

# **TESIS**

## **DISAIN EKSPERIMEN TAGUCHI UNTUK MINIMASI KADAR CO PADA GAS BUANG**



**STEFANUS UNYANTO**

**PROGRAM PASCASARJANA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2011**

**TESIS**

**DISAIN EKSPERIMEN TAGUCHI UNTUK  
MINIMASI KADAR CO PADA GAS BUANG**



**STEFANUS UNYANTO**

**NIM 09916144**

**PROGRAM PASCASARJANA  
MAGISTER TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2011**

**Halaman prasyarat gelar magister**

**DISAIN EKSPERIMEN TAGUCHI UNTUK  
MINIMASI KADAR CO PADA GAS BUANG**

**Tesis ini untuk memperoleh Gelar Magister pada Program Pascasarjana  
Magister Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia**

**STEFANUS UNYANTO**

**NIM 09916144**

**PROGRAM PASCASARJANA  
MAGISTER TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2011**

## **Lembar Pengesahan**

### **DISAIN EKSPERIMEN TAGUCHI UNTUK MINIMASI KADAR CO PADA GAS BUANG**

Tesis telah disetujui pada tanggal 12 DESEMBER 2011

Pembimbing I,

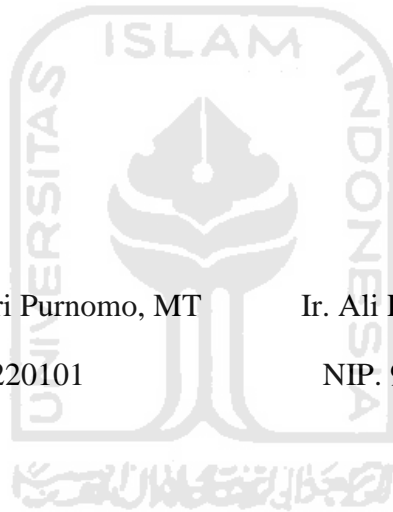
Pembimbing II,

Prof. Dr. Ir. H. Hari Purnomo, MT

NIP. 905220101

Ir. Ali Parkhan, MT

NIP. 905220102



Mengetahui

Direktur Magister Teknik Industri

DR. Sri Kusumadewi, S.Si, MT

NIP. 945230102

Halaman penetapan penguji tesis

Tesis Telah Diuji dan Dinilai Oleh Panitia Penguji

Program Magister Teknik Industri

Universitas Islam Indonesia

Pada Tanggal: 19 Desember 2011

Ketua

Penguji I

Ir. Ali Parkhan, MT

Anggota

Penguji II

Drs. Imam Djati Widodo, M. Eng. Sc

Penguji III

Drs. Faisal RM, MT, Ph. D

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulisan tesis ini dapat diselesaikan dengan baik. Dalam proses penulisan tesis ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Program Pasca Sarjana Universitas Islam Indonesia, yang telah memberikan kesempatan untuk mengikuti program Magister di pascasarjana Universitas Islam Indonesia serta telah memberikan fasilitas yang memadai.
2. Bapak, Ibu Dosen Pascasarjana Universitas Islam Indonesia, yang telah membina para mahasiswa Pascasarjana di Universitas Islam Indonesia.
3. Para staf dan karyawan Pascasarjana Universitas Islam Indonesia, yang telah melayani dengan baik kepada para mahasiswa.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, MT selaku pembimbing I yang dengan tulus ikhlas dan bersedia meluangkan waktu, tenaga, pikiran dan perhatian yang tinggi dalam memberikan bimbingan dan arahan mulai dari penyusunan proposal sampai dengan penyusunan tesis ini.
5. Bapak Ir. Ali Parkhan, MT selaku pembimbing II yang dengan tulus ikhlas dan bersedia meluangkan waktu, tenaga, pikiran dan perhatian yang tinggi dalam memberikan bimbingan dan arahan mulai dari penyusunan proposal sampai dengan penyusunan tesis ini.
6. Istri dan anakku tercinta yang telah turut berkorban dan mendorong didalam memberikan semangat belajar.
7. Kepada semua pihak yang telah turut serta didalam membantu saya didalam meraih gelar master.

Surakarta, September 2011

Penulis

## ABSTRAK

Salah satu permasalahan lingkungan yang sering terjadi di wilayah perkotaan akibat padatnya penduduk dengan sarana dan prasarana transportasinya menjadi sumber pemicu terjadinya pencemaran udara. Bila masalah pencemaran udara ini tidak segera ditanggulangi, maka akan menimbulkan masalah baru yang lebih kompleks, seperti masalah kesehatan masyarakat dan wabah penyakit lain yang disebabkan tingginya kadar CO. Kadar CO dipengaruhi oleh faktor *Ignition timing* (A), *Spark plug gap* (B), *RPM* (C) dan *Air intake*(D).

Hasil eksperimen dengan metode Taguchi menunjukkan bahwa faktor-faktor yang berpengaruh signifikan terhadap minimasi kadar gas buang CO adalah *RPM*( C ); *Air intake*(D); *Spark Plug Gap* (B); dan *Ignition timing* (A) yang masing-masing memberikan persen kontribusi 68.822%, 16.446%, 9.588% dan 5.141%. Kondisi optimal dicapai pada parameter **A1B3C3D1** artinya untuk meminimasi gas buang CO dibutuhkan kombinasi level faktor *Ignition Timing* 5° BTDC; *Spark Plug Gap* 1,1 mm; Putaran Mesin 1500 RPM; dan pemakaian busa pada *Air Intake*.

Pada kondisi awal kadar Carbon Monoksida sebesar 1.55%. Nilai optimal SN Ratio dari CO sebesar 9.476, diikuti pengurangan variasi rata-rata kadar Carbon Monoksida sebesar 63,2 %. Pada kondisi awal besarnya S/N Ratio sebesar 7.289 dengan standar deviasi 0,052. Pada *improved condition*, nilai S/N Ratio meningkat menjadi 9.476. Sedangkan standar deviasi mengalami penurunan menjadi 0,041. Nilai Cp dan CPk pada kondisi awal sebesar 1 (satu). Nilai ini meningkat signifikan menjadi 1.286 pada *improved condition* sehingga unjuk kerja mesin yang tinggi pada pembakaran yang sempurna dapat menurunkan kadar CO sehingga dapat mencegah dan mengendalikan pencemaran lingkungan.

Kata-kata kunci : *Ignition Timing*, *Spark Plug Gap*, RPM, *Air Intake*.

## ABSTRACT

One of the environmental problems that often occur in urban areas is an air pollution. Dense population in urban and transportation problems worsen the air pollution. When the problem is not immediately addressed, then the more complex problems will pose another problems such as public health and disease. The main cause of the problems is the high levels of carbon monoxide (CO). CO levels are influenced by factors as follows: Ignition Timing (A), Spark Plug Gap (B), RPM (C), and Water Intake (D).

The experimental results with the Taguchi method suggests that the factors which significantly influence the minimization of levels of exhaust gas CO is RPM (C), Air Intake (D), Spark Plug Gap (B), Ignition Timing (A). RPM (C) contributed 68.822%, Air Intake (D) 16.446%, Spark Plug Gap (B) 9.588%, and Ignition Timing (A) 5.141%. The optimal conditions are achieved in A1B3C3D1 parameters, meaning that a combination of factors 5° BTDC Ignition Timing, Spark Plug Gap 1.1 mm, the engine turns 1.500 RPM, and the use of foam on Air Intake is required in order to minimize the level of exhaust gas.

CO levels in the initial conditions is equal to 1.55%. The optimal value of S/N Ratio of CO is 9.476. And then the reduction of the average variation of CO levels reaches 63.2%. At that condition S/N Ratio is 7.289 with a standard deviation of 0.052. In the improved condition, the value of S/N ratio increased to 9.476, whereas the standard deviation decreased to 0.041. Cp and Cpk values in the initial conditions is equal to 1 (one). This value increased significantly to 1.286 on the improved condition so that the high performance of engine in the perfect combustion can reduce the levels of CO that can prevent and control the environmental pollution.

Key word: Ignition Timing, Spark Plug Gap, RPM, and Air Intake.



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Pengaruh Jenis Aktivitas Fisik dan Waktu Terhadap Konsentrasi COHb di Dalam Darah .....	17
Gambar 2.2	Torak dan Mekanisme Cranking .....	20
Gambar 2.3.	Panjang Langkah Torak .....	21
Gambar 2.4	Siklus Mesin .....	22
Gambar 2.5.	Prinsip Kerja Mesin 4 Langkah .....	22
Gambar 2.6.	Grafik Ignition Timing .....	24
Gambar 2.7.	Penampang Samping Engine .....	27
Gambar 2.8.	Konstruksi Busi .....	28
Gambar 2.9.	Elektroda Busi .....	30
Gambar 2.10.	Jenis Busi ( <i>Spark Plug</i> ).....	32
Gambar 2.11.	Busi Tipe Resistor .....	33
Gambar 2.12.	Busi Dengan Elektroda Yang Menonjol .....	33
Gambar 2.13.	Busi Dengan Ujung Platina .....	34
Gambar 2.14.	Sistem Kode Busi Nippondenso .....	35
Gambar 2.15.	Sistem Kode Busi NGK .....	36
Gambar 2.16.	Penampang Torak .....	38
Gambar 2.17.	Jenis Torak .....	39
Gambar 2.18.	Celah Torak .....	40
Gambar 2.19.	Pegas Torak .....	41
Gambar 2.20.	Fungsi Piston Ring 1 .....	41

Gambar 2.21. Fungsi Piston Ring 2 .....	42
Gambar 2.22. Oil Ring Tipe Integral dan Tipe Three-Piece .....	43
Gambar 2.23. Oil Ring Tipe Integral .....	44
Gambar 2.24. Tipe Three-Piece .....	44
Gambar 2.25. Piston Ring end Gap .....	45
Gambar 2.26. Sistem Pemasukan Dan Pembuangan ( <i>Intake And Exhaust System</i> ) .....	48
Gambar 2.27. Saringan Udara Tipe Kertas .....	49
Gambar 2.28. Saringan Udara Tipe Kertas Axial Flow .....	50
Gambar 2.29. Pre- Air Cleaner .....	51
Gambar 2.30. Saringan Udara Tipe Oil Bath .....	51
Gambar 2.31. Saringan Udara Tipe Silikon .....	52
Gambar 2.32. Saringan Udara Sistem Otomatis .....	54
Gambar 2.33. Intake Manifold .....	55
Gambar 2.34. Exhaust Manifold .....	55
Gambar 2.35. Pipa Buang .....	56
Gambar 2.36. Catalytic Converter Tipe Pellet .....	57
Gambar 2.37. Catalytic Converter Tipe Monolithic .....	57
Gambar 2.38. Muffler .....	58
Gambar 2.39. Nama-nama Analyser EGA 2000 .....	95
Gambar 2.40. Tampilan Analyser EGA 2000 .....	96
Gambar 2.41. Keterangan Fungsi Tampilan Analyser EGA .....	97

Gambar 2.42. Tampilan Belakang Analyser EGA 2000 .....	99
Gambar 2.43. Cara Menyambung Gas Analyser EGA 2000 .....	101
Gambar 2.44. Cara Menyambung Gas Analyser EGA 2000 dengan Arus Listrik .....	102
Gambar 2.45. Cara Pemasangan Clamp Induksi Pada Plug Cord Gas Analyser EGA 2000 .....	103
Gambar 2.46. Cara Pemasangan Gas Probe Gas Analyser EGA 2000.....	103
Gambar 2.47. Persiapan Pemakaian Gas Analyser EGA 2000.....	104
Gambar 2.48. Pemeriksaan Kontrol RPM Gas Analyser EGA 2000 .....	105
Gambar 2.49. Setting Untuk Membaca Penampilan Volume CO Gas Analyser EGA 2000 .....	105
Gambar 2.50. Setting Untuk Membaca Penampilan Volume CO <sub>2</sub> Gas Analyser EGA 2000 .....	106
Gambar 2.51. Setting Untuk Membaca Penampilan Volume HC Gas Analyser EGA 2000 .....	106
Gambar 2.52. Setting Untuk Membaca Penampilan Volume O <sub>2</sub> Gas Analyser EGA 2000 .....	107
Gambar 2. 53. Setting Untuk Mencetak Hasil dari Gas Analyser EGA 2000 .....	107
Gambar 3.1 Alur penelitian .....	128
Gambar 4.1. Grafik respon faktor utama gas buang CO .....	137
Gambar 4.3. Grafik respon gas buang CO yang optimal .....	141
Gambar 4.4. Grafik pengurangan variasi pada kadar CO .....	144

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Faktur Pajak dari Kawan Lama Sejahtera pt.  
(service alat uji gas analyser)
- Lampiran 2 : Gambar Gas Analyser EGA 2000 dan Gambar Timing Light
- Lampiran 3 : Gambar Dwell Tacho Tester dan Gambar Kompresion Tester
- Lampiran 4 : Gambar Socket Wrench dan Gambar Off Set Wrench
- Lampiran 5 : Gambar Open end Wrench dan Lampiran 9 : Gambar Driver +/-
- Lampiran 6 : - Gambar Thiknes dan Lampiran  
- Gambar Player : Side Cutting, Hevy Duty, Long Noose
- Lampiran 7 : - Gambar Spark Wrench, Trouble Adjuster, Thiknes  
- Lampiran 13 : Gambar Engine Soluna 5A. FE
- Lampiran 8 : - Gambar Dast Board Alat Peraga Engine Soluna 5A. FE.  
- Gambar Timing Clark Engine Soluna 5A. FE.
- Lampiran 9 : - Gambar CO Analyser EGA 2000  
- Gambar Persiapan Eksperimen
- Lampiran 10 : - Gambar Penyetelan Ignition Timing  
- Gambar Pemasangan Light Test Pada Mufler
- Lampiran 11 : - Gambar Penyetelan RPM EGINE  
- Gambar Pemeriksaan Kompresi EGINE
- Lampiran 12 : Gambar Cetak Hasil dari CO Analyser
- Lampiran 13 : Tabel 1 nilai persentil untuk distribusi t
- Lampiran 14 : Tabel 2 nilai persentil untuk distribusi  $x^2$

Lampiran 15 : Perhitungan Hasil Uji Distribusi Normal

- Tabel 3 Hasil uji normalitas menggunakan Kolmogorof Smirnov
- Gambar Grafik Distribusi normal pada kadar CO

Lampiran 16 : Perhitungan uji homogenitas

- Tabel 4 Data Pengujian Kadar CO

Lampiran 17 : Uji Beda Hasil Eksperimen Konfirmasi

- Tabel 5 Hasil standart Industri
- Tabel 6 Perbandingan kadar CO
- Tabel 7 Hasil Uji Optimal



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN SAMPUL DALAM .....	ii
HALAMAN PRASYARAT .....	iii
HALAMAN LEMBAR PENGESAHAN .....	iv
HALAMAN PENETAPAN PANITIA PENGUJI TESIS .....	v
HALAMAN UCAPAN TERIMA KASIH .....	vi
HALAMAN ABSTRAK .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL .....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xx
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1 Polusi Udara .....	6
2.2 Carbon Monoksida (CO) .....	8
2.2.1 Pengaruh gas karbon monoksida (CO) Pada Manusia ...	11

2.2.2	Pengontrolan emisi gas CO dari kendaraan .....	19
2.3	Motor Bensin .....	20
2.3.1	Prinsip kerja mesin bensin .....	20
2.3.2	Prinsip kerja mesin 4 langkah .....	22
2.3.3	Ignition Timing .....	24
2.3.4	Spark Plug Gap .....	26
2.3.4.1	Konstruksi busi .....	28
2.3.4.2	Nilai panas .....	30
2.3.4.3	Busi tipe resistor .....	32
2.3.4.4	Busi dengan elektroda yang menojol .....	33
2.3.4.5	Busi dengan ujung platina .....	34
2.3.4.6	Sistem kode busi .....	34
2.3.5	RPM .....	37
2.4	Torak .....	37
2.4.1	Konstruksi torak .....	37
2.4.2	Celah torak (Celah antara Torak dengan Silinder) .....	38
2.4.3	Pegas torak .....	40
2.4.4	Pegas kompresi .....	42
2.4.5	Pegas pengontrol oli .....	43
2.4.6	Tipe integral .....	43
2.4.7	Tipe three-piece.....	44
2.4.8	Celah ujung pegas.....	45

2.5	Intake .....	45
2.6	Sistem Pemasukan dan Pembuangan - ( <i>Intake And Exhaust System</i> ) .....	47
2.6.1	Saringan Udara .....	48
2.6.2	Saringan udara tipe kertas .....	49
2.6.3	<i>Pre- Air Cleaner</i> .....	50
2.6.4	Saringan udara tipe oil bath .....	51
2.6.5	Saringan udara tipe silikon .....	52
2.6.6	System pemasukan udara panas ( <i>Hot Air Intake</i> ).....	53
2.6.7	Manifold .....	54
2.6.8	Exhaust Manifold .....	55
2.6.9	Pipa Buang .....	56
2.6.10	<i>Catalytic Converter</i> (OC, TWC) .....	56
2.6.11	Muffler .....	58
2.7	Tinjauan Statistik .....	58
2.8	Metode Taguchi .....	60
2.8.1	Kontribusi Taguchi untuk disain eksperimen dan pengembangan kualitas.....	60
2.8.2	Filosofi Taguchi .....	61
2.8.3	<i>Rasio Signal to Noise</i> .....	65
2.8.4	<i>Loss Function</i> .....	66
2.8.5	Prinsip kerja metode Taguchi.....	69



2.9 Uji Persyaratan Analisis Data .....	86
2.9.1 Uji normalitas .....	86
2.9.2 Uji homogenitas .....	88
2.10 Analisis of Variance (ANOVA) .....	89
2.11 Uji Beda .....	92
2.12 Alat Uji Analyser .....	93
2.12.1 Cara menggunakan gas analyser.....	93
2.12.2 Cara menggunakan gas analyser secara benar/tepat	94
2.12.3 Yang penting didalam menggunakan gas analyser ..	96
2.12.4 Keterangan gas analyser .....	96
2.12.5 Bagaimana menyambungkan gas analySer .....	101
2.13 Persiapan di dalam Penggunaan Gas Analyser EGA 2000 .	104
2.14 Penelitian yang Relevan .....	108
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>112</b>
3.1 Obyek dan Subyek Penelitian .....	112
3.1.1 Obyek Penelitian .....	112
3.1.2 Subyek Penelitian .....	112
3.2 Ruang Lingkup Penelitian .....	113
3.3 Populasi dan Sampel .....	113
3.4 Variabel dan Definisi Operasional .....	114
3.4.1 Variabel .....	114
3.4.2 Dfinisi operasional .....	115
3.4.2.1 Gas buang CO .....	115

3.4.2.2 Ignition timing.....	116
3.4.2.3 Spark plug gap .....	117
3.4.2.4 RPM ( <i>Revolutions per minute</i> ).....	118
3.4.2.5 <i>Air cleaner</i> .....	119
3.5 Instrumen Penelitian (Alat dan Alat Ukur yang Dipakai) ..	119
3.6 Pengumpulan Data .....	121
3.6.1 Data primer .....	121
3.6.2 Data sekunder .....	123
3.7 Desain Eksperimen .....	124
3.8 Prosedur Penelitian .....	125
3.8.1 Tahap persiapan .....	125
3.8.2 Tahap eksperimen .....	126
3.8.3 Prosedur pengumpulan data .....	126
3.8.4 Alur penelitian .....	127
3.8.5 Tahap analisis .....	129
3.8.5.1 Analisis Variasi (ANOVA) .....	129
3.8.5.2 Menentukan nilai optimal level tiap faktor pada masing-masing variabel respon .....	131
BAB IV HASIL PENELITIAN .....	132
4.1 Hasil .....	132
4.2 Pengolahan Hasil .....	133
4.2.1 Uji distribusi normal .....	133
4.2.2 Uji homogenitas .....	134

4.2.3 Anova respon gas buang carbon monoksida (CO) .....	135
4.2.4 Signal to noise ratio .....	138
4.2.5 Efek faktor pada respon gas buang carbon - monoksida (CO) .....	139
4.2.6 Prosedur <i>pooling</i> gas buang CO .....	141
4.2.7 Kondisi optimum kadar CO .....	142
4.2.8 Uji beda .....	143
4.2.9 Pengurangan variasi .....	144
BAB V PEMBAHASAN .....	146
5.1 Analisis Faktor .....	146
5.1.1 <i>Ignition Timing</i> .....	146
5.1.2 <i>Spark Plug Gap</i> .....	148
5.1.3 RPM ( <i>Revolutions per minute</i> ) .....	149
5.1.4 <i>Air Intake</i> .....	152
5.2 Analisis Hasil Eksperimen .....	153
5.2.1 Analisis Faktor Dominan Terhadap Rata - rata Kadar CO .....	154
5.2.2 Analisis persen kontribusi terhadap faktor kadar CO .....	154
5.2.3 Pemilihan level pada kondisi optimal .....	155
5.2.4 Penentuan rata-rata pada kondisi optimal .....	156
5.2.6 Analisis hasil eksperimen konfirmasi .....	156

5.2.7 Analisis pengaruh faktor dominan terhadap variabilitas kadar CO .....	157
BAB VI SIMPULAN DAN SARAN .....	158
6.1 Simpulan .....	158
6.2 Saran .....	159

Daftar Pustaka

Lampiran



## DAFTAR PUSTAKA

- Alloca, L., Amato, U., Bertoli, C. dan Corcione, F. E., 1990, Comparison of models and experiments for diesel fuel sprays, *International Symposium COMODIA 90:255-261*.
- Anonim, 2000, *Gas analyzer EGA 2000*, Manual book mesin *gas analyzer EGA*.
- Anonim, 2002, *Biodiesel production and quality*, National Biodiesel Board.
- Anonim, 2011a, Macam-macam busi, diakses tanggal 7 November 2011 tersedia: <http://www.eocommunity.com>
- Anonim, 2011b, Pencerahan tentang fungsi busi diakses tanggal 7 November 2011 tersedia di: <http://www.modifikasi.com>
- Arisma, D., 2010, Pengaruh penambahan reheater pada knalpot terhadap emisi gas buang Co sepeda motor Yamaha Yupiter Z tahun 2004, Skripsi, FKIP Universitas Sebelas Maret, Surakarta
- Arismunandar, W., 1988, *Penggerak mula motor bakar torak*, Penerbit ITB Bandung.
- Bartok, W. and Adel F., 1989, *Fossil fuel combustion – A source book*, John Willey and Sons Inc, New-York.
- Baumgarten, C., 2005, *Mixture formation in internal combustion engines*, Springer – Verlag. Berlin.
- Basuki dan Musabbikhah, 2006, Upaya minimasi gas buang CO, NO<sub>x</sub>, HC dan CO<sub>2</sub> untuk menciptakan lingkungan yang bersih dan sehat, *Jurnal Teknika ATW*, Surakarta, Edisi 2, h.25-31
- Bugis, H., 2009, Kajian pencampuran metanol dalam premium terhadap gas buang CO, HC, dan NO<sub>x</sub> kendaraan bermotor roda dua Tesis, MIPA Universitas Sebelas Maret, Surakarta
- BPS, 2002, Data penduduk, diakses tanggal 5 Oktober 2011, tersedia di: <http://www.ciptakarya.pu.go.id>
- Basuki dan Musabbikhah, 2003, *Penerapan Prosedur Multi Respon Signal To Noise Pada Gas Buang NO<sub>x</sub> dan CO*, Jurnal Ilmiah Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Vol 02 Nomor 1, 1-8.
- Basuki dan Musabbikhah, 2003, *Minimasi Kadar Polutan HC dengan Metode Taguchi*, Proceedings Semnas, Universitas Setia Budi Surakarta, 258-266.

- Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup, 2005, *Uji Emisi Kendaraan Bermotor*, Sukoharjo, Jawa Tengah.
- Belavendram, N., 1995, *Quality by design*, Prentice Hall, International, New York.
- Chairuddin, A., 2006, Faktor-faktor yang mempengaruhi konsentrasi karbon monoksida di dalam darah para montir bengkel otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makasar, *Jurnal Purifikasi*, Vol.7, no.2, h.145-150
- Direktorat Pembekalan dan Pemasaran Dalam Negeri, 1996, *Bahan bakar minyak pertamina untuk kendaraan, rumah tangga, industri dan perkapalan*, Pertamina, Indonesia.
- Douglas C. Montgomery, 1997, *Design and Analysis Experiments*, Fourth Edition, Arizona state University.
- Derringer, G., and Suich, R., 1980, *Simultaneous Optimization of Several Response Variables*, Journal of Quality Technology, p 214-219.
- Montgomery, D., C., 1997, *Design and analysis experiments*, Fourth Edition, Arizona state University
- Gavaises., M., Theodorakakos, A., Bergeles, G, Modeling wall impaction of diesel sprays, *International Journal of Heat and fluid flow*, Vol. 17, No. 2, April 1996
- Heywood, B., 1976, *Internal combustion engine fundamentals*, McGraw-Hill Book Company, Singapore.
- Haeny Suharsono, 2002, Bagaimana Memelihara Kualitas Udara Yang Bersih, Kumpulan Artikel.
- Jerzy Kozlowski, 1997, *Pendekatan Ambang Batas Dalam Perencanaan Kota Wilayah dan Lingkungan*, UI Press.
- Ketaren, S., 1986, *Pengantar teknologi minyak dan lemak pangan*, Jakarta.
- Kusuma, I., G., B., W., 2002, Alat penurun emisi gas buang pada motor, mobil, motor tempel dan mesin pembakaran tak bergerak, *Jurnal Makara, Teknologi*, Vol.6, no.3, h.95-101.
- Kokasih, 2005, Uji Emisi Gas Buang, Artikel Otomotif.
- Khuri, A.I, and Cornell, J.A., 1987. *Respon Surfaces*, Marcel Dekker, New York, NY.
- Lee and Seang-wock, 2002, Effect of diesel fuel characteristics on spray and combustion in a diesel engine, *JSAE Review*, 23 p.407 – 414.

- Mathur M.L. and Sharma R.P., 1980, *A course in internal combustion engine*, Dhanpat Rai & Son, Delhi.
- Manual Book, 2000, *Engine Gas Analyser*.
- Musabbikhah, 2004, *Minimasi Kadar Polutan HC dan CO2 dengan Prosedur MRSN Pada Metode Taguchi*, Proceedings Seminar Nasional Universitas Setia Budi Surakarta, 48-57.
- Michael purba 1994, majalah iptek, suharno 199, fardiaz 1995 : MENYUSUL
- Noviyanti, 2010, Analisis pengaruh kadar gas buang karbon monoksida (CO) terhadap kualitas udara dalam gedung auditorium Universitas Sumatra Utara Medan, Skripsi MIPA Universitas Sumatra Utara, Medan
- Nicolo Belavendram., 1999, *Quality By Design*, Second Edition, Prentice Hall, International.
- Otto Sumarwoto, 1998, Ilmu Lingkungan dan Dampaknya, UGM Press.
- Ross, P., J., 1996, *Taguchi techniques for quality engineering*, Second Edition, MC Graw Hill, Singapore.
- Pambudy, M.N., 2006, Bahan bakar alternatif tarik investor, Harian Kompas, 21 Maret 2006.
- POLWIL Surakarta, 2009, Menyusuri sebab ekonomi dari buruknya kualitas transportasi umum di Solo, diakses tanggal 5 Oktober 2011, tersedia di: <http://www.lpmkentingan.wordpress.com>
- Phillip J. Ross, 1998, *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, Second Edition, MC Graw Hill, Singapore.
- Rahman, A., 2009, Karakteristik semprotan biodiesel menumbuk ruang bakar dengan type piston D-System pada ruang bakar bertekanan, Tesis, Jurusan Teknik Mesin, FTI-ITS
- Setiyawan, A., 2007, Pengaruh ignition timing dan compression ratio terhadap unjuk kerja dan emisi gas buang motor bensin berbahan bakar campuran etanol 85% dan premium 15% (E-85), *Prosiding Seminar Nasional Teknologi*, Yogyakarta, 24 November
- Sudjana, 1992, *Metoda statistik*, Edisi ke 5, Tarsito, Bandung
- Suharto, 1999, Manajemen Perawatan Mesin, Jakarta : Bhineka Cipta.
- Shanty MF Syahrif, 2003, Mengatasi Pencemaran Udara dengan Euro2, Jurnal Pelangi.

- Sugiyono, 2009. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D, Bandung : Alfabeta.
- Tong, L and Chao,T Su., 1997, *Optimizing Multirespon Problems In The Taguchi Methods by Fuzzy Multiple Attribute Decision Making*, Quality And Reability Engineering International, Vol 13, 25-34.
- Totok Prasetyo, 2003, Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor, Artikel Ilmiah.
- Yogie, 2011, Kontruksi busi diakses tanggal 5 Oktober, tersedia di: <http://www.getfreeartikel.wordpress.com>







## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2000, *Gas analyzer EGA 2000*, Manual book mesin *gas analyzer EGA*.
- Anonim, 2002, *Biodiesel production and quality*, National Biodiesel Board.
- Anonim, 2011a, Macam-macam busi, diakses tanggal 7 November 2011 tersedia: <http://www.eocommunity.com>
- Anonim, 2011b, Pencerahan tentang fungsi busi diakses tanggal 7 November 2011 tersedia di: <http://www.modifikasi.com>
- Arisma, D., 2010, Pengaruh penambahan reheater pada knalpot terhadap emisi gas buang Co sepeda motor Yamaha Yupiter Z tahun 2004, Skripsi, FKIP Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Bartok, W. and Adel F., 1989, *Fossil fuel combustion – A source book*, John Willey and Sons Inc, New-York.
- Basuki dan Musabbikhah, 2006, Upaya minimasi gas buang CO, NOx, HC dan CO2 untuk menciptakan lingkungan yang bersih dan sehat, *Jurnal Teknika ATW*, Surakarta, Edisi 2, h.25-31.
- BPS, 2002, Data penduduk, diakses tanggal 5 Oktober 2011, tersedia di: <http://www.ciptakarya.pu.go.id>
- Chairuddin, A., 2006, Faktor-faktor yang mempengaruhi konsentrasi karbon monoksida di dalam darah para montir bengkel otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makasar, *Jurnal Purifilusi*, Vol.7, no.2,h.145-150
- Derringer, G. and Suich, R., 1980, Simultaneous optimization of several response variables, *Journal of Quality Technology*, p 214-219.
- Direktorat Pembekalan dan Pemasaran Dalam Negeri, 1996, *Bahan bakar minyak pertamina untuk kendaraan, rumah tangga, industri dan perkapalan*, Pertamina, Indonesia.
- Fardiaz, S., 1992, *Polusi air dan udara*, Kanisius, Yogyakarta.
- Khuri, A. I. and Cornell, J. A., 1981, *Respon surfaces*, Marcel Dekker, New York, NY.
- Kokasih, 2005, Uji emisi gas buang, Artikel Otomotif.
- Kozlowski, J., 1999, *Pendekatan ambang batas dalam perencanaan kota wilayah dan lingkungan*, UI Press, Jakarta.


- Kusuma, I. G. B. W., 2002, Alat penurun emisi gas buang pada motor, mobil, motor tempel dan mesin pembakaran tak bergerak, *Jurnal Makara, Teknologi*, Vol.6, no.3, h.95-101.
- Montgomery, D. C., 1997, *Design and analysis experiment*, Fourth Edition, Arizona State University
- Noviyanti, 2010, Analisis pengaruh kadar gas buang karbon monoksida (CO) terhadap kualitas udara dalam gedung auditorium Universitas Sumatra Utara Medan, Skripsi MIPA Universitas Sumatra Utara, Medan.
- POLWIL Surakarta, 2009, Menyusuri sebab ekonomi dari buruknya kualitas transportasi umum di Solo, diakses tanggal 5 Oktober 2011, tersedia di: <http://www.lpmkentingan.wordpress.com>
- Prasetyo, T., 2003, Ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor, Artikel Ilmiah.
- Ross, P. J., 1996, *Taguchi techniques for quality engineering*, Second Edition, MC Graw Hill, Singapore.
- Setiyawan, A., 2007, Pengaruh ignition timing dan compression ratio terhadap unjuk kerja dan emisi gas buang motor bensin berbahan bakar campuran etanol 85% dan premium 15% (E-85), *Prosiding Seminar Nasional Teknologi*, Yogyakarta, 24 November.
- Sudjana, 1992, *Metoda statistik*, Edisi ke 5, Tarsito, Bandung.
- Sugiyono, 2009. *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif dan R & D*, Alfabeta, Bandung.
- Suharsono, H., 2002, Bagaimana memelihara kualitas udara yang bersih, Kumpulan Artikel.
- Suharto, 1999, *Manajemen perawatan mesin*, Bhineka Cipta, Jakarta.
- Sumarwoto, O., 1998, *Ilmu lingkungan dan dampaknya*, UGM Press, Yogyakarta.
- Suyanto, W., 1989, *Teori motor bensin*, Departemen Pendidikan Dan Kebudayaan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Jakarta.
- Syahrif, S., MF., 2003, Mengatasi pencemaran udara dengan euro2, *Jurnal Pelangi*.
- Toyota, tt, New step I training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta.

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Nilai Ambang Batas yang Diiijinkan .....	12
Tabel 2.2.	Pengaruh Karbon Monoksida <i>Haemoglobin</i> (COHb) - Terhadap Kesehatan .....	15
Tabel 2.3.	Data Ekuilibrium Antara CO di Udara dengan COHb di - Dalam Darah .....	16
Tabel 2.4.	Data Jumlah Kendaraan Bermotor yang Terdaftar (kecuali Militer) .....	18
Tabel 2.5.	Jumlah dan Kepadatan Penduduk di Kota Surakarta Tahun 2008 .....	19
Tabel 2.6.	Strategi Taguchi untuk minimasi jumlah eksperimen dengan 7 faktor, 2 level .....	72
Table 2.7.	Full-factorial eksperimen (diperlukan $2^7$ kombinasi level Factor .....	73
Tabel 2.8.	1/2 FFE (Fractional – Factorial Experiment) .....	74
Tabel 2.9.	1/4 FFE (Fractional – Factorial Experiment) .....	75
Tabel 2.10.	1/8 FFE (Fractional – Factorial Experiment) .....	76
Tabel 2.11.	1/16 FFE (Fractional – Factorial Experiment) .....	77
Tabel 2.12.	Taguchi : L9 OA Matrik .....	78
Tabel 2.13.	Tabel Pembanding Kolmogorov Smirnov .....	88
Tabel 2.14.	Tabel Ringkasan Perhitungan Homogenitas dengan Uji Bartlett. ....	88

Tabel 3.1. Faktor dan Level .....	114
Tabel 3.2. Setting parameter pengujian gas buang .....	121
Tabel 3.3. Desain eksperimen 4 faktor, 3 level .....	125
Tabel 3.4. Tabel 3.4 Array Orthogonal L9 ( $3^4$ ) .....	126
Tabel 3.5. Skema percobaan 4 faktor,3 level dengan n replikasi pada pengujian gas buang .....	129
Tabel 3.6. Daftar Anova Eksperimen kadar gas buang .....	130
Tabel 4.1. Data pengujian kadar CO .....	133
Tabel 4.2. Hasil uji normalitas menggunakan Kolmogorof Smirnov .....	134
Tabel 4.3. ANOVA Gas Buang Carbon Monoksida (CO) .....	135
Tabel 4.4. Respon Faktor Utama .....	137
Tabel 4.5. Signal to Noise ratio kadar CO pada gas buang .....	139
Tabel 4.6. Nilai Optimal Tiap Faktor pada gas buang CO .....	140
Tabel 4.7. Tabel kondisi optimum gas buang CO .....	143

Lampiran 1 : Faktur Pajak dari Kawan Lama Sejahtera pt.  
(service alat uji gas analyser)



**Kawan Lama Sejahtera pt**  
#1 Commercial & Industrial Supply Company

Lembar ke-1 : Untuk Pembeli BKP/Penerima JKP  
sebagai bukti Pajak Masukan

**FAKTUR PAJAK**

Kode dan Nomor Seri Faktur Pajak : 010.007-11.00004058

Pengusaha Kena Pajak

Nama : **PT. KAWAN LAMA SEJAHTERA**

Alamat : **JL. PURI KENCANA NO. 1 KEMBARANGAN SELATAN KEMBARANGAN JAKARTA BARAT DKI JAKARTA RAYA 11610**

N.P.W.P. : **01.363.367.2-038.000**

Pembeli Barang Kena Pajak/Penerima Jasa Kena Pajak

Nama : **AKADEMI TEKNIK WARGA**

Alamat : **JL. IR. JUANDA NO. 72 SOLO**

N.P.W.P. : **00.000.000.0-000.000**

**KAS-BON**

Nomor Penggal

9/4 9/3 "


No. Urut	Nama Barang Kena Pajak/Jasa Kena Pajak	Kuantum	Harga Satuan Rp	Harga Jual/Penggantian/ Uang Muka/Termin	
				Valas *)	Rp.
1	5123008 EXTERNAL TRANSPARENT FILTER F/488/898	1,00 EA	46.750,00		46.750,00 ✓
	** 5123012 STANDARD CARTRIDGE FILTER	1,00 EA	139.400,00		139.400,00 ✓
	** SL51044 NYLON WIRE FILTER	1,00 EA	60.350,00		60.350,00 ✓
4	** SL31085 OXYGEN SENSOR FOR 488	1,00 EA	1.479.000,00		1.479.000,00 ✓
5	LK CABLE OXYGEN SENSOR F/BGA2000	1,00 EA	42.500,00		42.500,00 ✓
6	BIAYA KALIBRASI	1,00 UN	300.000,00		300.000,00 ✓
7	BIAYA SERVICE	1,00 UN	200.000,00		200.000,00 ✓
8	SLS0124 PAPER TUST PRINTER	1,00 EA	153.000,00		153.000,00 ✓
<p><i>- Service alat uji Gas analyser utk Lab. Otomotif.</i></p> <p><i>Jm</i></p>					
<p>Harga Jual/Penggantian/Uang Muka/Termin **)</p>					2.421.000,00 ✓
Dikurangi Potongan Harga					0,00
Dikurangi Uang Muka yang telah diterima					0,00
Dasar Pengenaan Pajak					2.421.000,00 ✓
PPN = 10% x Dasar Pengenaan Pajak					242.100,00 ✓

Pajak Penjualan Atas Barang Mewah

Tarif	DPP	PPn BM
..... %	Rp .....	Rp .....
..... %	Rp .....	Rp .....
..... %	Rp .....	Rp .....
..... %	Rp .....	Rp .....
Jumlah		Rp .....

Catatan :  
Kurs : Rp .....

