocker arm yang mendorong batang katup sehingga katup terbuka. Ketika tonjolan sudah lewat katup tertutup kembali. Nissan membuat dua tonjolan cam pada setiap silinder. Tonjolan pertama disebut cam primer dan yang lebih kecil disebut cam sekunder. Pada putaran rendah atau idle, kedua katup bergerak sendiri-sendiri. Karena cam sekunder lebih kecil maka bukaan katupnya juga kecil sehingga pasokan bahan bakarnya menjadi sedikit sesuai kebutuhan saat itu.

Ketika mesin berputar dengan kekuatan 2200 - 2500 rpm, piston yang terdapat pada rocker arm primer mendapat tekanan dari oli untuk mengunci rocker arm sekunder. Hasilnya, kedua katup bergerak bersama dengan dikontrol oleh cam primer. Maka, bukaan kedua katup menjadi sama besar dan bensin yang masukpun menjadi lebih banyak sehingga power bisa menjadi lebih besar.

Setelah sistim pengaturan katup CVTC ini mendapat sambutan yang cukup hangat dari masyarakat, Nissan terus melakukan inovasinya dengan menggabungkannya dengan sistim lain bernama VTC (Variable Timing Control). Jika CVTC mengatur ketinggian bukaan katup, maka VTC ini yang mengatur waktu pembukaan katup. Teknologi ini bisa memajukan saat noken as menekan pelatuk serta memundurkannya sesuai dengan kinerja mesin.

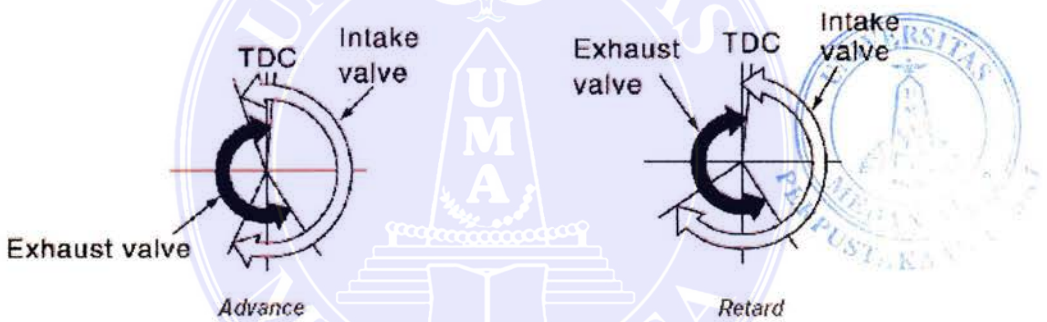
Jika bukaan katup dimajukan atau dipercepat maka volume bahan bakar akan meningkat. Namun ketika waktu bukaan katup diperlambat, volume bahan bakar menjadi berkurang. Dengan demikian, VTC bisa mengubah-ubah sudut camshaft/noken as hingga 500 antara bukaan dimajukan hingga bukaan saat dimundurkan.

Besaran dan kapan bukaan katup terjadi akan terus berubah. Ketika mesin berputar dengan rendah, maka bukaan tak terlalu besar, kemudian akan terus membesar dan cepat seiring peningkatan putaran mesin. Efek yang ditimbulkan oleh sistim VTC membuat sisa pembakaran masuk kembali kedalam katup. Kondisi ini terjadi karena pada saat langkah buang, beberapa saat sebelum piston mencapai TMA (Titik Mati Atas)-nya katup masuk sudah membuka kembali dan di saat ini gas sisa pembakaran terdorong masuk kembali kedalam salurannya. Sisa gas pembakaran yang masuk kedalam intake manifold maka akan dibakar kembali. Kondisi inilah yang menyebabkan Nissan dikenal sebagai salah satu produsen mobil penghemat BBM.

Komponen utama dalam sistim VTC ini adalah aktuator yang digerakkan oleh aliran oli, yang dikontrol oleh sebuah katup OCV (Oil Control Valve) yang membuat pergeseran sudut camshaft. Begitu mesin menyala, maka tekanan oli

yang dipompa akan meningkat hingga mencapai level tertentu dan dapat membuka atau menutup katupnya. Aliran oli pada VTC OCV menyebabkan VTC aktuator melakukan gerakan advance (maju) ataupun retard (mundur), dan disinilah sudut camshaft berubah menyesuaikan kondisi kerja yang sedang berlangsung.

Konstruksi CVTC ini telah banyak digunakan pada kendaraan-kendaraan Nissan yang berarti bahwa keduanya menghasilkan suatu kontrol terhadap bukaan katup primer dan sekunder sekaligus waktu untuk membuka dan menutupnya, sehingga menghasilkan pembakaran yang optimum pada setiap putaran mesin baik rendah, menengah maupun putaran tinggi.