SEMARANG 07 APRIL 2011



Kawan Lama Sejahtera pt  
INDONESIA

Nama : **SUPERVISOR LELA SM**

1) Diisi apabila penyerahan menggunakan mata uang asing  
2) Coret yang tidak perlu

Lampiran 2



Gambar 1. Gas Analyser EGA 2000



Gambar 2. Timing Light

Lampiran 3



Gambar 3. Dwell Tacho Tester



Gambar 4. Kompresion Tester



Lampiran 4



Gambar 5. Socket Wrench



Gambar 6. Off Set Wrench

Lampiran 5



Gambar 7. Open and Wrench



Gambar 8. Driver +/-

Lampiran 6



Gambar 9. Thiknes

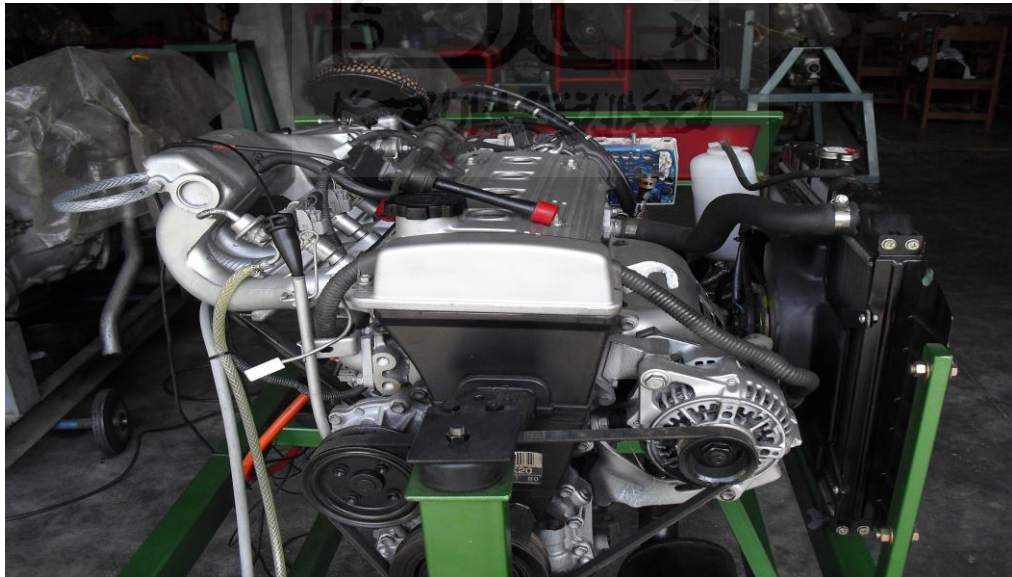


Gambar 10. Player : Side Cutting, Hevy Duty, Long Noose

Lampiran 7

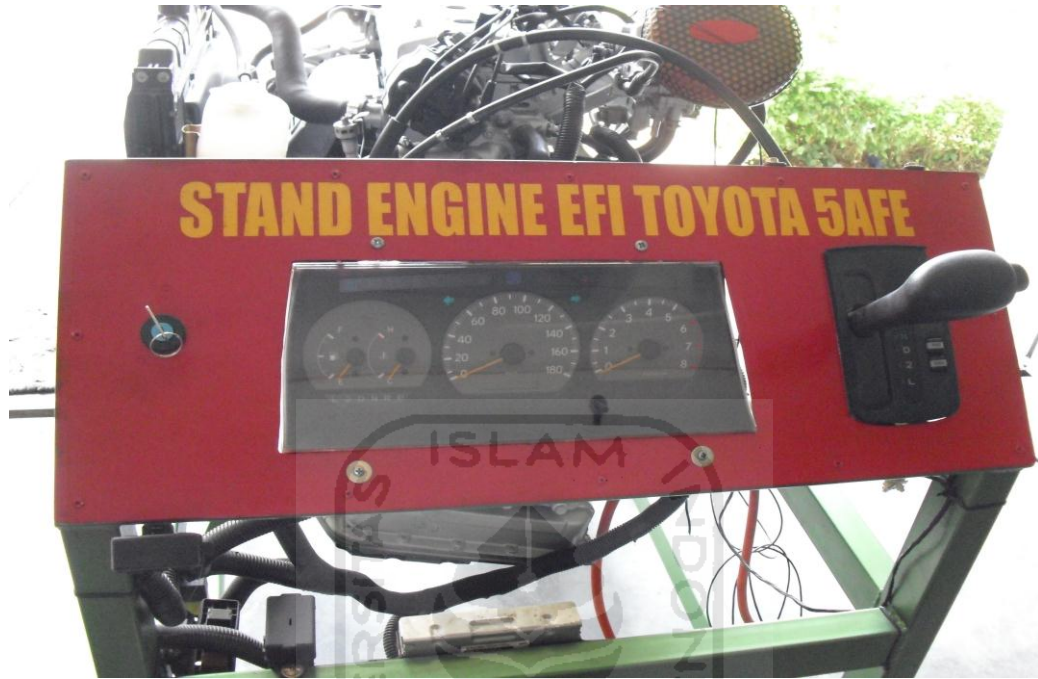


Gambar 11. Spark Wrench, Trouble Adjuster, Thiknes

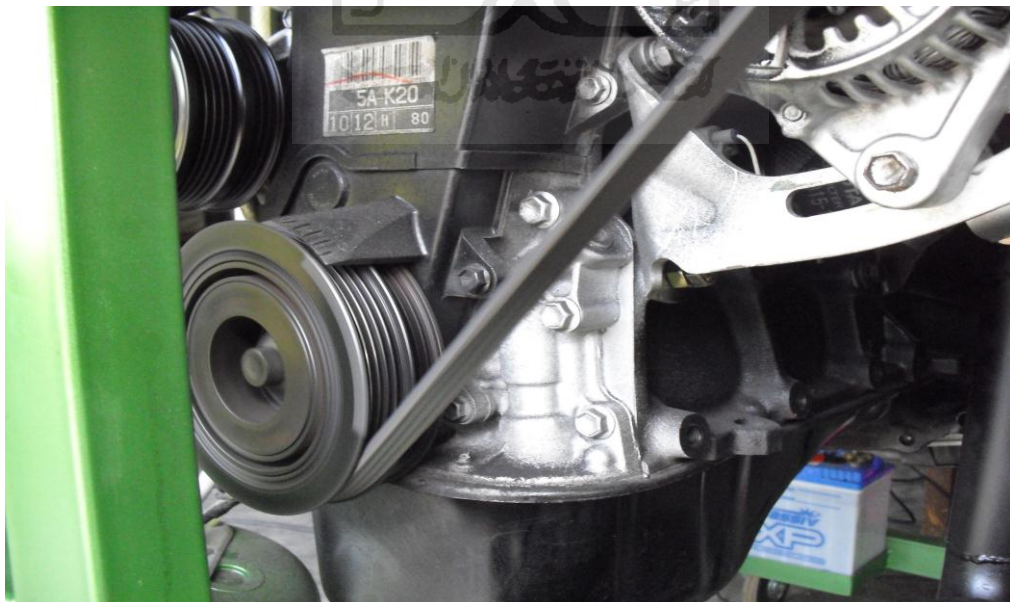


Gambar 12. Engine Soluna 5A. FE

Lampiran 8



Gambar 13. Dast Board Alat Peraga Engine Soluna 5A. FE.



Gambar 14. Timing Clark Engine Soluna 5A. FE.

Lampiran 9



Gambar 15. CO Analyser EGA 2000



Gambar 16. Persiapan Eksperimen

Lampiran 10



Gambar 17. Penyetelan Ignition Timing



Gambar 18. Pemasangan Light Test Pada Muffler

Lampiran 11



Gambar 19. Penyetelan RPM Engine



Gambar 20. Pemeriksaan Kompresi Engine



Lampiran 12

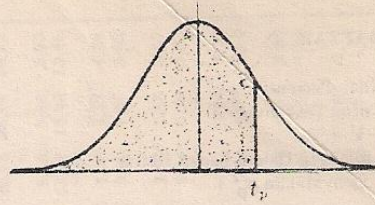


Gambar 21. Cetak Hasil dari CO Analyser EGA 2000

Lampiran 13 : Tabel 1 Nilai persentil untuk distribusi t

DAFTAR G

Nilai Persentil  
Untuk Distribusi t  
 $\nu = dk$   
(Bilangan Dalam Badan Daftar  
Menyatakan  $t_p$ )



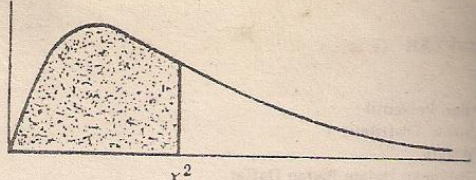
$\nu$	$t_{0,995}$	$t_{0,99}$	$t_{0,975}$	$t_{0,95}$	$t_{0,90}$	$t_{0,80}$	$t_{0,75}$	$t_{0,70}$	$t_{0,60}$	$t_{0,55}$
1	63,66	31,82	12,71	6,31	3,08	1,376	1,000	0,727	0,525	0,158
2	9,92	6,96	4,30	2,92	1,89	1,061	0,816	0,617	0,289	0,142
3	5,84	4,54	3,18	2,35	1,64	0,978	0,765	0,584	0,277	0,137
4	4,60	3,75	2,78	2,13	1,53	0,941	0,741	0,569	0,271	0,134
5	4,03	3,36	2,57	2,02	1,48	0,920	0,727	0,559	0,267	0,132
6	3,71	3,14	2,45	1,94	1,44	0,906	0,718	0,553	0,265	0,131
7	3,50	3,00	2,36	1,90	1,42	0,896	0,711	0,549	0,263	0,130
8	3,36	2,90	2,31	1,86	1,40	0,889	0,706	0,546	0,262	0,130
9	3,25	2,82	2,26	1,83	1,38	0,885	0,703	0,544	0,261	0,129
10	3,17	2,76	2,23	1,81	1,37	0,879	0,700	0,542	0,260	0,129
11	3,11	2,72	2,20	1,80	1,36	0,876	0,697	0,540	0,260	0,129
12	3,06	2,68	2,18	1,78	1,36	0,873	0,695	0,539	0,259	0,128
13	3,01	2,65	2,16	1,77	1,35	0,870	0,694	0,538	0,259	0,128
14	2,98	2,62	2,14	1,76	1,34	0,868	0,692	0,537	0,258	0,128
15	2,95	2,60	2,13	1,75	1,34	0,866	0,691	0,536	0,258	0,128
16	2,92	2,58	2,12	1,75	1,34	0,865	0,690	0,535	0,258	0,128
17	2,90	2,57	2,11	1,74	1,33	0,863	0,689	0,534	0,257	0,128
18	2,88	2,55	2,10	1,73	1,33	0,862	0,688	0,534	0,257	0,127
19	2,86	2,54	2,09	1,73	1,33	0,861	0,688	0,533	0,257	0,127
20	2,84	2,53	2,09	1,72	1,32	0,860	0,687	0,533	0,257	0,127
21	2,83	2,52	2,08	1,72	1,32	0,859	0,686	0,532	0,257	0,127
22	2,82	2,51	2,07	1,72	1,32	0,858	0,686	0,532	0,256	0,127
23	2,81	2,50	2,07	1,71	1,32	0,858	0,685	0,532	0,256	0,127
24	2,80	2,49	2,06	1,71	1,32	0,857	0,685	0,531	0,256	0,127
25	2,79	2,48	2,06	1,71	1,32	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127
26	2,78	2,48	2,06	1,71	1,32	0,856	0,684	0,531	0,256	0,127
27	2,77	2,47	2,05	1,70	1,31	0,855	0,684	0,531	0,256	0,127
28	2,76	2,47	2,05	1,70	1,31	0,855	0,683	0,530	0,256	0,127
29	2,76	2,46	2,04	1,70	1,31	0,854	0,683	0,530	0,256	0,127
30	2,75	2,46	2,04	1,70	1,31	0,854	0,683	0,530	0,256	0,127
40	2,70	2,42	2,02	1,68	1,30	0,851	0,681	0,529	0,255	0,126
60	2,66	2,39	2,00	1,67	1,30	0,848	0,679	0,527	0,254	0,126
120	2,62	2,36	1,98	1,66	1,29	0,845	0,677	0,526	0,254	0,126
$\infty$	2,58	2,33	1,96	1,645	1,28	0,842	0,674	0,524	0,253	0,126

Sumber : Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research, Fisher, R. A. dan Yates, F.  
Table III, Oliver & Boyd Ltd, Edinburgh.

Lampiran 14 : Tabel 2 Nilai persentil untuk distribusi  $\chi^2$

DAFTAR H

Nilai Persentil  
Untuk Distribusi  $\chi^2$   
 $\nu = dk$   
(Bilangan Dalam Badan Daftar  
Menyatakan  $\chi^2_p$ )



$\nu$	$\chi^2_{0.995}$	$\chi^2_{0.99}$	$\chi^2_{0.975}$	$\chi^2_{0.95}$	$\chi^2_{0.90}$	$\chi^2_{0.75}$	$\chi^2_{0.50}$	$\chi^2_{0.25}$	$\chi^2_{0.10}$	$\chi^2_{0.05}$	$\chi^2_{0.025}$	$\chi^2_{0.01}$	$\chi^2_{0.005}$
1	7.88	6.63	5.02	3.84	2.71	1.32	0.455	0.102	0.016	0.004	0.001	0.0002	0.000
2	10.6	9.21	7.38	5.99	4.61	2.77	1.39	0.575	0.211	0.103	0.051	0.0201	0.010
3	12.8	11.3	9.35	7.81	6.25	4.11	2.37	1.21	0.584	0.352	0.216	0.115	0.072
4	14.9	13.3	11.1	9.49	7.78	5.39	3.36	1.92	1.06	0.711	0.484	0.297	0.207
5	16.7	15.1	12.8	11.1	9.24	6.63	4.35	2.67	1.61	1.15	0.831	0.551	0.412
6	18.5	16.8	14.4	12.6	10.6	7.84	5.35	3.45	2.20	1.64	1.24	0.872	0.676
7	20.3	18.5	16.0	14.1	12.0	9.04	6.35	4.25	2.83	2.17	1.69	1.24	0.989
8	22.0	20.1	17.5	15.5	13.1	10.2	7.34	5.07	3.49	2.73	2.18	1.65	1.34
9	23.6	21.7	19.0	16.9	14.7	11.4	8.34	5.90	4.17	3.33	2.70	2.09	1.73
10	25.2	23.2	20.5	18.3	16.0	12.5	9.34	6.74	4.87	3.94	3.25	2.56	2.16
11	26.8	24.7	21.9	19.7	17.3	13.7	10.3	7.58	5.58	4.57	3.82	3.05	2.60
12	28.3	26.2	23.3	21.0	18.5	14.8	11.3	8.44	6.30	5.23	4.40	3.57	3.07
13	29.8	27.7	24.7	22.4	19.8	16.0	12.3	9.30	7.04	5.89	5.01	4.11	3.57
14	31.3	29.1	26.1	23.7	21.1	17.1	13.3	10.2	7.79	6.57	5.63	4.66	4.07
15	32.8	30.6	27.5	25.0	22.3	18.2	14.3	11.0	8.55	7.26	6.26	5.23	4.60
16	34.3	32.0	28.8	26.3	23.5	19.4	15.3	11.9	9.31	7.96	6.91	5.81	5.14
17	35.7	33.4	30.2	27.6	24.8	20.5	16.3	12.8	10.1	8.67	7.56	6.41	5.70
18	37.2	34.8	31.5	28.9	26.0	21.6	17.3	13.7	10.9	9.39	8.23	7.01	6.26
19	38.6	36.2	32.9	30.1	27.2	22.7	18.3	14.6	11.7	10.1	8.91	7.63	6.84
20	40.0	37.6	34.2	31.4	28.4	23.8	19.3	15.5	12.4	10.9	9.59	8.26	7.43
21	41.4	38.9	35.5	32.7	29.6	24.9	20.3	16.3	13.2	11.6	10.3	8.90	8.03
22	42.8	40.3	36.8	33.9	30.8	26.0	21.3	17.2	14.0	12.3	11.0	9.54	8.64
23	44.2	41.6	38.1	35.2	32.0	27.1	22.3	18.1	14.8	13.1	11.7	10.2	9.26
24	45.6	43.0	39.4	36.4	33.2	28.2	23.3	19.0	15.7	13.8	12.4	10.9	9.89
25	47.0	44.3	40.6	37.7	34.4	29.3	24.3	19.9	16.5	14.6	13.1	11.5	10.5
26	48.3	45.6	41.9	38.9	35.6	30.4	25.3	20.8	17.3	15.4	13.8	12.2	11.2
27	49.6	47.0	43.2	40.1	36.7	31.5	26.3	21.7	18.1	16.2	14.6	12.9	11.8
28	51.0	48.3	44.5	41.3	37.9	32.6	27.3	22.7	18.9	16.9	15.3	13.6	12.5
29	52.3	49.6	45.7	42.6	39.1	33.7	28.3	23.6	19.8	17.7	16.0	14.3	13.1
30	53.7	50.9	47.0	43.8	40.3	34.8	29.3	24.5	20.6	18.5	16.8	15.0	13.8
40	66.8	63.7	59.3	55.8	51.8	45.6	39.3	33.7	29.1	26.5	24.4	22.2	20.7
50	79.5	76.2	71.4	67.5	63.2	56.3	49.3	42.9	37.7	34.8	32.4	29.7	28.0
60	92.0	88.4	83.3	79.1	74.4	67.0	59.3	52.3	46.5	43.2	40.5	37.5	35.5
70	104.2	100.4	95.0	90.5	85.5	77.6	69.3	61.7	55.3	51.7	48.8	45.1	43.3
80	116.3	112.3	106.6	101.9	96.6	88.1	79.3	71.1	64.3	60.4	57.2	53.5	51.2
90	128.3	124.1	118.1	113.1	107.6	98.6	89.3	80.6	73.3	69.1	65.6	61.8	59.2
100	140.2	135.8	129.6	124.3	118.5	109.1	99.3	90.1	82.4	77.9	74.2	70.1	67.3

Source: Table of Percentage Points of the  $\chi^2$  Distribution, Thompson, C.M., Biometrika, Vol. 32 (1941)

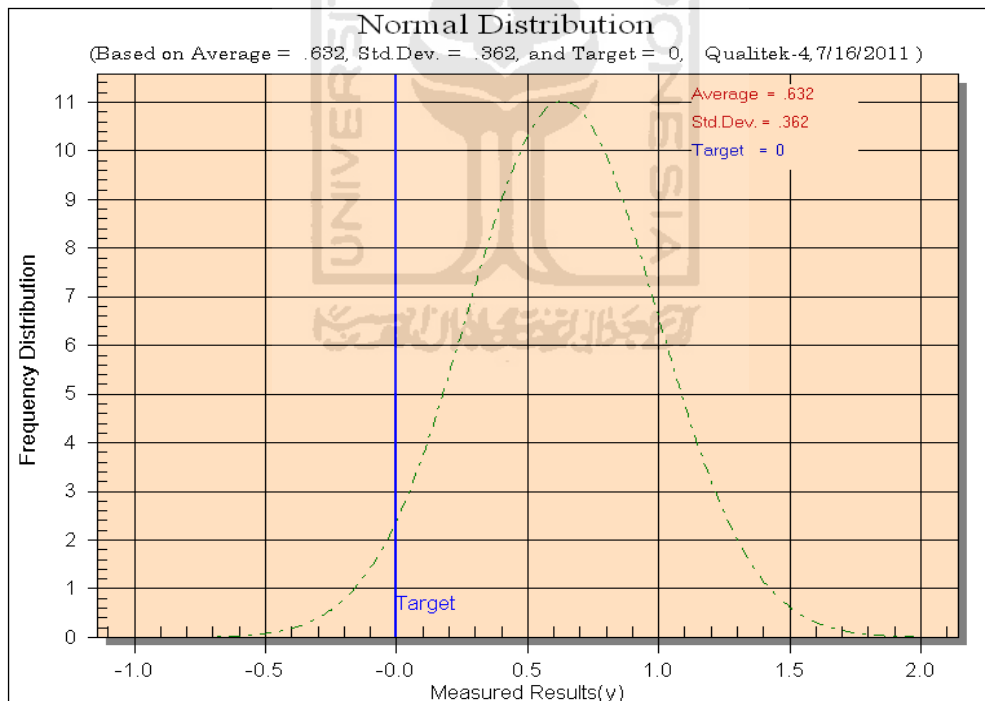
Lampiran 15. perhitungan Hasil Uji Distribusi Normal

Tabel 3 Hasil uji normalitas menggunakan Kolmogorof Smirnov

**One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test**

		KadarCO
N		27
Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	.4348
	Std. Deviation	.05316
Most Extreme Differences	Absolute	.161
	Positive	.161
	Negative	-.112
Kolmogorov-Smirnov Z		.837
Asymp. Sig. (2-tailed)		.485

a. Test distribution is Normal.



Gambar 22 Grafik Distribusi normal pada kadar CO

Lampiran 16. Perhitungan uji homogenitas

Tabel 4 Data Pengujian Kadar CO

Eks	FAKTOR								Kadar CO(%)		
	A	B	C	D	e	e	e	e	n1	n2	n3
1	1	1	1	1	e	e	e	e	0.39	0.41	0.41
2	1	2	2	2	e	e	e	e	0.52	0.51	0.48
3	1	3	3	3	e	e	e	e	0.37	0.38	0.37
4	2	1	2	3	e	e	e	e	0.50	0.51	0.51
5	2	2	3	1	e	e	e	e	0.39	0.40	0.37
6	2	3	1	2	e	e	e	e	0.46	0.46	0.46
7	3	1	3	2	e	e	e	e	0.37	0.38	0.38
8	3	2	1	3	e	e	e	e	0.45	0.49	0.50
9	3	3	2	1	e	e	e	e	0.4	0.43	0.44

$$s^2 = \{\sum(n_i-1)s_i^2/\sum(n_i-1)\}$$

$$s_1^2 = 0,0032; s_2^2 = 0,0028; s_3^2 = 0,0031$$

$$s^2 = \{8(0,0032) + 8(0,0028) + 8(0,003)\} / (8+8+8)$$

$$s^2 = 0,003$$

$$B = (\log s^2)\sum(n_i-1)$$

$$B = (\log 0,003)(24)$$

$$B = -60,453$$

$$\chi^2 = (\ln 10)\{B - \sum(n_i-1) \log s_i^2\}$$

$$\chi^2 = (\ln 10)\{-60,453 - (8 \log 0,0032 + 8 \log 0,0028 + 8 \log 0,0031)\}$$

$$\chi^2 = 0,034288 \approx 0,0343$$

to mempunyai distribusi t dengan derajat bebas sebesar  $n_1+n_2-2$

Ketentuan pengujian  $t_{hitung}$  yaitu :

$H_0$  diterima apabila  $t_{hitung} \geq -t_{tabel}$

$H_0$  ditolak apabila  $t_{hitung} < -t_{tabel}$

Membandingkan nilai  $t_{hitung}$  dengan  $t_{tabel}$

$$\alpha = 5\% ; t_{tabel} = t_{\alpha}(n_1+n_2-2) = 2.78$$

$$n_1 = 3 \text{ dan } n_2 = 3$$

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n} \sum x_{i1} = \frac{1}{3}(0,35 + 0,33 + 0,34) = 0,3400$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n} \sum x_{i2} = \frac{1}{3}(0,37 + 0,38 + 0,37) = 0,3733$$

$$s_1^2 = \frac{1}{n_1 - 1} \sum (x_{i1} - \bar{x}_1)^2 = \frac{1}{2}(0.0001 + 0.0001 + 0.0000) = 0.0001$$

$$s_2^2 = \frac{1}{n_2 - 1} \sum (x_{i2} - \bar{x}_2)^2 = \frac{1}{2}(0.000011 + 0.000044 + 0.000011) = 0.000033$$

$$t_o = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}$$

$$t_o = \frac{0.3400 - 0.3733}{\sqrt{(2)0.0001 + (2)0.000033}} \sqrt{\frac{3 \times 3 (3 + 3 - 2)}{3 + 3}}$$

$$t_o = \frac{-0.0333}{0.016} (2.44949)$$

$$t_o = -5,00$$

Kesimpulan: karena  $t_{hitung} = -5$ , maka dapat disimpulkan bahwa nilai  $t_{hitung} < -t_{tabel} = -5.00 < -2.78$ , artinya ada penurunan rata-rata nilai kadar carbon monoksida berdasarkan disain usulan dibandingkan disain awal.

Lampiran 17. Uji Beda Hasil Eksperimen Konfirmasi

Tabel 5 Hasil Standart Industri

<b>Colum#/factor</b>	<b>Level Description</b>
1 A: <i>Ignition Timing</i>	10 degree BTDC
2 B: <i>Spark Plug Gap</i>	1,1 mm
3 C: RPM	1.100 RPM
4 D: <i>Air Intake</i>	Tidak Pakai

Tabel 6 Perbandingan kadar CO

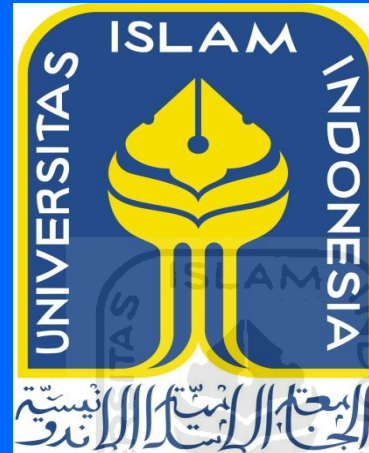
No.	Nilai kadar CO terkecil dalam Array Orthogonal	Hasil Eksperimen Konfirmasi (Usulan)
	A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C <sub>3</sub> D <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C <sub>3</sub> D <sub>1</sub>
1.	0.37	0.35
2.	0.38	0.33
3.	0.37	0.34

Tabel 7 Hasil Uji Optimal

Standart Industri	A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C <sub>3</sub> D <sub>1</sub>
a) 0.95	a) 0.35
b) 0.87	b) 0.33
c) 0.78	c) 0.34

Dari data yang didapat, maka hasil dari uji A<sub>1</sub> B<sub>3</sub> C<sub>3</sub> D<sub>1</sub> lebih baik dari hasil standart industri.

# **DISAIN EKSPERIMEN TAGUCHI UNTUK MINIMASI KADAR CO PADA GAS BUANG**



**Oleh:**

**STEFANUS UNYANTO**

**NIM 09916144**

**PROGRAM PASCASARJANA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2011**



# Pendahuluan

## Latar Belakang

Meningkatnya polusi dari gas buang hasil pembakaran engine:

1. Dampak polusi emisi gas buang kendaraan bermotor:
  - a. Terhadap kesehatan lingkungan.
  - b. Meningkatkan pemanasan global.
2. Upaya yang harus dilakukan adalah melakukan uji emisi gas buang dan KIR.
3. Gas buang yang dihasilkan berupa CO dan NOx, HC dan CO2

## Nilai ambang batas yang diijinkan

ITEM	NILAI	SATUAN
RPM	0,50	1/min
CO	1,55	% volume
CO <sub>2</sub>	12,5	% volume
HC	0,250	Ppm volume
O <sub>2</sub>	1,65	% volume
CO C <sub>02</sub>	0,986	% volume
Lamda/NOx	0,80	-
Temperatur		C°

(Manual Book Engine Gas Analyser, 2000)

# Perawatan mesin yang intensif akan berpengaruh pada:

1. Pembakaran yang sempurna.
2. Efisiensi kerja pada mesin.
3. Hemat bahan bakar.
4. Meningkatkan performa mesin.



Perawatan intensif meliputi:

1. Pengecekan.
2. Penyetelan.
3. Penggantian.

Pengujian kadar gas buang menggunakan mesin uji gas Analyzer.

Dilakukan analisis dengan metode Taguchi untuk minimasi kadar gas buang CO



# Rumusan Masalah

1. Mengingat begitu kompleksnya permasalahan dan agar tujuan penelitian tercapai, maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:
2. Penelitian dilakukan di laboratorium Automotif Akademi Teknologi Warga Surakarta.
3. Parameter yang digunakan dalam pengujian gas buang adalah kadar CO (Carbon Monoksida).
4. Percobaan dilakukan menggunakan empat faktor dan tiga level pada masing-masing faktor dengan tiga kali replikasi.
5. Penelitian kadar gas buang Carbon Monoksida dibatasi pada motor bensin.
6. Metode eksperimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Taguchi dengan karakteristik kualitas smaller the Better.



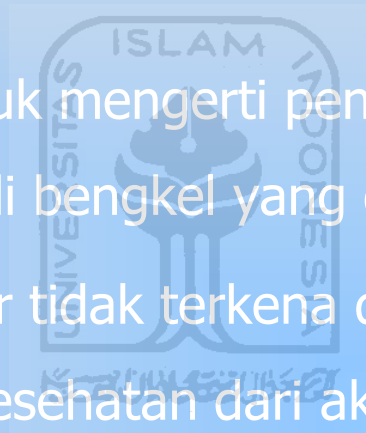
# Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian kadar Carbon Monoksida pada gas buang yang dihasilkan engine Soluna dengan cara eksperimen menggunakan metode Taguchi antara lain:

1. Mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh signifikan terhadap kadar Carbon Monoksida pada gas buang.
2. Mengetahui kombinasi level faktor optimal pada *ignition timing*, *spark plug gap*, putaran *engine* dan *air intake* agar terjadi pembakaran sempurna sehingga kadar CO yang dihasilkan rendah.
3. Mengetahui kadar Carbon Monoksida pada kondisi optimal, dan
4. Mengetahui besarnya penurunan kadar kadar Carbon Monoksida dari kondisi awal dibandingkan dengan *improved condition*?

# Manfaat Penelitian

1. Dapat mengetahui penyebab timbulnya gas CO, yang dihasilkan dari kendaraan bermotor yang membahayakan kesehatan manusia dan cara mengatasinya.
2. Membantu masyarakat untuk mengerti pentingnya pemeriksaan kendaraan secara berkala di bengkel yang dapat menguji gas buang.
3. Membantu masyarakat agar tidak terkena dampak yang tidak baik yang dapat mengganggu kesehatan dari akibat gas buang CO.



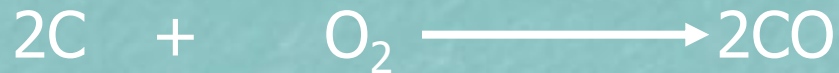
## TINJAUAN PUSTAKA

Polusi udara oleh gas buang merupakan gangguan terhadap lingkungan, terutama gas buang dari kendaraan bermotor yang sangat mengganggu kesehatan (Sumarwoto 1998), oleh sebab itu perlu suatu pengontrolan dan perawatan yang intensif pada engine yang digunakan.

Komponen-komponen gas buang yang sangat mengganggu kesehatan manusia dan lingkungan adalah CO (Carbon Monoksida), NO<sub>x</sub> (Nitrogen Oksida), HC (Hidro Carbon) dan CO<sub>2</sub> (Carbon Dioksida). Dari senyawa-senyawa tersebut, HC dan CO paling berbahaya bagi kesehatan, bahkan di Jakarta kadar HC dan CO dapat mencapai 67%.



Secara sederhana pembakaran karbon dalam bahan bakar terjadi melalui beberapa tahap sebagai berikut:

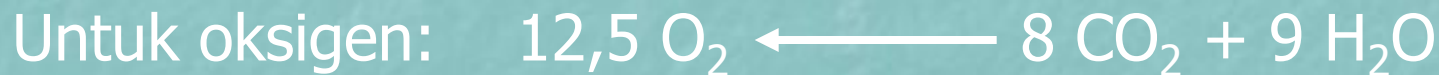


Persamaan reaksi kimia pada proses pembakaran bahan bakar dapat ditulis sebagai berikut:

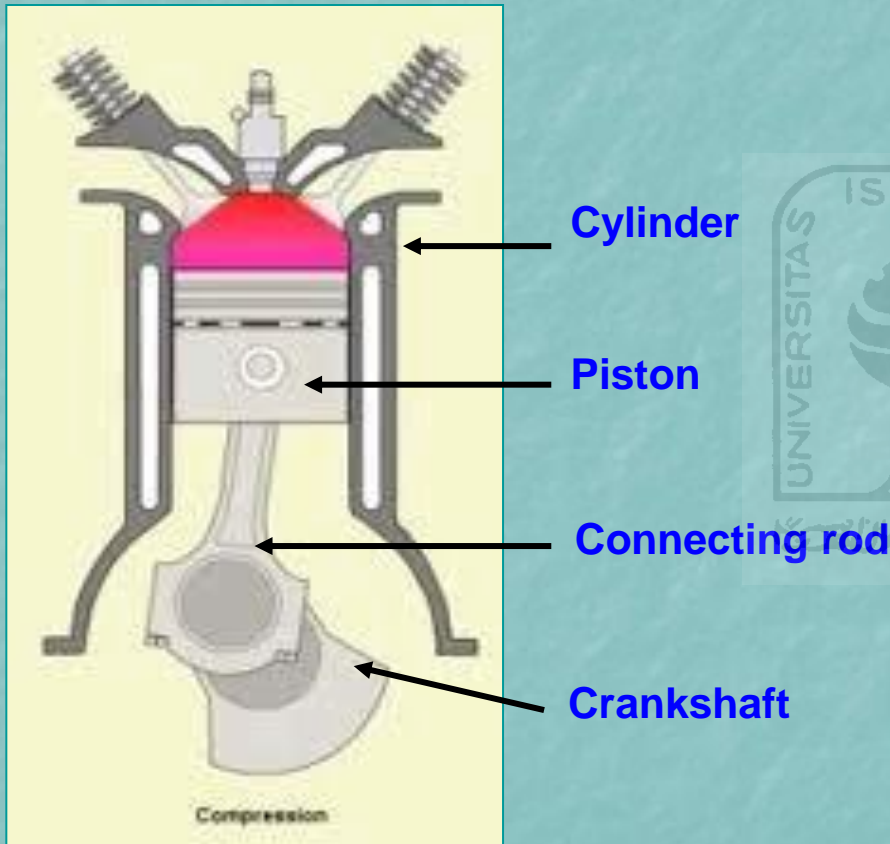


Agar pembakarannya sempurna maka jumlah semua bagian kiri harus sama dengan jumlah bagian kanan.

Reaksi keseimbangannya adalah:



# Prinsip kerja mesin bensin

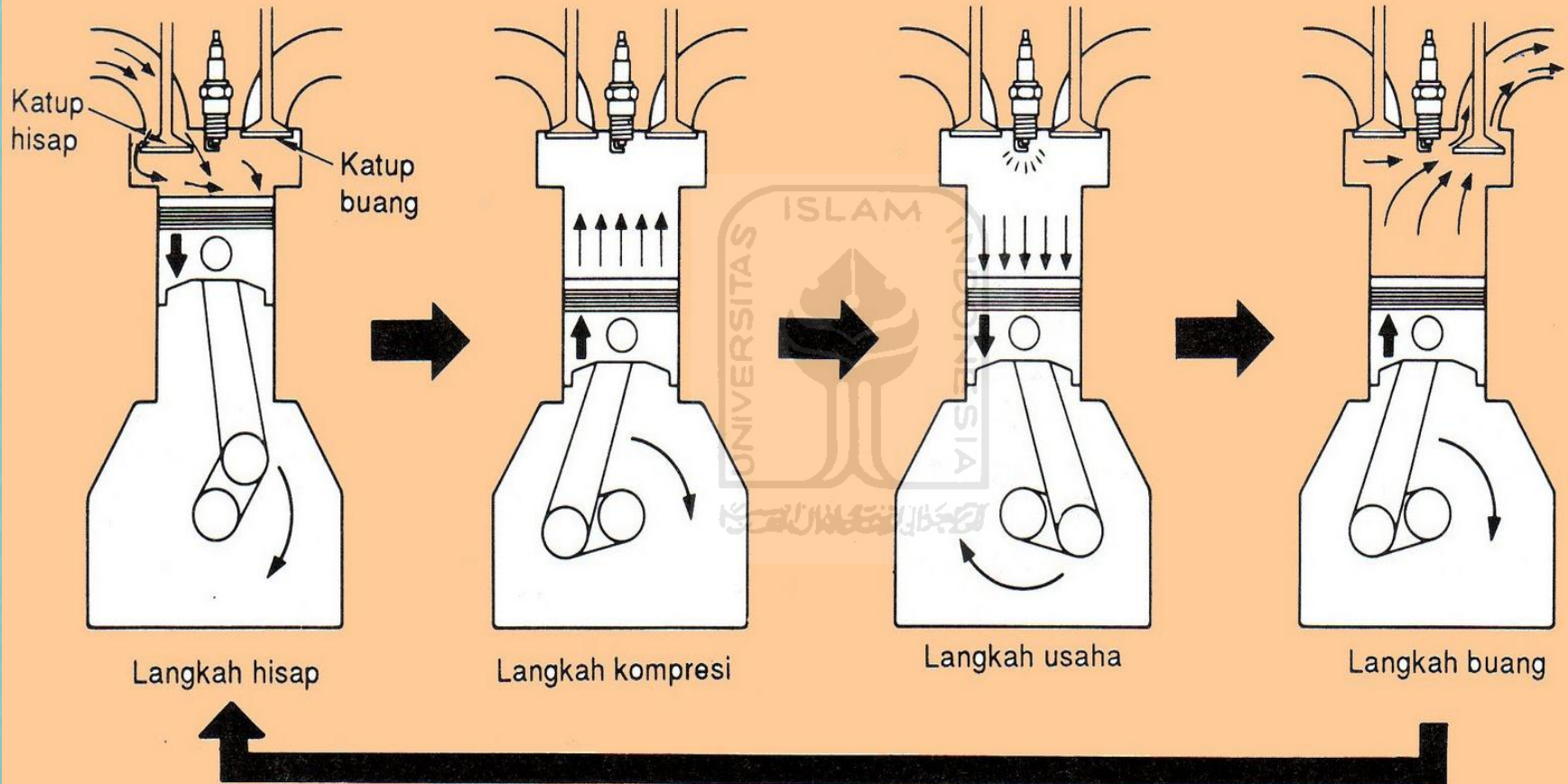


Torak dan Mekanisme Cranking



Panjang Langkah Torak

# CARA KERJA MESIN 4 TAK



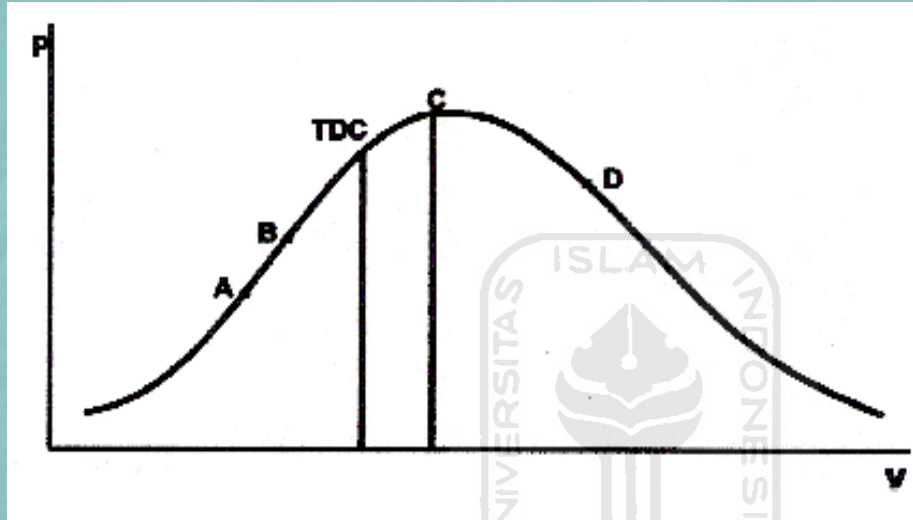
# Video



# Package

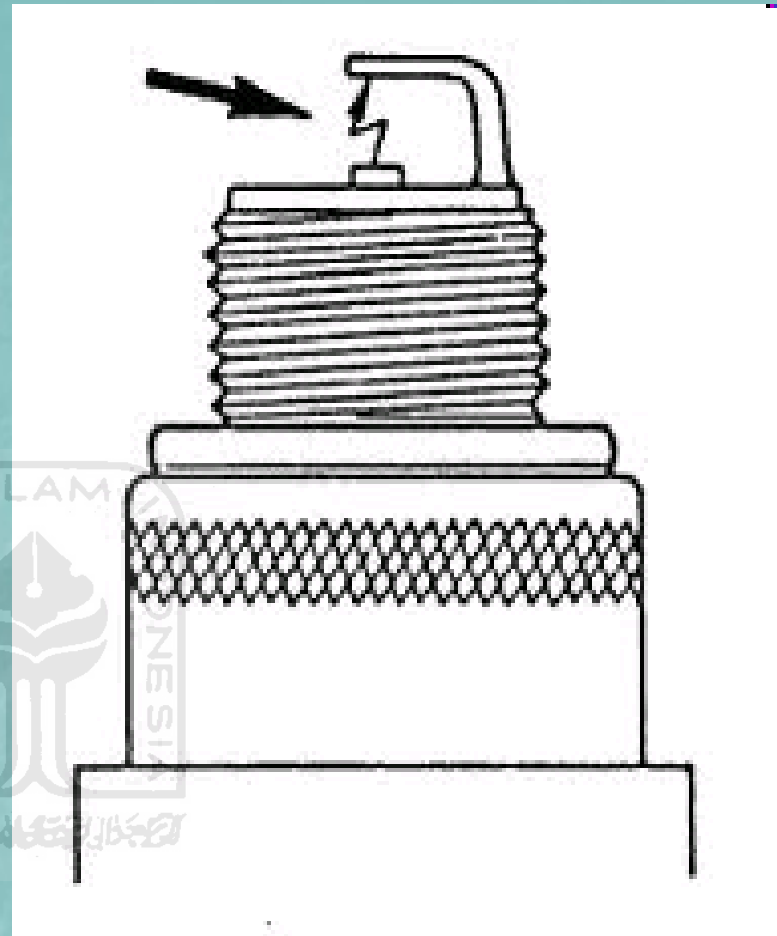
# Ignition Timing

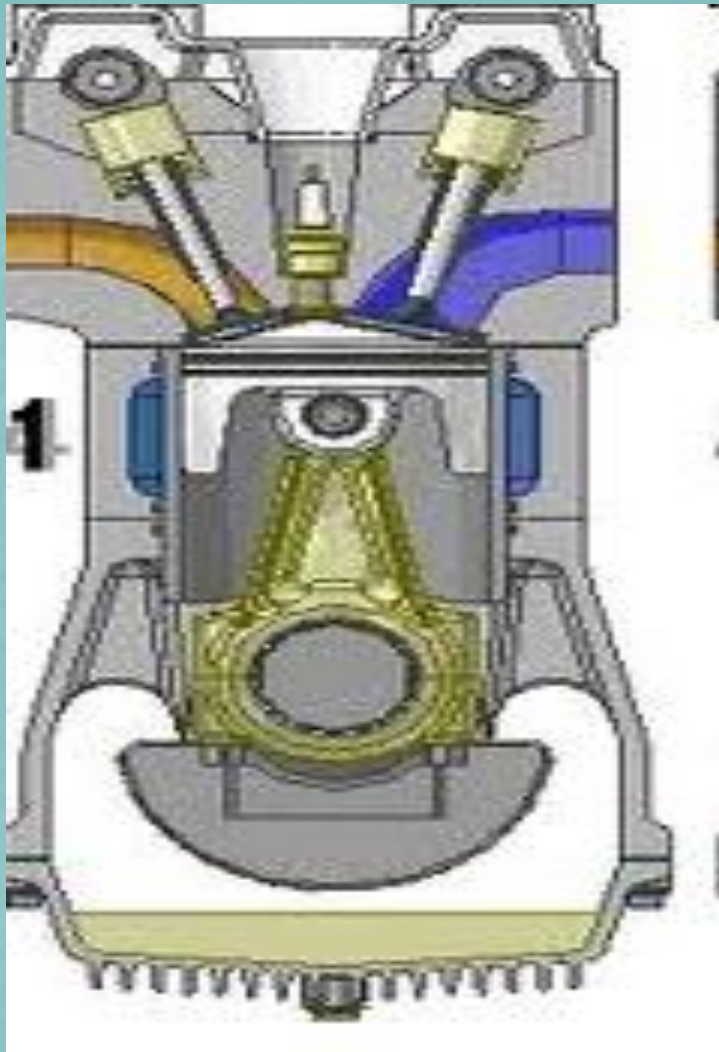
Ignition timing yang digunakan dalam penelitian ini:  
5°BTDC, 7.5°BTDC, 10 °BTDC



- Titik A adalah saat *spark plug* memercikan bunga api.
- Titik B adalah saat campuran bahan bakar dengan udara mulai terbakar.
- TDC : *Top Dead Center* adalah saat torak sampai puncak
- Titik C adalah saat terjadi maksimum *pressure*.
- Titik D adalah akhir dari pembakaran.

- ***Spark Plug Gap***  
Jarak spark plug gap yang digunakan:  
0,7mm, 0,9mm, 1,1mm
- ***Spark Plug Gap menggunakan Denso G 16 R - U***



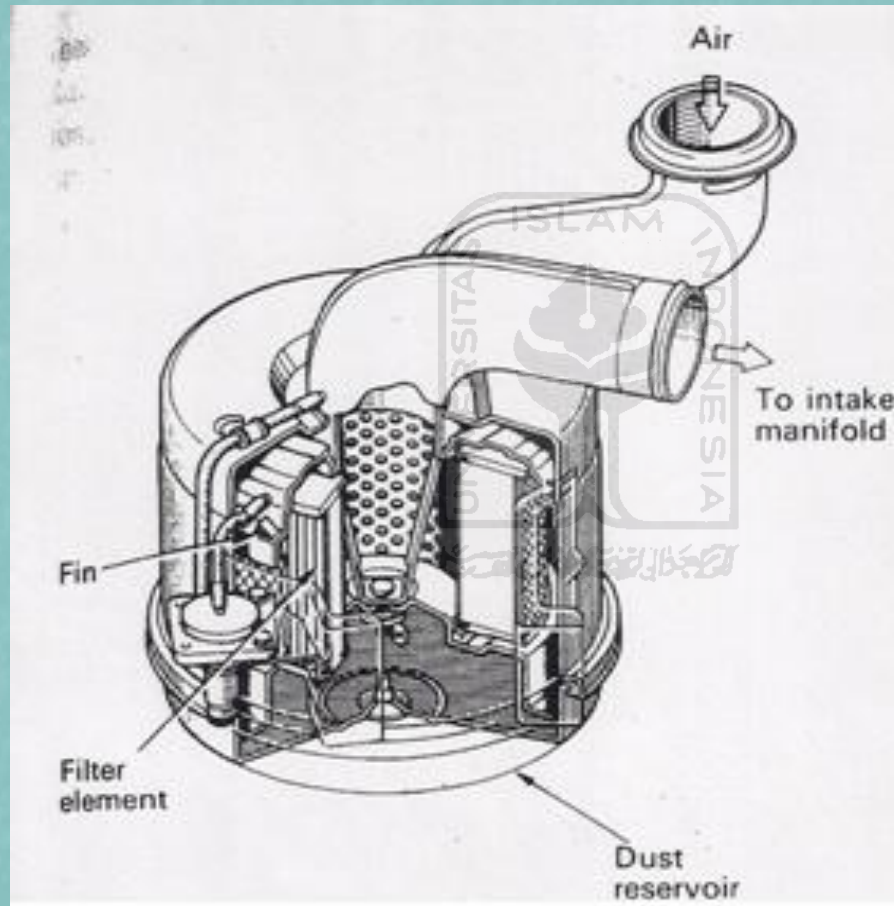


RPM yang digunakan:

900 RPM, 1200RPM, 1500RPM



Aircleaner: disarankan agar air *intake* perlu adanya penambahan *turbo chard*, untuk mengoptimalkan pemasukan udara





# Metode Penelitian

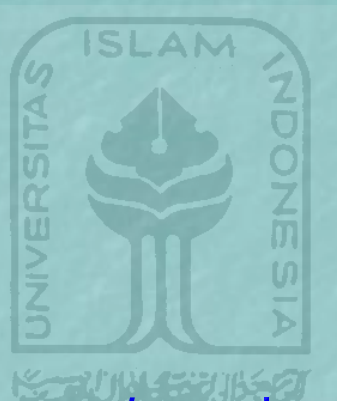
## Obyek Penelitian:

Obyek penelitian ini berupa gas buang Carbon Monoksida (CO) yang dihasilkan dari *Engine* Toyota Soluna dengan cara memvariasikan keempat faktor utama yaitu *Ignition Timing*, *Spark Plug Gap*, *RPM (Revolution per Minute)*, dan *Air Intake* yang masing-masing menggunakan tiga level setiap faktor yang dihubungkan pada Engine Gas Analyser (EGA) 2000 sebagai alat uji gas buang. Pengambilan dan pengujian kadar CO dilakukan dalam Laboratorium Otomotif di Akademi Teknologi “Warga” Surakarta

## Subyek Penelitian

Subyek penelitian ini adalah *Engine Soluna* tahun pembuatan 2004 yang telah diperiksa dahulu kompresinya agar layak digunakan dalam eksperimen dengan hasil pemeriksaan sebagai berikut :

1. Cylinder: 1. 13,5 kg/m<sup>2</sup>
2. Cylinder: 2. 13,5 kg/m<sup>2</sup>
3. Cylinder: 3. 13,5 kg/m<sup>2</sup>
4. Cylinder: 4. 13 kg/m<sup>2</sup>



Berdasarkan data kompresi ini, *engine soluna* layak untuk eksperimen.

# Ruang Lingkup Penelitian

1. Bahan bakar yang digunakan premium yang standar dipakai pada pasaran diluar dengan nilai oktan 88.
2. Didalam penelitian ini yang diukur kadar CO , yang merupakan kandungan yang ada di dalam gas buang *gasoline Engine*.
3. Penelitian ini dilakukan pada *Engine* hidup stasioner dengan putaran *engine*, 900 RPM, 1200 RPM, 1500 RPM
4. Penelitian ini dilakukan dalam laboratorium dengan suhu udara antara 27°C - 30°C.
5. Alat uji CO yang dipakai adalah Engine Gas Analyser 2000

## Variabel dan Definisi Operasional

Variabel bebas pada penelitian ini terdiri dari 4 faktor dan 3 level, dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Faktor Kendali	Level 1	Level 2	Level 3
A. Ignition timing	5° BTDC	7,5° BTDC	10° BTDC
B. <i>Spark plug gap</i>	0,70 mm	0,9 mm	1,1 mm
C. RPM	900 RPM	1200 RPM	1500 RPM
D. <i>Air Intake</i>	Pakai kecil/busa	Pakai standart	Tidak pakai

Adapun variabel terikat (respon) dalam penelitian ini adalah Kadar CO ( Carbon Monoksida ).

## Setting Parameter Pengujian Gas Buang

Yang diuji			
1	A1 B1 C1 D1	<i>Ignition timing</i> <i>Spark plug gap</i> RPM <i>Intake</i>	5° BTDC 0,7 mm 900 RPM Pakai kecil/busa
2	A1 B2 C2 D2	<i>Ignition timing</i> <i>Spark plug gap</i> RPM <i>Intake</i>	5° BTDC 0,9 mm 1200 RPM Pakai standart
3	A1 B3 C3 D3	<i>Ignition timing</i> <i>Spark plug gap</i> RPM <i>Intake</i>	5° BTDC 1,1 mm 1500 RPM Tidak pakai

4	A2 B1 C2 D3	<i>Ignition timing</i>  <i>Spark plug gap</i>  RPM  Intake	7,5° BTDC  0,7 mm  1200 RPM  Tidak pakai
5	A2 B2 C3 D1	 <i>Ignition timing</i>  <i>Spark plug gap</i>  RPM  Intake	7,5° BTDC  0,9 mm  1500 RPM  Pakai kecil
6	A2 B3 C1 D2	<i>Ignition timing</i>  <i>Spark plug gap</i>  RPM  Intake	7,5° BTDC  1,1 mm  900 RPM  Pakai standart

7	A3 B1 C3 D2	<i>Ignition timing</i>  <i>Spark plug gap</i>  RPM  <i>Intake</i>	7,5° BTDC  0,7 mm  1500 RPM  Pakai standart
8	A3 B2 C1 D3	<i>Ignition timing</i>  <i>Spark plug gap</i>  RPM  <i>Intake</i>	10° BTDC  0,9 mm  900 RPM  Tidak pakai
9	A3 B3 C2 D1	<i>Ignition timing</i>  <i>Spark plug gap</i>  RPM  <i>Intake</i>	10° BTDC  1,1 mm  1200 RPM  Pakai kecil

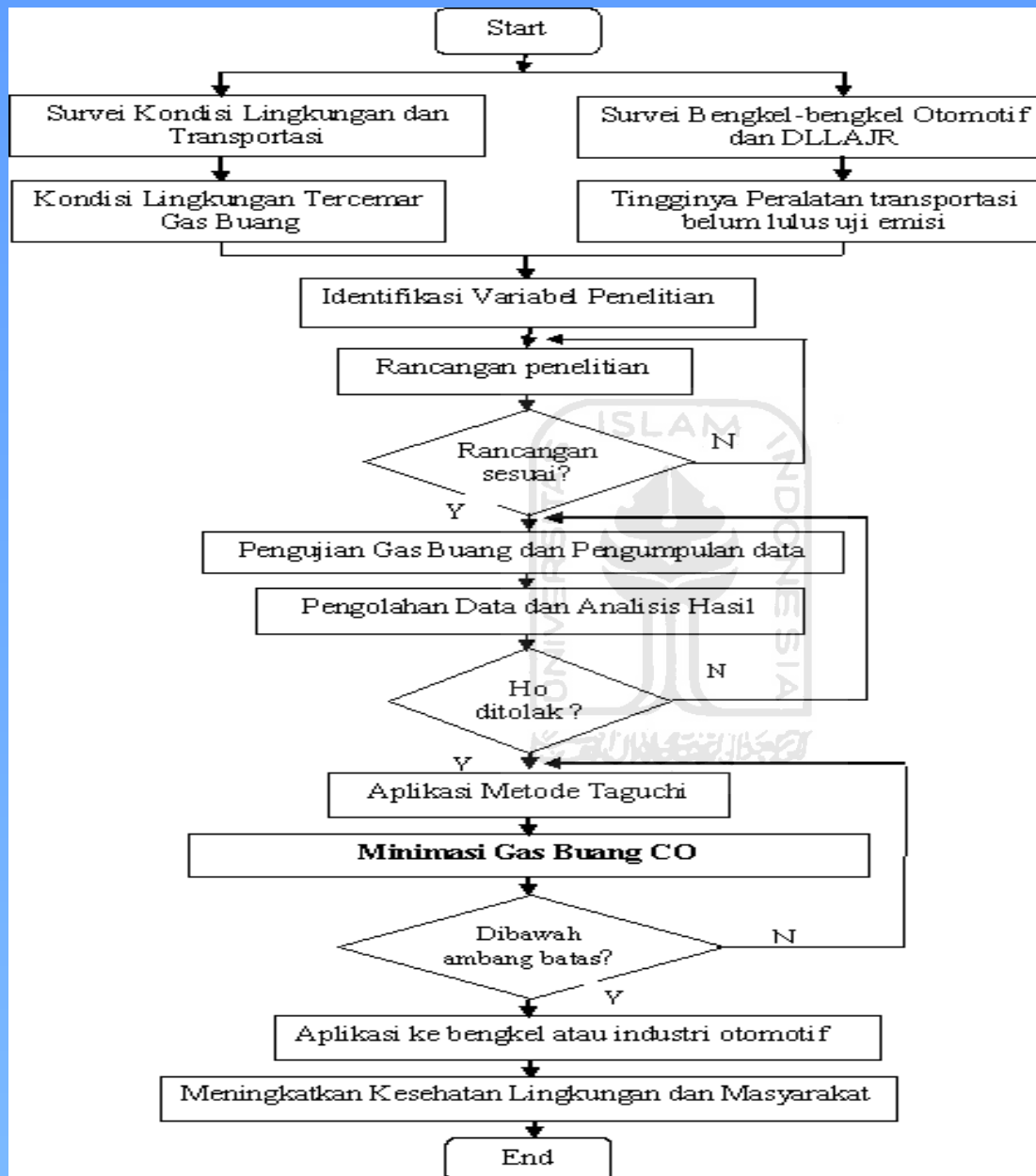




## Array Orthogonal L9 (3<sup>4</sup>)

Trial	Faktor			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

# Alur Penelitian



Gambar 3.1 Alur penelitian

# HASIL PENELITIAN

Rancangan percobaan yang dipilih dalam penelitian ini menggunakan L9(3<sup>4</sup>).

**Data hasil pengujian kadar CO** yang dihasilkan dari eksperimen yang memvariasikan *Ignition Timing* (A); *Spark Plug Gap* (B); RPM (C) dan *Air Intake* (D) masing-masing 3 level faktor pada engine analyser 2000 adalah sbb :

Eks	FAKTOR								Data(%)		
	A	B	C	D	e	e	e	e	n1	n2	n3
1	1	1	1	1	e	e	e	e	0.39	0.41	0.41
2	1	2	2	2	e	e	e	e	0.52	0.51	0.48
3	1	3	3	3	e	e	e	e	0.37	0.38	0.37
4	2	1	2	3	e	e	e	e	0.50	0.51	0.51
5	2	2	3	1	e	e	e	e	0.39	0.40	0.37
6	2	3	1	2	e	e	e	e	0.46	0.46	0.46
7	3	1	3	2	e	e	e	e	0.37	0.38	0.38
8	3	2	1	3	e	e	e	e	0.45	0.49	0.50
9	3	3	2	1	e	e	e	e	0.4	0.43	0.44

# Signal to noise ratio

Signal to Noise Ratio merupakan logaritma dari suatu fungsi kerugian kuadratik dan digunakan untuk mengevaluasi kualitas sutau produk. Dalam penelitian gas buang ini karakteristik kualitas yang digunakan adalah *Smaller The Better* dimana semakin rendah nilai kadar CO, maka kualitas gas buang yang dihasilkan dari peralatan otomotif semakin baik. Nilai S/N untuk jenis karakteristik STB adalah :

Tabel SNR

Eks	FAKTOR								Data(%)			SNR
	A	B	C	D	e	e	e	e	n1	n2	n3	
1	1	1	1	1	e	e	e	e	0.39	0.41	0.41	7.884
2	1	2	2	2	e	e	e	e	0.52	0.51	0.48	5.957
3	1	3	3	3	e	e	e	e	0.37	0.38	0.37	8.557
4	2	1	2	3	e	e	e	e	0.50	0.51	0.51	5.905
5	2	2	3	1	e	e	e	e	0.39	0.40	0.37	8.248
6	2	3	1	2	e	e	e	e	0.46	0.46	0.46	6.744
7	3	1	3	2	e	e	e	e	0.37	0.38	0.38	8.48
8	3	2	1	3	e	e	e	e	0.45	0.49	0.50	6.366
9	3	3	2	1	e	e	e	e	0.4	0.43	0.44	7.459

## Uji Beda

Uji beda dilakukan untuk mengetahui apakah data hasil konfirmasi berbeda atau sama dengan kondisi standart. Perumusan hipotesanya adalah sebagai berikut :

Ho : tidak ada perbedaan rata - rata nilai kadar CO hasil eksperimen konfirmasi dengan kondisi awal.

H1 : ada penurunan kadar CO hasil eksperimen konfirmasi di banding dengan kondisi awal.

Tingkat signifikansi :  $\alpha = 5\%$

Berdasarkan perhitungan uji beda diperoleh nilai CO sebesar 5.00. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa Nilai t hitung  $>$  ttabel =  $5.00 > 2.78$  sehingga Ho ditolak, artinya ada perbedaan rata-rata nilai kadar Carbon Monoksida hasil eksperimen konfirmasi.



# PEMBAHASAN

## Analisis Faktor

Faktor-faktor dominan adalah faktor-faktor yang diduga berpengaruh terhadap kadar gas buang CO. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor yang berpengaruh secara signifikan ( $\alpha=5\%$ ) terhadap variabel respon kadar gas buang CO adalah *Ignition Timing* (A); *Spark Plug Gap* (B); RPM (C) dan *Air Intake* (D).

## Hasil uji hipotesis berdasarkan ANOVA

i Ho :  $\alpha_1 = \dots = \alpha_3 = 0$  (tidak ada efek faktor *Ignition Timing* )

H1 : paling sedikit ada satu pasang  $\alpha_i$  yang tidak sama.

Kesimpulan : P Value = 10,97% > 5%, maka menolak Ho, yaitu ada pengaruh perbedaan level dari *Ignition Timing* pada variabel respon gas buang CO.

## Analisis Hasil Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi yang dilakukan mengacu pada parameter A1B3C3D1 menggunakan tiga (3) kali replikasi. Selanjutnya berdasarkan uji beda dengan  $\alpha = 5\%$  diperoleh nilai  $t_0$  sebesar 5.00. Sehingga dapat disimpulkan bahwa  $t_{hitung} > t_{tabel} = 5.00 > 2.78$  sehingga  $H_0$  ditolak, artinya ada perbedaan rata-rata nilai kadar Carbon Monoksida hasil eksperimen konfirmasi.

**Tabel Hasil Standart Industri**

<b>Colum#/factor</b>	<b>Level Description</b>
<i>Ignition Timing</i>	<b>10 degree BTDC</b>
<i>Spark Plug Gap</i>	<b>1,1 mm</b>
<b>RPM</b>	<b>1000 RPM</b>
<i>Air Intake</i>	<b>Pakai Standart</b>

## Tabel Perbandingan kadar CO

No.	Nilai kadar CO Terkecil dalam Array Ortogonal $A_1 B_3 C_3 D_3$	Hasil Eksperimen Konfirmasi (Usulan) $A_1 B_3 C_3 D_1$
1.	0.37	0.35
2.	0.38	0.33
3.	0.37	0.34

## Tabel Hasil Uji Optimal

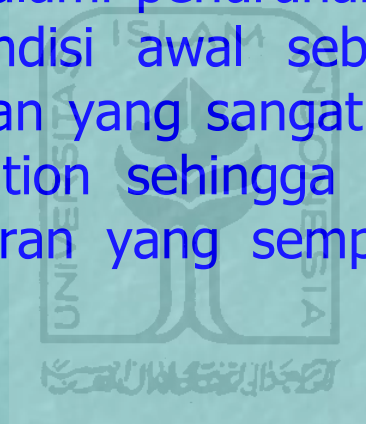
Standart Industri	$A_1 B_3 C_3 D_1$
a)0,95	a) 0,35
a)0,87	b) 0,33
a)0,78	b) 0,34



## Simpulan

1. Faktor-faktor terkendali yang berpengaruh signifikan terhadap kadar CO pada gas buang adalah RPM, *Air Intake*, *Spark Plug Gap* dan *Ignition Timing*, yang memberikan persen kontribusi masing-masing 68.822%, 16.446%, 9.588% dan 5.141%.
2. Kombinasi level faktor optimal yang menghasilkan kadar CO rendah pada pembakaran sempurna yaitu A1B3C3D1, artinya *Ignition Timing* 5° BTDC, *Spark Plug Gap* 1.1 mm, RPM 1500 dan pemakaian busa pada *Air Intake*.
3. Kondisi optimal yang dicapai untuk meminimalkan kadar Carbon Monoksida pada gas buang dari hasil pembakaran sebesar 9.476 dengan rata-rata nilai SNR sebesar 0.433.

4. Pada kondisi awal kadar Carbon Monoksida sebesar 1.55%. Pengurangan variasi rata-rata kadar Carbon Monoksida sebesar 43.3 %. Pada kondisi awal besarnya S/N Ratio sebesar 7.289 dengan standar deviasi 0.052. Pada improved condition, nilai S/N Ratio mengalami peningkatan menjadi 9,476. Sedangkan standar deviasi mengalami penurunan menjadi 0.041. Nilai Cp dan CPk pada kondisi awal sebesar 1 (satu). Nilai ini mengalami peningkatan yang sangat signifikan menjadi 1.286 pada improved condition sehingga unjuk kerja mesin yang tinggi pada pembakaran yang sempurna dapat menurunkan kadar CO.



# Saran

1. Dalam pengembangan penelitian lebih lanjut, perlu mempertimbangkan variabel bebas yang lebih kompleks yaitu *valve clearance*, selain itu perlu juga mempertimbangkan *variabel respon* yang lain yaitu gas buang NO<sub>x</sub>, dan HC.
2. Penelitian perlu melihat lebih jauh tentang bentuk *Intake Manifold* dengan *independent type* dengan *branch independent type*.
3. Penelitian perlu dikembangkan untuk jenis kendaraan berbahan bakar solar.
4. Pemakai kendaraan hendaknya secara berkala mengontrolkan kendaraannya pada bengkel yang bisa mengukur kadar CO pada gas buangnya.
5. Disarankan agar air *intake* perlu adanya penambahan *turbo chard*, untuk mengoptimalkan pemasukan udara.

**SEKIAN  
TERIMA KASIH**



## DESAIN EKSPERIMEN TAGUCHI UNTUK MINIMASI KADAR CO PADA GAS BUANG

**St. Unyanto**

Program Studi Magister Teknik Industri  
Universitas Islam Indonesia

### ABSTRAK

Salah satu permasalahan lingkungan yang sering terjadi di wilayah perkotaan akibat padatny penduduk dengan sarana dan prasarana transportasinya menjadi sumber pemicu terjadinya pencemaran udara. Bila masalah pencemaran udara ini tidak segera ditanggulangi, maka akan menimbulkan masalah baru yang lebih kompleks, seperti masalah kesehatan masyarakat dan wabah penyakit lain yang disebabkan tingginya kadar CO. Kadar CO dipengaruhi oleh faktor *Ignition timing* (A), *Spark plug gap* (B), *RPM* (C) dan *Air intake*(D).

Hasil eksperimen dengan metode Taguchi menunjukkan bahwa faktor-faktor yang berpengaruh signifikan terhadap minimasi kadar gas buang CO adalah *RPM* (C); *Air intake*(D); *Spark Plug Gap* (B); dan *Ignition timing* (A) yang masing-masing memberikan persen kontribusi 68,822%, 16,446%, 9,588% dan 5,141%. Kondisi optimal dicapai pada parameter **A1B3C3D1** artinya untuk meminimasi gas buang CO dibutuhkan kombinasi level faktor *Ignition Timing* 5° BTDC; *Spark Plug Gap* 1,1 mm; Putaran Mesin 1500 RPM; dan pemakaian busa pada *Air Intake*.

Pada kondisi awal kadar Carbon Monoksida sebesar 1.55%. Nilai optimal SN Ratio dari CO sebesar 9.476, diikuti pengurangan variasi rata-rata kadar Carbon Monoksida sebesar 63,2 %. Pada kondisi awal besarnya S/N Ratio sebesar 7.289 dengan standar deviasi 0,052. Pada improved condition, nilai S/N Ratio meningkat menjadi 9.476. Sedangkan standar deviasi mengalami penurunan menjadi 0,041. Nilai Cp dan CPk pada kondisi awal sebesar 1 (satu). Nilai ini meningkat signifikan menjadi 1.286 pada *improved condition* sehingga unjuk kerja mesin yang tinggi pada pembakaran yang sempurna dapat menurunkan kadar CO dapat mencegah dan mengendalikan lingkungan.

Kata-kata kunci : *Ignition Timing*, *Spark Plug Gap*, *RPM*, *Air Intake*.

### ABSTRACT

One of the environmental problems that often occur in urban areas is an air pollution. Dense population in urban and transportation problems worsen the air pollution. When the problem is not immediately addressed, then the more complex problems will pose another problems such as public health and disease. The main cause of the problems is the high levels of carbon monoxide (CO). CO levels are influenced by factors as follows: *Ignition Timing* (A), *Spark Plug Gap* (B), *RPM* (C), and *Water Intake* (D).

The experimental results with the Taguchi method suggests that the factors which significantly influence the minimization of levels of exhaust gas CO is *RPM* (C), *Air Intake* (D), *Spark Plug Gap* (B), *Ignition Timing* (A). *RPM* (C) contributed 68.822%, *Air Intake* (D) 16.446%, *Spark Plug Gap* (B) 9.588%, and *Ignition Timing* (A) 5.141%. The optimal conditions are achieved in A1B3C3D1 parameters, meaning that a combination of factors 5° BTDC *Ignition Timing*, *Spark Plug Gap* 1.1 mm, the engine turns 1.500 RPM, and the use of foam on *Air Intake* is required in order to minimize the level of exhaust gas.

CO levels in the initial conditions is equal to 1.55%. The optimal value of S/N Ratio of CO is 9.476. And then the reduction of the average variation of CO levels reaches 63.2%. At that condition S/N Ratio is 7.289 with a standard deviation of 0.052. In the improved condition, the value of S/N ratio increased to 9.476, whereas the standard deviation decreased to 0.041. Cp and Cpk values in the initial conditions is equal to 1 (one). This value increased significantly to 1.286 on the improved condition so that the high performance of engine in the perfect combustion can reduce the levels of CO that can prevent and control the environmental pollution.

Key word: *Ignition Timing*, *Spark Plug Gap*, *RPM*, and *Air Intake*.

## 1. PENDAHULUAN

Tinggi rendahnya kadar gas buang ini akan mempengaruhi tingkat kesehatan lingkungan. Dalam rangka meningkatkan kesehatan masyarakat dan menjaga lingkungan yang bersih dan sehat, maka gas buang yang dihasilkan dari peralatan transportasi perlu diminimasi. Salah satu alternatif untuk mengukur kadar gas buang dari peralatan transportasi adalah uji emisi gas buang. Untuk mengurangi gas buang tersebut dapat dilakukan dengan cara perawatan mesin yang intensif meliputi busi, platina dan kondensor serta penyetelan komponen-komponen yang lain dengan baik. Mengingat gas buang CO sangat berbahaya, maka perlu adanya upaya meminimasi kadar gas buang yang dihasilkan dari motor bensin berupa gas Carbon Monoksida (CO), agar kadar CO pada gas buang tersebut tidak melebihi ambang batas yang diijinkan sehingga tidak mengganggu lingkungan dan kesehatan masyarakat. Hal ini dilakukan dengan mengatur kombinasi level empat faktor di atas dan melakukan pengujian kadar gas buang dengan menggunakan mesin uji gas *analyser*, setelah dilakukan perawatan mesin (*tune up*). Eksperimen dilakukan dengan metode Taguchi untuk meminimalkan eksperimen tanpa mengabaikan faktor maupun levelnya.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Polusi Udara

Polusi udara oleh gas buang merupakan gangguan terhadap lingkungan, terutama gas buang dari kendaraan bermotor yang sangat mengganggu kesehatan (Sumarwoto 1998), oleh sebab itu perlu suatu pengontrolan dan perawatan yang intensif pada engine yang digunakan.

Suyanto (1989, h.345), menyatakan bahwa "Emisi gas buang adalah polutan yang mengotori udara yang dihasilkan dari gas buang". Gas bekas hasil pembakaran dari kendaraan bermotor pada umumnya terdiri dari gas yang tidak beracun seperti  $N_2$  (nitrogen),  $CO_2$  (karbon dioksida), dan  $H_2O$  (uap air), sedangkan sebagian kecil merupakan gas beracun seperti gas CO (Carbon Monoksida), HC (hidrokarbon),  $NO_x$  (oksida nitrogen), dan Pb (timah hitam). Gas beracun ini sering dipermasalahakan karena mempunyai efek yang buruk terhadap kehidupan baik tumbuhan, hewan, maupun manusia.

### 2.2 Carbon Monoksida (CO)

Carbon Monoksida (CO) adalah suatu komponen tidak berwarna, tidak berbau dan tidak mempunyai rasa yang terdapat dalam bentuk gas pada suhu di atas  $-192^\circ C$  (Fardiaz 1995, h. 94).

Toyota Step 2 MPEG (1993: 2-10) menyatakan bahwa sifat-sifat dari gas CO, antara lain :

- Tidak berwarna dan tidak berbau
- Tidak mudah larut dalam air

- Mempunyai perbandingan berat terhadap udara pada 1 atm  $^\circ C$  sebesar 0,967 berbanding 1
- Di udara bila diberikan api akan terbakar dengan mengeluarkan asap biru dan menjadi  $CO_2$ .

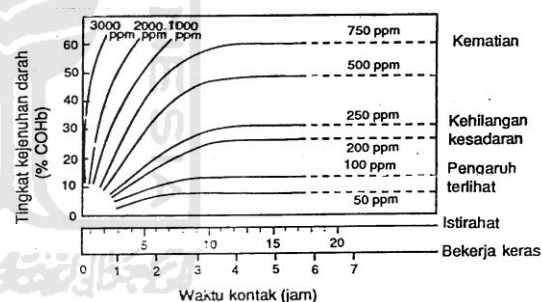
### 2.2.1 Pengaruh Gas Carbon Monoksida (CO) pada manusia

Ambang batas gas CO di udara adalah 20 ppm (Michael Purba, 1994: 83), sedangkan ambang batas (toleransi) pada manusia adalah 32 ppm (Srikandi Fardiaz, 1992: 101). Pengaruh CO terhadap manusia pada konsentrasi yang relatif rendah (100 ppm atau kurang) dapat mengganggu kesehatan. nilai ambang batas yang diijinkan untuk gas buang CO dan  $NO_x$ , HC dan  $CO_2$ .

Tabel 2.1 Nilai Ambang Batas yang Diijinkan

ITEM	NILAI	SATUAN
RPM	0,50	1/min
CO	1,55	% volume
$CO_2$	12,5	% volume
HC	0,250	Ppm volume
$O_2$	1,65	% volume
CO $CO_2$	0,986	% volume
Lamda/ $NO_x$	0,80	-
Temperatur		$^\circ C$

Sumber : (Manual Book EGA, 2000)



Gambar 2.1. Pengaruh Jenis Aktivitas Fisik dan Waktu Terhadap Konsentrasi COHb di Dalam Darah (Kontrol Terhadap Polusi Carbon Monoksida (CO))

### 2.2.2 Pengontrolan emisi gas CO dari kendaraan

- Modifikasi mesin pembakar untuk mengurangi jumlah polutan yang terbentuk selama pembakaran
- Pengembangan sistem pembuangan sehingga proses pembakaran berlangsung sempurna dan polutan berbahaya dapat diubah menjadi polutan yang lebih aman.
- Pengembangan substitusi bahan bakar bensin yang menghasilkan polutan dengan konsentrasi yang rendah selama pembakaran.

## 2.3 Motor Bensin

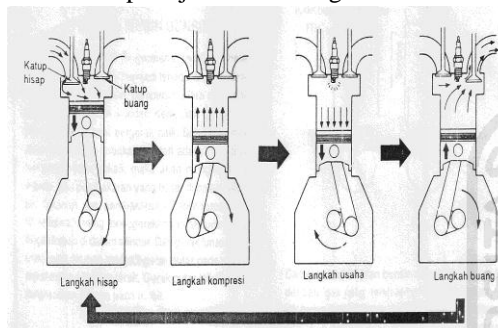
### 2.3.1 Prinsip kerja mesin bensin

Dalam gambar skema mesin bensin, campuran udara dan bensin dihisap kedalam silinder. Kemudian

dikompresikan oleh torak saat bergerak naik. Bila campuran udara dan bensin terbakar dengan adanya api dari busi yang panas sekali, maka akan menghasilkan tekanan gas pembakaran yang ini mendorong torak kebawah, yang menggerakkan torak turun naik dengan bebas di dalam silinder. Dari gerak lurus (naik turun) torak dirubah menjadi gerak putar pada poros engkol melalui batang torak. Gerak putar inilah yang menghasilkan tenaga pada mobil.

Campuran udara dan bensin dihisap ke dalam silinder dan gas yang telah terbakar harus keluar, dan ini harus berlangsung secara tetap. Pekerjaan ini dilakukan dengan adanya gerakan torak yang turun-naik di dalam silinder. Proses menghisap campuran udara dan bensin ke dalam silinder, mengkompresikan, membakarnya dan mengeluarkan gas bekas dari silinder, disebut satu siklus.

### 2.3.2 Prinsip kerja mesin 4 langkah



Gambar 2.2 Prinsip Kerja Mesin 4 Langkah (New Step 1 Training Manual 3.4)

#### 1. Langkah hisap

Dalam langkah ini, campuran udara dan bensin dihisap ke dalam silinder. Katup hisap terbuka sedangkan katup buang tertutup. Waktu torak bergerak kebawah, menyebabkan ruang silinder menjadi *vacum*, masuknya campuran udara dan bensin ke dalam silinder disebabkan adanya tekanan udara luar (*atmospheric pressure*).

#### 2 Langkah kompresi

Dalam langkah ini, campuran udara dan bensin dikompresikan. Katup hisap dan katup buang tertutup. Waktu torak mulai naik dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA) campuran yang dihisap tadi dikompresikan. Akibatnya tekanan dan temperaturnya menjadi naik, sehingga akan mudah terbakar. Poros engkol berputar satu kali, ketika torak mencapai TMA.

#### 3 Langkah usaha

Dalam langkah ini, mesin menghasilkan tenaga untuk menggerakkan kendaraan. Sesaat sebelum torak mencapai TMA pada saat langkah kompresi, busi memberi loncatan api pada campuran yang telah dikompresikan. Dengan terjadinya pembakaran yang tinggi mendorong torak ke bawah. Usaha ini yang menjadi tenaga mesin (*engine power*).

#### 4 Langkah buang

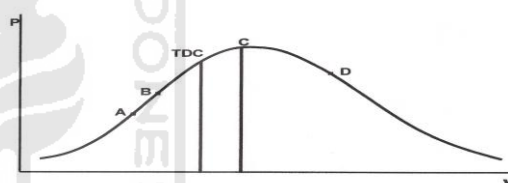
Dalam langkah ini, gas yang terbakar dibuang dari dalam silinder. Katup buang terbuka, torak

bergerak dari TMB ke TMA, mendorong gas bekas ke luar dari silinder. Ketika torak mencapai TMA, akan mulai bergerak lagi untuk persiapan berikutnya, yaitu langkah hisap. Poros engkol telah melakukan 2 putaran penuh dalam 1 siklus terdiri dari 4 langkah, hisap, kompresi, usaha, buang yang merupakan dasar kerja dari pada mesin 4 langkah.

### 2.3.3 Ignition Timing

*Ignition timing* adalah waktu terjadinya loncatan bunga api pada busi saat akhir langkah kompresi, sehingga terjadi pembakaran di ruang bakar. Waktu pengapian dinyatakan dengan sudut yang merupakan perbandingan posisi piston saat terjadi loncatan bunga api pada busi dengan posisi paling atas yang dicapai piston (TMA).

*Gasoline engine* mengubah bahan bakar menjadi tenaga, dengan cara mencampur bahan bakar dengan udara, campuran antar bahan bakar dengan udara kemudian dikompresikan oleh torak. Campuran antara bahan bakar dengan udara yang dikompresi akan naik temperaturnya, kemudian sebelum torak sampai titik mati atas campuran bahan bakar dengan udara dibakar dengan loncatan bunga api dari *spark plug*, peristiwa ini dinamakan *ignition timing*.



Gambar 2.3 Grafik Ignition

Keterangan:

- 1) Titik A adalah saat *spark plug* memercikan bunga api.
- 2) Titik B adalah saat campuran bahan bakar dengan udara mulai terbakar.
- 3) TDC : *Top Dead Center* adalah saat torak sampai puncak
- 4) Titik C adalah saat terjadi maksimum *pressure*.
- 5) Titik D adalah akhir dari pembakaran.

### 2.3.4 Spark Plug Gap

*Spark Plug gap* adalah jarak antara center electrode dengan *ground electrode*, loncatan bunga api antara *center electrode* dengan *ground electrode* akan membentuk volume bunga api, bunga api inilah yang berdampak langsung terhadap pembakaran antara bahan bakar dengan udara. *Spark Plug gap* berpengaruh terhadap kadar CO hasil pembakaran dalam engine (Suharto 1999). Bertitik tolak inilah peneliti memakai *Spark Plug gap* tipe Denso Q.16R-U sebagai salah satu faktor dari penelitiannya.

*Spark plug gap* merupakan jarak katup antara ujung batang katup dengan ujung baut penyetel katup agar tetap sesuai standar sehingga diperoleh unjuk kerja mesin yang optimal. Katup/klep/valve

merupakan komponen berbentuk seperti payung atau cendawan yang dipasang pada kepala silinder. Ketepatan *Gap* dari *Spark Plug* akan langsung dirasakan pada saat pembakaran terjadi, karena *Gap Spark Plug* membentuk loncatan bunga api yang berfungsi untuk pembakaran dalam ruang bakar.

### 2.3.5 RPM (*Revolutions per minute*)

RPM (*Revolutions Per Minute*) adalah jumlah putaran/rotasi suatu poros dalam 1 menit yang berpengaruh langsung terhadap *Horse Power* (HP). RPM putaran *engine* turut serta didalam menentukan kadar gas buang dari kendaraan selama kendaraan berjalan RPM *engine* selalu berubah naik (lebih cepat) atau turun (lebih lambat), pada saat terjadinya perubahan putaran *engine* sedikit banyak akan mempengaruhi proses kompresi dari *engine*.

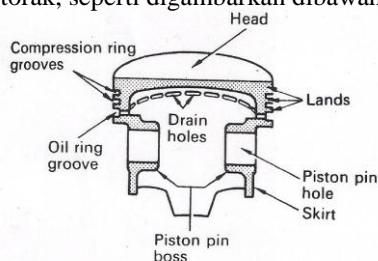
Menurut Suharto(1999), Carbon Monoksida yang banyaknya 0.03% sudah merupakan racun yang berbahaya untuk udara yang diisap oleh manusia. Jumlah sebanyak 0.03% selama setengah jam adalah mematikan. Tingginya kadar karbon dioksida pada jalan stasioner untuk motor bensin disebabkan karena perbandingan campurannya kira-kira 13 : 1. hal ini disebabkan oleh frekuensi putar rendah, derajat isian tidak sempurna dan tekanan kompresi yang rendah, mengakibatkan waktu pembakaran sama, maka pembakarannya menjadi tidak sempurna. Makin sedikit campurannya makin meningkat zat asamnya.

### 2.3.6 Air Cleaner

*Air Cleaner* adalah penyaring udara yang masuk dalam ruang bakar pada *engine*, udara luar kebanyakan mengandung kotoran seperti debu dan kotoran-kotoran halus lainnya, sehingga baik buruknya *Air Cleaner* berdampak langsung pada jumlah udara yang masuk dalam ruang bakar pada *engine*.

## 2.4 Torak.

Torak bergerak turun naik di dalam silinder untuk melakukan langkah hisap, kompresi, pembakaran, dan pembuangan. Fungsi utama torak untuk menerima tekanan pembakaran dan meneruskan tekanan untuk memutar poros. Nama bagian-bagian torak, seperti digambarkan dibawah ini.



Gambar 2.4 Penampang Torak  
(New Step 1 Training Manual 3.11)

## 2.5 Intake

Pemasukan udara dalam *engine* lewat intake manifold, jumlah udara yang lewat intake ini sangat

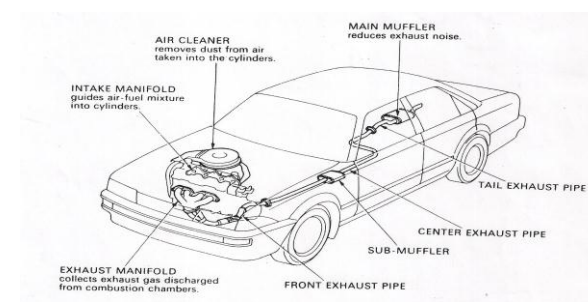
penting untuk pencampuran dengan bahan bakar, banyak sedikitnya udara yang masuk dalam *engine* tergantung dari kemampuan hisap *engine* itu sendiri dan juga tergantung baik buruknya saluran masuknya. Udara yang masuk dalam *engine* harus bersih terhadap kotoran terutama debu, maka dari itu saringan udara/air cleaner perlu digunakan, namun pada waktu tertentu air cleaner harus dibersihkan kalau perlu diganti dengan yang baru, hal ini dilakukan agar udara yang masuk bersih dan juga lancar sehingga memenuhi standart campuran antar udara dengan bahan bakar didalam proses pembakaran.

Banyaknya CO dari gas buang tergantung dari perbandingan bahan bakar dan udara, hanya pada pembakaran yang sempurna dari bahan bakarnya maka nilai CO-nya dapat bernilai 0 (nol). Hal ini dapat dicapai pada perbandingan secara teoritis 14,8 : 1. perbandingan sebesar ini selama motor berjalan jarang dipertahankan, karena kualitas campuran selalu berubah dengan frekuensi putar dan pembebanan motor .

## 2.6 Sistem Pemasukan Dan Pembuangan (*Intake And Exhaust System*)

Sistem pemasukan (*intake system*) terdiri dari saringan udara (*air cleaner*) dan intake manifold. Saringan udara membersihkan kotoran udara sebelum masuk ke silinder untuk bercampur dengan bensin, dan *intake manifold* menyalurkan campuran udara bensin ke dalam silinder. Udara mengalir dari saringan udara masuk ke karburator, dan campuran udara dan bensin yang disiapkan dalam karburator dipanaskan di dalam *intake manifold* oleh adanya pendingin yang telah panas atau gas buang.

Sistem pembuangan (*exhaust system*) terdiri dari *exhaust manifold*, *exhaust pipe* (knalpot) dan muffler. *Exhaust manifold* menampung gas bekas dari silinder dan mengeluarkan ke udara melalui knalpot. Muffler menyerap bunyi yang disebabkan oleh keluarnya gas bekas. *System exhaust* termasuk juga catalytic converter, dimana gas bekas dibersihkan sebelum dikembalikan ke udara. Untuk penambahan ini ada beberapa macam perlengkapan emission control lainnya, untuk lengkapnya lihat pada halaman berikut untuk lebih terperinci.



Gambar 2.5 Sistem Pemasukan Dan Pembuangan  
(*Intake And Exhaust System*)



## 2.7 Tinjauan Statistik

Pada umumnya kesulitan yang sering muncul pada pengendalian kualitas adalah bagaimana memperbaiki pengaturan level-level parameter input untuk memenuhi spesifikasi output. Akan tetapi bila pengaturan karakteristik kualitas dilakukan sedini mungkin, maka spesifikasi yang diharapkan dalam pengendalian kualitas akan tercapai. Oleh karena itu perlu dilakukan optimasi rancangan sejak awal, agar dihasilkan produk yang berkualitas.