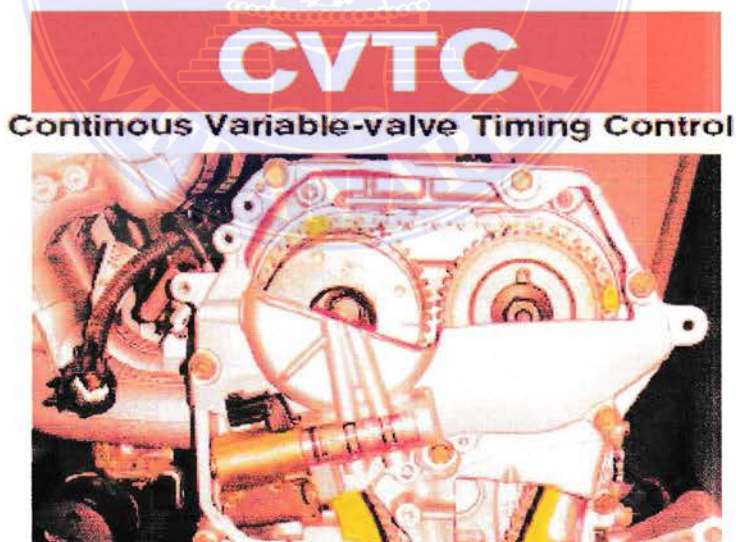
Gambar 3.0 Sudut Pergeseran Katup

Ketika sudut cam membuka lebih awal maka akan terjadi overlap antara katup hisap dan katup buang. Overlap kecil akan memberikan kondisi idle stationer atau putaran rendah yang halus serta torsi pada kecepatan rendah, namun ketika overlap diperbesar, mesin bisa bernafas lega walau rpm-nya tinggi. Pengaturan sudut overlap ini akan memberikan efek yang baik pada rpm rendah maupun tinggi.



Kerja dan VTC ini akan terus dipantau oleh sistim manajemen mesin, yang dibantu oleh beberapa sensor pemberi data ke komputer untuk diolah. Beberapa sensor untuk posisi crankshaft, camshaft actual, tekanan oli, putaran mesin, suhu udara ke ruang bakar dan sebagainya, akan memberikan sinyal ke solenoid untuk memajukan atau memundurkan sudut noken as dan saat untuk mengunci pelatuk pendorong katup.

Jadi, kalau saja semua mobil menggunakan teknologi yang menyerupai CVTC ini, maka bisa dibayangkan persediaan BBM di negara kita akan lebih irit untuk dikonsumsi dan bisa bertahan lebih lama. Dan sekarang pun kita bisa bersyukur karena banyak pabrik-pabrik otomotif di dunia yang sudah menyadari pentingnya penghematan bahan bakar, walau dengan konsekwensi mobil-mobil rakitan mereka harus dijual lebih mahal oleh karena teknologi yang berorientasi pada penghematan ini lebih canggih dari produk sebelumnya.



Gambar 3.1 CVTC Engine



Dan pada kemajuan teknologi Nissan berusaha membuat mobil zero emission (emisi gas buang berkarbon nol) yakni dengan menciptakan mobil elektrik yang ramah lingkungan dan tidak menggunakan bahan bakar. Program ini disebut program **Green Nissan**.

### 2.2.5 Pemodelan dan Kontrol Pada Mesin Variable Valve Timing (VVT)

Hingga saat ini, mesin variabel valve timing telah menarik banyak perhatian oleh karena kemampuannya kepada kontrol katup yang tidak terikat pada perputaran poros mesin, mempertimbangkan pengurangan kerugian pemompaan (pekerjaan memerlukan untuk menarik udara ke dalam silinder di bawah part-load operasi), dan tingkat capaian tenaga putaran (torsi) di atas suatu cakupan lebih luas dibanding mesin spark-ignition konvensional. Variabel valve timing juga mengikuti kendali dan internal gas buang (dengan kendali katup tumpang-tindih), mempertimbangkan kontrol produksi emisi NO<sub>x</sub> selama pembakaran.

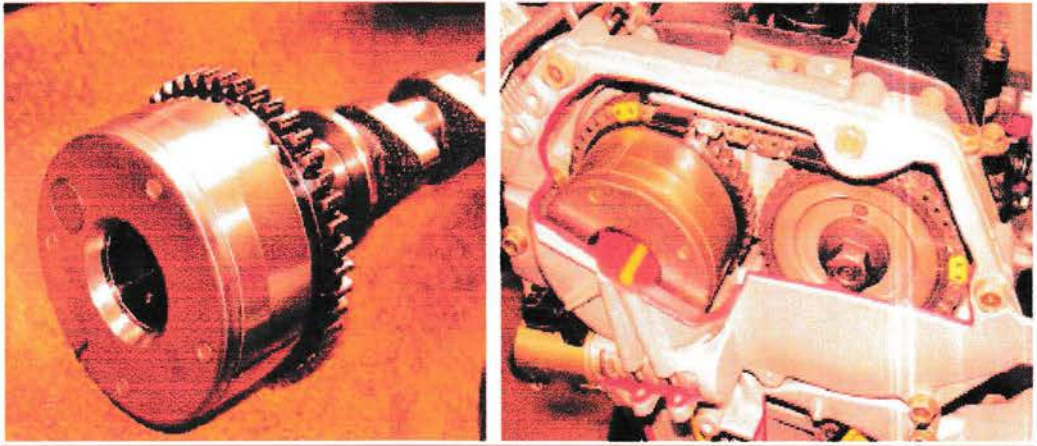
Beberapa studi terperinci telah dilakukan untuk menggambarkan keuntungan-keuntungan pada mesin variabel valve timing. Uraian suatu sistem pemilihan waktu katup variabel mekanik, dan menunjuk kepada kemungkinan mengendalikan aliran udara masuk ke dalam mesin melalui katup yang membuka, dengan begitu menghapuskan throttle dan mengurangi kerugian pemompaan. Berbagai macam pemilihan waktu katup masuk telah ditunjukkan untuk mengurangi pemompaan, tekanan efektif rata-rata sedang memperbaiki ekonomisasi bahan bakar dan emisi NO<sub>x</sub>. Penguraian suatu elektro hidrolik kontrol katup berdasarkan mesin dan menyediakan suatu ringkasan yang baik dan

keuntungan-keuntungan pengurangan cam mesin. Optimisasi kondisi katup pada part-load, efisiensi volumetric, ekonomis bahan bakar, dan emisi NOx bisa ditingkatkan. Telah ditunjukkan bahwa menggunakan fleksibilitas dari suatu electromechanical katup bekerja pada 2, 3. dan 4 gaya katup, seperti halnya dengan penggunaan tindakan menonaktifkan silinder, ekonomisasi konsumsi bahan bakar bisa ditingkatkan di atas suatu cakupan luas dari kondisi-kondisi operasi (Mianzo dan Peng, 2000).