Menurut Derringer dan Suich (1980) mencoba mentransformasikan beberapa variabel respon dalam satu fungsi yang dikehendaki. Pendekatan ini memungkinkan seorang peneliti untuk membuat pertimbangan-pertimbangan subyektif mengenai tingkat kepentingan dari masing-masing respon. **Khuri dan Conlon (1981)** mengusulkan suatu prosedur yang dapat mengoptimalkan beberapa variabel respon secara serentak dengan menggunakan suatu fungsi jarak untuk mengukur simpangan dari nilai optimum yang ideal. Akan tetapi kedua pendekatan tersebut terdapat beberapa kelemahan yaitu melibatkan perhitungan yang rumit dan meningkatkan ketidakpastian pada hasil sehingga perlu sekali dikembangkan suatu pendekatan yang lebih efektif untuk menyelesaikan masalah-masalah yang lebih kompleks.

## 2.8 Metode Taguchi

Metode Taguchi diperkenalkan oleh Genechi Taguchi pada tahun 1940 yang bertujuan untuk mengoptimalkan proses eksperimen. Metode taguchi berkembang berdasarkan pendekatan yang secara keseluruhan berbeda dengan metode konvensional dalam rekayasa kualitas. Dalam pengendalian kualitas Taguchi telah menggabungkan falsafah-falsafah besar yang ada pada industri manufaktur. Pendekatan metode Taguchi pada rancangan eksperimen diharapkan mampu menghasilkan pengembangan kualitas yang kokoh (*robust*) terhadap faktor *noise*.

### 2.8.1 Kontribusi Taguchi untuk disain eksperimen dan pengembangan kualitas

Salah satu tujuan dari pengembangan kualitas adalah mendisain kualitas ke dalam setiap produk dan proses. Disain eksperimen merupakan elemen utama dari aktivitas tersebut. Genechi Taguchi memperkenalkan pendekatan dengan menggunakan disain eksperimen yang berguna untuk :

- 1) Meminimumkan variasi di sekitar nilai target
- 2) Mendisain produk atau proses sehingga kualitasnya *robust* terhadap kondisi lingkungan.
- 3) Mengembangkan produk atau proses sehingga kualitasnya *robust* terhadap variasi komponen.

*Robust* berarti produk atau proses yang secara konsisten berada pada target dan relatif tidak sensitif terhadap faktor yang sulit dikontrol. Taguchi menghubungkan tiga tujuan di atas pada pendekatan *parameter design*.

### 2.8.2 Filosofi Taguchi

Genechi Taguchi memperkenalkan pendekatan metode yang dilandasi oleh tiga konsep mendasar, yang dikenal dengan Filosofi Taguchi yaitu :

- 1) Kualitas harus didisain ke dalam produk dan bukan sekedar memeriksanya atau inspeksi.
- 2) Kualitas terbaik dicapai dengan meminimumkan deviasi dari target. Produk harus didisain sehingga *robust* terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikontrol.
- 3) Biaya kualitas harus diukur sebagai fungsi deviasi dari standart tertentu dan kerugian harus diukur pada seluruh sistem.

Pengendalian kualitas dapat dibagi ke dalam dua tahap yaitu :

- 1). Pengendalian kualitas "*off line*" berhubungan dengan aktivitas selama pengembangan produk dan disain proses.
- 2). Pengendalian kualitas "*On-line*" berhubungan dengan proses selama produksi. Pengendalian kualitas "*On-line*" berarti memelihara kekonsistenan produk dan proses sehingga meminimumkan variasi antar unit. Hal ini perlu dilakukan yang tinggi secara serentak.

### 2.8.3 Rasio Signal to Noise

Rasio S/N didefinisikan sebagai logaritma dari rata-rata kuadrat simpangan dari nilai target sebagai berikut :

$$S/N = -10 \log (\text{MSD}) \dots\dots\dots (1)$$

Dimana MSD adalah rata-rata kuadrat simpangan. *Rasio signal to noise* merupakan hasil transformasi dari beberapa replikasi data sehingga nilainya mewakili kualitas penyajian variasi. Nilai MSD dapat dihitung berdasarkan pada karakteristik kualitas dari suatu respon dan dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{MSD} = (Y_1^2 + Y_2^2 + \dots + Y_N^2) / \dots\dots\dots (2)$$

- 1) *Nominal the better*

$$\text{MSD} = [(Y_1 - m)^2 + (Y_2 - m)^2 + \dots + (Y_N - m)^2] / N \dots\dots (3)$$

- 2) *Larger the better*

$$\text{MSD} = (1/Y_1^2 + 1/Y_2^2 + \dots + 1/Y_N^2) / N \dots\dots (4)$$

Dimana :  $Y_i$  = nilai hasil pengamatan  
 $m$  = nilai target eksperimen  
 $N$  = jumlah pengulangan

### 2.8.4 Loss Function

Dalam pengendalian kualitas, Taguchi mengembangkan konsep *loss function* yang didasarkan pada total simpangan kuantitas dari karakteristik kualitas yang ditargetkan. Pada simpangan nol, maka produk tepat seperti apa yang ditargetkan dan kerugian atau *loss function* sama dengan nol.

Pada saat produk atau proses kinerjanya menyimpang dari target, maka loss yang terjadi pada pelanggan dapat dihitung. Menurut Taguchi jika  $L(y)$  menyatakan loss disebabkan oleh simpangan kinerja yang kecil  $(y-m)$  dari target  $m$ , maka dengan pemakaian deret Taylor dapat ditulis :

$$L(y) = L(m+y-m) \dots\dots\dots (5)$$

$$= L(m) + L'(m)(y-m) + \frac{L''(m)(y-m)^2}{2!} + \frac{L'''(m)(y-m)^3}{3!} \dots\dots (6)$$

Pada saat  $y = m$  berarti performansi tepat pada target, sehingga pada titik ini *loss to society* bernilai nol. Untuk turunan pertama  $L'(m)$  mempunyai nilai nol karena  $L(m)$  minimum. Dengan mengabaikan orde yang lebih tinggi dari orde tingkat dua pada persamaan 1, karena nilainya kecil sekali maka persamaan di atas dapat ditulis :

$$L(y) = k(y-m)^2 \dots\dots\dots (7)$$

Dimana  $k = L''(m) / 2!$  adalah konstan.

Nilai  $k$  menyatakan nilai koefisien dari fungsi kerugian. Nilai  $k$  dibuat oleh Taguchi dengan menentukan nilai perhitungan dari fungsi kerugian yang sedekat mungkin terhadap target dengan batas toleransi kualitas. Jika simpangan fungsi karakteristik produk sebesar dari nilai  $\Delta$  dari nilai target  $m$ , dan nilai *loss* sebesar  $A$  maka persamaan 2 menjadi :

$$A = k \Delta^2 \dots\dots\dots (8)$$

$$K = A/\Delta^2 \dots\dots\dots (9)$$

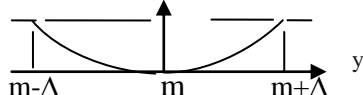
Untuk produk masal, *mean* kerugian/unit adalah :

$$L'(y) = k(y-m)^2 / n \dots\dots\dots (10)$$

$$= k (\text{MSD}) \dots\dots\dots (11)$$

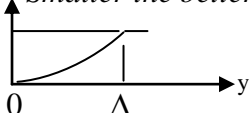
Fungsi kerugian dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu :

a. *Nominal the better*



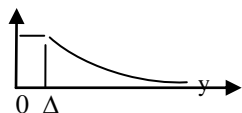
$$L(y) = k (y-m)^2 \dots\dots\dots (12)$$

b. *Smaller the better*



$$L(y) = k(y)^2 \dots\dots\dots (13)$$

c. *Larger the better*

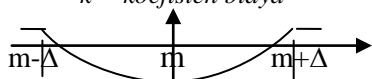


$$L(y) = k(1/y)^2 \dots\dots\dots(14)$$

- Fungsi kerugian NTB (untuk 1 unit)

$$L(y) = k (y - m)^2 \dots\dots\dots (15)$$

$y$  = nilai karakteristik kualitas,  $m$  = target dan  $k$  = koefisien biaya



Sehingga:

$$L(y) = 0 \text{ pada } y = m \dots\dots\dots (16)$$

$L(y) = A_0$  pada batas operasional  $y = m \pm \Delta$  dan diatasnya

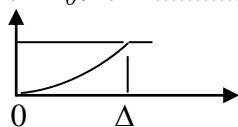
Dimana  $A_0 = k\Delta^2$  adalah rework cost.

- Fungsi kerugian STB (untuk 1 unit)  
Target ( $m$ ) fungsi kerugian STB 0, berdasarkan rumus diatas fungsi kerugian STB dapat dirumuskan sebagai berikut

$$L(y) = k (y)^2 \dots\dots\dots (17)$$

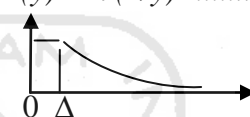
$y$  = nilai karakteristik kualitas dan  $k$  = koefisien biaya,

$$k = A_0 / k\Delta^2 \dots\dots\dots (18)$$



- Fungsi kerugian LTB (untuk 1 unit)  
Target ( $m$ ) fungsi kerugian LTB  $\infty$ , berdasarkan rumus diatas fungsi kerugian LTB dapat dirumuskan sebagai berikut

$$L(y) = k (1/y)^2 \dots\dots\dots (19)$$



### 2.8.5 Prinsip kerja metode Taguchi

- 1) Pemilihan dan penyesuaian *Orthogonal Array* (OA)
- 2) Perancangan eksperimen Taguchi  
Dalam penelitian ini perancangan eksperimen Taguchi menggunakan matrik *Orthogonal Array* (OA) L9.
- 3) Brainstorming
- 4) Diagram sebab akibat (*Ishikawa Diagram*)
- 5) Memisahkan faktor kontrol dan *noise* faktor
- 6) Menentukan level dari faktor dan nilai faktor
- 7) Mengidentifikasi faktor yang mungkin berinteraksi.
- 8) Menggambarkan *linear graph* yang diperlukan untuk faktor kontrol dan interaksi.
- 9) Memilih *orthogonal array*
- 10) Memasukkan faktor dan atau interaksi ke dalam kolom
- 11) Melakukan percobaan
- 12) Analisis hasil eksperimen
- 13) Pemilihan level faktor untuk kondisi optimal.
- 14) Perkiraan rata-rata proses pada kondisi optimal

## 2.9 Uji Persyaratan Analisis Data

### 2.9.1 Uji normalitas

Uji normalitas berguna untuk membuktikan data dari sampel yang dimiliki berasal dari populasi berdistribusi normal atau data populasi yang dimiliki berdistribusi normal. Banyak cara yang dapat dilakukan untuk membuktikan suatu data berdistribusi normal atau tidak. Dalam penelitian ini uji normalitas yang digunakan adalah Kolmogorov-Smirnov.

Langkah-langkah Pengujian Kolmogorov-Smirnov:

- a. Menetapkan hipotesis
- b. Menghitung statistik uji
- c. Menetapkan alpha
- d. Menentukan daerah penolakan
- e. Membuat kesimpulan
- f. Membuat interpretasi dari kesimpulan

2.9.2 Uji homogenitas

Apabila data tersebut normal selanjutnya di uji homogenitas. Uji homogenitas pada data hasil penelitian ini menggunakan uji *bartlett*, karena  $k \geq 2$ .

Tabel 2.2 Tabel Ringkasan Perhitungan Homogenitas dengan Uji Bartlett.

Sampel	Dk	1/dk	$S_i^2$	$\log S_i^2$	$(dk) \log S_i^2$
1	$n_1-1$	$1/n_1-1$	$S_1^2$	$\log S_1^2$	$(n_1-1) \log S_1^2$
2	$n_2-1$	$1/n_2-1$	$S_2^2$	$\log S_2^2$	$(n_2-1) \log S_2^2$
K	$nk-1$	$1/nk-1$	$S_k^2$	$\log S_k^2$	$(nk-1) \log S_k^2$
Jml	$\sum(n_i-1)$	$\sum(1/n_i-1)$	-	-	$\sum(n_i-1) \log S_i^2$

Perhitungan varians gabungan ( $S^2$ ) dari semua sampel:

$$S^2 = \frac{\sum (n_i - 1) S_i^2}{\sum (n_i - 1)} \dots\dots\dots (20)$$

Untuk menghitung harga satuan B:

$$B = (\log S^2) \cdot \sum (n_i - 1)$$

Untuk menghitung chi kuadrat:

$$\chi^2 = (\ln 10) (B - \sum(n_i-1) \log S_i^2)$$

Kesimpulan:

Bila didapat  $\chi^2$  hitung  $\leq \chi^2$  tabel dengan  $\chi^2$  tabel =  $\chi^2$  (1- $\alpha$ ) (k-1) maka data homogen. (Sudjana 1992, h. 263).

2.10 Analisis of Varian (ANOVA)

ANOVA pertama kali dikenalkan oleh Sir Ronald A. Fisher (1930) yang merupakan teknik statistika untuk merepresentasikan variasi hasil eksperimen Analisis varian adalah teknik yang digunakan untuk memecahkan total variasi eksperimen ke dalam sumber-sumber yang diamati. Total variasi didekomposisi ke dalam komponen-komponen pembentuknya berupa faktor utama dan atau interaksi antar faktor. Beberapa formula yang digunakan di dalam ANOVA antara lain :

$SS_T$  = jumlah kuadrat total

$$SS_T = \left[ \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 \right] - CF \dots\dots\dots (21)$$

$SS_A$  = Jumlah kuadrat faktor A

$$SS_A = \left[ \sum_{i=1}^k \left( \frac{A_i^2}{n_A} \right) \right] - CF \dots\dots\dots (22)$$

$SS_B$  = Jumlah kuadrat faktor B

$$SS_B = \left[ \sum_{i=1}^k \left( \frac{B_i^2}{n_B} \right) \right] - CF \dots\dots\dots (23)$$

$SS_{AXB}$  = Jumlah kuadrat interaksi antar faktor

$$SS_{AXB} = \left[ \sum_{i=1}^c \left( \frac{AXB}{n_{AXB}} \right)^2 - CF - SS_A - SS_B \right] \dots\dots\dots (24)$$

$Sse$  = jumlah kuadrat kesalahan (error)

$$Sse = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AXB} \dots\dots\dots (25)$$

$MS_A$  = rata-rata jumlah kuadrat faktor A

$$MS_A = SS_A / V_A \dots\dots\dots (26)$$

$MS_B$  = rata-rata jumlah kuadrat faktor B

$$MS_B = SS_B / V_B \dots\dots\dots (27)$$

$MS_{AXB}$  = rata-rata jumlah kuadratinteraksi faktor AXB

$$MS_{AXB} = SS_{AXB} / V_{AXB} \dots\dots\dots (28)$$

$MSe$  = rata-rata jumlah kuadrat kesalahan (error)

$$Mse = Sse / Ve \dots\dots\dots (29)$$

T = jumlah seluruh pengamatan

$$T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n y_{ij} \dots\dots\dots (30)$$

$k_A$  = jumlah level faktor A

$k_B$  = jumlah level faktor B

N = Jumlah kuadrat Eksperimen

$N = k \times n$

$n_{Ai}, n_{Bj}$  = jumlah pengamatan (trial) faktor A dan faktor B

Model persamaan yang mewakili keadaan pengamatan adalah :

$$\bar{Y}_{ikr} = \mu + \alpha_i + \beta_k + \epsilon_{ikr} \dots\dots\dots (31)$$

dimana :

$i = 1, 2, 3, \dots, m$

$k = 1, 2, 3, \dots, n ; \epsilon_{ikr} \approx IIDN (0, \sigma^2)$

Untuk menguji perbedaan pengaruh taraf faktor didasarkan pada hipotesis awal yang menyatakan bahwa efek taraf faktor A adalah sama, sehingga hipotesisnya adalah :

$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 \dots\dots\dots = \alpha_m = 0$

$H_1$  : paling sedikit ada satu  $\alpha_i \neq 0$

Dalam pengujian hipotesis, statistik uji yang digunakan adalah  $F_{hitung} = MS_A / Mse$  kemudian dibandingkan dengan F tabel :  $F\alpha(V_A, Ve)$ .

Kesimpulan yang diperoleh adalah menolak  $H_0$  apabila  $F_{hitung} > F\alpha(V_A, Ve)$  dan jika  $F_{hitung} < F\alpha(V_A, Ve)$ , maka  $H_0$  diterima.

Dengan menggunakan tingkat kepercayaan 95%, maka uji hipotesis dapat ditentukan : P value > 5 %, maka  $H_0$  ditolak.

2.11. Uji Beda

Uji beda dilakukan untuk mengetahui apakah data hasil konfirmasi berbeda atau sama dengan hasil prediksi. Perumusan hipotesisnya adalah sebagai berikut (Sudjana 1997):

$H_0 = \mu_1 - \mu_2 = 0$  (tidak ada perbedaan)

$H_1 = \mu_1 - \mu_2 > 0$  (ada perbedaan,  $\mu_1 > \mu_2$ )

$H_0 = \mu_1 - \mu_2 < 0$  (ada perbedaan  $\mu_1 < \mu_2$ )

$H_0 = \mu_1 - \mu_2 \neq 0$  ( $\mu_1$  ada perbedaan  $\mu_2$ )

Pada  $N < 30$  (sampel kecil) formula yang dipakai adalah sebagai berikut :

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n} \sum x_{i1} \dots\dots\dots(32)$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n} \sum x_{i2} \dots\dots\dots(33)$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n} \sum x_{i2} \dots\dots\dots(34)$$

$$S_{1^2} = \frac{1}{n_1 - 1} \sum (x_{i1} - \bar{x}_1)^2 \dots\dots\dots(35)$$

$$t_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{(n_1 - 1)S_{1^2} + (n_2 - 1)S_{2^2}}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} \dots\dots\dots(36)$$

**2.12 Alat Uji Analyser**

Didalam menggunakan **EGA 2000** gas analysis secara aman, maka perlu mengikuti pada petunjuk pemakaian

- 1) Analyser digunakan pada tempat yang kering, dipersiapkan penggunaannya dekat dengan sumber panas dan pencemaran udara.
- 2) Hubungkan analyser dengan saluran utama dan pastikan arus listrik masuk dalam analyser dan dapat dilihat pada data.
- 3) Jaga analyser jangan sampai mendapat hentakan/getaran.
- 4) Analyser jangan dibasahi dengan air ataupun cairan lainnya.
- 5) Apabila tangan basah jangan memegang analyser.
- 6) Penggantian fuse dengan yang sama karakteristiknya
- 7) Kabel gas analyser yang ditarik kencang atau jangan ditekuk

**3. METODE PENELITIAN**

**3.1 Populasi dan Sampel**

Populasi dalam penelitian ini adalah gas buang yang dihasilkan dari engine soluna berupa gas buang Hidro Carbon (HC), Nitrogen Oksida (NOx), Carbon Dioksida (CO2), Carbon Monoksida (CO) dan Lambda (χ).

Sampel penelitian ini adalah gas buang Carbon Monoksida (CO) yang dihasilkan dari engine soluna tersebut. Penggunaan sampel Carbon Monoksida ini mengingat gas buang Carbon Monoksida (CO) merupakan fungsi dari rasio kebutuhan udara dan bahan bakar pada proses pembakaran di dalam ruang bakar mesin, termasuk gas buang yang paling berbahaya dalam kehidupan sehari-hari karena beracun dan dapat menimbulkan berbagai penyakit.

**3.2 Variabel Penelitian**

Variabel bebas (*independent variable*) adalah variable yang menjadi sebab berubahnya atau timbulnya variabel terikat/variable respon (Sugiyono 2009, h 39). Dalam penelitian ini variable bebas yang digunakan antara lain : *Ignition Timing, Spark Plug Gap, RPM (Revolution per Minute)*, dan *Air Intake*.

Variabel terikat (*dependent variable*) adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas (Sugiyono 2009, h 39). Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kadar CO pada gas buang engine Soluna tahun 2004.

Tabel 3.1 Variabel : 4 faktor utama dan 3 level

Faktor Kendali	Level 1	Level 2	Level 3
A. Ignition timing	5° BTDC	7,5° BTDC	10° BTDC
B. Spark plug gap	0,70 mm	0,9 mm	1,1 mm
C. RPM	900 RPM	1200 RPM	1500 RPM
D. Air Intake	Pakai kecil/busa	Pakai standart	Tidak pakai

**3.3 Data Hasil Eksperimen**

Besarnya gas buang CO yang dihasilkan dari eksperimen dengan memvariasikan *Ignition Timing* (A); *Spark Plug Gap* (B); RPM ( C ) dan *Air Intake* (D) masing-masing 3 level faktor pada engine analyser 2000 ditunjukkan seperti ditunjukkan pada Tabel 3.2 di bawah ini.

Tabel 3.2 Data Pengujian Kadar CO

Eks	FAKTOR				Kadar CO(%)						
	A	B	C	D	e	e	e	n1	n2	n3	
1	1	1	1	1	e	e	e	e	0.39	0.41	0.41
2	1	2	2	2	e	e	e	e	0.52	0.51	0.48
3	1	3	3	3	e	e	e	e	0.37	0.38	0.37
4	2	1	2	3	e	e	e	e	0.50	0.51	0.51
5	2	2	3	1	e	e	e	e	0.39	0.40	0.37
6	2	3	1	2	e	e	e	e	0.46	0.46	0.46
7	3	1	3	2	e	e	e	e	0.37	0.38	0.38
8	3	2	1	3	e	e	e	e	0.45	0.49	0.50
9	3	3	2	1	e	e	e	e	0.4	0.43	0.44

**3.4 Pengolahan Hasil**

3.4.1 Uji distribusi normal

Dalam penelitian ini, untuk pengujian normalitas data digunakan uji Kolmogorof Smirnov. Hipotesa :

Ho : Residual berdistribusi normal

H1 : Residual tidak berdistribusi normal

Tabel 3.3 Hasil uji normalitas (Kolmogorof Smirnov)

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test		
N		KadarCO
		27
Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	.4348
	Std. Deviation	.05316
Most Extreme Differences	Absolute	.161
	Positive	.161
	Negative	-.112
Kolmogorov-Smirnov Z		.837
Asymp. Sig. (2-tailed)		.485

a. Test distribution is Normal.

Berdasarkan Uji Kolmogorov Smirnov Z diperoleh nilai sebesar 0.837, sedangkan besarnya  $\chi^2_{0.05,8} = 15,5$  (tabel  $\chi^2$ ).

Kesimpulan :  $\chi^2_{hitung} < \chi^2_{0.05,8}$ , maka  $H_0$  diterima, artinya data berdistribusi normal

### 3.4.2 Uji homogenitas

Dalam penelitian ini, pengujian homogenitas data digunakan uji Barlett.

Hipotesa :

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$$

$H_1$  : paling sedikit satu tanda sama dengan tidak berlaku

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh  $\chi^2 = 0.034288 \approx 0.0343$ , sedangkan nilai  $\chi^2_{0.05,8} = 15.5$  (tabel distribusi  $\chi^2$ ).

Kesimpulan : karena  $\chi^2 < \chi^2_{0.05,8}$ , maka  $H_0$  diterima, artinya data homogen

### 3.4.3 Anova respon gas buang carbon monoksida

Hasil perhitungan ANOVA kadar Crabon Monoksida pada gas buang ditunjukkan pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 ANOVA Gas Buang Carbon Monoksida

Factor	DOF	SS	Var	F-Ratio	Pure Sum	Percent
	(f)	(S)	(V)	(F)	(S')	P(%)
A: Ignition Timing	2	0.471	0.235	0.000	0.471	5.141%
B: Spark Plug Gap	2	0.878	0.439	0.000	0.878	9.588%
C: RPM	2	6.308	3.154	0.000	6.308	68.822%
D: Air Intake	2	1.507	0.753	0.000	1.507	16.446%
Error	0			0.000	0.471	Other/error
Total	8	9.166				100.00%

Berdasarkan hasil pengujian dan hasil perhitungan pada tabel 3.4 diperoleh faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan ( $\alpha=5\%$ ) terhadap variabel respon gas buang CO secara berturut-turut antara lain : RPM (C), Air intake (D), Spark Plug Gap (B) dan Ignition timing (A). Hal ini menunjukkan bahwa sumbangan dari keempat faktor tersebut sangat signifikan dalam pembentukan model.

Tabel 3.5 Respon faktor utama

LEVEL	FAKTOR			
	A	B	C	D
1	0.427	0.429	0.448	0.404
2	0.451	0.457	0.478	0.447
3	0.427	0.419	0.379	0.453
SELISIH	0.024	0.038	0.099	0.049
RANK	4	3	1	2

### 3.4.4 Signal to noise ratio

Signal to noise ratio merupakan logaritma dari suatu fungsi kerugian kuadrat dan digunakan untuk mengevaluasi kualitas suatu produk. Dalam penelitian gas buang ini karakteristik kualitas yang digunakan adalah *Smaller The Better* dimana semakin rendah nilai kadar CO, maka kualitas gas buang yang dihasilkan dari peralatan otomotif semakin baik.

Tabel 3.6 SNR kadar CO pada gas buang

Eks	FAKTOR								SNR
	A	B	C	D	e	e	e	e	
1	1	1	1	1	e	e	e	e	7.884
2	1	2	2	2	e	e	e	e	5.957
3	1	3	3	3	e	e	e	e	8.557
4	2	1	2	3	e	e	e	e	5.905
5	2	2	3	1	e	e	e	e	8.248
6	2	3	1	2	e	e	e	e	6.744
7	3	1	3	2	e	e	e	e	8.48
8	3	2	1	3	e	e	e	e	6.366
9	3	3	2	1	e	e	e	e	7.459

### 3.4.5 Efek faktor pada respon gas buang carbon monoksida (CO)

Respon Gas Buang Carbon Monoksida (CO) dinyatakan dengan persen(%). Hasil perhitungan efek tiap faktor pada gas buang CO untuk ditunjukkan pada tabel 3.6 berikut ini.

Tabel 3.6 Nilai Optimal Tiap Faktor pada gas buang CO

LEVEL	FAKTOR			
	A	B	C	D
1	7.467	7.423	6.999	7.864
2	6.966	6.858	6.441	7.061
3	7.435	7.587	8.429	6.943
SELISIH	0.500	0.729	1.988	0.921
RANK	4	3	1	2

Dengan demikian kombinasi level faktor optimal adalah **C3D1B3A1** atau **A1B3C3D1** artinya untuk meminimasi gas buang CO dibutuhkan kombinasi level faktor *Ignition Timing* 5° BTDC; *Spark Plug Gap* 1,1 mm; Putaran Mesin 1500 RPM; dan pemakaian busa pada *Air Intake*.

### 3.4.6 Prosedur pooling gas buang CO

Berdasarkan tabel ANOVA pada tabel 3.4 diperoleh bahwa keempat faktor yang digunakan untuk meminimasi kadar CO pada gas buang secara statistik berpengaruh signifikan dan memberikan kontribusi yang cukup besar. Selain itu dberror = 0 dan db total = 8. Oleh sebab itu prosedur *Pooling* tidak dapat dilakukan. Hal ini dikarenakan prosedur *Pooling* direkomendasikan hanya dilakukan sampai derajat bebas error mendekati setengah dari derajat bebas total.

### 3.4.7 Kondisi optimum kadar CO

Kondisi optimum berguna untuk mengetahui level dari setiap faktor sehingga respon gas buang CO dapat dioptimalkan.

$$\bar{Y} = 7.289$$

$$S/N \text{ optimal} = 9.476$$

Kondisi optimum yang dihasilkan untuk respon gas buang CO adalah A1B3C3D1.

Tabel 3.7 Tabel kondisi optimum gas buang CO

Colum#/factor	Level Description	Level
1 A: Ignition Timing	5 degree BTDC	1
2 B: Spark Plug Gap	1,1 mm	3
3 C: RPM	1500 RPM	3
4 D: Air Intake	Pakai Busa	1

### 3.4.8 Uji Beda

Perumusan hipotesa kadar CO adalah sebagai berikut :

Ho : tidak ada perbedaan rata - rata nilai kadar CO hasil eksperimen konfirmasi dengan kondisi awal.

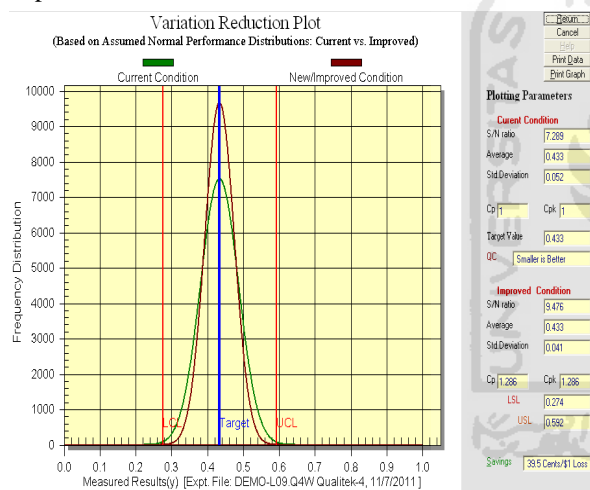
H1 : ada penurunan kadar CO hasil eksperimen konfirmasi di banding dengan kondisi awal.

Tingkat signifikansi :  $\alpha = 5\%$

Berdasarkan perhitungan uji beda diperoleh nilai CO sebesar -5.00.

### 3.4.9 Pengurangan variasi

Grafik pengurangan variasi merupakan grafik yang menunjukkan perbandingan kondisi awal dengan improved condition.



Gambar 3.1. Grafik Pengurangan Variasi

## 4. PEMBAHASAN

### 4.1 Analisis Faktor

Faktor-faktor dominan adalah faktor-faktor yang diduga berpengaruh terhadap kadar gas buang CO. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor yang berpengaruh secara signifikan ( $\alpha=5\%$ ) terhadap variabel respon kadar gas buang CO adalah RPM (C); Air intake (D); Spark Plug Gap (B); dan Ignition timing (A).

#### 4.1.1 Ignition timing

Ignition timing berperan didalam menentukan kadar CO yang dihasilkan dari pembakaran. ketepatan saat pembakaran sangat diperlukan, karena berfungsi untuk kesempurnaan di dalam proses pembakaran bahan bakar.

Berdasarkan ANOVA pada tabel 3.4 menunjukkan bahwa Ignition timing mempunyai pengaruh yang signifikan dengan persen kontribusi sebesar 5.141%. Hal ini menunjukkan bahwa faktor Ignition timing memiliki kekuatan relatif faktor dalam mengurangi variasi kadar CO pada gas buang sebesar 5.141%.

Hasil perhitungan pada kondisi optimum (tabel 3.7) menunjukkan bahwa waktu pengapian ditentukan untuk menghasilkan ignition timing maksimal sekitar 5° BTDC. Dengan demikian meningkatnya putaran mesin akan menyebabkan tekanan maksimal terjadi jauh setelah TMA dan menurunkan tekanan maksimal yang terjadi di dalam silinder. Majunya waktu pengapian yang sesuai dengan waktu delay period, maka tekanan maksimal akan tetap terjadi sekitar 5° setelah TMA (TDC) dengan penurunan tekanan maksimal yang kecil karena efisiensi volumetrik.

Kadar emisi CO didalam gas buang sangat dipengaruhi oleh perbandingan jumlah udara pembakaran dan bahan bakar. Emisi CO yang ada dalam gas buang juga menjadi salah satu indikasi kesempurnaan pembakaran di dalam ruang bakar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setting parameter Ignition timing yang tepat dapat memberikan perbaikan unjuk kerja motor bensin secara signifikan.

#### 4.1.2 Spark Plug Gap

Berdasarkan ANOVA pada tabel 3.4 menunjukkan bahwa Spark Plug Gap mempunyai pengaruh yang signifikan dengan persen kontribusi sebesar 9.588%. Hal ini menunjukkan bahwa faktor Spark Plug Gap memiliki kekuatan relatif faktor dalam mengurangi variasi kadar CO pada gas buang sebesar 9.588%.

Berdasarkan tabel 3.7, nilai optimal untuk Spark Plug Gap, sebesar 1,1 mm. Hal ini menunjukkan bahwa ketepatan Gap dari Spark Plug sebesar 1,1 mm akan langsung dirasakan alat saat pembakaran, karena Spark Plug Gap membentuk loncatan bunga api yang berfungsi untuk pembakaran dalam ruang bakar.

Pengurangan volume ruang bakar akan meningkatkan tekanan di dalam silinder, sehingga temperatur pembakaran akan menjadi lebih tinggi. Dengan temperatur pembakaran yang lebih tinggi, maka panas yang diterima busi dari proses pembakaran menjadi lebih tinggi pula dan menyebabkan busi lebih cepat mencapai temperatur kerja, serta mengurangi emisi gas CO.

#### 4.1.3 RPM (Revolution per Minutes)

Efek variasi putaran mesin dan penggunaan bahan bakar yang nilai oktannya berbeda terhadap karakteristik emisi gas buang setelah di analisis dengan statistik menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap kadar gas CO yaitu sebesar 68.822%. Hal ini menunjukkan bahwa setting putaran mesin yang digunakan dalam penelitian ini memberikan kontribusi penurunan kadar CO pada gas

buang sebesar 68.822%. Akan tetapi kepadatan kendaraan dan kondisi jalan dapat menjadi pemicu tingkat konsentrasi gas CO sebagai pencemar udara di sekitarnya.

Hubungan antara emisi gas buang dan kebutuhan bahan bakar dapat dinyatakan bahwa pada putaran rendah, kecepatan aliran juga rendah, sehingga campuran udara-bahan bakar kurang homogen yang mengakibatkan kurang sempurnanya pembakaran di dalam ruang bakar. Hal ini akan berdampak pada meningkatnya kadar CO. Sebaliknya pada putaran tinggi (tabel 3.7), yaitu 1500 RPM seperti pada hasil optimal penelitian ini, meskipun waktu yang tersedia cukup pendek, namun aliran meningkat dan kemungkinan terjadi turbulensi di dalam aliran sehingga campuran udara-bahan bakar menjadi lebih homogen yang mengakibatkan pembakaran didalam ruang bakar lebih sempurna. Hasil ini sesuai dengan teori Suharto (1999), yang menyatakan bahwa tingginya kadar karbon dioksida pada jalan stasioner untuk motor bensin disebabkan karena perbandingan campurannya kira-kira 13 : 1. hal ini disebabkan oleh frekuensi putar rendah, derajat isian tidak sempurna dan tekanan kompresi yang rendah, mengakibatkan waktu pembakaran sama, maka pembakarannya menjadi tidak sempurna. Makin sedikit campurannya makin meningkat zat asamnya.

Tingginya kadar CO di daerah yang padat kendaraan dan sering terjadi kemacetan dikarenakan:

- 1) Pada saat terjadi kemacetan kendaraan akan berjalan atau *engine* hidup stasioner, dengan demikian maka putaran *engine* hidup rata-rata dibawah 1000 RPM padahal dari hasil eksperimen RPM *engine* yang menghasilkan CO terendah pada RPM 1500 RPM, maka kadar CO yang terkandung di dalam gas buang pada saat terjadi kemacetan akan meningkat menjadi tinggi.
- 2) Pada saat *engine* hidup stasioner daya hisap piston akan rendah maka pemasukan udara dalam ruang bakar tidak dapat optimal, hal ini menyebabkan proses pembakaran kurang sempurna, sudah barang tentu akan menambah tingginya kandungan kadar CO didalam gas buang.

#### 4.1.4 Air Intake

Berdasarkan ANOVA pada tabel 3.4 menunjukkan bahwa *air intake* mempunyai pengaruh yang signifikan dengan persen kontribusi sebesar 16.446%. Hal ini menunjukkan bahwa faktor *air intake* memiliki kekuatan relatif faktor dalam mengurangi variasi kadar CO pada gas buang sebesar 16.446%.

Berdasarkan tabel 3.7 menunjukkan bahwa untuk meminimasi kadar CO pada gas buang, penggunaan busa pada *air Intake* dalam proses pembakaran sangat diperlukan. Hal ini bisa terjadi karena masuknya udara ke dalam ruang bakar tanpa hambatan, sebaik-baiknya *air cleaner* tetap merupakan

hambatan bagi lajunya udara untuk masuk ke dalam ruang bakar.

Dengan menempelnya kotoran/debu pada dinding *cylinder*, maka pada saat piston bergerak naik/turun akan terjadi friksi antara piston ring/piston dengan dinding *cylinder* /liner, maka akan mempercepat keausan baik pada *cylinder* /liner maupun pada piston/piston ring dan akibatnya *oil clearance* akan semakin cepat besar dan akibatnya kompresi *engine* lemah maka *power* turun.

## 4.2 Analisis Hasil Eksperimen

### 4.2.1 Analisis Faktor Dominan Terhadap Rata-rata Kadar CO

Penentuan faktor dominan yang berpengaruh terhadap rata-rata kadar CO bermanfaat untuk memilih level faktor yang dapat menghasilkan kadar CO serendah mungkin, sehingga dapat diterapkan di perusahaan otomotif maupun bengkel-bengkel otomotif. Dengan level faktor tersebut dapat diperoleh hasil sesuai dengan kadar CO yang diinginkan.

### 4.2.2 Analisis persen kontribusi terhadap faktor kadar CO

Persen kontribusi menunjukkan sumbangan faktor terhadap kadar CO yang dihasilkan. Semakin tinggi persen kontribusi, maka semakin kuat pengaruh faktor yang signifikan. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh bahwa keempat faktor dalam penelitian ini memberikan persen kontribusi yang sangat signifikan terhadap kadar CO yang dihasilkan. Sumbangan persen kontribusi yang dihasilkan dari yang terbesar hingga terkecil berturut-turut yaitu RPM, *Air Intake*, *Spark Plug Gap* dan *Ignition Timing*, yang memberikan persen kontribusi masing-masing 68.822%, 16.446%, 9.588% dan 5.141%. Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan faktor RPM untuk mereduksi total variasi sebesar 68.822%, sehingga faktor RPM merupakan faktor yang paling kuat mempengaruhi rata-rata kadar CO pada gas buang.

### 4.2.3 Pemilihan Level pada kondisi optimal

Pemilihan level dimaksudkan untuk memilih kombinasi level dari faktor yang signifikan yaitu kombinasi level dari faktor yang memberikan rata-rata kadar CO terendah. Kombinasi level faktor optimal yang dihasilkan adalah A1B3C3D1, artinya untuk meminimasi kadar CO pada gas buang diperlukan setting parameter *Ignition timing* pada level 1; *Spark Plug Gap* pada level 3; RPM 1500 di level 3 dan *Air intake* di level 1 (busa).

### 4.2.4 Penentuan Rata-rata pada kondisi Optimal

Rata-rata kadar CO optimum diperoleh dari prediksi gas buang dengan melibatkan level faktor yang diduga berpengaruh kuat, yaitu *Ignition timing* level 1 (A1) yaitu 5° BTDC; *Spark Plug Gap* level 3 (B3) yaitu 1,1 mm; RPM 1500 level 3 (C3) dan penggunaan busa *Air Intake* pada level 1 (D1). Hal ini

menunjukkan bahwa penyetelan pada kendaraan Soluna paling baik agar kadar CO yang dihasilkan pada gas buang paling kecil menggunakan *ignition timing* 5° BTDC, *Spark plug gap* 1,1 mm, RPM pada 1500 RPM dan penggunaan busa pada *air cleaner* yang menghasilkan S/N optimal sebesar 9.476.

#### 4.2.5 Analisis Hasil Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi yang dilakukan mengacu pada parameter  $A_1B_3C_3D_1$  menggunakan tiga (3) kali replikasi. Selanjutnya berdasarkan uji beda dengan  $\alpha = 5\%$  diperoleh nilai  $t_0$  sebesar -5.00. Sehingga dapat disimpulkan bahwa  $t_{hitung} < -t_{tabel} = -5.00 < -2.78$  sehingga  $H_0$  ditolak, artinya ada penurunan rata-rata nilai kadar karbon monoksida berdasar disain usulan dibandingkan disain awal.

Dengan demikian agar kadar CO dapat diminimasi, maka variasi penyetelan *timing* 5° BDC, *Spark plug gap* 1,1 mm, RPM pada 1.500 RPM dan *air cleaner* menggunakan busa pada motor bensin, selanjutnya parameter ini dapat diaplikasikan pada skala yang lebih besar (industri).

#### 4.2.6 Analisis pengaruh faktor dominan terhadap variabilitas kadar CO

Minimumnya variabilitas kadar CO dengan variabilitas yang kecil berdampak pada produk yang semakin seragam dan produk yang ditolak akibat variasi yang besar akan berkurang. Berdasarkan gambar 3.1 (pengurangan variasi) menunjukkan bahwa rata-rata penurunan kadar CO sebesar 43.3 %. Pada kondisi awal besarnya S/N Ratio sebesar 7.289 dengan standar deviasi 0.052. Pada improved condition, nilai S/N Ratio mengalami peningkatan menjadi 9.476. Sedangkan standar deviasi mengalami penurunan menjadi 0.041. Nilai Cp dan Cpk pada kondisi awal sebesar 1 (satu). Nilai ini mengalami peningkatan yang sangat signifikan menjadi 1.286 pada improved condition. Hal ini menunjukkan bahwa capabilitas proses *engine* tinggi dalam mereduksi kadar CO pada gas buang. Dengan demikian proses pembakaran yang terjadi pada peralatan otomotif sempurna sehingga mampu menekan kadar gas buang CO. Setelah dilakukan setting parameter yang optimal berdasarkan hasil penelitian, kapabilitas mesin pada mobil soluna sebagai obyek penelitian termasuk kategori tinggi karena nilai Cp berada pada rentang 1 s/d 1.33.

## 5. SIMPULAN

Setelah dilakukan pengumpulan dan pengolahan data, serta berdasarkan hasil pembahasan pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Faktor-faktor terkendali yang berpengaruh signifikan terhadap kadar CO pada gas buang adalah RPM, *Air Intake*, *Spark Plug Gap* dan *Ignition Timing*, yang memberikan persen kontribusi masing-masing 68.822%, 16.446%, 9.588% dan 5.141%.

2. Kombinasi level faktor optimal yang menghasilkan kadar CO rendah pada pembakaran sempurna yaitu  $A_1B_3C_3D_1$ , artinya *Ignition Timing* 5° BTDC, *Spark Plug Gap* 1.1 mm, RPM 1500 dan pemakaian busa pada *Air Intake*.
3. Kondisi optimal yang dicapai untuk meminimalkan kadar Carbon Monoksida pada gas buang dari hasil pembakaran sebesar 9.476 dengan rata-rata nilai SNR sebesar 0.433.
4. Pada kondisi awal kadar Carbon Monoksida sebesar 1.55%. Pengurangan variasi rata-rata kadar Carbon Monoksida sebesar 43.3 %. Pada kondisi awal besarnya S/N Ratio sebesar 7.289 dengan standar deviasi 0.052. Pada improved condition, nilai S/N Ratio mengalami peningkatan menjadi 9,476. Sedangkan standar deviasi mengalami penurunan menjadi 0.041. Nilai Cp dan Cpk pada kondisi awal sebesar 1 (satu). Nilai ini mengalami peningkatan yang sangat signifikan menjadi 1.286 pada improved condition sehingga unjuk kerja mesin yang tinggi pada pembakaran yang sempurna dapat menurunkan kadar CO.
5. Nilai  $t$  hitung pada uji beda hasil eksperimen konfirmasi yang menggunakan parameter  $A_1 B_3 C_3 D_1$  dengan  $\alpha = 5\%$  diperoleh  $t_0$  sebesar -5.00, artinya ada penurunan rata-rata nilai kadar karbon monoksida berdasar disain usulan dibandingkan disain awal.





# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Wilayah perkotaan merupakan wilayah yang sedang berkembang, baik dalam bidang industri, jasa, pemukiman, pendidikan, perdagangan, maupun transportasi. Seiring dengan perkembangan wilayah perkotaan tersebut maka terjadi alih fungsi lahan dari lahan pertanian menjadi lahan hunian. Alih fungsi ini akan meningkatkan kepadatan penduduk maupun kepadatan pemukiman, hal ini akan menyebabkan lingkungan semakin tidak dapat mendukung kehidupan secara harmonis. Perluasan lahan terbangun beserta aktivitas penduduknya akan memicu permasalahan penurunan kualitas lingkungan.

Salah satu permasalahan lingkungan yang sering terjadi di wilayah perkotaan akibat padatnya penduduk dengan sarana dan prasarana transportasinya menjadi sumber pemicu terjadinya pencemaran udara. Bila masalah pencemaran udara ini tidak segera ditanggulangi, maka akan menimbulkan masalah baru yang lebih kompleks, seperti masalah kesehatan masyarakat dan wabah penyakit yang lain.

Semakin meningkatnya kebutuhan alat transportasi oleh masyarakat, memicu semakin banyaknya jumlah kendaraan yang beredar di jalan perkotaan, baik untuk memenuhi kebutuhan pribadi maupun industri. Semakin banyak kendaraan yang beroperasi maka pencemaran lingkungan/udara pasti semakin besar (Suharsono, 2002).

Berdasarkan hasil penelitian para ahli, sumber pencemaran udara di kota-kota besar yang kepadatan lalu lintasnya sangat tinggi, 70% berasal dari sektor transportasi. Tercemarnya lingkungan yang semakin meningkat akibat limbah industri dan transportasi mengakibatkan rusaknya habitat tumbuhan dan hewan langka, menurunnya nilai estetika alam dan kesehatan manusia yang terganggu. Pencemaran lingkungan berupa asap tersebut berasal dari gas limbah kendaraan bermotor dan pabrik yang mengalami fotooksidasi atas ozon. Dengan adanya inverse tersebut di udara pada waktu tertentu, asap-kabut terperangkap di udara di atas kota (Kozlowski, 1999).

Berdasarkan Peraturan Daerah No. 2/tahun 2005 tentang Pengendalian Pencemaran Udara sudah saatnya kendaraan penghasil polutan yang mencemari lingkungan harus melakukan uji emisi gas buang dan KIR (Keeping it real) yaitu uji kelaikan jalan. Pada periode 1998 sampai 2004 pertumbuhan kendaraan bermotor di kota-kota besar rata-rata 7 persen per tahun. Kadar polutan yang tinggi dari kendaraan bermotor terjadi karena sistem pembakaran tidak sempurna (Kokasih, 2005).

Tinggi rendahnya kadar gas buang ini akan mempengaruhi tingkat kesehatan lingkungan. Dalam rangka meningkatkan kesehatan masyarakat dan menjaga lingkungan yang bersih dan sehat, maka gas buang yang dihasilkan dari peralatan transportasi perlu diminimasi. Salah satu alternatif untuk mengukur kadar gas buang dari peralatan transportasi adalah uji emisi gas buang. Untuk mengurangi gas buang tersebut dapat dilakukan dengan cara perawatan mesin

yang intensif meliputi busi, platina dan kondensor serta penyetelan komponen-komponen yang lain dengan baik.

Dengan melihat latar belakang permasalahan di atas, maka perlu adanya upaya meminimisasi kadar gas buang yang dihasilkan dari motor bensin berupa gas Carbon Monoksida (CO), agar kadar CO pada gas buang tersebut tidak melebihi ambang batas yang diijinkan sehingga tidak mengganggu lingkungan dan kesehatan masyarakat. Hal ini dilakukan dengan mengatur kombinasi level empat faktor di atas dan melakukan pengujian kadar gas buang dengan menggunakan mesin uji gas *analyser*, setelah dilakukan perawatan mesin (*tune up*). Eksperimen dilakukan dengan metode Taguchi untuk meminimalkan eksperimen tanpa mengabaikan faktor maupun levelnya,

## 1.2 Rumusan Masalah

Dengan didasari latar belakang seperti yang diuraikan, maka akan dilakukan beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

1. Faktor-faktor apa saja yang berpengaruh signifikan terhadap kadar Carbon Monoksida pada gas buang?
2. Bagaimana kombinasi level faktor yang optimal pada *ignition timing*, *spark plug gap*, putaran *engine* dan *air intake* pada gasoline engine untuk meminimalkan kadar CO dari hasil pembakaran?
3. Berapa kadar Carbon Monoksida pada kondisi optimal dan berapa besar penurunan kadar CO pada kondisi awal dibandingkan dengan improved condition?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian kadar Carbon Monoksida pada gas buang yang dihasilkan engine Soluna dengan cara eksperimen menggunakan metode Taguchi antara lain:

1. Mengetahui faktor-faktor yang berpengaruh signifikan terhadap kadar Carbon Monoksida pada gas buang.
2. Mengetahui kombinasi level faktor optimal pada *ignition timing*, *spark plug gap*, putaran *engine* dan *air intake* agar terjadi pembakaran sempurna sehingga kadar CO yang dihasilkan rendah.
3. Mengetahui kadar Carbon Monoksida pada kondisi optimal, dan
4. Mengetahui besarnya penurunan kadar kadar Carbon Monoksida dari kondisi awal dibandingkan dengan *improved condition*?

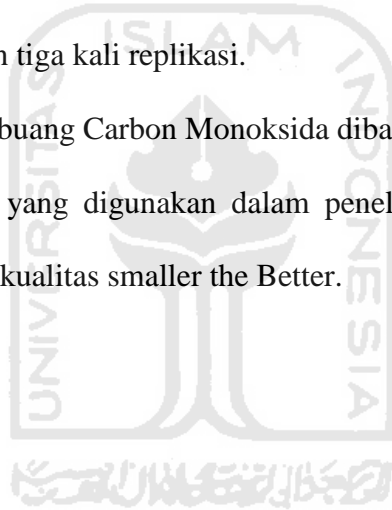
### 1.4 Manfaat Penelitian

1. Dapat mengetahui penyebab timbulnya gas CO, yang dihasilkan dari kendaraan bermotor yang membahayakan kesehatan manusia dan cara mengatasinya.
2. Membantu masyarakat untuk mengerti pentingnya pemeriksaan kendaraan secara berkala di bengkel yang dapat menguji gas buang.
3. Membantu masyarakat agar tidak terkena dampak yang tidak baik yang dapat mengganggu kesehatan dari akibat gas buang CO.

### 1.5 Batasan Masalah

Mengingat begitu kompleksnya permasalahan dan agar tujuan penelitian tercapai, maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan di laboratorium Automotif Akademi Teknologi Warga Surakarta.
2. Parameter yang digunakan dalam pengujian gas buang adalah kadar CO (Carbon Monoksida).
3. Percobaan dilakukan menggunakan empat faktor dan tiga level pada masing-masing faktor dengan tiga kali replikasi.
4. Penelitian kadar gas buang Carbon Monoksida dibatasi pada motor bensin.
5. Metode eksperimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Taguchi dengan karakteristik kualitas smaller the Better.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Polusi Udara**

Polusi udara oleh gas buang merupakan gangguan terhadap lingkungan, terutama gas buang dari kendaraan bermotor yang sangat mengganggu kesehatan (Sumarwoto 1998), oleh sebab itu perlu suatu pengontrolan dan perawatan yang intensif pada engine yang digunakan.

Kendaraan bermotor telah lama menjadi salah satu sumber pencemar udara di beberapa kota besar dunia. Gas-gas beracun dari jutaan knalpot setiap harinya menimbulkan masalah serius di banyak negara. Tak terkecuali di Indonesia, yang jutaan kendaraannya berbahan bakar bensin sehingga menjadi sumber pencemar udara terbesar di beberapa kota melebihi industri dan rumah tangga.

Pencemaran tampaknya sudah tak dapat dielakan lagi akibat terus membengkaknya jumlah kendaraan bermotor setiap tahunnya. Menurut ISPU (Indeks Standar Pencemaran Udara) termasuk kategori “baik”, jika tingkat kualitas udara tidak memberikan efek buruk bagi kesehatan manusia serta tidak berpengaruh pada tumbuhan dan nilai estetika bangunan. Sebaliknya, kondisi udara tersebut “tidak sehat” hingga sangat tidak sehat bila kualitas udara di suatu kota secara umum dapat merugikan kesehatan serius penduduk setempat. (Syarif, 2003)

Komponen-komponen gas buang yang sangat mengganggu kesehatan manusia dan lingkungan adalah CO (Carbon Monoksida), NO<sub>x</sub> (Nitrogen

Oksida), HC (Hidro Carbon) dan CO<sub>2</sub> (Carbon Dioksida). Dari senyawa-senyawa tersebut, HC dan CO paling berbahaya bagi kesehatan, bahkan di Jakarta kadar HC dan CO dapat mencapai 67%.

Asap kendaraan merupakan sumber utama bagi Carbon Monoksida di berbagai perkotaan. Formasi CO merupakan fungsi dari rasio kebutuhan udara dan bahan bakar dalam proses pembakaran di dalam ruang bakar mesin diesel. Pencampuran yang baik antara udara dan bahan bakar terutama yang terjadi pada mesin-mesin yang menggunakan turbocharge merupakan salah satu strategi untuk meminimalkan emisi CO. Meningkatnya kadar Carbon Monoksida diberbagai perkotaan dapat mengakibatkan turunya berat janin dan meningkatkan jumlah kematian bayi serta kerusakan otak. Karena itu strategi penurunan kadar Carbon Monoksida akan tergantung pada pengendalian emisi seperti penggunaan bahan bahan katalis yang mengubah bahan Carbon Monoksida menjadi karbon dioksida dan penggunaan bahan bakar terbarukan yang rendah polusi bagi kendaraan bermotor.

Kadar CO akan bertambah tinggi jika dalam komposisi bahan bakar lebih banyak dari O<sub>2</sub> yang diperlukan untuk mengubah CO menjadi O<sub>2</sub> akibatnya CO yang terbuang meningkat (Sumarwoto 1998). Banyaknya CO dari gas buang itu tergantung dari perbandingan bahan bakar dan udara, hanya pada pembakaran yang sempurna dari bahan bakarnya maka nilai CO-nya dapat bernilai 0 (nol). Hal ini dapat dicapai pada perbandingan secara teoritis 14,8 : 1. perbandingan sebesar ini selama motor berjalan jarang dipertahankan, karena



kualitas campuran selalu berubah dengan frekuensi putaran dan pembebanan engine. (Suharto 1999).

Suyanto (1989, h.345), menyatakan bahwa “Emisi gas buang adalah polutan yang mengotori udara yang dihasilkan dari gas buang”. Gas bekas hasil pembakaran dari kendaraan bermotor pada umumnya terdiri dari gas yang tidak beracun seperti  $N_2$  (nitrogen),  $CO_2$  (karbon dioksida), dan  $H_2O$  (uap air), sedangkan sebagian kecil merupakan gas beracun seperti gas CO (Carbon Monoksida), HC (hidrokarbon),  $NO_x$  (oksida nitrogen), dan Pb (timah hitam). Gas beracun inilah yang sering dipermasalahakan karena mempunyai efek yang buruk terhadap kehidupan baik tumbuhan, hewan, maupun manusia.

## 2.2 Carbon Monoksida (CO)

Carbon Monoksida (CO) adalah suatu komponen tidak berwarna, tidak berbau dan tidak mempunyai rasa yang terdapat dalam bentuk gas pada suhu di atas  $-192^\circ C$  (Fardiaz 1995, h. 94).

Toyota Step 2 MPEG (1993: 2-10) menyatakan bahwa sifat-sifat dari gas Carbon Monoksida, antara lain :

- a) Tidak berwarna dan tidak berbau
- b) Tidak mudah larut dalam air
- c) Mempunyai perbandingan berat terhadap udara pada 1 atm  $^\circ C$  sebesar 0,967 berbanding 1
- d) Di udara bila diberikan api akan terbakar dengan mengeluarkan asap biru dan menjadi  $CO_2$ .

Carbon Monoksida yang terdapat di alam terbentuk dari salah satu proses sebagai berikut:

- a) Pembakaran tidak lengkap terhadap karbon atau komponen yang mengandung karbon.
- b) Reaksi antara karbon dioksida dan komponen yang mengandung karbon pada suhu tinggi, di mana pada suhu tinggi karbon dioksida terurai menjadi Carbon Monoksida (CO) dan O.

Oksidasi tidak lengkap terhadap karbon atau komponen yang mengandung karbon terjadi jika jumlah oksigen yang tersedia kurang dari jumlah yang dibutuhkan untuk pembakaran sempurna di mana dihasilkan karbon dioksida.

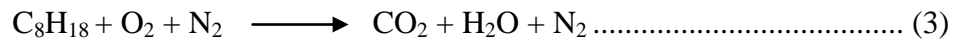
Secara sederhana pembakaran karbon dalam bahan bakar terjadi melalui beberapa tahap sebagai berikut:



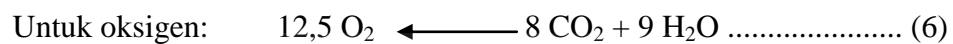
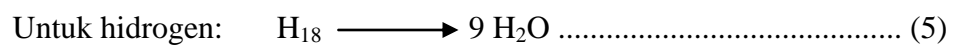
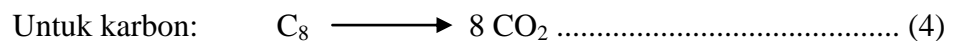
Reaksi pertama berlangsung sepuluh kali lebih cepat daripada reaksi kedua, oleh karena itu CO merupakan produk akhir jika jumlah O<sub>2</sub> tidak cukup untuk melangsungkan reaksi kedua. CO juga dapat merupakan produk akhir meskipun

jumlah oksigen di dalam campuran pembakaran cukup, tetapi antara bahan bakar dengan udara tidak bercampur dengan sempurna. Pencampuran yang tidak merata antara bahan bakar dan udara menghasilkan beberapa tempat atau area yang kekurangan oksigen. Semakin rendah perbandingan antara udara dengan bahan bakar, maka semakin tinggi jumlah Carbon Monoksida yang dihasilkan.

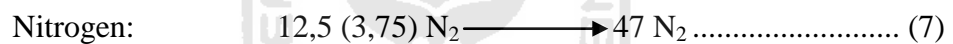
Persamaan reaksi kimia pada proses pembakaran bahan bakar dapat ditulis sebagai berikut:



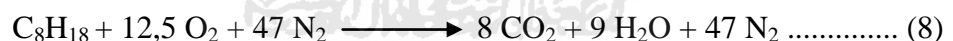
Agar pembakarannya sempurna maka jumlah semua bagian kiri harus sama dengan jumlah bagian kanan. Reaksi keseimbangannya adalah:



Karena kandungan nitrogen di udara setiap satu mol oksigen akan bersamaan dengan 3,75 mol nitrogen, maka di dalam proses pembakaran ini juga terdapat nitrogen. Reaksi keseimbangannya adalah:



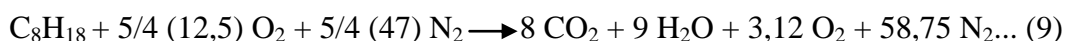
Sehingga persamaan reaksi kimia dari pembakaran sempurna ini adalah menjadi:



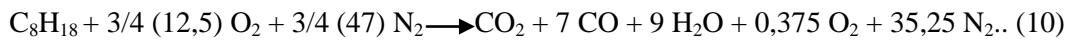
Persamaan di atas hanya berlaku untuk perbandingan campuran bahan bakar-udara yang sesuai dengan perbandingan *stoichiometric* yaitu 15 : 1. Tetapi dalam kenyataannya, proses pembakaran terjadi dengan campuran yang terlalu banyak udara (campuran kaya) atau kekurangan udara (campuran miskin).

Persamaan reaksi kimia pada pembakaran bahan bakar yang terlalu banyak

udara 25 % dari jumlah teoritis adalah sebagai berikut:



Persamaan reaksi kimia pada pembakaran bahan bakar yang kekurangan udara 25 % dari jumlah teoritis adalah sebagai berikut:



Pada persamaan reaksi kimia pembakaran bahan bakar dengan terlalu banyak oksigen, hidrokarbon dapat di ubah menjadi karbon dioksida dan air tanpa menghasilkan gas Carbon Monoksida (CO), sedangkan pada persamaan reaksi kimia pembakaran dengan kekurangan oksigen, akan menghasilkan gas Carbon Monoksida (CO) yang jumlahnya lebih banyak dari gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), sehingga pembakaran dengan kekurangan oksigen ini dapat menyebabkan tingginya emisi gas CO yang dihasilkan kendaraan.

### 2.2.1 Pengaruh Gas Carbon Monoksida (CO) pada manusia

Ambang batas (toleransi) pada manusia adalah 32 ppm (Srikandi Fardiaz, 1992: 101). Pengaruh CO terhadap manusia pada konsentrasi yang relatif rendah (100 ppm atau kurang) dapat mengganggu kesehatan. Pengaruh beracun CO terhadap tubuh terutama disebabkan oleh reaksi antara CO dengan *haemoglobin* (Hb) di dalam darah. *Haemoglobin* di dalam darah secara normal berfungsi dalam sistem transpor untuk membawa oksigen dalam bentuk *oxyhaemoglobin* (O<sub>2</sub>Hb) dari paru-paru ke sel-sel tubuh, dan membawa CO<sub>2</sub> dalam bentuk CO<sub>2</sub>Hb dari sel-sel tubuh ke paru-paru. Dengan adanya CO, *haemoglobin* dapat membentuk *carboxyhaemoglobin* (COHb). Jika reaksi demikian terjadi, maka kemampuan darah untuk mentranspor oksigen akan menjadi berkurang. Kemampuan mengikat CO terhadap *hemoglobin* adalah 200 kali lebih tinggi daripada kemampuan

mengikat oksigen terhadap *haemoglobin*, akibatnya jika CO dan O<sub>2</sub> terdapat bersama-sama di udara maka akan terbentuk COHb dalam jumlah jauh lebih banyak daripada O<sub>2</sub>Hb.

Besarnya nilai ambang batas yang diijinkan seperti tertuang dalam keputusan Menteri lingkungan Hidup No. 141 Tahun 2003 berkaitan dengan pemberlakuan Standar Euro 2 yang merupakan tindak lanjut dari Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 35/MENLH/10/1999 ambang batas emisi gas buang Kendaraan Bermotor (Prasetyo, 2003).

Untuk mengetahui apakah kadar gas buang berada pada batas yang diijinkan atau melebihi ambang batas, berikut ini ditunjukkan nilai ambang batas untuk gas buang CO dan NO<sub>x</sub>, HC dan CO<sub>2</sub>.

Tabel 2.1 Nilai ambang batas yang diijinkan

ITEM	NILAI	SATUAN
RPM	0,50	1/min
CO	1,55	% volume
CO <sub>2</sub>	12,5	% volume
HC	0,250	Ppm volume
O <sub>2</sub>	1,65	% volume
CO Co <sub>2</sub>	0,986	% volume
Lamda/NOx	0,80	-
Temperatur		C <sup>o</sup>

Sumber : Anonim,2000, *Gas analyser*, EGA 2000, *Manual Book*

Perawatan mesin yang intensif, pada dasarnya untuk mengupayakan hasil pembakaran pada motor selalu sempurna. Pembakaran yang sempurna akan menghasilkan efisiensi kerja motor selalu tinggi, sehingga memberikan manfaat ganda yaitu motor lebih hemat bahan bakar dan dapat meminimalkan gas buang beracun yang membahayakan lingkungan. Perawatan intensif yang dimaksud adalah (Suharto, 1999)

1. Setiap kendaraan berjalan 10.000 km, maka kendaraan harus diadakan pengecekan berkala, yaitu menjalani ketentuan-ketentuan prosedur *tune up*.
2. Didalam *tune up* kendaraan mengalami pengecekan ataupun penggantian suku cadang yang sudah tak layak dipakai.
3. Pengecekan kompresi *engine*, tekanan kompresi harus masih baik misalkan engine Soluna  $13\text{kg/cm}^2 \sim 14\text{kg/cm}^2$ , selisih kompresi setiap *cylinder* tidak boleh lebih dari  $2\text{ kg/cm}^2$ .
4. Pengecekan *timing* pembakaran, apabila *timing* pembakaran tidak sesuai yang di tentukan harus disetel sesuai standart.
5. *Value Clearance* pada *engine* diperiksa dan disetel dikembalikan pada ukuran yang sesuai standart.
6. *Spark Plug gap* diperiksa dan disetel dikembalikan standartnya gap spark plug akan berubah, sebab mengalami keausan.
7. *Cylinder head bolt* dari *engine* diperiksa dan dikeraskan kembali sesuai standartnya.
8. Pembersihan saringan bahan bakar, pembersihan saringan udara dan apabila sudah tidak layak harus diganti.

9. Hendaknya pemeriksaan kendaraan dipercayakan kepada bengkel yang sudah dilengkapi dengan peralatan *tune up tester* yang baik dan juga mempunyai CO *analyser*.

Efek buruk yang ditimbulkan oleh gas carbon monoksida pada manusia adalah :

- 1) Akan bercampur dengan *haemoglobin* yang terdapat dalam darah menjadi *carbon monoksida haemoglobin* (CO-Hb)
- 2) Dengan bertambahnya CO-Hb, maka fungsi pengaliran oksigen dalam darah akan terhalang.
- 3) Di dalam darah bila terdapat CO-Hb 5% (dalam udara CO 40 ppm) maka akan menimbulkan keracunan dalam darah. (Toyota *Step 2* MPEG, 1993: 2-10) Faktor penting yang menentukan pengaruh CO terhadap tubuh manusia adalah konsentrasi COHb yang terdapat di dalam darah, di mana semakin tinggi persentase *haemoglobin* yang terikat dalam bentuk COHb, maka semakin parah pengaruhnya terhadap kesehatan manusia. Pada tabel 2, akan dijelaskan macam-macam pengaruh gas Carbon Monoksida *haemoglobin* (COHb) terhadap kesehatan manusia.

Tabel 2.2 Pengaruh carbon monoksida *haemoglobin* (COHb) terhadap kesehatan

Konsentrasi COHb dalam darah (%)	Pengaruhnya terhadap kesehatan
0 – 1.0	Tidak ada pengaruh
1.1 – 2.0	Penampilan agak tidak normal (muka pucat)
2.1 – 5.0	Pengaruhnya terhadap sistem syaraf sentral, reaksi panca indera tidak normal, benda terlihat agak kabur.
5.1 > 10.0	Perubahan fungsi jantung
10.1 – 80.0	Kepala pening, mual, berkunang-kunang, pingsan, kesukaran bernafas, kematian.

(Fardiaz 1992, h.100)

Konsentrasi COHb di dalam darah dipengaruhi secara langsung oleh konsentrasi CO dari udara yang terhisap. Pada konsentrasi CO tertentu di udara, konsentrasi COHb di dalam darah akan mencapai konsentrasi ekuilibrium setelah beberapa waktu tertentu. Konsentrasi ekuilibrium COHb tersebut akan tetap dipertahankan di dalam darah selama konsentrasi CO di dalam udara di sekelilingnya tetap tidak berubah. Akan tetapi COHb secara perlahan-lahan akan berubah sesuai dengan perubahan konsentrasi CO di udara untuk mencapai ekuilibrium yang baru.

Secara normal, darah mengandung COHb dalam jumlah sekitar 0,5 %. Jumlah ini berasal dari CO yang diproduksi oleh tubuh selama metabolisme pemecahan heme, yaitu komponen dari *haemoglobin*. Sisanya berasal dari CO yang terdapat di udara dalam konsentrasi rendah. Persen ekuilibrium COHb di



dalam darah manusia yang mengalami kontak dengan CO dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut (**Fardiaz 1992, h.100**)

$$\% \text{ COHb dalam darah} = 0,16 \times (\text{konsentrasi CO di udara dalam ppm}) + 0,5 \%$$

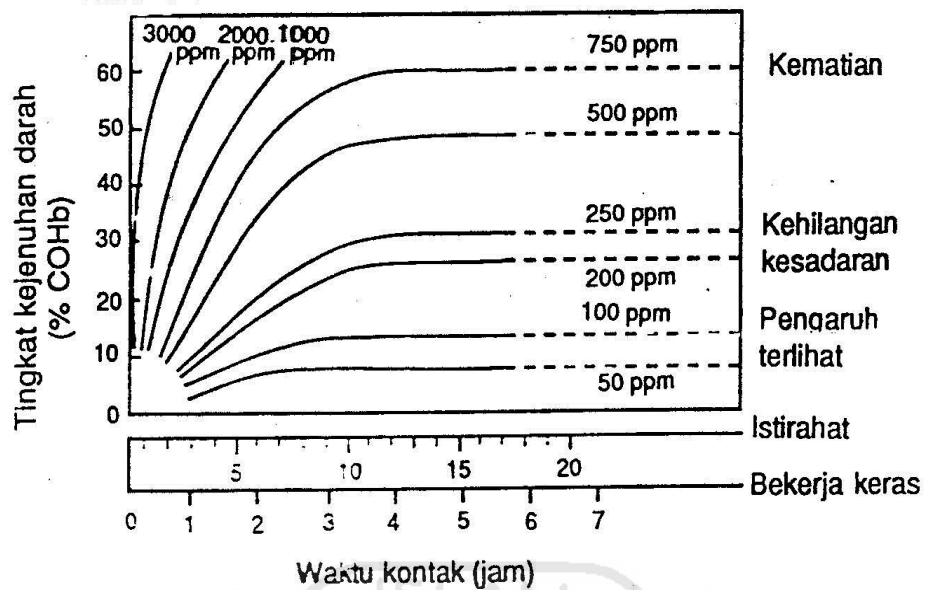
Tabel 2.3 memperlihatkan hasil perhitungan konsentrasi COHb di dalam darah dengan menggunakan rumus di atas.

Tabel 2.3 Data ekuilibrium antara co di udara dengan cohb di dalam darah

Konsentrasi CO di udara (ppm)	Konsentrasi ekuilibrium COHb di dalam darah (%)
10	2.1
20	3.7
30	5.3
50	8.5
70	11.7

(**Fardiaz 1992, h. 101**)

Waktu yang dibutuhkan oleh COHb darah untuk mencapai ekuilibrium dengan konsentrasi CO di udara merupakan fungsi dari aktivitas fisik seseorang yang mengalami kontak dengan CO. Ekuilibrium tercapai lebih cepat pada orang yang melakukan aktivitas berat seperti terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. pengaruh jenis aktivitas fisik dan waktu terhadap konsentrasi cohb di dalam darah (Kontrol terhadap polusi carbon monoksida (CO))

Berbagai usaha telah dilakukan untuk mengontrol polusi CO di udara. Kebanyakan usaha tersebut ditujukan untuk mengurangi polusi CO dari kendaraan bermotor karena sebanyak 64 % dari seluruh emisi gas CO dihasilkan dari transportasi, terutama yang menggunakan bahan bakar dengan campuran oli (Srikandi Fardiaz, 1992: 102).

Jumlah kendaraan bermotor pada tahun 2008 mencapai angka 307.342, tabel no. 2.4 hingga saat terus mengalami peningkatan yang sangat pesat bahkan jumlah tersebut belum termasuk kendaraan yang digunakan oleh militer.

Tabel 2.4 Data jumlah kendaraan bermotor yang terdaftar (kecuali militer) tahun 2001- 2008

Tahun	Mobil		Sepeda motor pribadi	Bis Umum	Jumlah Total kendaraan	Prosentase (%)
	Penumpang					
	Pribadi	Umum				
2001	25.231	842	124.119	793	166.611	8,9
2002	26.376	895	134.942	875	179.073	9,6
2003	27.700	968	148.685	875	194.698	10,4
2004	38.990	987	168.608	841	226.466	12,1
2005	40.926	1.027	186.509	857	246.851	13,2
2006	42.260	1.030	202.271	823	263.886	14,1
2007	43.815	1.031	219.886	830	283.325	15,2
2008	46.166	1.040	242.806	1.115	307.342	16,5
Jumlah	291.464	7.820	1.427.826	7.009	1.867.982	100

Sumber: Laporan bulanan POLWIL Surakarta (tahun 2009),  
<http://lpmkentingan.wordpress.com/category/tulisan-harian/> (updated 14 Juni 2009)

Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk akan berpengaruh terhadap jumlah kebutuhan kendaraan bermotor, di kota Solo saja pada tahun 2002 telah mencapai 554.630 jiwa, tabel 2.5

Tabel 2.5 Jumlah dan kepadatan penduduk di kota Surakarta tahun 2002

No	Kecamatan	Luas Wilayah (Km <sup>2</sup> )	Jumlah Penduduk	Tingkat Kepadatan Penduduk
1	Laweyan	8,64	107.622	12.459
2	Serengan	3,19	61.945	19.394
3	Pasar kliwon	4,82	85.593	17.776
4	Jebres	12,58	136.762	10.870
5	Banjarsari	14,81	162.708	10.986
	Total	44,04	554.630	12.594

Sumber: BPS ,2002.

<http://ciptakarya.pu.go.id/profil/profil/barat/jateng/surakarta.pdf>

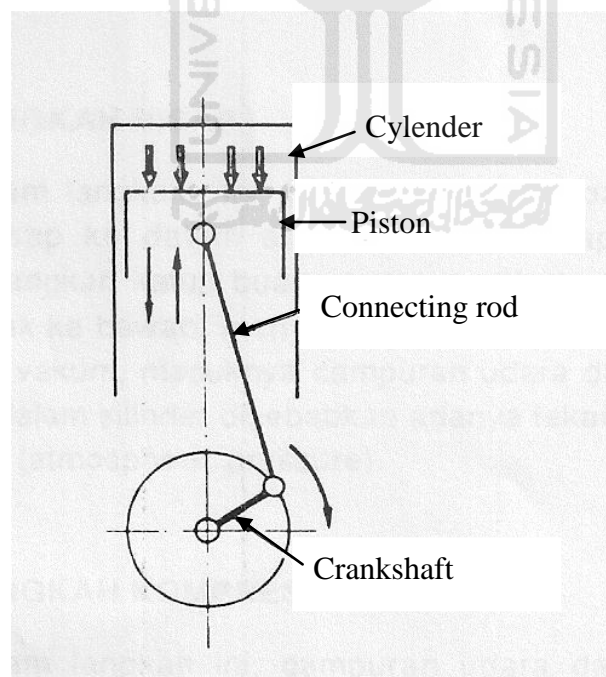
### 2.2.2 Pengontrolan emisi gas CO dari kendaraan

- 1) Modifikasi mesin pembakar untuk mengurangi jumlah polutan yang terbentuk selama pembakaran
- 2) Pengembangan sistem pembuangan sehingga proses pembakaran berlangsung sempurna dan polutan berbahaya dapat diubah menjadi polutan yang lebih aman.
- 3) Pengembangan substitusi bahan bakar bensin yang menghasilkan polutan dengan konsentrasi yang rendah selama pembakaran.

## 2.3 Motor Bensin

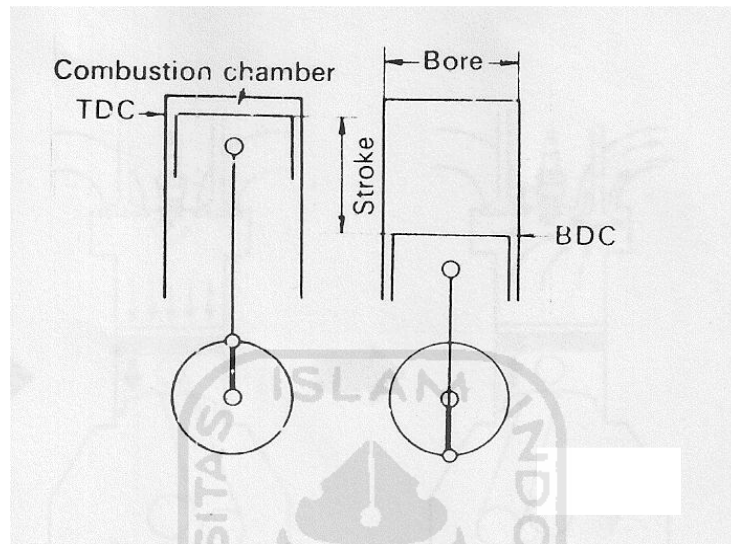
### 2.3.1 Prinsip kerja mesin bensin

Mari kita perhatikan bagaimana mesin bensin mengubah bahan bakar menjadi tenaga. Dalam gambar skema mesin bensin, campuran udara dan bensin dihisap ke dalam silinder. Kemudian dikompresikan oleh torak saat bergerak naik. Bila campuran udara dan bensin terbakar dengan adanya api dari busi yang panas sekali, maka akan menghasilkan tekanan gas pembakaran yang ini mendorong torak ke bawah, yang menggerakkan torak turun naik dengan bebas di dalam silinder. Dari gerak lurus (naik turun) torak dirubah menjadi gerak putar pada poros engkol melalui batang torak. Gerak putar inilah yang menghasilkan tenaga pada mobil.



Gambar 2.2 Torak dan mekanisme cranking  
Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta

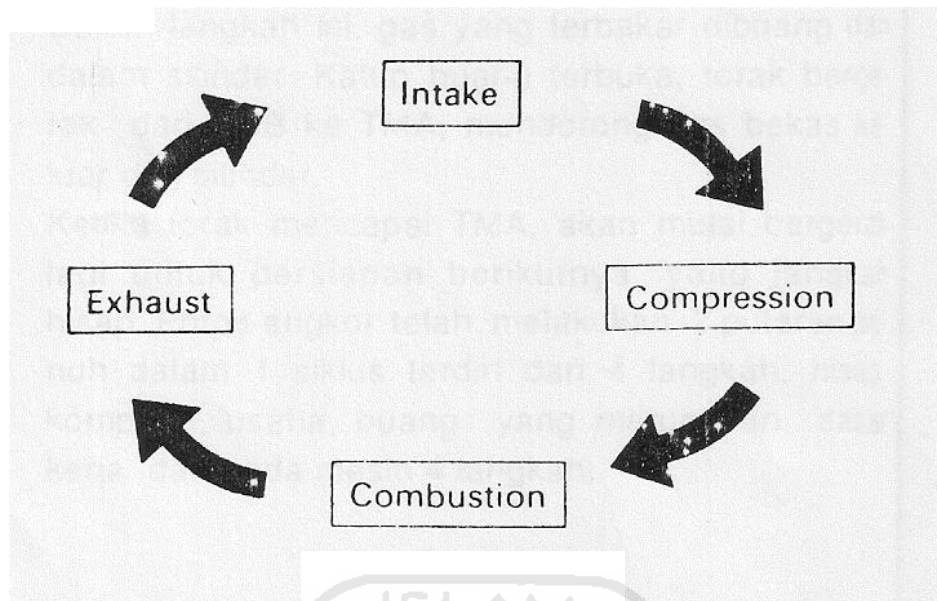
Posisi tertinggi yang dicapai oleh torak di dalam silinder disebut titik mati atas (TMA) dan posisi terendah yang dicapai torak disebut titik mati bawah (TMB). Jarak Bergeraknya torak antara TMA dan TMB disebut langkah torak (stroke).



Gambar 2.3 Panjang langkah torak  
Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta

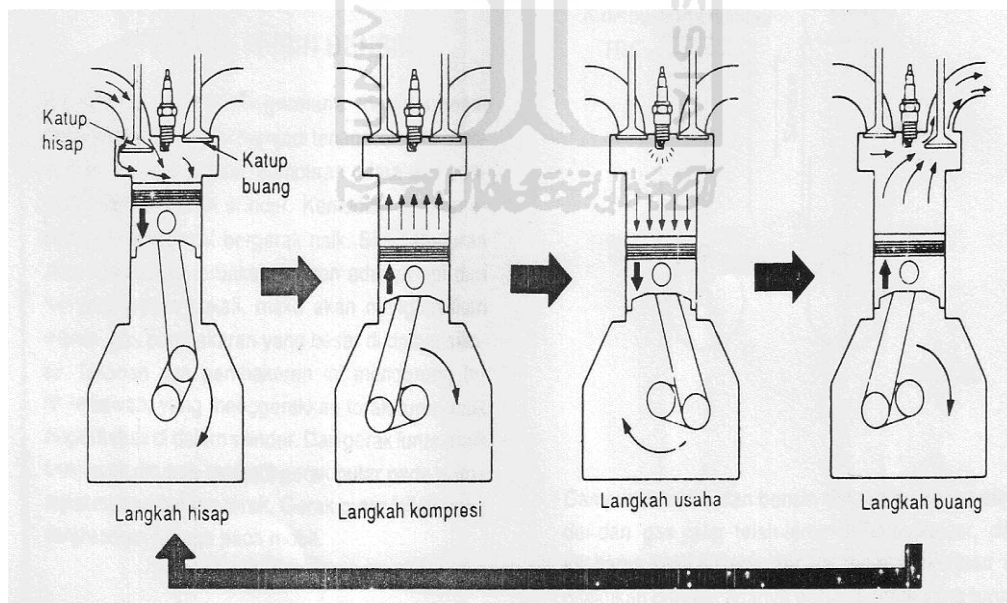
Campuran udara dan bensin dihisap ke dalam silinder dan gas yang telah terbakar harus keluar, dan ini harus berlangsung secara tetap. Pekerjaan ini dilakukan dengan adanya gerakan torak yang turun-naik di dalam silinder. Proses menghisap campuran udara dan bensin ke dalam silinder, mengkompresikan, membakarnya dan mengeluarkan gas bekas dari silinder, disebut satu siklus.

Ada juga mesin yang tiap siklusnya terdiri dari dua langkah (*two stroke engine*). Poros engkolnya berputar satu kali selama torak menyelesaikan dua langkah. Sedangkan mesin lainnya, tiap siklusnya terdiri dari empat langkah torak. Mesin ini disebut mesin empat langkah (*four stroke engine*). Poros engkol berputar dua putaran penuh selama torak menyelesaikan empat langkah dalam tiap satu siklus. Seluruh kendaraan TOYOTA menggunakan mesin 4 langkah.



Gambar 2.4 Siklus mesin  
Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta

### 2.3.2 Prinsip kerja mesin 4 langkah



Gambar 2.5 Prinsip kerja mesin 4 langkah  
Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta

## 6. Langkah hisap

Dalam langkah ini, campuran udara dan bensin dihisap ke dalam silinder. Katup hisap terbuka sedangkan katup buang tertutup. Waktu torak bergerak kebawah, menyebabkan ruang silinder menjadi *vacum*, masuknya campuran udara dan bensin ke dalam silinder disebabkan adanya tekanan udara luar (*atmosphenic pressure*).

## 2 Langkah kompresi

Dalam langkah ini, campuran udara dan bensin dikompresikan. Katup hisap dan katup buang tertutup. Waktu torak mulai naik dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA) campuran yang dihisap tadi dikompresikan. Akibatnya tekanan dan temperaturnya menjadi naik, sehingga akan mudah terbakar. Poros engkol berputar satu kali, ketika torak mencapai TMA.

## 3 Langkah usaha

Dalam langkah ini, mesin menghasilkan tenaga untuk menggerakkan kendaraan. Sesaat sebelum torak mencapai TMA pada saat langkah kompresi, busi memberi loncatan api pada campuran yang telah dikompresikan. Dengan terjadinya pembakaran yang tinggi mendorong torak ke bawah. Usaha ini yang menjadi tenaga mesin (*engine power*).