Menurut Klas Telborn (2002) proses otto adalah:

Bahan bakar yang disuplai	: Bahan bakar dan udara telah bercampur atau injeksi langsung dari bahan bakar didalam silinder bercampur
Perbandingan udara / bahan bakar	: mendekati konstan, ketetapan dari pembebanan $\lambda = 0.8 \div 1.8$
Pengapian	: Pengapian dengan penyalaan (busi)
Waktu pengapian	: Waktu penyalaan busi
Pembakaran	: Pengembangan aliran nyala
Bahan bakar yang dibutuhkan	: perlawanan lebih besar untuk pengapian auto
Emisi	: Sangat rendah dengan 3-way catalyst
Efisiensi	: Keseluruhan rendah dan sangat rendah pada saat beban terpisah.

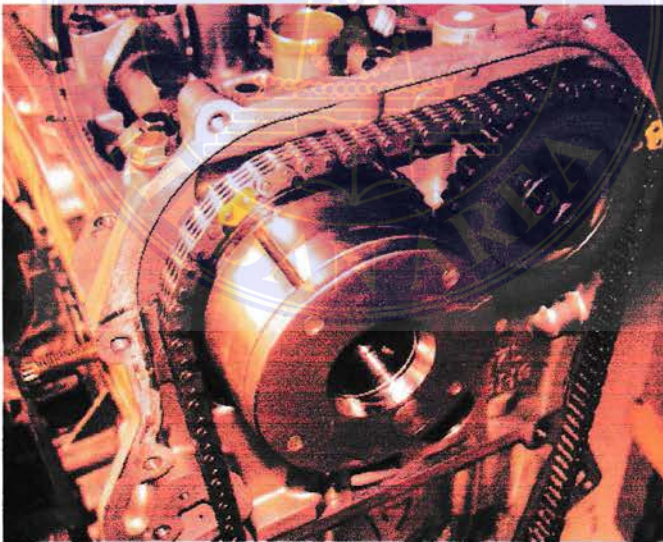
### 2.2.6 Keistimewaan mekanisme katup CVTC .



Gambar 3.2 Perangkat CVTC

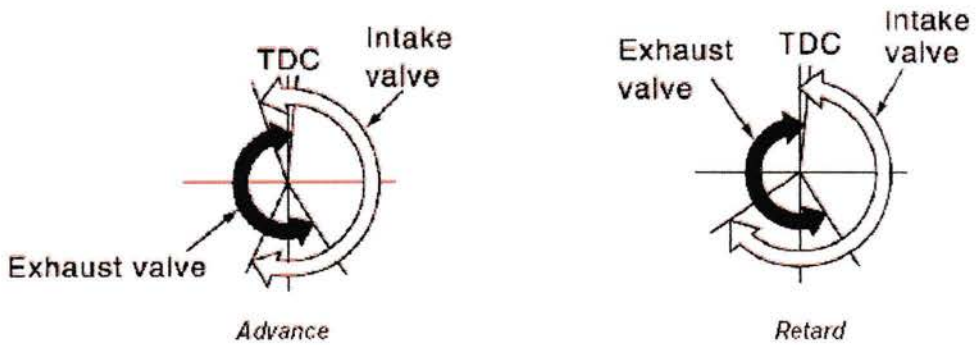
Sistem CVTC memaksimalkan tenaga [horsepower] engine, torque dan efisiensi.

Sistem ini memungkinkan Intake Camshaft untuk ADVANCE maksimal 15°.



Gambar 3.3 Perangkat CVTC





Gambar 3.4 Sudut Pergeseran Katup

Untuk mendapatkan tenaga yang maksimal, pembukaan intake valve yang lebih maju (Advance) dan penutupan intake valve yang lebih lambat (Retard) harus sebesar mungkin.

Ketika intake valve terbuka, pada saat putaran engine tinggi, campuran bahan bakar-udara akan terus menerus masuk, walaupun gerakan piston saat itu naik, karena adanya aliran inersia dari gas.

Namun pada putaran engine rendah, penutupan intake valve yang terlalu lambat (Retard) akan menyebabkan campuran bahan bakar baru akan berbalik arah. Hal ini akan menyebabkan hilangnya torque secara signifikan.

Pengubah posisi Camshaft [CVTC] digunakan untuk meningkatkan tenaga engine dan torque dengan membuat variasi titik pembukaan intake valve.

CVTC akan mempercepat penutupan intake valve (dan mempercepat pembukaan intake valve) pada putaran engine bawah hingga menengah.