## 4 Langkah buang

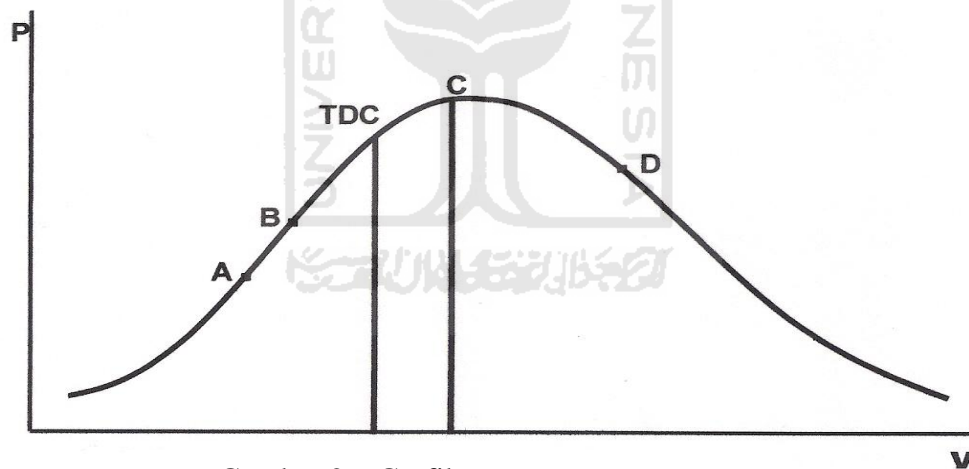
Dalam langkah ini, gas yang terbakar dibuang dari dalam silinder. Katup buang terbuka, torak bergerak dari TMB ke TMA, mendorong gas bekas ke luar dari silinder. Ketika torak mencapai TMA, akan mulai bergerak lagi untuk persiapan berikutnya, yaitu langkah hisap. Poros engkol telah melakukan



2 (dua) putaran penuh dalam 1 siklus terdiri dari 4 langkah, hisap, kompresi, usaha, buang yang merupakan dasar kerja dari pada mesin 4 langkah.

### 2.3.3 Ignition Timing

*Gasoline engine* mengubah bahan bakar menjadi tenaga, dengan cara mencampur bahan bakar dengan udara, campuran antar bahan bakar dengan udara kemudian dikompresikan oleh torak. Campuran antara bahan bakar dengan udara yang dikompresi akan naik temperaturnya, kemudian sebelum torak sampai titik mati atas campuran bahan bakar dengan udara dibakar dengan loncatan bunga api dari *spark plug*, peristiwa ini dinamakan *ignition timing*.



Gambar 2.6 Grafik *ignition timing*  
(Anonim, 2011)

Keterangan:

- 1) Titik A adalah saat *spark plug* memercikan bunga api.
- 2) Titik B adalah saat campuran bahan bakar dengan udara mulai terbakar.
- 3) TDC : *Top Deat Center* adalah saat torak sampai puncak

- 4) Titik C adalah saat terjadi maksimum *pressure*.
- 5) Titik D adalah akhir dari pembakaran.

Jarak antara titik A sampai titik B adalah dinamakan *Ignition delay* /keterlambatan saat pembakaran.

Titik A adalah saat *spark plug* memercikan bunga api, saat inilah dinamakan titik timing.

Titik timing dari engine biasanya berkisar antara  $5^{\circ}$  BTDC sampai  $10^{\circ}$  BTDC. Apabila kita perhatikan pada grafik *ignition* diatas, perubahan titik *timing* akan sangat mempengaruhi saat terjadinya maksimum *pressure* dan tentunya akan berpengaruh terhadap tenaga yang dihasilkan dari *engine*, hal ini akan berdampak pada kadar CO dari gas buang *engine* itu.

Dari sinilah peneliti memakai *Ignition Timing* sebagai salah satu faktor didalam meneliti kadar CO gas buang. Dari faktor faktor itu peneliti lebih melihat secara rinci penggunaan besarnya *Ignition Timing* sebagai level. Peneliti mengambil 3 level pada faktor *Ignition Timing* ke tiga level faktor Ignition timing, ke tiga level *Ignition Timing* tersebut 1).  $5^{\circ}$  BTDC, 2).  $7.5^{\circ}$  BTDC, 3).  $10^{\circ}$  BTDC. Dari sini peneliti ingin mengetahui secara pasti *Ignition Timing* berapa yang lebih baik, yaitu hasil dari pembakaran akan menghasilkan kadar CO paling kecil..

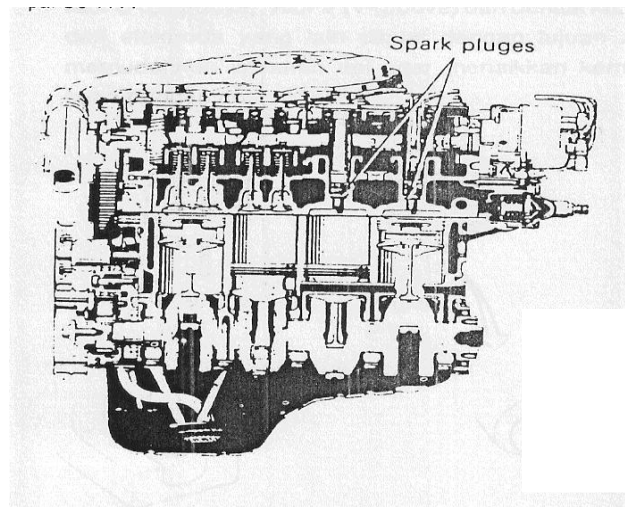
Peneliti-peneliti yang sudah melakukan penelitian ini hanya mengukur kadar CO yang dihasilkan dari pembakaran kemudian menjelaskan bahayanya kandungan CO dalam gas buang terhadap kesehatan manusia (Bapedal 1996). Dari sini peneliti lebih detail mengadakan eksperimen yaitu *Ignition Timing*

berapakah yang tepat agar kadar CO gas buang dari hasil pembakaran mencapai titik terendah.

#### 2.3.4 *Spark Plug Gap*

*Spark Plug gap* adalah jarak antara center electrode dengan *ground electrode*, loncatan bunga api antara *center electrode* dengan *ground electrode* akan membentuk volume bunga api, bunga api inilah yang berdampak langsung terhadap pembakaran antara bahan bakar dengan udara. *Spark Plug gap* berpengaruh terhadap kadar CO hasil pembakaran dalam engine (Suharto 1999). Bertitik tolak inilah peneliti memakai *Spark Plug gap* tipe Denso Q.16R-U sebagai salah satu faktor dari penelitiannya.

Ada peneliti yang terdahulu meneliti kadar CO, namun tidak melihat faktor *Spark Plug gap* dilihat secara lebih dalam lagi (Basuki dan Musabbikhah 2003). Maka dari itu disini peneliti memakai faktor *Spark Plug gap* dengan 3 level yaitu 1). *Spark Plug gap* 0,7mm, 2). *Spark Plug gap* 0,9mm, 3). *Spark Plug gap* 1,1mm. Dari ketiga level ini peneliti ingin mendapatkan *Spark Plug gap* dari level berapa yang paling tepat, agar hasil pembakaran pada *engine* akan menghasilkan kadar CO yang rendah.

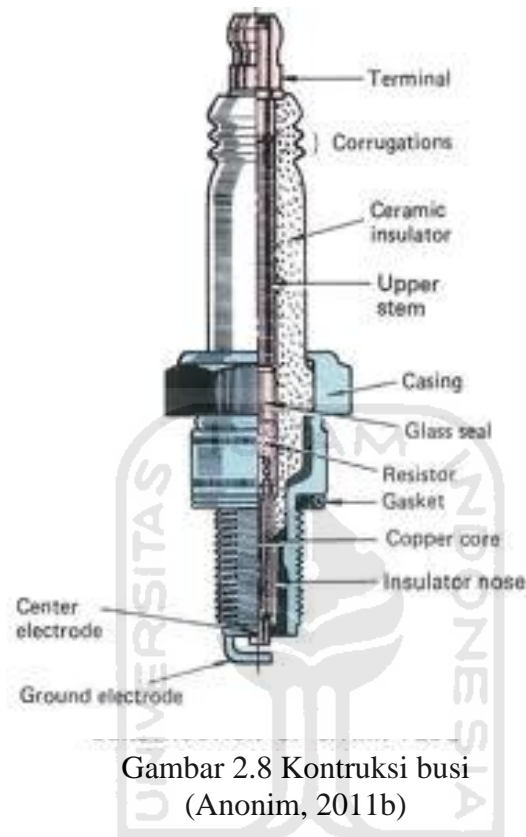


Gambar 2.7 Penampang samping engine  
Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta

Arus listrik tegangan tinggi dari distributor menimbulkan (membangkitkan) bunga api dengan temperatur tinggi diantara elektroda tengah dan masa dari busi untuk menyalakan campuran udara-bahan bakar yang telah dikompresikan. Meskipun konstruksi dari busi sederhana, tetapi busi tersebut beroperasi pada kondisi yang sangat berat. Temperatur elektroda busi dapat mencapai kira-kira  $2000^{\circ}\text{C}$  ( $3632^{\circ}\text{F}$ ) selama langkah pembakaran (kerja), tetapi kemudian akan turun dratis pada langkah hisap karena didinginkan oleh campuran udara dan bahan bakar. Perubahan yang sangat cepat dari panas ke dingin tersebut terjadi berulang-ulang kali pada setiap dua putaran poros engkol. Lebih jauh lagi, tekanan di dalam silinder juga bervariasi antara 1 atm (760 mm Hg atau 29,92 in Hg atau 101.33 kpa) pada saat langkah hisap, tetapi kemudian naik mencapai 45 atm pada langkah pembakaran (kerja). Busi harus bisa menjaga kemampuan penyalan untuk jangka waktu yang lama, meskipun mengalami temperatur tinggi dan perubahan tekanan, dan menjaga tahanan insulator dari tegangan tinggi antara 10 sampai 30 KV.

### 2.3.4.1 Kontruksi busi

Komponen utama busi yaitu insulator, casing dan elektroda tengah.



Gambar 2.8 Kontruksi busi  
(Anonim, 2011b)

#### 1. Insulator keramik

Insulator keramik (*ceramic insulator*) berfungsi untuk memegang elektroda tengah dan berguna sebagai insulator antara elektroda tengah dan *casing*. Gelombang yang dibuat pada permukaan insulator keramik berguna untuk memperpanjang jarak permukaan antara terminal dan casing untuk mencegah terjadinya loncatan bunga api tegangan tinggi. Insulator terbuat dari porselen aluminium murni yang mempunyai daya tahan panas yang sangat baik, kekuatan mekanikal, kekuatan dielektrik pada temperatur tinggi dan penghantar panas (*thermal conductivity*).

## 2 Casing

Casing berfungsi untuk menyangga insulator keramik dan juga sebagai *mounting* busi terhadap mesin.

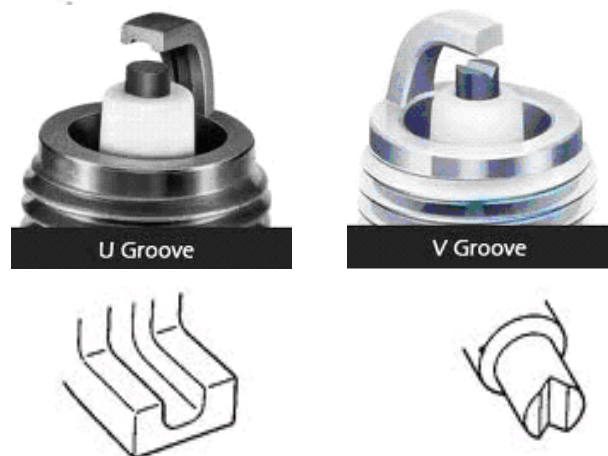
## 3. Elektroda tengah

Elektroda tengah terdiri dari komponen-komponen :

- 1) Sumbu pusat (*center shaft*) : menglirkan arus dan meradiasikan panas yang ditimbulkan oleh elektroda.
- 2) *Seal glas* (kaca) : membuat kerapatan (merapatkan)(untuk menghindari kebocoran udara), antara center shaft dan elektroda tengah.
- 3) *Resistor* : mengurangi suara pengapian untuk mengurangi gangguan frekwensi radio.
- 4) *Coppercore* (inti tembaga) : merambatkan panas dari elektroda dan ujung insulator agar cepat radiasi/dingin
- 5) Elektroda tengah : membangkitkan loncatan bunga api ke masa (elektroda masa)

## 4. Elektroda masa

Elektroda masa dibuat sama dengan elektroda tengah. Alur U (U-groove), Alur V (V-groove) dan bentuk khusus dari elektroda yang lain dibuat dengan tujuan agar memudahkan loncatan api agar menaikan kemampuan pengapian.



Gambar 2.9 Elektroda busi  
(Anonim, 2011a)

#### 2.3.4.2 Nilai panas

Yang dimaksud dengan nilai panas (heat range) busi adalah kemampuan meradiasikan sejumlah panas oleh busi. Busi yang meradiasikan lebih banyak disebut “busi dingin” sebab busi tersebut akan tetap dingin, sedangkan busi yang meradiasikan panas yang sedikit disebut “busi panas” karena busi tersebut menahan panas.

Batas operasional terendah dari busi adalah self-cleaning temperatur (pada kondisi ini busi akan bersih dengan sendirinya) sedangkan batas tertinggi adalah pre-ignition temperatur (pada kondisi ini dapat terjadi pre-ignition). Busi akan mempunyai kemampuan maksimum bila elektroda tengahnya mempunyai temperatur antara 450°C sampai 950°C (842°F sampai 1724°F)

##### 1) *Self-cleaning* Temperatur

Bila temperature elektroda tengah kurang dari 450° (842°F), carbon akan terbentuk disebabkan adanya pembakaran yang tidak sempurna yang menempel

pada permukaan penyekat (insulation) antara insulator dan casing (rumah busi). Akibatnya, tegangan tinggi yang diberikan ke elektroda akan langsung ke *casing* (masa) tanpa terjadinya loncatan api pada celah busi dan disebut *misfiring*. Temperatur  $450^{\circ}\text{C}$  ( $842^{\circ}\text{F}$ ) atau lebih diperlukan untuk menyempurnakan pembakaran terhadap sisa (endapan) carbon pada insulator nose. Temperatur ini disebut *self-cleaning* temperatur.

## 2) *Pre-ignition* Temperatur

Bila temperatur elektroda tengah lebih dari  $950^{\circ}\text{C}$  ( $1742^{\circ}\text{F}$ ). maka elektroda sendiri akan merupakan sumber panas yang dapat menimbulkan terjadinya penyalan sebelum busi bekerja ini disebut dengan *pre-ignition*.

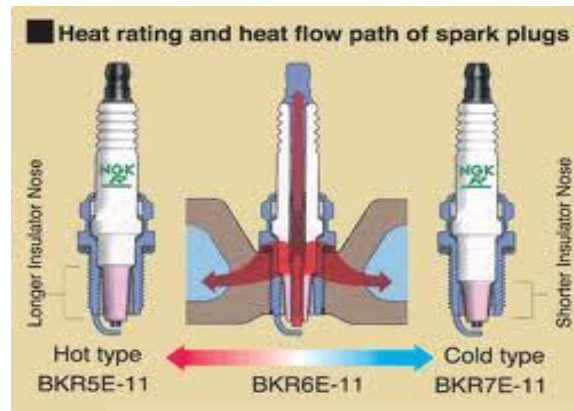
Bila *pre-ignition* terjadi, maka output mesin akan menurun disebabkan oleh saat penyalan yang tidak tepat dan elektroda atau torak mungkin akan berlubang atau meleleh sebagian. Oleh sebab itu, temperatur elektroda harus diusahakan dibawah  $950^{\circ}\text{C}$  ( $1742^{\circ}\text{F}$ ).

Panjang ujung insulator (T) dari busi dingin dan busi panas memiliki perbedaan sebagai berikut:

Busi dingin mempunyai ujung insulator yang lebih pendek seperti pada gambar dibawah. Karena permukaannya yang bersinggungan dengan api kecil dan jalur adiasi (perambatan) panasnya pendek, maka perambatan panas sangat baik dan temperatur elektroda tengah tidak akan naik terlalu tinggi. Sedangkan busi panas mempunyai ujung insulator yang panjang dan permukaan singgung dengan api yang luas, sehingga jalur perambatan panas menjadi panjang dan radiasi panas menjadi kecil. Akibatnya, temperatur elektroda tengah menjadi naik dan temperatur



*self cleaning* dapat dicapai dengan lebih cepat dari pada busi tipe dingin meskipun pada putaran lambat.



Gambar 2.10 Jenis busi (*Spark Plug*)  
(Anonim, 2011b)

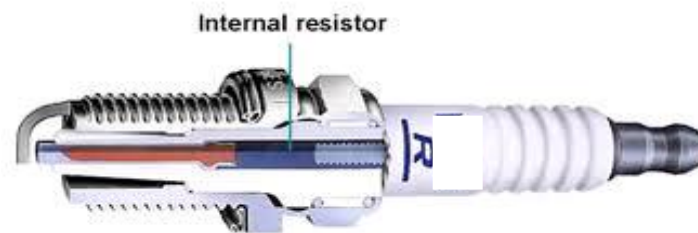
Nilai-nilai panas dari busi yang sesuai kendaraan kebanyakan telah ditentukan oleh pabrik, maka penggantian busi busi dengan harga panas yang berbeda akan menaikkan (merubah) temperatur-*self cleaning* dan *pre-ignition* dari yang telah ditentukan sebelumnya. Dengan alasan tersebut, gunakanlah selalu tipe busi yang sesuai (telah ditentukan) bila melakukan penggantian busi.

#### 2.3.4.3 Busi tipe resistor

Gelombang elektromagnetik frekuensi yang tinggi (*high frequency electromagnetic*) yang ditimbulkan oleh loncatan pengapian menyebabkan terjadinya interferensi radio yang dipasang pada mobil tersebut, maupun radio-radio yang dipasangkan pada mobil lain dan peralatan telekomunikasi yang lain. Untuk mencegah hal tersebut, sebuah resistor (kira-kira 5 kilo ohm) dipasangkan

(disisipkan) pada elektroda tengah dekat dengan daerah loncatan api untuk memperlambat gelombang-gelombang elektromagnet yang terjadi.

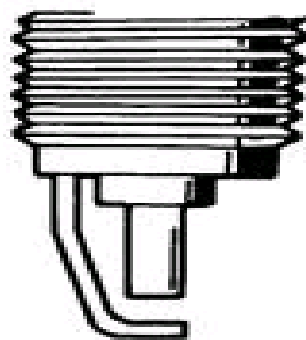
Bila diperlukan untuk menggunakan busi tipe yang telah ditentukan pada saat melakukan penggantian.



Gambar 2.11 Busi tipe resistor  
(Anonim, 2011b)

#### 2.3.4.4 Busi dengan elektroda yang menonjol

Busi dengan ujung insulator yang menonjol keluar dari *casing* disebut dengan busi dengan elektroda yang menonjol (*projecting electrode spark plug*). Karena busi tipe ini menonjol ke dalam ruang bakar, maka kemungkinan pencahayaan (*exposure*) terhadap molekul-molekul bensin didalam campuran udara bahan bakar akan bertambah, sehingga menyempurnakan kemampuan pengapian.



Gambar 2.12 Busi dengan elektroda yang menonjol  
(Anonim, 2011a)

#### 2.3.4.5 Busi dengan ujung platina

Ujung elektroda tengah dan elektroda masa yang berhadapan di tutup (dilapisi) dengan lapisan tipis platina untuk memperpanjang umur busi. Busi tipe ini dipasangkan pada mesin-mesin yang dilengkapi dengan peralat-peralatan *emission control*.

Untuk mempermudah membedakan busi tipe ini dengan busi biasa, busi dengan ujung platina mempunyai 5 buah garis biru tua pada insulatornya.

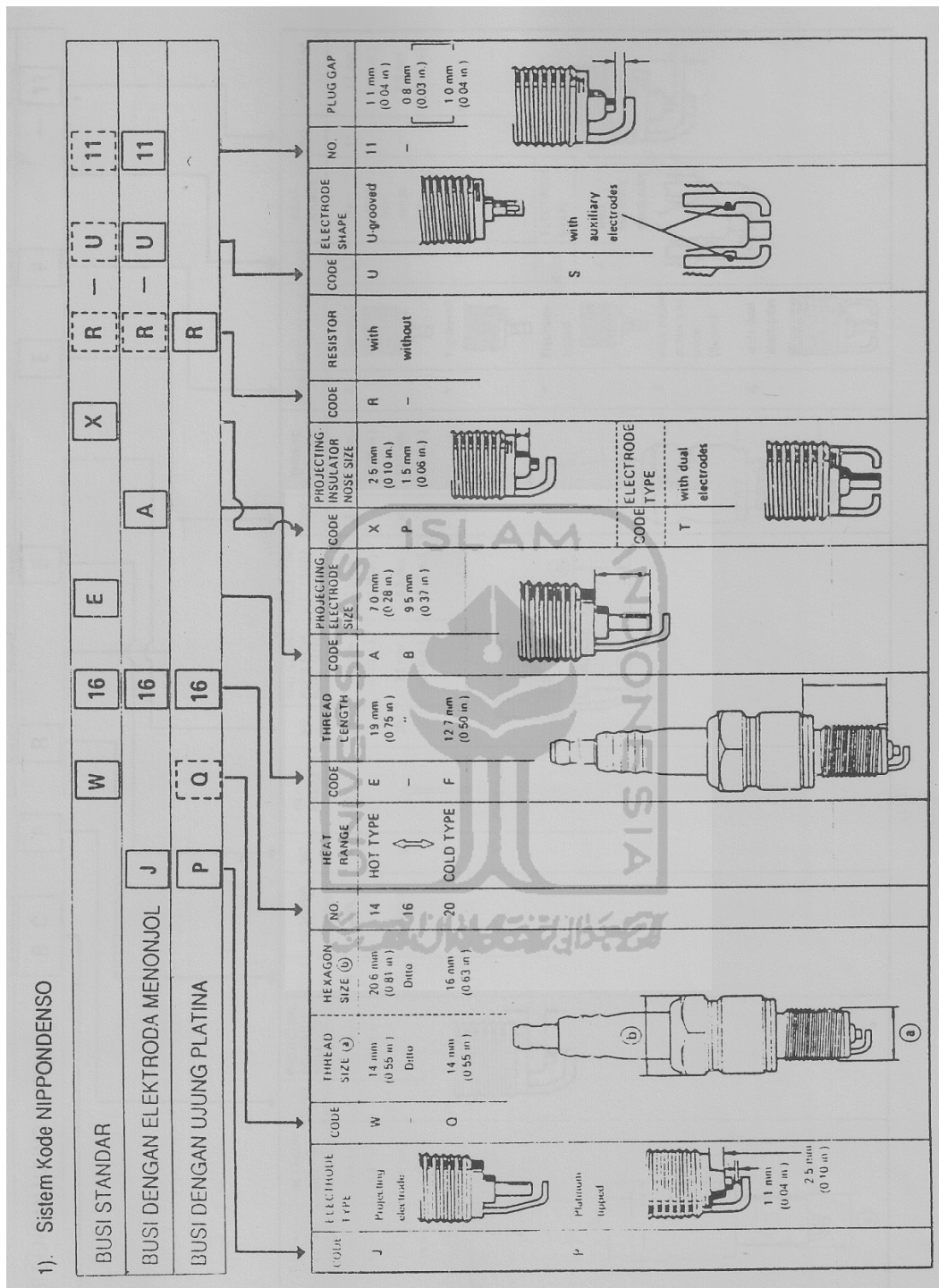


Gambar 2.13 Busi dengan ujung platina  
(Anonim, 2011a)

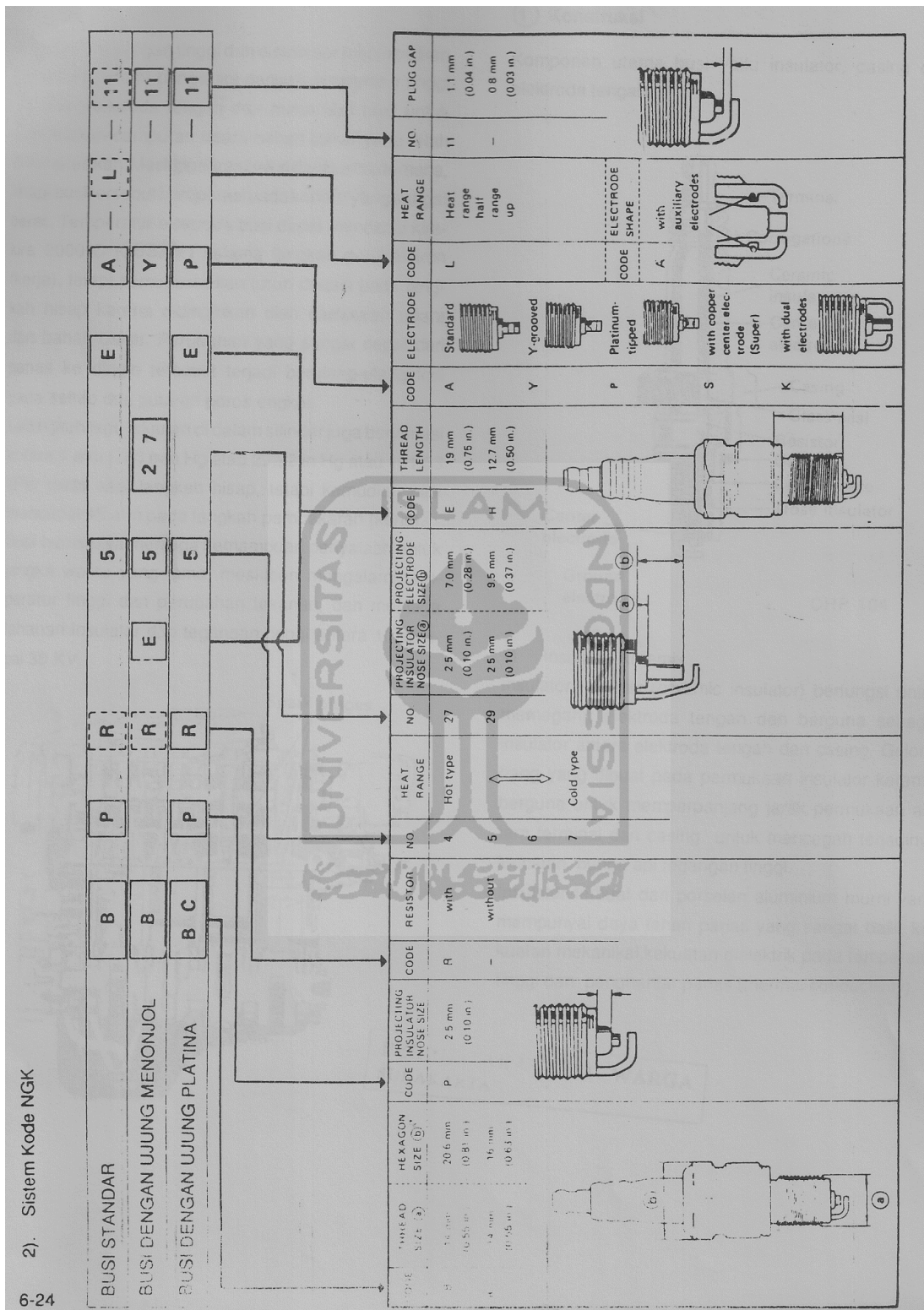
#### 2.3.4.6 Sistem kode busi

Busi diberi kode dengan huruf dan angka. Sistem kode yang digunakan berbeda-beda tergantung pabrik pembuatnya.

Sistem kode busi yang dibuat oleh ND dan NGK yang digunakan pada mesin-mesin TOYOTA seperti diuraikan di bawah ini :



Gambar 2.14 Sistem kode busi Nippondenso (Anonim, 2011a)



Gambar 2.15 Sistem kode busi NGK (Anonim, 2011a)

### 2.3.5 RPM (*Revolutions per minute*)

Menurut Suharto(1999), Carbon Monoksida yang banyaknya 0.03% sudah merupakan racun yang berbahaya untuk udara yang diisap oleh manusia. Jumlah sebanyak 0.03% selama setengah jam adalah mematikan. Tingginya kadar karbon dioksida pada jalan stasioner untuk motor bensin disebabkan karena perbandingan campurannya kira-kira 13 : 1. hal ini disebabkan oleh frekuensi putar rendah, derajat isian tidak sempurna dan tekanan kompresi yang rendah, mengakibatkan waktu pembakaran sama, maka pembakarannya menjadi tidak sempurna. Makin sedikit campurannya makin meningkat zat asamnya.

Dari penelitian ini Suharto tidak menjelaskan putaran stasioner berapa yang baik agar kadar CO gas buang baik/kecil, sehingga masih menyisakan pertanyaan putaran stasioner berapa yang baik.

Dari keterangan diatas maka penulis mengambil putaran stasioner sebagai faktor dalam penelitian ini, dan penulis memakai tiga level putaran stasioner yaitu 1). 900 RPM, 2). 1200 RPM, 3). 1500 RPM. Dari ketiga level ini peneliti mengharapkan akan mendapat putaran stasioner yang tepat agar kadar CO dari gas buang dihasilkan CO yang tepat.

## 2.4 Torak.

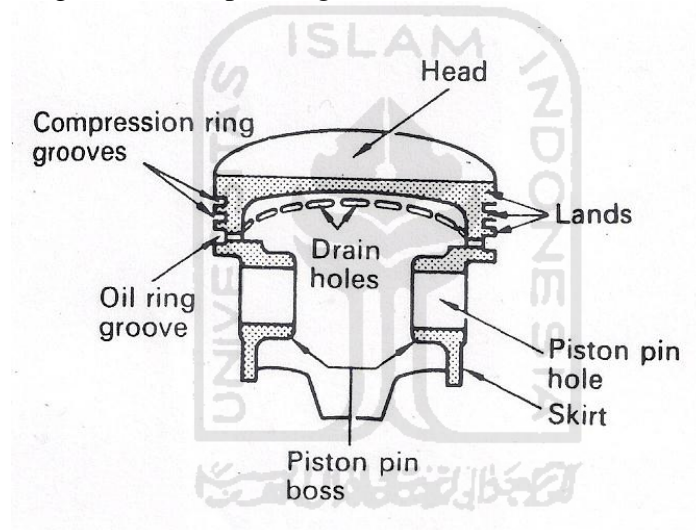
### 2.4.1 Kontruksi torak

Torak bergerak turun naik di dalam silinder untuk melakukan langkah hisap, kompresi, pembakaran, dan pembuangan. Fungsi utama torak untuk

menerima tekanan pembakaran dan meneruskan tekanan untuk memutar poros engkol melalui batang torak (*connecting rod*).

Torak terus-menerus menerima temperature dan tekanan yang tinggi sehingga harus dapat tahan saat mesin beroperasi pada kecepatan tinggi untuk periode waktu yang lama. Pada umumnya torak dibuat dari paduan aluminium, selain lebih ringan, radiasi panasnya juga lebih efisien dibandingkan dengan material lainnya.

Nama bagian-bagian torak, seperti digambarkan dibawah ini.



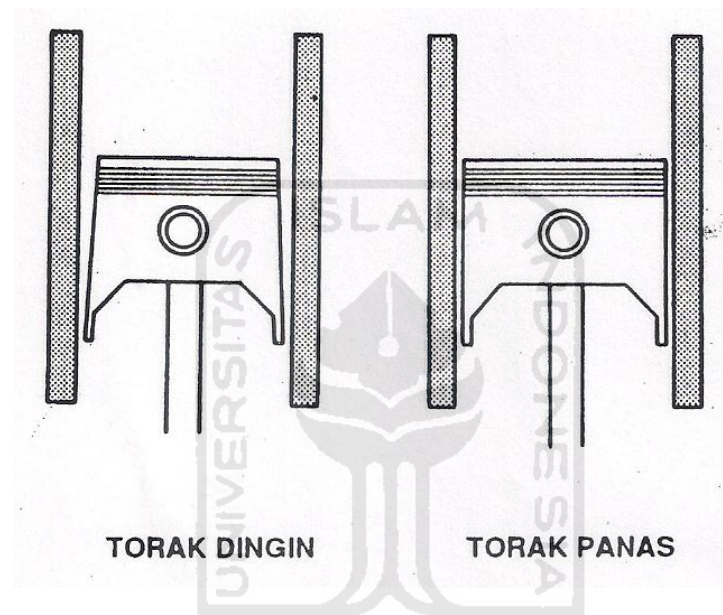
Gambar 2.16 Penampang torak  
(Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta)

#### 2.4.2 Celah torak (Celah antara Torak dengan Silinder)

Pada saat torak menjadi panas akan terjadi sedikit pemuaian dan mengakibatkan diameternya akan bertambah. Untuk mencegah hal ini pada mesin harus ada semacam celah yaitu jarak yang disediakan untuk temperatur ruang lebih kurang  $25^{\circ}\text{C}$ , antara torak dan silinder. Jarak ini disebut celah torak (*piston clearance*). Celah torak bervariasi dan ini tergantung dari model mesinnya antara

0,02-0,12mm. bentuk torak agak sedikit tirus, diameter bagian atasnya lebih kecil dibandingkan dengan diameter bagian bawahnya. Selain itu celah torak bagian atasnya besar dan bagian bawahnya lebih kecil.

Ukuran celah torak berbeda-beda tergantung dari jenis mesin-mesin. Gunakan buku pedoman reparasi untuk mengukur celah toraknya

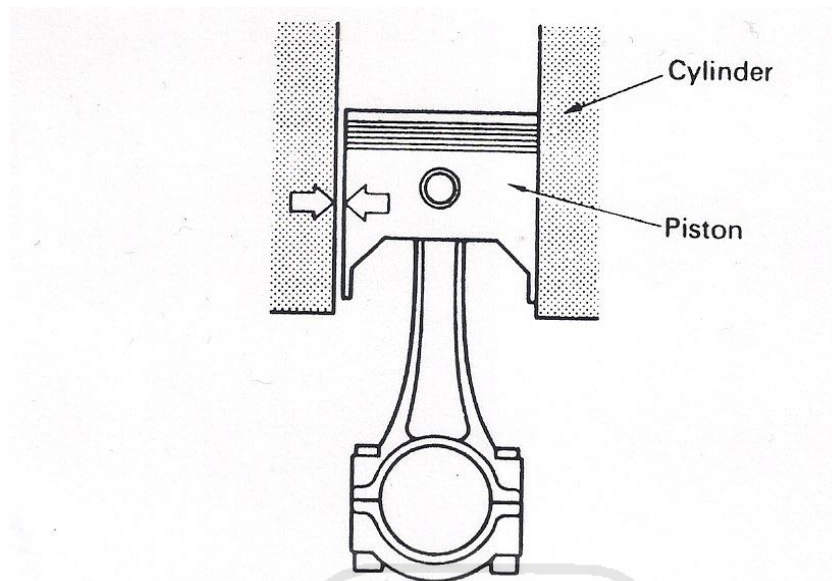


Gambar 2.17 Jenis torak

(Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta)

Celah torak penting sekali untuk memperbaiki fungsi mesin dan mendapatkan kemampuan mesin yang lebih baik. Bila celah terlalu kecil, maka akan tidak ada celah antara torak dan silinder ketika torak panas, hal ini akan menyebabkan torak menekan dinding silinder. Hal ini akan merusak mesin. Bila celah torak berlebihan, tekanan kompresi dan tekanan gas pembakarannya akan menjadi rendah, dan akan menurunkan kemampuan mesin.



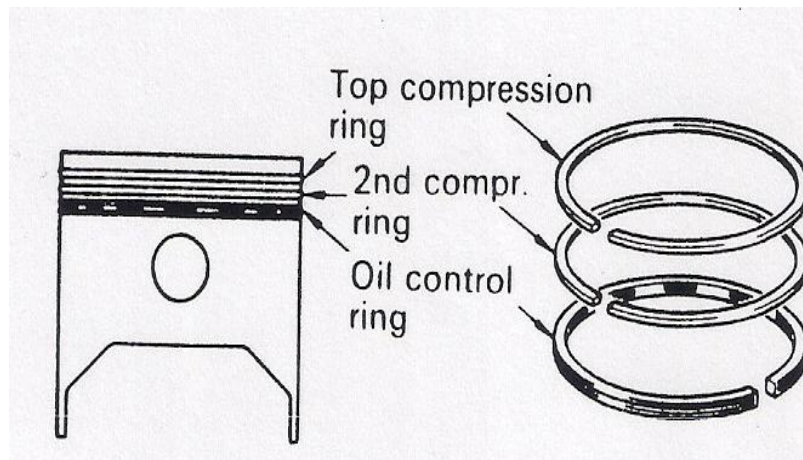


Gambar 2.18 Celah torak  
(Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta)

#### 2.4.3 Pegas torak

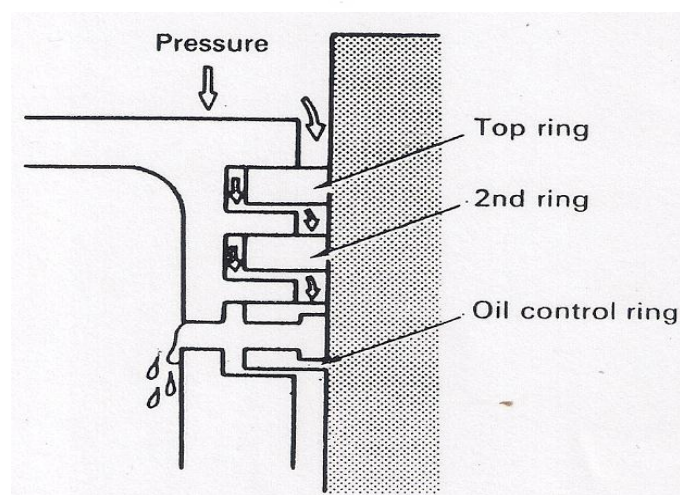
Pegas torak (*piston ring*) dipasang dalam alur ring (*ring groove*) pada torak. Diameter luar ring torak sedikit lebih besar dibanding dengan torak itu sendiri. Ketika terpasang pada torak, karena pegas torak sifatnya elastis menyebabkan mengembang, sehingga menutup dengan rapat pada dinding silinder. Pegas torak terbuat dari bahan yang dapat bertahan lama. Umumnya dibuat dari baja tuang special, yang tidak akan merusak dinding silinder.

Jumlah pegas torak bermacam-macam tergantung jenis mesin dan umumnya 3 sampai 4 pegas torak untuk setiap toraknya.



Gambar 2.19 Pegas torak  
(Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta)

Pegas torak mempunyai 3 peranan penting: mencegah kebocoran campuran udara dan bensin dan gas pembakaran yang melalui celah antara torak dengan dinding silinder ke dalam bak engkol torak dengan dinding silinder ke dalam bak engkol selama langkah kompresi dan langkah usaha. Kedua, mencegah oli yang melumasi torak dan silinder masuk ke ruang bakar. Ketiga, memindahkan panas dari torak ke dinding silinder untuk membantu mendinginkan torak.

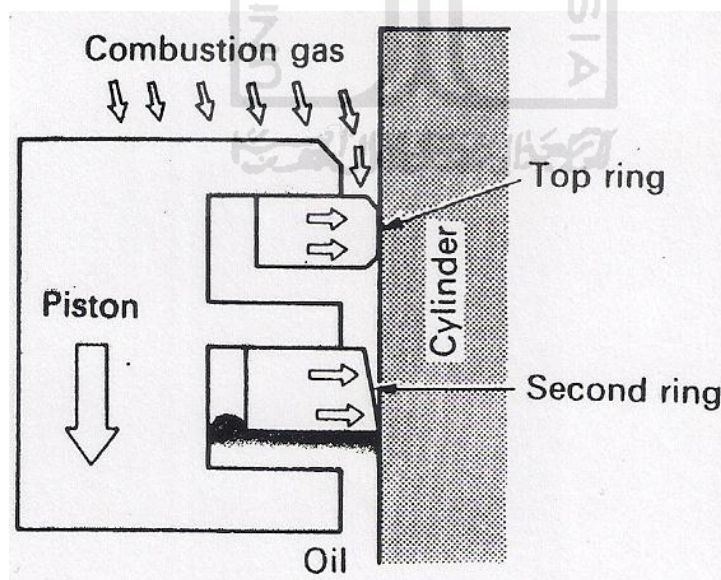


Gambar 2.20 Fungsi piston ring  
(Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta)

#### 2.4.4 Pegas Kompresi

Pegas kompresi (*compression ring*) berfungsi untuk mencegah kebocoran campuran udara dan bensin, dan gas pembakaran dari ruang bakar ke bak engkol langkah kompresi dan usaha. Jumlah pegas kompresi ini ada beberapa macam. Umumnya 2 pegas kompresi terpasang pada masing-masing torak. Pegas kompresi ini disebut "*tip compression ring*" dan "*second compression ring*".

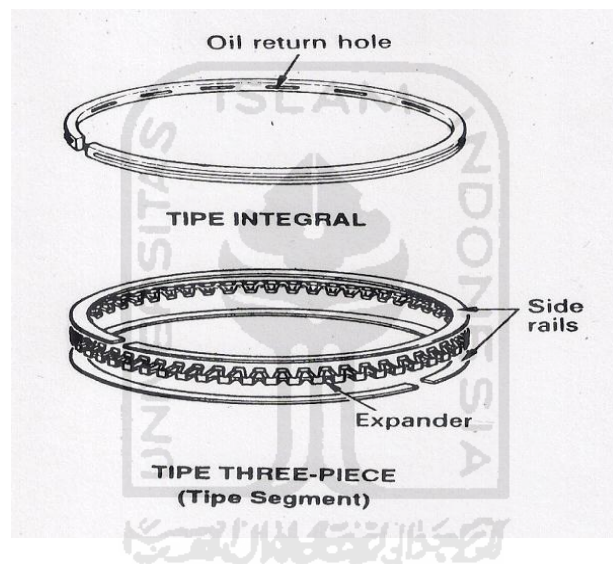
Tepi bagian atas pegas kompresi agak runcing dan bersentuhan dengan dinding silinder. Ini dirancang untuk menjamin agar dapat menutup hubungan antara pegas dan silinder. Selain itu juga untuk mengikis oli mesin dari dinding silinder secara efektif. Pegas torak mempunyai tanda "1" atau "2". "1" dipasangkan pada bagian atas pegas (*Top Ring*) dan "2" terdapat pada Ring kedua. Kedua pegas harus terpasang dengan permukaan tanda tersebut di bagian atas.