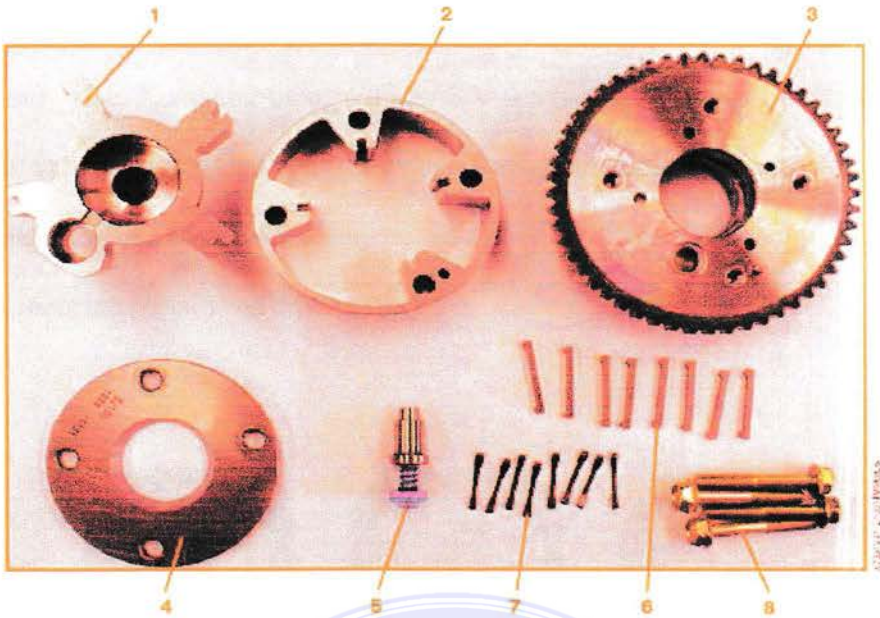


Gambar 3.5 Mekanisme Katup Hidrolik CVTC

ECM [Engine Control Module] menerima signal posisi Crankshaft, posisi Camshaft, Putaran Engine dan Temperatur Engine.

Kemudian ECM akan mengirim signal duty [ON/OFF] kepada intake valve timing control solenoid valve tergantung pada kondisi pengendalian.

Hal ini akan memungkinkan untuk mengontrol waktu membuka/menutupnya intake valve untuk meningkatkan engine torque pada putaran rendah/menengah dan tenaga pada putaran engine tinggi.

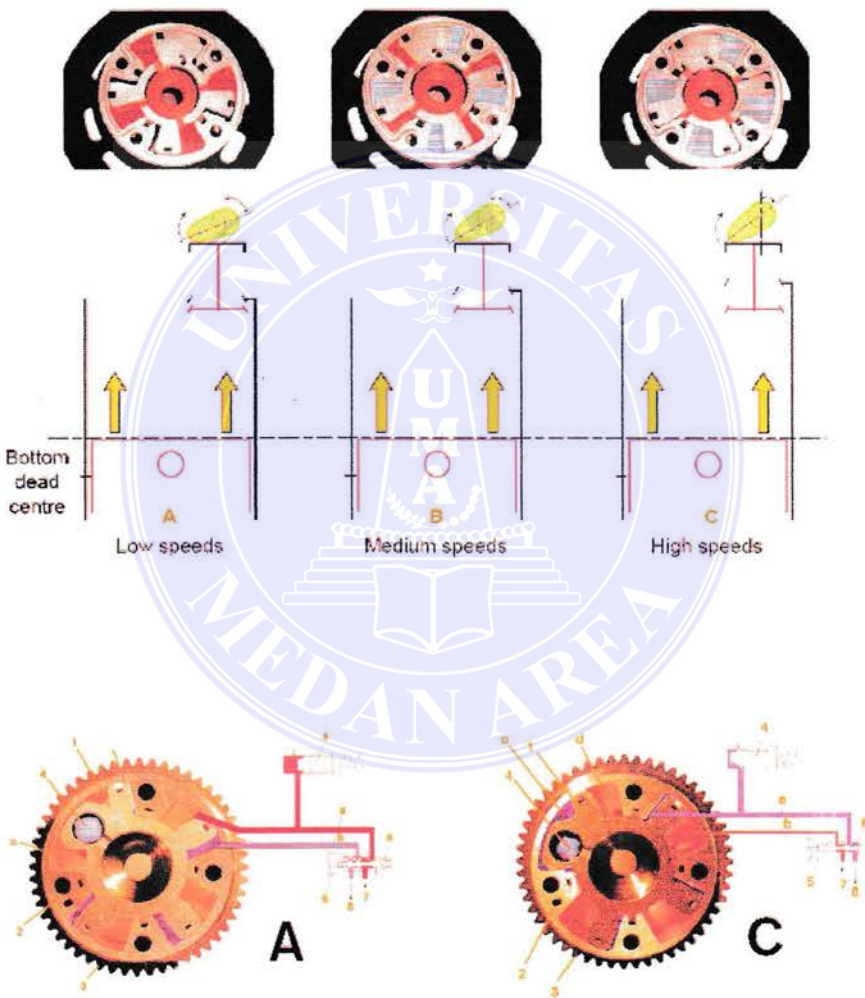


Gambar 3.6 Bagian-bagian Perangkat CVTC

### 2.3 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 3.7 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 intake valve 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.

### 2.3.1 Dinamika-Dinamika Didalam Silinder

Didalam silinder, dinamika terdiri dari yang 4 ketetapan yaitu tekanan silinder, temperatur, massa, dan pembakaran gas residu bersifat sisa. Tekanan Silinder diperoleh dari hukum gas sempurna.

$$P_{cyl} V_{cyl} = m_{cyl} R T_{cyl} \tag{1}$$

Dimana :

$P_{cyl}$  = Tekanan pada silinder

$V_{cyl}$  = Volume silinder

$m_{cyl}$  = Massa molekul di dalam silinder,

$R$  = Konstanta gas universal

$T_{cyl}$  = Temperatur

Perbedaan (1) berkenaan dengan waktu, kita memperoleh:

$$P_{cyl} V_{cyl} + P_{cyl} V_{cyl} = m_{cyl} R T_{cyl} + m_{cyl} \frac{dR}{dF_{cyl}} \frac{dF_{cyl}}{dt} T_{cyl} + m_{cyl} R T_{cyl} \tag{2}$$



$$P_{cyl} V_{cyl} + P_{cyl} V_{cyl} = m_{cyl} RT_{cyl} + m_{cyl} \frac{dR}{dF_{cyl}} \frac{dF_{cyl}}{dt} T_{cyl} + m_{cyl} RT_{cyl} \tag{3}$$

$$P_{cyl} V_{cyl} + P_{cyl} V_{cyl} = m_{cyl} RT_{cyl} + m_{cyl} \frac{R_1 - R_2}{R} F_{cyl} T_{cyl} + m_{cyl} RT_{cyl} \tag{4}$$

Dimana :

$F_{cyl}$  = adalah pecahan dan gas dibakar di  $R_2$  (5)

Bagi LHS Persamaan (4) dengan  $P_{cyl}V_{cyl}$  dan RHS oleh  $m_{cyl}RT_{cyl}$ , kita mempunyai,

$$P_{CYL} = \left[ \frac{m_{cyl}}{m_{cyl}} + \frac{T_{cyl}}{T_{cyl}} + \frac{R_1 - R_2}{R} F_{cyl} - \frac{V_{cyl}}{V_{cyl}} \right] P_{cyl} \tag{6}$$

Silinder berkumpul tingkat perubahan dan kekekalan massa, mengasumsikan bahwa konvensi laju alir adalah positif ke pada volume kontrol, adalah:

$$m_{cyl} = m_{in} + m_{ex} \tag{7}$$

Dimana:

$m_{in}$  dan  $m_{ez}$  = aliran rnassa melalui sisi masuk dan katup buang, yang berturut-turut. Aliran sepanjang klep dapat menjadi model seperti aliran sebagai berikut:

$$m = A_{eff}d(P1,P2) \tag{8}$$

Dimana:

$A_{eff}$  = Area aliran efektif dan

$P_1$  = Tekanan ke arah atas

$P_2$  = Tekanan ke arah hawah

$d$  = Perbedaan tekanan konstan

Pada temperatur silinder, dan Hukum Termodinamika Dasar dapat diuraikan [9]

$$\dot{E} = Q_w - W + m_{in}h_{in} + m_{ex}h_{ex} + Q_{ch} = Q_w - P_{cyl} V_{cyl} + h_{ex} m_{in} + m_{ex} + Q_{ch} \quad (9)$$

Dimana:

$E$  = Total energi di dalam sistem,

$Q_w$  = Tingkat pemindahan kalor melalui dinding silinder,

$W$  = Tingkat pekerjaan yang dilakukan pada piston,

$h_{in}$  dan  $h_{ex}$  = Entalpi aliran sepanjang sisi masuk dan aliran pada sisi keluar,

$Q_{ch}$  = Tingkat panas pembakaran:

$$Q_{ch} = \frac{dm_b}{dt} Q_{LHV} \quad (10)$$

Di sini,

$Q_{LHV}$  = Nilai pemanasan yang lebih rendah dan bahan bakar, yang mana adalah suatu ukuran energi dan bahan bakar, dan dapat ditemukan pada tabel sifat bahan bakar

$m_b$  = Massa dari bahan bakar yang dibakar, yang mana adalah diberi seperti produk dan fraksi (pecahan) yang dibakar.

$X_b$  = Bahan bakar yang di injeksi,  $m_{if}$

$$M_b = x_b m_{if} \quad (11)$$

dan,

$$\frac{dm_b}{dt} = x_b m_{if} + x_b m_{if} \tag{12}$$

Satu metoda umum untuk memperoleh pecahan massa membakar,

$X_b$  = Memakai suatu fungsi empiric dengan fungsi pecahan massa yang dibakar versus sudut crank motor,  $\theta$ , seperti fungsi Wiebe yang diuraikan [9] seperti:

$$x_b = 1 - \exp \left[ -a \left( \frac{\theta - \theta_0}{\Delta\theta} \right)^{m+1} \right] \tag{13}$$

Di mana:

$\theta_0$  = Sudut crank pada saat start pembakaran,

$\Delta\theta$  = Total jangka waktu pembakaran, dan

$a$  dan  $m$  adalah parameter korelasi.

Mencatat bahwa total energi adalah sama dengan  $d(m_{cl}u)/dt$ , dan energi internal,  $u$  = suatu fungsi temperatur dan membakar pecahan gas, kemudian:

$$E = \frac{d(m_{cyl}u)}{dt} = m_{cyl}u + m_{cyl} \frac{du}{dt} = m_{cyl}u + m_{cyl} \left( \frac{\mathcal{A}_u}{\mathcal{F}_{cyl1}} \frac{\mathcal{F}_{cyl1}}{\mathcal{I}_{cyl}} \frac{\mathcal{A}_u}{\theta T_{cyl}} \frac{\mathcal{I}_{cyl}}{dt} \right) \tag{14}$$

Berdasarkan identitas-identitas energi internal,

$$U = F_{cyl}u_1 + (1 - F_{cyl})u_2 \tag{15}$$

dan spesifik panas,  $c_v$ , dapat didefenisikan seperti:

$$C_v = \frac{du}{dT} \tag{16}$$

Kemudian persamaan (14) menjadi:

$$E = m_{cyl}u + m_{cyl}C_v T_{cyl} (u_1 - u_2) F_{cyl} \tag{17}$$

Persamaan diset (9) ke (17) dan penyelesaian untuk  $T_{cyl}$

$$m_{cyl}c_v T_{cyl} = Q_w - P_{cyl}v_{cyl} + m_{in}h_{in} + m_{ex}h_{ex} + Q_{ch} - m_{cyl}u - m_{cyl}(u_1 - u_2)F_{cyl} \tag{18}$$