Gambar 2.21 Fungsi piston ring  
(Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta)

#### 2.4.5 Pegas pengontrol Oli

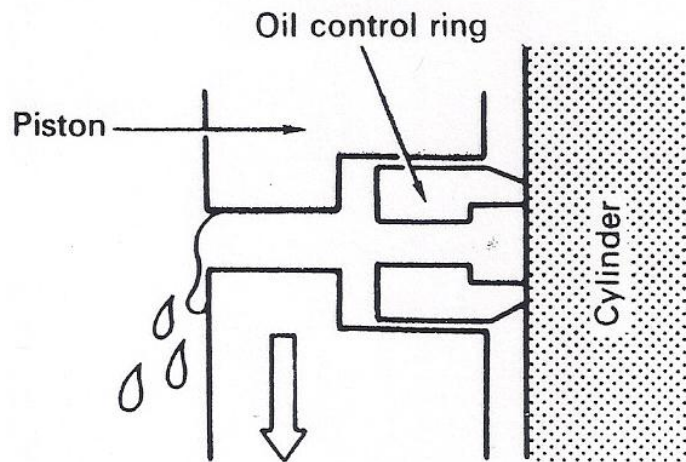
Pegas pengontrol oli (*oil control Ring*) diperlukan untuk membentuk lapisan oli (*oil film*) antara torak dan dinding silinder. Selain itu juga untuk mengikis kelebihan oli untuk mencegah masuknya oli ke dalam ruang bakar. Pegas oli ini disebut pegas ketiga (*third ring*). Ada dua tipe pegas pengontrol oli, tipe integral dan tipe three piece yang sering digunakan.



Gambar 2.22 Oil ring tipe integral dan tipe three-piece  
(Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta)

#### 2.4.6 Tipe integral

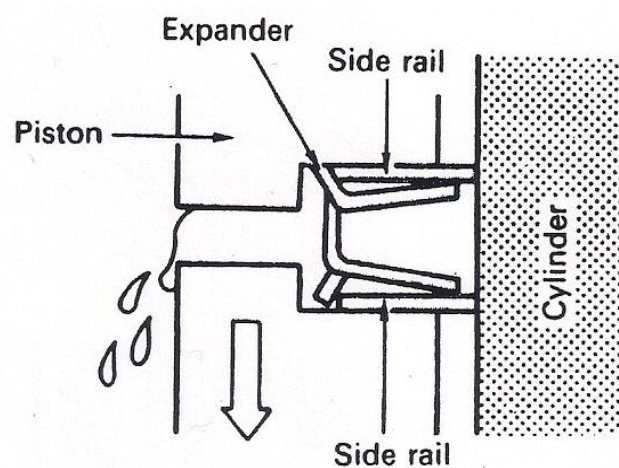
Tipe integral (*integral type*) ini, pegas olinya dilengkapi dengan beberapa lubang untuk pengembalian oli (*oil return*). Lubang-lubang oli ini menembus lubang pada alur pegas torak. Kelebihan oli yang dikikis oleh pegas ini masuk ke dalam lubang ini dan kembali ke dalam torak.



Gambar 2.23 Oil ring tipe integral  
(Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta)

#### 2.4.7 Tipe three-piece

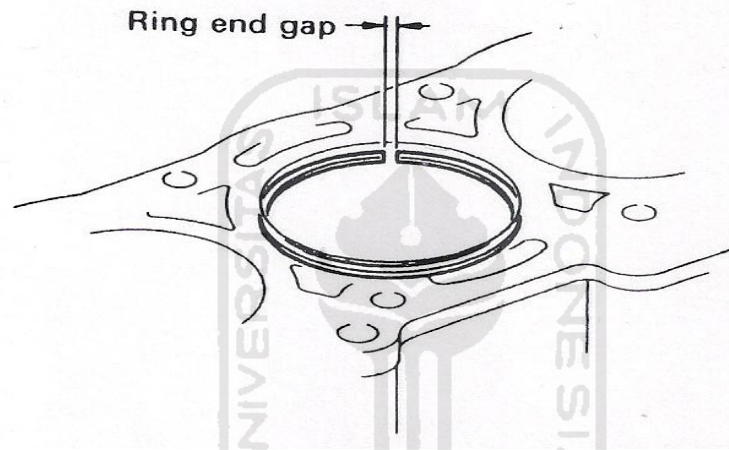
Pegas pengontrol oli tipe threepiece ini terdiri dari side rail yang fungsinya untuk mengikis kelebihan oli, dan *expander* yang mendorong side rail dan menekan pada dinding silinder dan *ring groove*. Tipe *three piece* ini fungsinya sama dengan tipe intregral.



Gambar 2.24 Tipe three-piece  
(Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta)

#### 2.4.8 Celah ujung pegas

Pegas torak akan mengembang bila dipanaskan, sama halnya dengan torak. Dengan alasan ini pegas torak dipotong pada satu tempat dan celahnya diposisikan sebelah kiri ketika terpasang di dalam silinder. Celah ini disebut celah ujung pegas (*ring end gap*). Besarnya celah ini bermacam-macam tergantung pada jenis mesin, dan umumnya antara 0,2-0,5 mm pada temperatur ruangan.



Gambar 2.25 Piston ring end gap  
(Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta)

Celah ujung pegas yang berlebihan akan menurunkan tekanan kompresi; sebaliknya kerusakan pada mesin bila ujung pegas saling berhubungan akibat dari pemuaian, pegas menjadi melengkung dan merusak dinding silinder.

#### 2.5 Intake

Pemasukan udara dalam *engine* lewat intake manifold, jumlah udara yang lewat intake ini sangat penting untuk pencampuran dengan bahan bakar, banyak sedikitnya udara yang masuk dalam *engine* tergantung dari kemampuan hisap

engine itu sendiri dan juga tergantung baik buruknya saluran masuknya. Udara yang masuk dalam engine harus bersih terhadap kotoran terutama debu, maka dari itu saringan udara/air *cleaner* perlu digunakan, namun pada waktu tertentu air cleaner harus dibersihkan kalau perlu diganti dengan yang baru, hal ini dilakukan agar udara yang masuk bersih dan juga lancar sehingga memenuhi standart campuran antar udara dengan bahan bakar didalam proses pembakaran.

**Menurut Suharto (1999)**, Asap kendaraan merupakan sumber utama bagi Carbon Monoksida di berbagai perkotaan. Formasi CO merupakan fungsi dari rasio kebutuhan udara dan bahan bakar dalam proses pembakaran di dalam ruang bakar mesin diesel. Pencampuran yang baik antara udara dan bahan bakar terutama yang terjadi pada mesin-mesin yang menggunakan turbocharge merupakan salah satu strategi untuk meminimalkan emisi CO. Carbon Monoksida yang meningkat diberbagai perkotaan dapat mengakibatkan turunya berat janin dan meningkatkan jumlah kematian bayi serta kerusakan otak. Karena itu strategi penurunan kadar Carbon Monoksida akan tergantung pada pengendalian emisi seperti penggunaan bahan katalis yang mengubah bahan Carbon Monoksida menjadi karbon dioksida dan penggunaan bahan bakar terbarukan yang rendah polusi bagi kendaraan bermotor.

Banyaknya CO dari gas buang itu tergantung dari perbandingan bahan bakar dan udara, hanya pada pembakaran yang sempurna dari bahan bakarnya maka nilai CO-nya dapat bernilai 0 (nol). Hal ini dapat dicapai pada perbandingan secara teoritis 14,8 : 1. perbandingan sebesar ini selama motor berjalan jarang

dipertahankan, karena kualitas campuran selalu berubah dengan frekuensi putar dan pembebanan motor .

Dari penelitian Suharto (1999) lakukan, diyakini faktor pencampuran udara dengan bahan bakar dalam arti perbandingan antara udara dengan bahan bakar sangat menentukan kadar CO yang dihasilkan dari pembakaran *engine*, namun disini Suharto tidak mengulas air *cleaner* sebagai sarana untuk membersihkan udara.

Dari titik tolak tersebut diatas kami mengambil saluran intake sebagai faktor dalam penelitian ini, yaitu dengan memakai 3 level yaitu 1). Saluran intake pakai air *clearance* kecil (busa), 2). Saluran intake pakai air *clearance* standart, 3). Saluran intake tidak pakai air *clearance* .

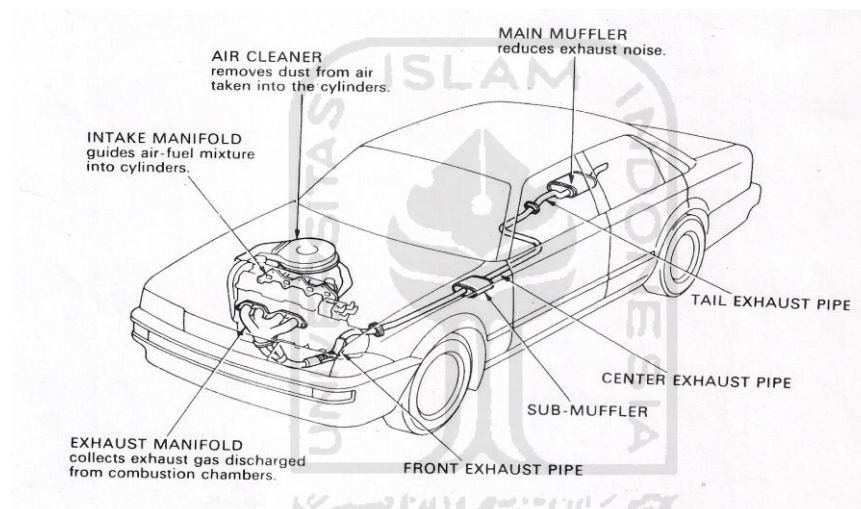
Dari ketiga level ini kami mengharapkan akan mendapat salah satu level yang baik yaitu dari hasil pembakaran akan menghasilkan kadar CO yang terendah.

## **2.6 Sistem Pemasukan Dan Pembuangan (*Intake And Exhaust System*)**

Sistem pemasukan (*intake system*) terdiri dari saringan udara (*air cleaner*) dan intake manifold. Saringan udara membersihkan kotoran udara sebelum masuk ke silinder untuk bercampur dengan bensin, dan *intake manifold* menyalurkan campuran udara bensin ke dalam silinder. Udara mengalir dari saringan udara masuk ke karburator, dan campuran udara dan bensin yang disiapkan dalam karburator dipanaskan di dalam *intake manifold* oleh adanya pendingin yang telah panas atau gas buang. Intake manifold dibuat sedemikian rupa sehingga dapat membagikan campuran udara dan bensin sama rata ke semua silinder.



Sistem pembuangan (*exhaust system*) terdiri dari *exhaust manifold*, *exhaust pipe* (knalpot) dan muffler. *Exhaust manifold* menampung gas bekas dari silinder dan mengeluarkan ke udara melalui knalpot. Muffler menyerap bunyi yang disebabkan oleh keluarnya gas bekas. *System exhaust* termasuk juga catalytic converter, dimana gas bekas dibersihkan sebelum dikembalikan ke udara. Untuk penambahan ini ada beberapa macam perlengkapan emission control lainnya, untuk selengkapnya lihat pada halaman berikut untuk lebih terperinci.



Gambar 2.26 Sistem pemasukan dan pembuangan  
(*Intake And Exhaust System*)  
(Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta)

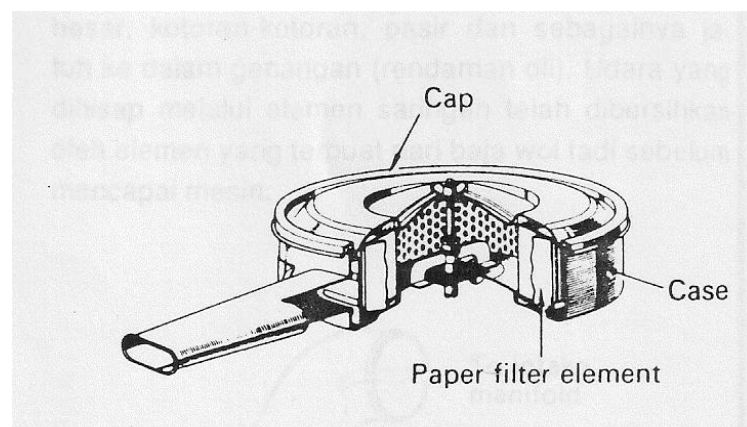
### 2.6.1 Saringan udara

Udara luar biasanya mengandung debu. Bila debu masuk silinder bersama udara yang dihisap. Hal ini akan mempercepat keausan dan mengotori oli pelumas. Akibatnya masa penggunaan mesin menjadi pendek. Oleh karena itu, debu harus dibersihkan dari udara yang masuk sebelum sampai ke silinder-silinder.

Pada kendaraan, udara yang masuk dibersihkan oleh saringan udara, juga dapat mengurangi kecepatan udara dan memperkecil suara-suara berisik udara. Saringan udara harus diperiksa dan dibersihkan secara rutin sebab elemennya berangsur-angsur akan tersumbat dengan debu dan tidak dapat membersihkan udara yang cukup pada mesin, menyebabkan tenaga mesin turun. Seperti kita ketahui ada beberapa tipe saringan udara yang digunakan pada mobil-mobil, tipe saringan udara ini termasuk saringan udara tipe kertas, saringan udara yang elemennya terbuat dari baja wool yang direndam minyak (*oil bath type*), tipe siklon dan sebagainya. Pada umumnya banyak digunakan tipe elemen kertas. Sedangkan pre-air cleaner tipe siklon direncanakan khusus untuk daerah yang berdebu, berpasir.

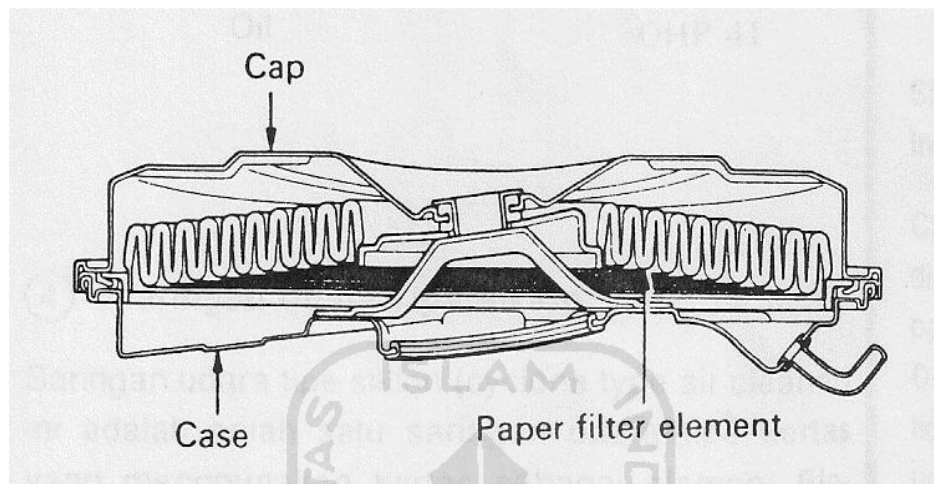
### 2.6.2 Saringan udara tipe kertas

Saringan udara ini terdiri dari elemen yang dibuat dari kertas atau kain. Elemen diletakkan didalam rumah saringan udara (*air-cleaner case*), pada beberapa saringan udara yang menggunakan elemen ini dapat dicuci dengan air.



Gambar 2.27 Saringan udara tipe kertas  
(Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta)

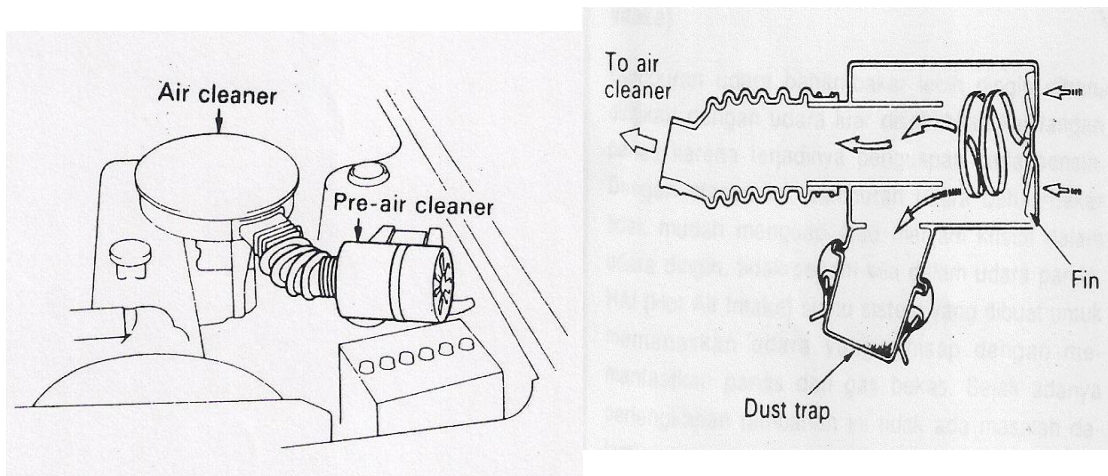
Belakangan ini beberapa saringan udara menggunakan elemen tipe axial flow seperti diperlihatkan pada gambar. Saringan udara tipe axial flow, elemennya dapat dibuat lebih kompak dan ringan.



Gambar 2.28 Saringan udara tipe kertas axial flow  
(Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta)

### 2.6.3 Pre- Air Cleaner Adalah:

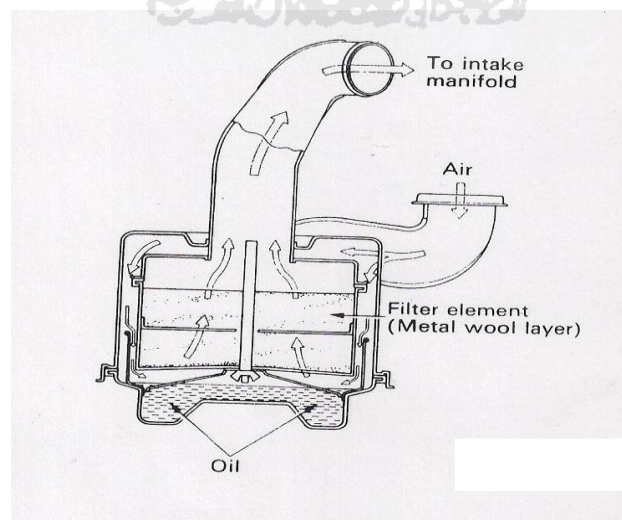
Sejenis saringan udara pusaran. Dengan efisiensi udara yang tinggi dan mempunyai bagian sirip yang memisahkan kotoran dari udara dengan adanya gaya sentrifugal. Debu di tampung dalam penampung khusus (*dust trap*). Tipe saringan udara ini seringkali tidak diperlukan pengganti elemen yang terlalu sering dibanding dengan tipe saringan udara lainnya.



Gambar 2.29 Pre- air cleaner  
(Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta)

#### 2.6.4 Saringan udara tipe oil bath

Saringan udara ini berisikan oli di bagian bawah rumah saringan, seperti pada gambar. Elemen dibuat dari baja wol. Partikel-partikel debu yang besar, kotoran-kotoran, pasir dan sebagainya jatuh kedalam genangan (rendaman oli). Udara yang dihisap melalui elemen saringan telah dibersihkan oleh elemen yang terbuat dari baja wol tadi sebelum mencapai mesin.

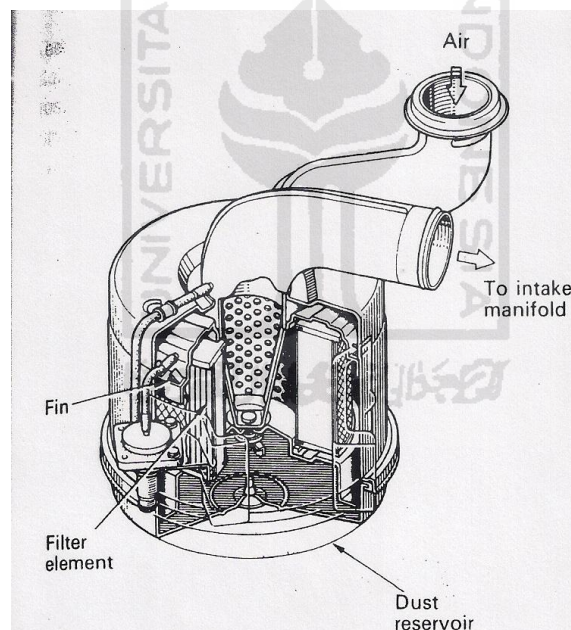


Gambar 2.30 Saringan udara tipe oil bath  
(Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta)

### 2.6.5 Saringan udara tipe silikon

Saringan udara tipe siklon (*cyclone type air cleaner*) ini adalah salah satu saringan udara tipe kertas yang menggunakan kertas sebagai elemen. Elemen ini berbentuk sirip-sirip untuk menghasilkan pusaran udara. Sebagian besar partikel-partikel kotoran, pasir dan lain-lain ditampung dalam kotak saringan oleh gaya sentrifugal dari pusaran udara.

Partikel-partikel yang kecil diserap oleh elemen kertas. Perencanaan ini tujuannya untuk mengurangi tersumbatnya elemen saringan dan tidak dibutuhkannya perawatan yang terlalu sering seperti tipe lainnya.



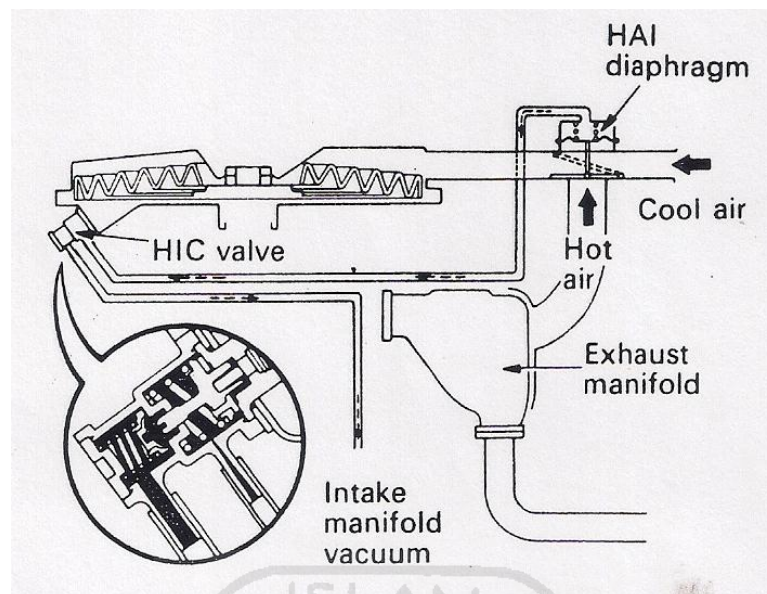
Gambar 2.31 Saringan udara tipe silikon  
(Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta)

#### 2.6.6 System pemasukan udara panas (*Hot Air Intake*)

Campuran udara bahan-bahan lebih dingin dibandingkan dengan udara luar disebabkan kehilangan panas karena terjadinya penguapan pada bensin. Dengan alasan ini, campuran udara bahan-bakar tidak mudah menguap atau menjadi kristal dalam udara dingin, tidak seperti bila dalam udara panas. HAI (*Hot Air Intake*) suatu system yang dibuat untuk memanaskan udara yang dihisap dengan memanfaatkan panas dari gas bekas. Sejak adanya perlengkapan tambahan ini tidak ada masalah dalam pemanasan, pemanasan dapat berlaku secara manual atau otomatis. Pada sistem otomatis terdiri dari wax atau elemen bimetal, yang mendeteksi temperatur udara yang masuk dan menggerakkan sistem pada on atau off sesuai dengan keadaan temperatur.

Sistem Automatik HAI tipe bimetal mempunyai katup thermostik (elemen bimetal) didalam rumah saringan udara dan vacuum diaphragm pada saluran masuknya. Vacuum diaphragm bekerja dengan kevakuman dalam *intake manifold* dan mengontrol *switch* udara panas/dingin.

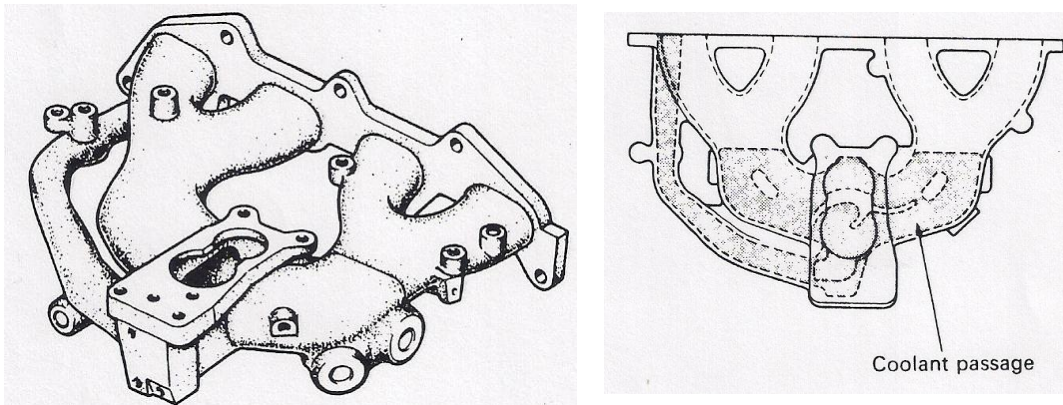
Belakangan ini sistem HAI juga termasuk sebuah katup wax (*wax valve*) dan katup HIC (*Hot Idle Compensation*). Sebagai tambahan pada *switch* otomatis udara panas atau dingin, digunakan untuk menjaga temperatur udara yang ke intake manifold dalam tingkat yang sesuai dengan temperatur bagian dalam mesin. Dengan kata lain, tipe sistem HAI baru ini memainkan peranan pada katup-katup HIC dengan baik.



Gambar 2.32 Saringan udara sistem otomatis  
(Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta)

### 2.6.7 Manifold

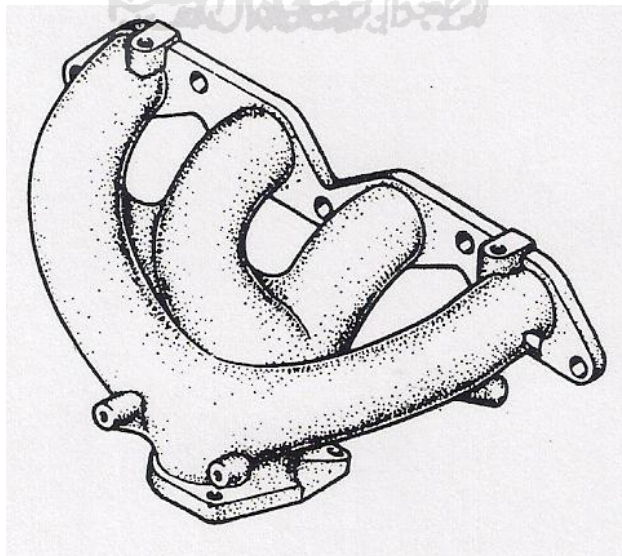
Intake manifold mendistribusikan campuran udara bahan bakar yang diproses oleh karburator ke silinder-silinder. Intake manifold dibuat dari paduan aluminium, yang dapat memindahkan panas lebih efektif dibanding dengan logam lainnya. Intake manifold diletakkan sedekat mungkin dengan sumber panas yang memungkinkan campuran udara dan bensin cepat menguap. Pada beberapa mesin, intake manifold letaknya dekat dengan exhaust manifold. Ada mesin yang water jacketnya ditempatkan di dalam intake manifold untuk memanaskan campuran udara bensin dengan adanya panas dari air pendingin.



Gambar 2.33 Intake manifold  
(Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta)

#### 2.6.8 Exhaust Manifold

Exhaust Manifold menampung gas bekas dari semua silinder dan mengalirkan gas tersebut ke pipa buang (*Exhaust pipe*). Exhaust Manifold dibuat pada kepala silinder, saluran manifold (*manifold part*) disambungkan langsung pada lubang gas bekas (*Exhaust port*) pada silinder.

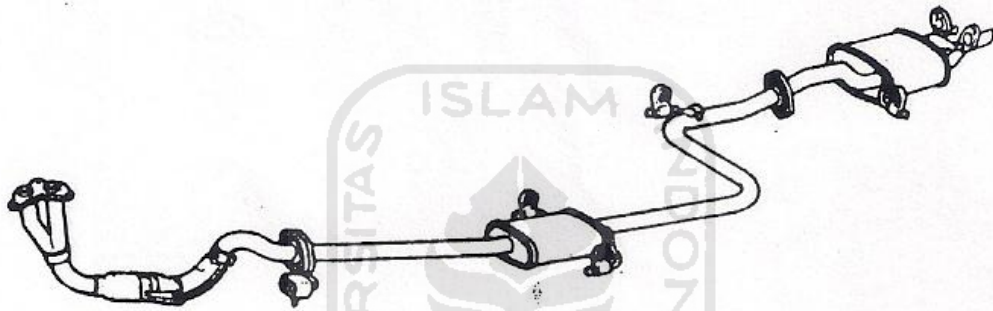


Gambar 2.34 Exhaust manifold  
(Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta)



### 2.6.9 Pipa Buang

Pipa buang (*exhaust pipe*) adalah pipa baja yang mengalirkan gas bekas dari Exhaust Manifold ke udara bebas. Pipa itu sendiri dibagi ke beberapa bagian, pipa bagian depan (*front pipe*), pipa bagian tengah (*center pipe*) dan pipa belakang (*tail pipe*) susunan ini dibuat demikian untuk mempermudah saat penggantian *catalytic converter* atau muffler tanpa melepas system keseluruhannya.



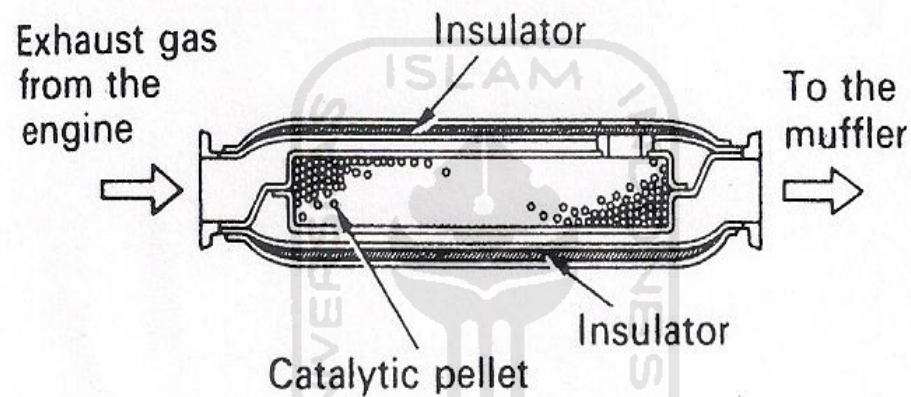
Gambar 2.35 Pipa buang  
(Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta)

### 2.6.10 *Catalytic Converter* (OC, TWC)

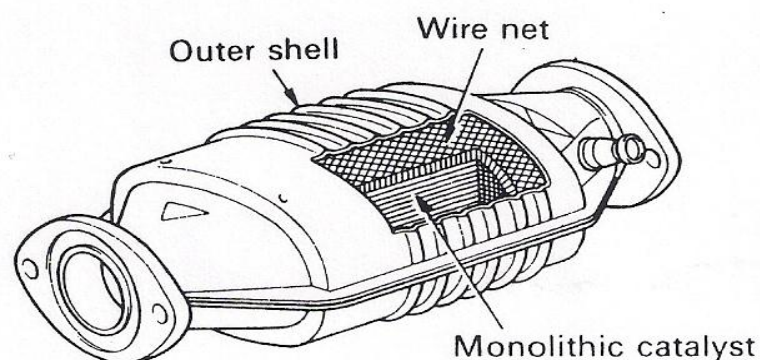
*Catalytic converter* merupakan komponen muffler dari *emission control system*. Bertujuan untuk mengurangi jumlah CO (carbon monoxide), HC (Hydrocarbon gas) dan NOx (*oxides of nitrogen*) yang terkandung dalam gas bekas. Ada 2 tipe *catalytic converter*, tipe *catalyst* yang terkenal adalah: tipe pellet dan tipe monolithic.

*Type monolithic*, belakangan ini lebih banyak digunakan pada kendaraan, sebab mempunyai tahanan gas buang yang kecil, lebih ringan dan membantu

mempercepat pemanasan pada mesin dibandingkan dengan tipe pellet. Sebuah catalytic converter terdiri atas salah satu dari dua catalyst yaitu: OC (*Oxidation Catalyst*) atau TWC (*Three Way Catalyst*). OC terdiri dari platinum dan palladium, yang dapat mengurangi CO dan HC. TWC mengandung platinum dan Rhodium yang dapat mengurangi platinum dan Rhodium yang dapat mengurangi CO dan HC terutama NO<sub>x</sub>.



Gambar 2.36 Catalytic converter tipe pellet  
(Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta)

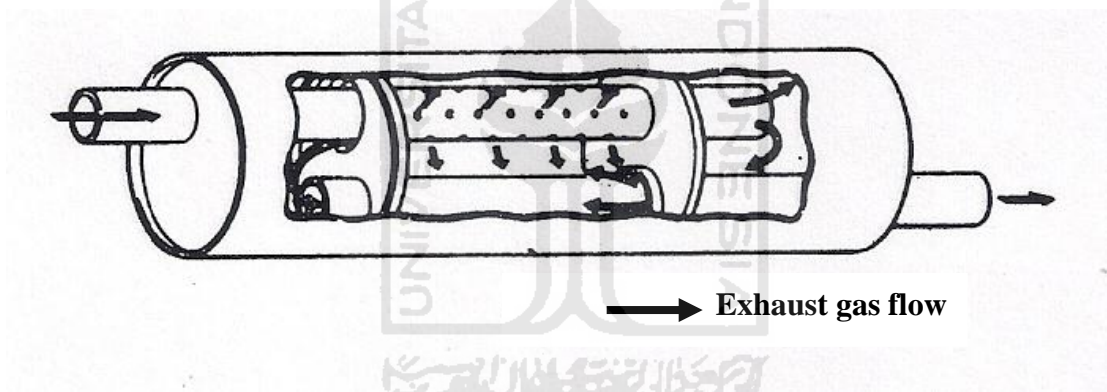


Gambar 2.37 Catalytic converter tipe monolithic  
(Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta)

### 2.6.11 Muffler

Gas bekas (exhaust gas) dikeluarkan dari mesin dengan tekanan yang tinggi (kira-kira  $3-5 \text{ kg/cm}^2$ ) dan temperaturnya sekitar  $600-800^\circ\text{C}$ . besarnya panas ini kira-kira 34% dari energi panas yang dihasilkan oleh mesin.

Bila gas bekas dengan panas dan tekanan tinggi seperti ini langsung ditekan ke udara luar, maka gas tersebut akan mengembang dengan cepat sekali, menyebabkan timbulnya suara ledakan yang keras. Muffler digunakan untuk mencegah terjadinya hal tersebut. Gas bekas dikurangi tekanannya dan didinginkan saat melalui muffler.



Gambar 2.38 Muffler

(Toyota, tt . New Step I Training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta)

## 2.7 Tinjauan Statistik

Pada umumnya kesulitan yang sering muncul pada pengendalian kualitas adalah bagaimana memperbaiki pengaturan level-level parameter input untuk memenuhi spesifikasi output. Akan tetapi bila pengaturan karakteristik kualitas dilakukan sedini mungkin, maka spesifikasi yang diharapkan dalam pengendalian

kualitas akan tercapai. Oleh karena itu perlu dilakukan optimasi rancangan sejak awal, agar dihasilkan produk yang berkualitas.

Metode Taguchi merupakan suatu pendekatan konvensional yang digunakan dalam pengendalian kualitas *off-line* untuk meningkatkan kualitas produk dan proses manufaktur (Ross,1996). Metode ini menitik beratkan pada masalah pengaruh berbagai jenis faktor terhadap timbulnya variasi performansi produk baik faktor yang terkendali maupun faktor yang tidak terkendali yang tidak bisa dirancang seperti faktor lingkungan dan faktor *noise*. Oleh karena itu, melalui salah satu tahapan dari metode Taguchi, yaitu *parameter design*, diharapkan dapat meminimalkan efek dari faktor *noise*. Sehingga pada akhirnya seorang *engineer* bisa menetapkan parameter dari suatu proses produksi yang dapat mendekati nilai target yang diharapkan. Namun selama ini metode Taguchi, implementasinya hanya pada optimasi single respon saja, sedangkan untuk kasus multirespon sangatlah terbatas dan timbul kesulitan. Hal ini disebabkan bila memakai metode Taguchi akan diperoleh banyak setting *parameter design* sesuai banyaknya karakteristik kualitas, sehingga sangatlah tidak efisien. Oleh karena itu telah banyak ilmuwan yang berusaha mengembangkan metode-metode untuk menyelesaikan permasalahan tersebut (Majalah IPTEK, Vol 10, No.4, 1999).

Menurut Derringer dan Suich (1980) mencoba mentransformasikan beberapa variabel respon dalam satu fungsi yang dikehendaki. Pendekatan ini memungkinkan seorang peneliti untuk membuat pertimbangan-pertimbangan subyektif mengenai tingkat kepentingan dari masing-masing respon. Khuri dan Conlon (1981) mengusulkan suatu prosedur yang dapat mengoptimalkan

beberapa variabel respon secara serentak dengan menggunakan suatu fungsi jarak untuk mengukur simpangan dari nilai optimum yang ideal. Akan tetapi kedua pendekatan tersebut terdapat beberapa kelemahan yaitu melibatkan perhitungan yang rumit dan meningkatkan ketidakpastian pada hasil sehingga perlu sekali dikembangkan suatu pendekatan yang lebih efektif untuk menyelesaikan masalah-masalah yang lebih kompleks.

## 2.8 Metode Taguchi

Metode Taguchi diperkenalkan oleh Genechi Taguchi pada tahun 1940 yang bertujuan untuk mengoptimalkan proses eksperimen. Metode taguchi berkembang berdasarkan pendekatan yang secara keseluruhan berbeda dengan metode konvensional dalam rekayasa kualitas. Dalam pengendalian kualitas Taguchi telah menggabungkan falsafah-falsafah besar yang ada pada industri manufaktur. Pendekatan metode Taguchi pada rancangan eksperimen diharapkan mampu menghasilkan pengembangan kualitas yang kokoh (*robust*) terhadap faktor *noise*.

### 2.8.1 Kontribusi Taguchi untuk disain eksperimen dan pengembangan kualitas

Salah satu tujuan dari pengembangan kualitas adalah mendisain kualitas ke dalam setiap produk dan proses. Disain eksperimen merupakan elemen utama dari aktivitas tersebut. Genechi Taguchi memperkenalkan pendekatan dengan menggunakan disain eksperimen yang berguna untuk :

- 1) Meminimumkan variasi di sekitar nilai target

- 2) Mendisain produk atau proses sehingga kualitasnya *robust* terhadap kondisi lingkungan.
- 3) Mengembangkan produk atau proses sehingga kualitasnya *robust* terhadap variasi komponen.

*Robust* berarti produk atau proses yang secara konsisten berada pada target dan relatif tidak sensitif terhadap faktor yang sulit dikontrol. Taguchi menghubungkan tiga tujuan di atas pada pendekatan *parameter design*.

### 2.8.2 Filosofi Taguchi

Genechi Taguchi memperkenalkan pendekatan metode yang dilandasi oleh tiga konsep mendasar, yang dikenal dengan Filosofi Taguchi yaitu :

- 1) Kualitas harus didisain ke dalam produk dan bukan sekedar memeriksanya atau inspeksi.
- 2) Kualitas terbaik dicapai dengan meminimumkan deviasi dari target. Produk harus didisain sehingga *robust* terhadap faktor lingkungan yang tidak dapat dikontrol.
- 3) Biaya kualitas harus diukur sebagai fungsi deviasi dari standart tertentu dan kerugian harus diukur pada seluruh sistem.

Berdasarkan observasi yang dilakukan oleh Taguchi disebutkan bahwa 85 % kualitas yang buruk disebabkan oleh proses manufaktur dan hanya 15 % yang disebabkan oleh operator. Dari keadaan ini Taguchi kemudian mengembangkan sistem manufaktur yang *robust* (kokoh) atau tidak mudah dipengaruhi variasi lingkungan keseharian dan musiman, pemakaian mesin dan faktor eksperimen

lainnya. Tiga prinsip tersebut merupakan pedoman bagi Taguchi di dalam mengembangkan sistem ini, menguji faktor-faktor yang mempunyai kualitas produk dan spesifikasi parameter produk.

Pengendalian kualitas dapat dibagi ke dalam dua tahap yaitu :

- 1). Pengendalian kualitas “*off line*” berhubungan dengan aktivitas selama pengembangan produk dan disain proses. Aktivitas yang dilakukan adalah :
  - a) Mengidentifikasi kebutuhan konsumen dan yang diharapkan oleh konsumen.
  - b) Mendisain produk yang sesuai dengan harapan konsumen.
  - c) Mendisain produk secara konsisten dan secara ekonomi menguntungkan.
  - d) Mengembangkan secara jelas dan cukup spesifik standar, prosedur dan peralatan untuk pembuatan.
- 2). Pengendalian kualitas “*On-line*” berhubungan dengan proses selama produksi. Pengendalian kualitas “*On-line*” berarti memelihara kekonsistenan produk dan proses sehingga meminimumkan variasi antar unit. Hal ini perlu dilakukan yang tinggi secara serentak.