Dinamika-dinamika fraksi pembakaran gas didalam silinder dapat diuraikan sebagai berikut:

$$\frac{dm_{cyl}F_{cyl}}{dt} = m_{cyl}F_{cyl} + m_{cyl}F_{cyl} = m_{in}F_{i \leftrightarrow cyl} + m_{ex}F_{cyl \leftrightarrow e} \tag{19}$$

$$+ \min((m_{cyl}(1-F_{cyl}))SOC, (m_{if}AFR)SOC)x_b$$

Di mana fungsi (.) mengevaluasi untuk  $(m_{if}AFR)$  di start pembakaran (SOC) jika campuran adalah bersandar atau  $(m_{cyl}, (1 - F_{cyl}))$  pada SOC, jika campurannya adalah kaya atau stoichiometric. mi dilaksanakan hanya bagian dan campuran yang adalah stoichiometric yang akan membakar dengan sepenuhnya, yaitu, kelebihan bahan bakar tidak dibakar, hanya bagian dari gas tidak dibakar di dalam silinder yang stoichiometrically sebanding kepada bahan bakar akan terbakar. Juga,  $m_{in}F_{i-cyl}$  dan  $m_{ez}F_{cyl-e}$  adalah aliran massa tingkat gas yang dibakar ke sisi masuk dan katup buang, yang berturut-turut. Jika aliran gas dibakar kepada arah perubahan silinder, aliran massa secara otomatis diambil tetapi pecahan yang dibakar arus harus yang bervariasi jika arus adalah itu ke dalam silinder, atau silindernya jika arus adalah ke luar dan silinder, ini adalah terpenuhi dengan pembiaran pecahan, dapat didefenisikan sebagai:



$$F_{i \leftrightarrow cyl} = \begin{cases} F_i & \text{iF } m_{in} > 0 \\ F_{cyl} & \text{iF } m_{in} \leq 0 \end{cases} \tag{20}$$

And

$$F_{i \leftrightarrow cyl} = \begin{cases} F_e & \text{iF } > 0 \\ F_{cyl} & \text{iF } m_{ex} \leq 0 \end{cases} \tag{21}$$

dimana

$F_i$  dan  $F_e$  = Sisi masuk dan keluar fraksi manifold, Penyelesaian persamaan (19)

untuk perubahan rasio dan fraksi pembakaran didalam silinder dapat di peroleh:

$$m_{cyl} F_{cyl} = m_{in} F_{i \leftrightarrow cyl} + m_{ex} F_{cyl \leftrightarrow e} - m_{cyl} F_{cyl} + \min((m_{cyl}(1 - F_{cyl}))SOC, (m_{if}AFR)SOC) \tag{22}$$

### 2.3.2 Dinamika-Dinamika Pada Intake Manifold

Dinamika pada intake manifold terdiri dari 4 ketetapan: tekanan manifold, temperatur, massa, dan membakar gas pecahan bersifat sisa, dapat disamakan kepada dinamika silinder. Tekanan pada intake manifold diperoleh dari:

$$P_i V_i = m_i R T_i + m_1 \frac{R_1 + R_2}{R} F_1 + m_1 R T_1 \tag{23}$$

Dimana:

$P_i$  = Tekanan pada intake manifold

$M_i$  = Massa

$V_i$  = Volume

$T$  = Temperatur dan fraksi

Pembagian dan persamaan LHS (23) dengan  $P_i V_i$  dan RHS dan  $m_i R T_i$ , maka :

$$P_i = \left[ \frac{m_1}{m_1} + \frac{T_1}{T_1} + \frac{R_1 + R_2}{R} F_1 \right] \tag{24}$$

Pada intake manifold perbandingan udara yang berubah dan konservasi udara adalah :

$$m_1 = m_{trottle} + \sum_i m_{in} h_{in} \tag{25}$$

Dimana:

$m_{trottle}$  = aliran massa melalui throttle,

$i$  = index silinder

Karena ketetapan temperatur manifold, manifold volume adalah tetap dan pemindahan kalor melalui dinding manifold,

$$m_1 c_e T_i = m_{trottle} h_{trottle} + m_{in} h_{in} - m_2 u - m_i (u_1 - u_2) F_1 \tag{26}$$

Tingkat perubahan Pecahan Gas yang dibakar di dalam intake manifold :

$$\frac{dm_1 f_2}{dt} = m_1 f_1 + m_1 f_1 = m_{trottle} f_{trottle \leftrightarrow i} + m_{in} f_i \leftrightarrow cyl \tag{27}$$

$$F_{trottle} + f_i = \begin{cases} F_{trottle} & \text{if } m_{trottle} > 0 \\ F_i & \text{if } m_{trottle} \leq 0 \end{cases} \tag{28}$$

Kita dapat mengasumsikan  $F_{lh,-OI,/= 0$ , pada sisi masuk udara konstan tidak ada komponen pembakaran. Persamaan penyelesaiannya (27) untuk:

$$F_{11} m_i F_i - m_{trottle} F_{trottle} + m_{in} F_i \leftrightarrow cyl - m_i F_1 \tag{29}$$

Sisi keluar manifold adalah dapat disamakan kepada percek masuk, dengan suatu ketetapan dapat disamakan,  $P m_0, V, T_0$ , dan  $F_0$ , merupakan tekanan pada exhaust manifold. massa, volume, temperatur, dan pecahan, kecuali aliran itu adalah pipa buang sebagai ganti throttle.

Tingkat silinder massa bcrumah dun kekekalan massa adalah

$$m_e = m_{ex} + m_{epipe} \quad (30)$$

Tingkat perubahan Pecahan Gas yang dibakar di dalam exhaust manifold adalah:

$$m_e F_e - m_{ex} F_{cyl} \leftrightarrow e + m_{epipe} F_{e \leftrightarrow epipe} - m_e F_{ei} \quad (31)$$

Dimana:

$$F_{e \leftrightarrow epipe} = \begin{cases} F_{epipe} & \text{if } m_{epipe} > 0 \\ F_e & \text{if } m_{epipe} \leq 0 \end{cases} \quad (32)$$

### 2.3.3 Dinamika-Dinamika Perputaran

Tekanan Silinder yang bekerja melawan terhadap piston menciptakan suatu kekuatan. Kekuatan adalah terdiri atas dan suatu inertial komponen dan suatu komponen dalam kaitan dengan tekanan yang bertindak pada area piston adalah:

$$F_{piston} = F_{press} = F_{inertiol} \quad (33)$$

atau lebih eksplisit

$$F_{piston} = (P_{cyl} - P_{atm}) \frac{\pi B^2}{4} - (m_{eff})A \quad (34)$$



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Jenis Penelitian

Adapun jenis penelitian yang digunakan adalah :

##### 3.1.1. Studi Pustaka

Untuk mendapatkan gambaran teoritis yang berhubungan dengan *Meknime Katup CVTC*

##### 3.1.2. Studi Lapangan

Untuk mengetahui secara actual dan kongkrit tentang *CVTC*

##### 3.1.3. Analisa

Suatu proses penelitian yang dilakukan untuk menghasilkan gambaran atau kesimpulan akhir dari data lapangan yang diperoleh.

#### 3.2. Tempat dan Waktu Pelaksanaan Penelitian

##### 3.2.1. Tempat Pelaksanaan Penelitian

Tempat penelitian dilaksanakan di BENGKEL DEALER NISSAN GATOT SUBROTO yang beralamat di Jl. Gatot Subroto No 148 Medan

##### 3.2.2. Waktu Pelaksanaan Penelitian

Peneletian dilaksanakan selama dua bulan, terhitung sejak bulan Mei 2010 sampai dengan bulan Juli 2010

### 3.2.3. Tabel Kegiatan

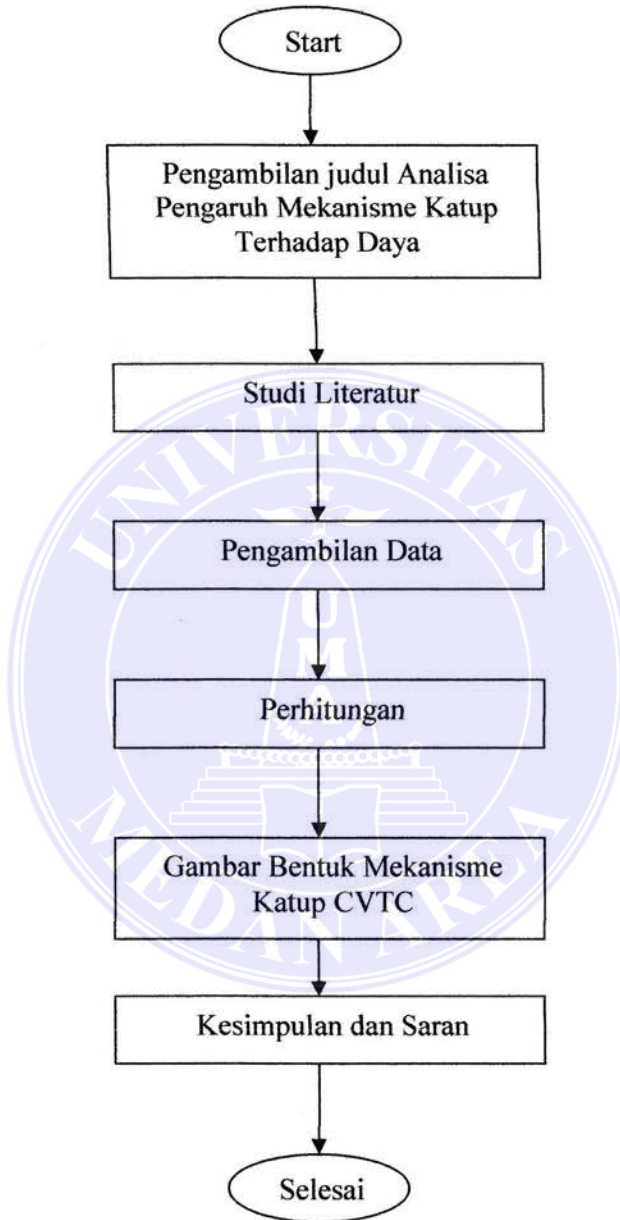
Analisa ini direncanakan selesai mulai dari persiapan hingga selesai dalam waktu enam bulan. Agar tugas akhir ini dapat dilakukan dengan baik maka dibuatlah/disusun suatu jadwal pelaksanaan seperti di bawah ini:

Tabel 3.1 kegiatan menunjukkan jadwal kegiatan dalam bentuk tabel

No	Kegiatan	Bulan					
		4	5	6	7	8	9
1	Persiapan :- Tentative Usulan Analisa						
2	proposal						
3	Seminar Proposal						
4	Persiapan: - Literatur, - Bahan - Alat						
5	Proses Analisa Data,						
6	Pengambilan Data dan Pengolahan dan Analisis Data						
7	Hasil dan Simpulan						
8	Penyusunan/Pembuatan Laporan						
9	Seminar Hasil						
10	Perbaikan, Penyempurnaan Tugas Akhir						
11	Sidang Tugas Akhir (Meja Hijau)						

### 3.3. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian dapat diuraikan sebagai berikut :



#### 3.3.1 Pengambilan Judul

Judul diambil sesuai kemampuan / pemahaman tentang Mekanisme Katup CVTC

### 3.3.2 Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan untuk mendapatkan gambaran secara teoritis mengenai Mekanisme katup CVTC

### 3.3.3. Pengambilan Data

Data – data yang dikumpulkan melalui peninjauan lapangan terhadap objek penelitian

### 3.3.4. Perhitungan

Perhitungan – perhitungan mengenai kinerja mekanisme katup CVTC

### 3.3.5. Gambar

Gambar bentuk konstruksi CVTC

### 3.3.6. Kesimpulan dan Saran

Setelah selesai melakukan penelitian diperoleh beberapa kesimpulan dan saran – saran mengenai penanganan mesin berteknologi tinggi

## 3.4. Sasaran atau Objek Penelitian

Daya dan efisiensi yang dihasilkan mesin dengan mekanisme katup CVTC

## 3.5. Penyajian Data

Data – data yang diperoleh disajikan dalam bentuk teks atau gambar

## 3.6. Analisa Data

Analisa dilakukan secara kuantitatif, yaitu dengan menggunakan rumusan – rumusan atau persamaan – persamaan yang berlaku.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

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. Nissan CVTC (Continuous Variable Valve Timing Control) memvariasikan waktu buka dan tutup pada katup masuk untuk memperbaiki torsi mesin pada kondisi saat kecepatan mesin medium ke rendah. Secara garis besar CVTC mempunyai kemampuan yang efektif untuk :

1. Mengontrol intake camshaft untuk memberikan valve timing yang paling optimal untuk kondisi mesin
2. Memperbaiki torsi disemua tingkat kecepatan
3. Penghematan bahan bakar
4. Mengurangi emisi gas buang sampai 0 (Nol)

#### Kerja Selanjutnya (Further Work)

a. Pada skripsi ini, pembahasan CVTC belum sampai kepada tahap pembahasan secara eksperimental dan simulasi secara khusus kasus per kasus tentang sistim CVTC. Pada skripsi ini telah dibahas tentang unjuk kerja (karakteristik) CVTC dan pengaruhnya terhadap daya pada system mesin (engine), pembahasan yang dimaksud adalah seperti; konstruksi CVTC, kemampuan, unjuk kerja juga kontrol dan pemodelannya. Skripsi ini merekomendasikan pada masa mendatang ada penelitian lanjutan tentang

CVTC dan membahasnya secara khusus (mendalam) dengan memberikan contoh secara eksperimental dan simulasi dengan mengadopsi pemodelan dan kontrol mesin variable valve timing pada BAB II skripsi ini. Hasil dari eksperimental atau simulasi dengan mempergunakan software tertentu, seperti Software Engine Analyzer Pro Versi: 3.3, By Performance Trade Inc., akan menunjukkan secara nyata kemampuan CVTC sistim. Software ini dapat mensimulasikan karakteristik-karakteristik CVTC dengan input parameter-parameter tertentu.

## 5.2 Saran

Diakhir penulisan tugas akhir ini, penulis ingin memberikan beberapa saran dalam hal analisa System mekanisme katup otomatis seperti ini sebaiknya lakukan perawatan dan pembongkaran dengan buku panduan. Atau lakukan perawatan secara berkala pada bengkel perawatan yang telah ditunjuk oleh pihak dealer ataupun pihak pabrikan.

Dan perlu diperhatikan:

1. Janganlah melakukan pembongkaran sendiri, jika anda bukan ahlinya dan benar-benar menguasai tata cara removal and instalation, karena dapat mengakibatkan kerusakan komponen lainnya.
2. Untuk menghindari penumpukan carbon di dalam ruang bakar (Combustion Chamber), gunakanlah produk bahan bakar sesuai dengan oktan yang telah ditentukan dalam spesifikasi mesin anda.
3. Lakukanlah perawatan secara berkala dibengkel resmi. Dengan interval waktu yang telah ditentukan untuk menjaga kondisi kendaraan anda.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Arends BPM., dan Berenschot, H., (1992), *Motor Bensin*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
2. C. Gray, (1988), *A Review of Variable Engine Valve Timing*, SAE, (880386).
3. PT Nissan Motor Indonesia, Training Center. Jl. TB.SIMATUPANG.No. 56.Jakarta Selatan
4. Majalah resmi Nissan Motor Indonesia. Edisi Februari 2008, Edisi Januari 2009, dan edisi Februari 2010.
5. Nissan Ecology, (2009), *Ongoing Technological Developments to Attain Higher Goals/or the Generation*, Section 1 Product Development.
6. James Y., dan Clark G., (2002), *Designing An Adaptive Automotive Control System To Optimize 4-stroke SI Engine Performance*, Senior Thesis 2002, Department of Philosophy, Carnegie Mellon University.
7. Klas Telborn (2002), *A Real-Time Platform For Closed-Loop Control and Crank Angle Based Measurement*, Master's thesis, performed in Vehicular Systems, Reg. no: LiTH-ISY-EX-3304-2002.
8. Masami N., Satoru W., Yoshihiro S., dan Kiyoshi A., (2004), *Port-injection Engine-control System for Environmental Protection*, Hitachi Review, Vol. 53, No. 4.
9. Matthew J. Roche, Gregory M., Shover dan J. Christian Gardes, (2004), *Tackling the Transition: A Multi - Mode Combustion Model of SI and HCCI for Mode Transition Control*. Proceedings of International Mechanical Engineering Conference and Exposition (IMECE), Anaheim, California, U.S.A
10. Mianzo L, dan Peng H., (2000), *Modeling and Control of a Variable Valve Timing Engine*, Proceedings of The American Control Conferences, Chicago, Illinois
11. Umut G., Richard, F., Keith, G., dan Nick C., (2002), *Experimental Investigation of Changing Fuel Path Dynamics in Twin-Independent Variable Camshaft Timing Engines*, Society of Automotive Engineers, Inc., 2002-01-2752