Pendekatan metode disain eksperimen Taguchi digunakan dalam lingkup penerapan yang luas, akan tetapi secara khusus teknik Taguchi diterapkan pada pengendalian kualitas “*Off-line*”. Pengendalian kualitas ini dibedakan menjadi tiga tahap yaitu :

- a) Disain Sistem /konsep (*Primary design*)

Pada tahap ini dihasilkan konsep, ide dan metode baru untuk pengembangan produk/teknologi untuk memenuhi kebutuhan konsumen

yang ditekankan pada pencapaian target dengan tingkat biaya terendah. Tahap disain memerlukan pengetahuan teknis yang luas dan mendalam untuk menilai pengembangan produk atau proses (tidak memerlukan perancangan eksperimen).

b) Disain parameter (*Secondary design*)

Dalam tahap perancangan parameter berkaitan dengan penekanan biaya dan meningkatkan kualitas dengan menggunakan metode perancangan eksperimen yang efektif. Hal ini termasuk penentuan nilai-nilai parameter yang kurang sensitif terhadap faktor *noise*. Jika tujuannya adalah untuk merancang proses atau produk dengan stabilitas dan keandalan yang tinggi, maka perancangan parameter adalah langkah terpenting. Pada tahap ini juga dicari kombinasi level parameter yang dapat mengurangi faktor *noise*. Tahap ini adalah tahap utama dalam perancangan kokoh agar produk atau proses mempunyai keandalan yang tinggi, walaupun material yang digunakan tidak mahal, mempunyai keragaman tinggi dan mudah rusak (aus). Faktor *noise* digolongkan menjadi tiga macam, yaitu :

(1) Gangguan eksternal (*External noise*)

*Eksternal noise* berkaitan dengan lingkungan atau kondisi yang mempengaruhi fungsi ideal dari produk. Misalnya temperatur ulang, kelembaban, debu, daya listrik, pengaruh elektromagnetik, getaran dan kesalahan manusia dalam mengoperasikan produk.



(2) Gangguan antar unit ( *Unit-to unit noise* )

Keragaman dari unit ke unit berkaitan dengan faktor yang menyebabkan perbedaan antara tiap produk yang telah dibuat dalam spesifikasi yang sama. Variasi ini tidak dapat dielakkan dalam proses pembuatan dan mengarah pada keragaman dalam parameter produk suatu unit ke unit lainnya. Misalnya, nilai kekuatan tekan ( *Compression Strength* ) dispesifikasikan  $60 \text{ kg/cm}^2$ , tetapi nilai yang keluar pada suatu produk mungkin  $70 \text{ kg/cm}^2$  dan  $50 \text{ kg/cm}^2$  pada produk yang lain.

(3) Internal noise ( *Deterioration noise* )

Internal noise berkaitan dengan faktor yang menyebabkan produk menjadi aus sehingga tidak mencapai target. Misal produk menjadi aus karena usia pakainya meningkat.

c) Disain toleransi ( *Tertiary design* )

Tahap ini berkaitan dengan pengendalian faktor-faktor yang mempengaruhi nilai target dengan menggunakan komponen mutu tinggi dan biaya yang tidak dapat dielakan. Setelah sistem dirancang (melalui *system design*) dan nilai tengah parameternya telah ditentukan (melalui *parameter design*), langkah berikutnya membuat toleransi parameter (melalui *tolerance design*). Faktor *noise*, termasuk juga parameter sistem dimasukkan dalam disain eksperimen untuk menentukan dampaknya pada karakteristik output. Toleransi yang lebih sempit harus diberikan pada faktor *noise* yang mempunyai pengaruh terbesar pada karakteristik output.

Setelah proses produksi ditentukan, keragaman dalam produk mungkin diakibatkan oleh keragaman dari material, komponen yang berbeda, keausan alat, kerusakan mesin dan kesalahan manusia. Semua sumber keragaman ini berkaitan dengan *on-line quality control* selama proses produksi normal berlangsung. Terdapat 3 bentuk *on-line quality control*, yaitu :

- (1) Proses diagnosis dan penyesuaian
- (2) Prediksi dan koreksi
- (3) Pengukuran dan tindakan

### 2.8.3 Rasio Signal to Noise

Rasio S/N didefinisikan sebagai logaritma dari rata-rata kuadrat simpangan dari nilai target sebagai berikut :

$$S/N = -10 \log (\text{MSD}) \dots\dots\dots (11)$$

Dimana MSD adalah rata-rata kuadrat simpangan. *Rasio signal to noise* merupakan hasil transformasi dari beberapa replikasi data sehingga nilainya mewakili kualitas penyajian variasi. Nilai MSD dapat dihitung berdasarkan pada karakteristik kualitas dari suatu respon dan dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{MSD} = ( Y_1^2 + Y_2^2 + \dots + Y_N^2 ) / N \dots\dots\dots (12)$$

1) *Nominal the better*

$$\text{MSD} = [(Y_1-m)^2 + (Y_2-m)^2 + \dots + (Y_N-m)^2] / N \dots\dots\dots (13)$$

2) *Larger the better*

$$\text{MSD} = (1/Y_1^2 + 1/Y_2^2 + \dots + 1/Y_N^2) / N \dots\dots\dots (14)$$

Dimana :  $Y_i$  = nilai hasil pengamatan

$m$  = nilai target eksperimen

$N$  = jumlah pengulangan

Nilai rasio S/N yang tertinggi menunjukkan level faktor yang optimun pada eksperimen yang dilakukan. Jika nilai S/N semakin besar maka nilai MSD semakin kecil, dan jika S/N semakin kecil maka nilai MSD semakin besar.

Penggunaan rasio S/N memberikan keuntungan sebagai berikut :

- 1) Memberikan perbandingan yang obyektif dari dua atau lebih data pengamatan dengan memperhatikan variasi di sekitar target dan simpangan nilai rata-rata pengamatan dari nilai target secara serentak.
- 2) Memberikan gambaran pada pemilihan level-level faktor yang optimum berdasarkan pada variasi di sekitar target yang terkecil dan pada nilai rata-rata terdekat pada nilai target.

#### 2.8.4 *Loss Function*

Dalam pengendalian kualitas, Taguchi mengembangkan konsep *loss function* yang didasarkan pada total simpangan kuantitas dari karakteristik kualitas yang ditargetkan. Pada simpangan nol, maka produk tepat seperti apa yang ditargetkan dan kerugian atau *loss function* sama dengan nol.

Pada saat produk atau proses kinerjanya menyimpang dari target, maka loss yang terjadi pada pelanggan dapat dihitung. Menurut Taguchi jika  $L(y)$  menyatakan loss disebabkan oleh simpangan kinerja yang kecil ( $y-m$ ) dari target  $m$ , maka dengan pemakaian deret Taylor dapat ditulis :

$$L(y) = L(m+y-m) \dots\dots\dots(15)$$

$$= L(m) + L'(m) (y-m) + \frac{L''(m)(y - m)^2}{2!} + \frac{L'''(m)(y - m)^3}{3!} \dots\dots(16)$$

Pada saat  $y = m$  berarti performansi tepat pada target, sehingga pada titik ini *loss to society* bernilai nol. Untuk turunan pertama  $L'(m)$  mempunyai nilai nol karena  $L(m)$  minimum. Dengan mengabaikan orde yang lebih tinggi dari orde tingkat dua pada persamaan 11, karena nilainya kecil sekali maka persamaan di atas dapat ditulis :

$$L(y) = k(y-m)^2 \dots\dots\dots(17)$$

Dimana  $k = L''(m) / 2!$  adalah konstan.

Nilai  $k$  menyatakan nilai koefisien dari fungsi kerugian. Nilai  $k$  dibuat oleh Taguchi dengan menentukan nilai perhitungan dari fungsi kerugian yang sedekat mungkin terhadap target dengan batas toleransi kualitas. Jika simpangan fungsi karakteristik produk sebesar  $\Delta$  dari nilai target  $m$ , dan nilai *loss* sebesar  $A$  maka persamaan 12 menjadi :

$$A = k \Delta^2 \dots\dots\dots(18)$$

$$K = A/\Delta^2 \dots\dots\dots(19)$$

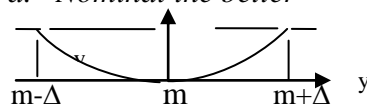
Untuk produk masal, *mean* kerugian/unit adalah :

$$L'(y) = k(y-m)^2 / n \dots\dots\dots(20)$$

$$= k (\text{MSD}) \dots\dots\dots(21)$$

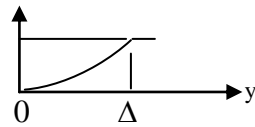
Fungsi kerugian dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu :

a. *Nominal the better*



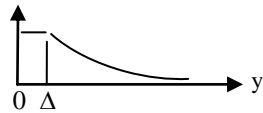
$$L(y) = k (y-m)^2 \dots\dots\dots(22)$$

b. *Smaller the better*



$$L(y) = k(y)^2 \dots\dots\dots (23)$$

c. *Larger the better*

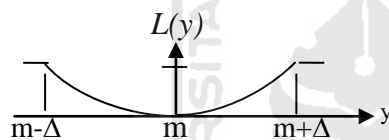


$$L(y) = k(1/y)^2 \dots\dots\dots (24)$$

- Fungsi kerugian NTB (untuk 1 unit)

$$L(y) = k (y - m)^2 \dots\dots\dots (25)$$

*y = nilai karakteristik kualitas, m = target dan k = koefisien biaya*



Sehingga:

$$L(y) = 0 \text{ pada } y = m \dots\dots\dots (26)$$

*L(y) = A<sub>0</sub> pada batas operasional y = m ± Δ dan di atasnya*

*Dimana A<sub>0</sub> = kΔ<sup>2</sup> adalah rework cost.*

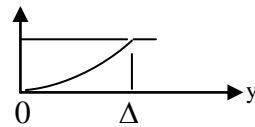
- Fungsi kerugian STB (untuk 1 unit)

Target (m) fungsi kerugian STB 0, berdasarkan rumus diatas fungsi kerugian STB dapat dirumuskan sebagai berikut

$$L(y) = k (y)^2 \dots\dots\dots (27)$$

*y = nilai karakteristik kualitas dan k = koefisien biaya,*

$$k = A_0 / k\Delta^2 \dots\dots\dots (28)$$



- Fungsi kerugian LTB (untuk 1 unit)

Target (m) fungsi kerugian LTB  $\infty$ , berdasarkan rumus diatas fungsi kerugian LTB dapat dirumuskan sebagai berikut

$$L(y) = k (l/y)^2 \dots\dots\dots (29)$$



### 2.8.5 Prinsip kerja metode Taguchi

#### 1) Pemilihan dan penyesuaian *Orthogonal Array* (OA)

*Orthogonal Array* adalah suatu matriks yang elemen-elemennya disusun menurut baris dan kolom. Kolom merupakan faktor atau kondisi yang dapat diubah dalam eksperimen. Baris merupakan keadaan dari faktor. *Array* disebut *orthogonal* karena level-level dari faktor berimbang dan dapat dipisahkan dari pengaruh faktor yang lain dalam eksperimen. Jadi *Orthogonal Array* adalah matriks seimbang dari faktor dan level, sedemikian hingga pengaruh suatu faktor atau level tidak baur (*counfounded*) dengan pengaruh faktor atau level yang lain. OA membutuhkan eksperimen yang lebih sedikit dalam mengevaluasi beberapa faktor sehingga memberikan eksperimen yang

lebih efisien dengan tetap tidak kehilangan informasi dari eksperimen yang diamati. Setelah menentukan jumlah faktor, jumlah taraf masing-masing faktor dan interaksi antar faktor, maka dalam penyusunan *Orthogonal Array* diperlukan perhitungan jumlah total derajat bebas. Jumlah total derajat bebas adalah merupakan minimal baris dalam OA, atau paling sedikit sama dengan banyaknya eksperimen yang harus dilakukan. Sehingga pemilihan OA yang sesuai dengan barisnya tidak boleh kurang dari jumlah total derajat bebas. OA yang sesuai dapat dilihat dari salah satu OA standar yang diberikan oleh Taguchi. Dalam OA untuk dua level terdiri dari L4, L8, L12, L16, L32 dan untuk tiga level terdiri dari L9, L18, L27. Notasi L menunjukkan jumlah percobaan yang harus dilakukan.

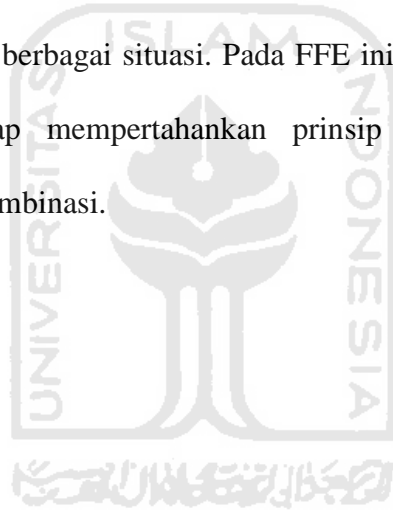
## 2) Perancangan eksperimen Taguchi

Metode Taguchi merupakan suatu metode dalam bidang *engineering* yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk/proses dalam waktu yang bersamaan untuk menekan sumber daya dan *loss function*. Sehingga diharapkan dapat mencapai target dan produk/proses tidak sensitif terhadap faktor *noise*.

Suatu teknik untuk mendefinisikan dan menyelidiki semua kondisi yang mungkin dalam suatu eksperimen yang melibatkan *multiple* faktor disebut disain eksperimen. Dalam hal ini disain eksperimen cukup efektif bila faktor dan level di tiap faktor yang terlihat dalam tiap percobaan relatif kecil jumlahnya, misal terdapat 2 faktor dengan masing-masing 2 level, maka akan dihasilkan kombinasi sebanyak  $2^2$  (4) kombinasi yang mungkin. Tetapi bila

jumlah faktor sangat banyak, misalnya 15 faktor dengan masing-masing 2 level, akan tetapi terdapat  $2^{15}$  (32.768) kombinasi yang mungkin. Hal ini tentu sangat tidak efisien dalam hal waktu, biaya maupun tenaga.

Untuk mengatasi hal ini, Genechi Taguchi mengusulkan suatu teknik untuk menyederhanakan eksperimen tanpa mengurangi esensi dari percobaan. Taguchi melakukan pendekatan dengan *Fraksional Factorial Eksperimen* (FFE) yang standar dan konsisten sehingga meningkatkan efisiensi dari percobaan yang akan dilakukan. Taguchi membangun beberapa FFE yang dapat digunakan pada berbagai situasi. Pada FFE ini dipilih beberapa kondisi perlakuan untuk tetap mempertahankan prinsip orthogonalitas diantara berbagai faktor dan kombinasi.





Tabel 2.6 Strategi Taguchi untuk minimasi jumlah eksperimen eksperimen dengan 7 faktor, 2 level

			A1								A2							
			B1				B2				B1				B2			
			C1		C2		C1		C2		C1		C2		C1		C2	
			D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2
E1	F1	G1																
		G2																
	F2	G1																
		G2																
E2	F1	G1																
		G2																
	F2	G1																
		G2																

*Array Orthogonal* adalah matriks faktor dan level yang disusun sedemikian rupa sehingga pengaruh suatu faktor dan level tidak berbaaur dengan faktor dan level lainnya. Elemen-elemen matriks disusun menurut baris dan kolom. Baris merupakan keadaan suatu faktor, sedangkan kolom adalah faktor yang dapat diubah dalam eksperimen. Keuntungan orthogonal array adalah kemampuan untuk mengevaluasi beberapa faktor dengan jumlah test atau pengujian yang minimum. Jika pada percobaan terhadap 7 faktor dengan 2 level, menggunakan *full factorial experiment* akan diperlukan 27 buah percobaan.

Tabel 2.7 Full-factorial experiments  
(diperlukan  $2^7$  kombinasi level faktor)

			A1								A2							
			B1				B2				B1				B2			
			C1		C2		C1		C2		C1		C2		C1		C2	
			D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2
E1	F1	G1																
		G2																
	F2	G1																
		G2																
E2	F1	G1																
		G2																
	F2	G1																
		G2																

*Orthogonal Array* merupakan salah satu bagian kelompok Fractional Factorial Experiment (FFE). Sedangkan FFE merupakan percobaan yang hanya menggunakan sebuah bagian dari kondisi total (*Full Factorial Experiment*), bagian ini barang kali hanya separuh, seperempat, atau seperdelapan dari percobaan faktorial penuh. Matriks eksperimen merupakan sebuah matriks yang berisi satu set eksperimen diatur perubahan kombinasi dari parameter proses atau produk. Kombinasi- parameter tersebut dilakukan selama eksperimen dan hasil data yang diperoleh dianalisa untuk menentukan efek dari parameter tertentu.

Tabel 2.8 1/2 FFE (Fractional – factorial experiment)

			A1								A2							
			B1				B2				B1				B2			
			C1		C2		C1		C2		C1		C2		C1		C2	
			D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2
E1	F1	G1	■			■			■			■			■			■
		G2		■	■		■			■			■			■	■	
	F2	G1		■	■		■			■			■			■	■	
		G2	■			■			■			■			■			■
E2	F1	G1		■	■		■			■			■			■	■	
		G2	■			■			■			■			■			■
	F2	G1	■			■			■			■			■			■
		G2		■	■		■			■			■			■	■	

*Array Orthogonal* (OA) ini merupakan desain dari Taguchi yang dibangun untuk mengurangi jumlah percobaan yang harus seharusnya dilakukan dengan metode dari eksperimen konvensional. Dengan orthogonal array akan dapat dikurangi jumlah percobaan yang dilakukan sehingga akan mengurangi waktu dan ongkos percobaan. Dalam 1/2 FFE (Fractional – Factorial Experiment), jumlah eksperimen yang dilakukan sebanyak 64 sampel dari 128 sampel yang seharusnya dilakukan dengan variasi sesuai pada tabel 2.8.

Tabel 2.9 1/4 FFE (Fractional – factorial experiment)

			A1								A2										
			B1				B2				B1				B2						
			C1		C2		C1		C2		C1		C2		C1		C2				
			D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2			
E1	F1	G1	■			■			■				■	■			■			■	
		G2																			
	F2	G1																			
		G2	■			■						■			■					■	
E2	F1	G1																			
		G2		■	■					■	■				■	■			■	■	
	F2	G1		■	■					■	■				■	■			■	■	
		G2																			

Dalam memilih *OA* yang sesuai diperlukan suatu persamaan yang dapat mempresentasikan jumlah faktor, jumlah level dan jumlah eksperimen yang akan dilakukan. Jumlah derajat kebebasan pada *OA* standar harus lebih besar atau sama dengan perhitungan derajat kebebasan pada eksperimen yang akan dilakukan. Pada matriks 1/4 FFE (Fractional – Factorial Experiment), Array Orthogonal yang digunakan adalah  $L_{32}(2^{31})$ , artinya jumlah kolom 31 masing-masing 2 level faktor. Sehingga jumlah eksperimen yang dilakukan sebanyak 32 sampel dari 128 sampel yang seharusnya dilakukan dengan variasi sesuai pada tabel 2.9.

Tabel 2.10 1/8 FFE (Fractional – factorial experiment)

			A1								A2							
			B1				B2				B1				B2			
			C1		C2		C1		C2		C1		C2		C1		C2	
			D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2
E1	F1	G1	■												■			
		G2				■												■
	F2	G1										■						
		G2					■				■							
E2	F1	G1																
		G2										■						
	F2	G1				■												■
		G2	■										■					

Dalam teknik *robust design*, penyusunan matriks eksperimen ini dapat menggunakan spesial standart matrik. Pada matrik 1/8 FFE (Fractional – Factorial Experiment), jumlah eksperimen yang dilakukan sebanyak 16 sampel dari 128 sampel yang seharusnya dilakukan dengan variasi sesuai pada tabel 2.10.

Tabel 2.11 1/16 FFE (Fractional – factorial experiment)

			A1								A2								
			B1				B2				B1				B2				
			C1		C2		C1		C2		C1		C2		C1		C2		
			D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2	
E1	F1	G1																	
		G2																	
	F2	G1																	
		G2																	
E2	F1	G1																	
		G2																	
	F2	G1																	
		G2																	

Dalam desain eksperimen Taguchi sebisa mungkin digunakan orthogonal Array terkecil yang masih dapat memberikan informasi yang cukup untuk dilakukan percobaan secara komprehensif dan penarikan kesimpulan yang valid. Untuk menentukan Orthogonal Array yang diperlukan adalah perhitungan total derajat bebas (*Total Degree of Freedom*). Dalam 1/16 FFE (Fractional–Factorial Experiment), atau OA L8(27), terdiri dari 7 kolom/factor masing-masing 2 level faktor. Jumlah eksperimen yang dilakukan sebanyak 8 sampel dari 128 sampel yang seharusnya dilakukan dengan variasi sesuai pada tabel 2.11.

Tabel 2.12 Taguchi : L9 OA Matrik

Trial no	Column no						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

a) *Robust Design*

Salah satu tujuan dari eksperimen pada parameter disain adalah untuk menyusun satu kombinasi faktor-faktor yang kokoh (*robust*) terhadap adanya faktor-faktor pengganggu (*noise*), dimana faktor-faktor *noise* ini tidak dapat/ sulit dikendalikan, dan menyebabkan timbulnya variabilitas yang tinggi pada produk. Dengan adanya kombinasi yang

optimal dari faktor-faktor kontrol, maka proses / produk akan tahan terhadap adanya gangguan tersebut.

#### **b) Disain Parameter Taguchi**

Dalam upaya meningkatkan kualitas produk dan memperkecil variabilitas yang terjadi, Taguchi memperkenalkan upaya-upaya yang dapat ditempuh guna menghasilkan produk dengan tingkat variabilitas yang kecil, dengan mengatur parameter-parameter yang mempengaruhinya pada tingkat yang paling kurang sensitif terhadap faktor gangguan (*noise*). Cara ini dikenal dengan disain parameter Taguchi, yang ditujukan terutama untuk meningkatkan kualitas tanpa menghilangkan penyebab timbulnya variabilitas. Untuk meningkatkan kualitas produk Taguchi membagi atas 3 hal :

##### **(1) Disain Sistem**

Disain sistem adalah upaya dimana konsep-konsep, ide-ide, metode-metode baru dan sebagainya dimunculkan untuk memberikan peningkatan produk kepada pemakai. Sebagai salah satu cara untuk memenangkan persaingan yaitu dengan terus mengembangkan teknologi baru, sehingga dalam hal ini konsep-konsep, metode maupun penemuan baru sangat bermanfaat dalam disain sistem.

##### **(2) Disain Parameter**

Disain parameter adalah hal yang sangat penting dalam upaya meningkatkan keseragaman produk atau mencegah tingginya variabilitas. Pada tahap ini parameter-parameter dari produk/proses



tertentu ditetapkan untuk menghasilkan performansi produk menjadi kurang /tidak sensitif terhadap penyebab terjadinya variabilitas. Disain eksperimen dilakukan untuk mendapatkan kondisi faktor-faktor yang tahan terhadap penyebab timbulnya variabilitas.

### (3) Disain Toleransi

Pada disain toleransi ini, kualitas ditingkatkan dengan mengetatkan toleransi pada parameter produk / proses untuk mengurangi terjadinya variabilitas pada performansi produk. Eksperimen yang dilakukan pada penelitian ini menerapkan langkah-langkah prinsip disain parameter, yaitu melakukan eksperimen guna menentukan faktor dominan yang berpengaruh terhadap peningkatan kualitas furan dan menentukan kombinasi faktor-faktor dimana kombinasi tersebut tahan terhadap penyebab timbulnya variabilitas.

#### c) Langkah-langkah dalam melakukan eksperimen :

Taguchi mengusulkan langkah-langkah yang sistematis dalam melakukan eksperimen yaitu sebagai berikut :

##### (1) Menyatakan permasalahan yang akan dipecahkan

Yaitu mendefinisikan dengan se jelas mungkin permasalahan yang dihadapi untuk dilakukan suatu upaya perbaikan.

##### (2) Penentuan tujuan penelitian

Meliputi pengidentifikasian karakteristik kualitas dan tingkat performansi dari eksperimen.

### (3) Menentukan metode pengukuran

Menentukan bagaimanakah parameter-parameter yang diamati akan diukur, dan bagaimana cara pengukurannya dan peralatan yang diperlukan.

### (4) Identifikasi faktor

Tahap ini adalah melakukan pendekatan yang sistematis guna menemukan penyebab permasalahan. Untuk mendapatkan gambaran mengenai faktor yang akan diteliti, maka langkah-langkah yang dapat ditempuh adalah sebagai berikut :

#### 3) Brainstorming

*Brainstorming* adalah suatu cara mendorong timbulnya gagasan yang mungkin sebanyak-banyaknya dengan memberikan kesempatan proses pemikiran kreatif setiap orang dalam kelompok untuk mengajukan pendapatnya. Langkah-langkah yang ditempuh dalam *brainstorming* adalah sebagai berikut :

- a) Mengumpulkan gagasan-gagasan mengenai penyebab dari permasalahan yang timbul pada perusahaan.
- b) Mencatat semua gagasan yang masuk tanpa kecuali, sehingga dapat mengetahui pendapat dari banyak orang mengenai permasalahan yang ada.
- c) Mengelompokkan gagasan-gagasan tersebut. Gagasan-gagasan yang sejenis dikelompokkan dalam satu kelompok.
- d) Menyimpulkan gagasan-gagasan yang mungkin menjadi penyebab permasalahan yang timbul pada perusahaan.

4) Diagram sebab akibat ( *Ishikawa Diagram* )

Diagram ini berguna untuk menggambarkan mengenai sebab akibat dari proses yang diamati. Dalam diagram sebab akibat ini digambarkan penyebab utama maupun penyebab sampingan, yang mempunyai akibat tertentu dan hubungan yang mungkin timbul diantara masing-masing penyebab. Pada Diagram sebab akibat ini karakteristik kualitas yang diamati dibuat garis lurus memotong diagram (*effect*). Faktor-faktor yang diduga menjadi penyebab permasalahan ditunjukkan oleh anak panah yang menuju cabang utama.

5) Memisahkan faktor kontrol dan *noise* faktor

Untuk memulai langkah dalam disain parameter Taguchi, hal yang harus diketahui adalah jenis-jenis faktor yang mempengaruhi karakteristik proses/ produk. Taguchi membedakan faktor ke dalam dua golongan besar yaitu :

a) Faktor kontrol

Yaitu faktor yang sudah ditetapkan nilainya oleh perancangannya, dan nilainya dapat dikontrol. Sebuah faktor kontrol biasanya mempunyai satu atau lebih yang disebut dengan level. Pada akhir eksperimen level yang sesuai dari faktor kontrol dapat dipilih. Satu aspek dari disain yang *robust* adalah memilih setting level kontrol faktor yang optimal, yang membuat karakteristik kualitas tidak sensitif terhadap *noise*.

b) Faktor *noise*

Adalah faktor yang dapat menyebabkan penyimpangan dari karakteristik kualitas dari nilai target. Faktor ini tidak dapat/sulit untuk dikontrol, dapat memakan biaya yang sangat besar sehingga tidak ekonomis untuk dikontrol.

6) Menentukan level dari faktor dan nilai faktor

Penentuan level ini menentukan jumlah derajat bebas yang akan digunakan dalam pemilihan *Orthogonal Array*.

7) Mengidentifikasi faktor yang mungkin berinteraksi.

Apabila pengaruh dari suatu faktor tergantung dari level faktor lain, dikatakan terjadi suatu interaksi.

8) Menggambar *linear graph* yang diperlukan untuk faktor kontrol dan interaksi.

Penggambaran *linear graph* ini untuk menentukan penempatan faktor-faktor serta interaksi yang mungkin digunakan pada kolom-kolom dalam *Orthogonal Array*. Taguchi telah menetapkan beberapa *linear graph* untuk mempermudah mengatur faktor-faktor dari interaksi ke dalam kolom.

9) Memilih orthogonal array

*Orthogonal Array* adalah matrik dari sejumlah kolom dan baris. Masing-masing kolom mewakili faktor-faktor dari percobaan yang dilakukan. *Orthogonal Array* ini memenuhi asumsi orthogonalitas, yaitu bahwa level dari masing-masing faktor adalah seimbang dan dapat dipisahkan dari pengaruh faktor yang lain dalam eksperimen.

10) Memasukkan faktor dan atau interaksi ke dalam kolom

Taguchi menyediakan dua alat untuk membantu memasukkan faktor dan interaksi ke dalam kolom *array* yaitu *linear graph* dan *triangular tables*.

11) Melakukan percobaan

Dalam eksperimen ini sejumlah percobaan (*trial*) disusun untuk meminimasi kesempatan terjadinya kesalahan dalam menyusun level yang tepat untuk percobaan. Prinsip randomisasi juga harus diperhatikan dalam masalah ini.

12) Analisis hasil eksperimen

Dalam menganalisa hasil eksperimen dari Taguchi ini juga menggunakan metode ANOVA, yaitu perhitungan jumlah kuadrat total, jumlah kuadrat terhadap rata-rata, jumlah kuadrat faktor, dan jumlah kuadrat *error*.

a) *Pooling Factor*

Suatu metode yang dianjurkan apabila faktor yang diamati ternyata tidak signifikan secara statistik setelah melalui uji signifikansi.

b) Persen kontribusi

Bagian dari total variasi yang diamati pada eksperimen dari masing-masing faktor yang signifikan pada metode Taguchi dinyatakan dalam persen kontribusi. Persen kontribusi menandakan kekuatan relatif dari suatu faktor / interaksi untuk mereduksi variasi. Jika level faktor dan interaksi dikendalikan dengan cermat, maka total variasi akan berkurang sejumlah yang diindikasikan pada persen kontribusi.

c) *Rasio Signal to Noise (S/N Ratio)*

Taguchi memperkenalkan pendekatan S/N untuk meneliti pengaruh faktor *noise* terhadap variasi yang timbul. Terdapat beberapa jenis rasio S/N tergantung pada karakteristik kualitas yang diinginkan, yaitu :

- (1) *Larger the Better* (LTB) yaitu karakteristik kualitas dalam pengukurannya bahwa semakin tinggi nilainya, maka kualitasnya akan lebih baik
- (2) *Nominal the Better* (NTB), biasanya ditetapkan suatu nilai nominal tertentu, dan semakin mendekati nilai nominal tersebut, kualitas semakin baik.
- (3) *Smaller the Better* (STB), meliputi pengukuran dimana akan semakin kecil nilainya, maka kualitasnya akan lebih baik.

13) Pemilihan level faktor untuk kondisi optimal.

Apabila percobaan terdiri dari banyak faktor, dan tiap-tiap faktor terdiri dari beberapa level, maka untuk menentukan kombinasi level yang optimal adalah membandingkan nilai perbedaan rata-rata eksperimen dari level yang ada.

14) Perkiraan rata-rata proses pada kondisi optimal

Setelah mendapatkan kondisi yang optimal dari eksperimen dengan *Orthogonal Array*, maka dapat diperkirakan rata-rata proses untuk prediksi pada kondisi yang optimal. Hal ini di dapat dengan menjumlahkan pengaruh

dari ranking faktor yang lebih tinggi. Pengaruh dari faktor yang signifikan adalah pengaruhnya pada rata-rata percobaan.

## **2.9 Uji Persyaratan Analisis Data**

### **2.9.1 Uji normalitas**

Data klasifikasi kontinu, data kuantitatif yang termasuk dalam pengukuran data skala interval atau ratio, untuk dapat dilakukan uji statistik parametrik dipersyaratkan berdistribusi normal. Pembuktian data berdistribusi normal tersebut perlu dilakukan uji normalitas terhadap data. Uji normalitas berguna untuk membuktikan data dari sampel yang dimiliki berasal dari populasi berdistribusi normal atau data populasi yang dimiliki berdistribusi normal. Banyak cara yang dapat dilakukan untuk membuktikan suatu data berdistribusi normal atau tidak.

Metode klasik dalam pengujian normalitas suatu data tidak begitu rumit. Berdasarkan pengalaman empiris beberapa pakar statistik, data yang banyaknya lebih dari 30 angka ( $n > 30$ ), maka sudah dapat diasumsikan berdistribusi normal. Biasa dikatakan sebagai sampel besar. Namun untuk memberikan kepastian, data yang dimiliki berdistribusi normal atau tidak, sebaiknya digunakan uji statistik normalitas. Karena belum tentu data yang lebih dari 30 bisa dipastikan berdistribusi normal, sebaliknya data yang banyaknya kurang dari 30 belum tentu tidak berdistribusi normal, untuk itu perlu pembuktian normalitas menggunakan uji statistik normalitas. Dalam penelitian ini uji normalitas yang digunakan adalah Kolmogorov-Smirnov.

Langkah-langkah Pengujian Kolmogorov-Smirnov:

- a. Menetapkan hipotesis

$H_0$  : data berdistribusi normal

$H_1$  : data tidak berdistribusi normal

- b. Menghitung statistik uji

Tentukan  $F(X)$  dari tabel distribusi Normal dan  $S(X)$  diperoleh dari frekwensi kumulatif masing-masing  $X_i$  dibagi dengan jumlah data.

Kemudian tentukan nilai  $T_{hitung} = |F(X) - S(X)|$  terbesar.

- c. Menetapkan alpha

$$\alpha = 0,05$$

- d. Menentukan daerah penolakan

$W_{1-\alpha}$  didapatkan dari tabel Kolmogorov-Smirnov sesuai dengan jumlah data  $n$

- e. Membuat kesimpulan

Membandingkan antara hasil perhitungan  $T_{hitung}$  dengan  $W_{1-\alpha}$ .

Jika  $T_{hitung} < W_{1-\alpha}$  maka  $H_0$  diterima, dalam hal lain  $H_0$  ditolak.

- f. Membuat interpretasi dari kesimpulan

Jika  $H_0$  diterima, maka data berdistribusi normal

Jika  $H_0$  ditolak, maka data tidak berdistribusi normal

Signifikansi metode Kolmogorov-Smirnov menggunakan tabel pembandingan Kolmogorov-Smirnov seperti ditunjukkan pada tabel 2.13.



Tabel 2.13 Tabel pembandingan Kolmogorov Smirnov

NO	$X_i$	$Z = \frac{X_i - \bar{X}}{SD}$	$F_T$	$F_S$	$ F_T - F_S $
1					
2					
3					
4					
5					
dst					

Keterangan :

$X_i$  = Angka pada data

$Z$  = Transformasi dari angka ke notasi pada distribusi normal

$F_T$  = Probabilitas kumulatif normal

$F_S$  = Probabilitas kumulatif empiris

$F_T$  = kumulatif proporsi luasan kurva normal berdasarkan notasi  $Z_i$ , dihitung dari luasan kurva mulai dari ujung kiri kurva sampai dengan titik  $Z$ .

### 2.9.2 Uji homogenitas

Apabila data tersebut normal selanjutnya di uji homogenitas. Uji homogenitas pada data hasil penelitian ini menggunakan uji *bartlett*, karena  $k \geq 2$ .

Tabel 2.14 Tabel ringkasan perhitungan homogenitas dengan uji Bartlett.

Sampel	Dk	1/dk	$S_i^2$	$\log S_i^2$	$(dk) \log S_i^2$
<b>1</b>	$n_1-1$	$1/n_1-1$	$S_1^2$	$\log S_1^2$	$(n_1-1) \log S_1^2$
<b>2</b>	$n_2 - 1$	$1/n_2 - 1$	$S_2^2$	$\log S_2^2$	$(n_2-1) \log S_2^2$
<b>K</b>	$n_k-1$	$1/n_k - 1$	$S_k^2$	$\log S_k^2$	$(n_k-1) \log S_k^2$
<b>Jumlah</b>	$\sum (n_i-1)$	$\sum (1/n_i-1)$	-	-	$\sum (n_i-1) \log S_i^2$

Perhitungan varians gabungan ( $S^2$ ) dari semua sampel:

$$S^2 = \frac{\sum (n_i - 1) S_i^2}{\sum (n_i - 1)} \dots\dots\dots (30)$$

Untuk menghitung harga satuan B:

$$B = (\log S^2) \cdot \sum (n_i - 1)$$

Untuk menghitung chi kuadrat:

$$\chi^2 = (\ln 10) (B - \sum (n_i - 1) \log S_i^2)$$

Kesimpulan:

Bila didapat  $\chi^2$  hitung  $\leq \chi^2$  tabel dengan  $\chi^2$  tabel  $= \chi^2 (1-\alpha) (k-1)$  maka data homogen. (Sudjana 1992, h. 263).

## 2.10 Analisis of Varian (ANOVA)

Masalah paling kompleks yang sering dihadapi di dalam validitas untuk menentukan kualitas suatu produk atau proses dalam industri atau dalam menentukan kepresisian eksperimen adalah munculnya variasi. Karakteristik jaminan kualitas ataupun tingkat presisi selanjutnya diukur dari variansinya.

ANOVA pertama kali dikenalkan oleh Sir Ronald A. Fisher (1930) yang merupakan teknik statistika untuk merepresentasikan variasi hasil eksperimen Analisis varian adalah teknik yang digunakan untuk memecahkan total variasi eksperimen ke dalam sumber-sumber yang diamati. Total variasi didekomposisi ke dalam komponen-komponen pembentuknya berupa faktor utama dan atau interaksi antar faktor.

Di dalam ANOVA, derajat bebas, jumlah kuadrat, rata-rata kuadrat dan sebagainya dihitung dan diorganisasikan dalam format tabel standar. Pada ANOVA dua arah ini data eksperimen terdiri dari dua faktor atau lebih dan dua level atau lebih. Beberapa formula yang digunakan di dalam ANOVA antara lain :

$SS_T$  = jumlah kuadrat total

$$SS_T = \left[ \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n y_{ij}^2 \right] - CF \dots \dots \dots (31)$$

$SS_A$  = Jumlah kuadrat faktor A

$$SS_A = \left[ \sum_{i=1}^k \left( \frac{A_i^2}{n_A} \right) \right] - CF \dots \dots \dots (32)$$

$SS_B$  = Jumlah kuadrat faktor B

$$SS_B = \left[ \sum_{i=1}^k \left( \frac{B_i^2}{n_B} \right) \right] - CF \dots \dots \dots (33)$$

$SS_{AXB}$  = Jumlah kuadrat interaksi antar faktor

$$SS_{AXB} = \left[ \sum_{i=1}^c \left( \frac{AXB}{n_{AXB}} \right)^2 - CF - SS_A - SS_B \right] \dots \dots \dots (34)$$

$SS_e$  = jumlah kuadrat kesalahan (error)

$$SS_e = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AXB} \dots \dots \dots (35)$$

$MS_A$  = rata-rata jumlah kuadrat faktor A

$$MS_A = SS_A / V_A \dots \dots \dots (36)$$

$MS_B$  = rata-rata jumlah kuadrat faktor B

$$MS_B = SS_B / V_B \dots \dots \dots (37)$$

$MS_{AXB}$  = rata-rata jumlah kuadrat interaksi faktor AXB

$$MS_{AXB} = SS_{AXB} / V_{AXB} \dots \dots \dots (38)$$

$MSe$  = rata-rata jumlah kuadrat kesalahan (error)

$$Mse = SSe/Ve \dots\dots\dots(39)$$

T = jumlah seluruh pengamatan

$$T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n y_{ij} \dots\dots\dots(40)$$

$k_A$  = jumlah level faktor A

$k_B$  = jumlah level faktor B

$\bar{N}$  = Jumlah kuadrat Eksperimen

$N$  =  $k \times n$

$n_{A_i}, n_{B_j}$  = jumlah pengamatan (trial) faktor A dan faktor B

Model persamaan yang mewakili keadaan pengamatan adalah :

$$\bar{Y}_{ikr} = \mu + \alpha_i + \beta_k + \varepsilon_{ikr} \dots\dots\dots(41)$$

dimana :

$i = 1, 2, 3, \dots, m$

$k = 1, 2, 3, \dots, n ; \varepsilon_{ikr} \approx \text{IIDN}(0, \sigma^2)$

Untuk menguji perbedaan pengaruh taraf faktor didasarkan pada hipotesis awal yang menyatakan bahwa efek taraf faktor A adalah sama, sehingga hipotesisnya adalah :

$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 \dots\dots = \alpha_m = 0$

$H_1$  : paling sedikit ada satu  $\alpha_i \neq 0$

Dalam pengujian hipotesis, statistik uji yang digunakan adalah  $F_{\text{hitung}} = MS_A / Mse$  kemudian dibandingkan dengan F tabel :  $F_{\alpha}(V_A, Ve)$ .

Kesimpulan yang diperoleh adalah menolak  $H_0$  apabila  $F_{\text{hitung}} > F_{\alpha}(V_A, Ve)$  dan jika  $F_{\text{hitung}} < F_{\alpha}(V_A, Ve)$ , maka  $H_0$  diterima.

Dengan menggunakan tingkat kepercayaan 95%, maka uji hipotesis dapat ditentukan : P value > 5 %, maka Ho ditolak.

### 2.11. Uji Beda

Uji beda dilakukan untuk mengetahui apakah data hasil konfirmasi berbeda atau sama dengan hasil prediksi. Perumusan hipotesisnya adalah sebagai berikut (Sudjana 1997):

$H_0 = \mu_1 - \mu_2 = 0$  (tidak ada perbedaan)

$H_1 = \mu_1 - \mu_2 > 0$  (ada perbedaan,  $\mu_1 > \mu_2$ )

$H_0 = \mu_1 - \mu_2 < 0$  (ada perbedaan  $\mu_1 < \mu_2$ )

$H_0 = \mu_1 - \mu_2 \neq 0$  ( $\mu_1$  ada perbedaan  $\mu_2$ )

Pada  $N < 30$  (sampel kecil) formula yang dipakai adalah sebagai berikut :

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{n} \sum x_{i1} \dots\dots\dots (42)$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n} \sum x_{i2} \dots\dots\dots (43)$$

$$\bar{x}_2 = \frac{1}{n} \sum x_{i2} \dots\dots\dots (44)$$

$$S_{1^2} = \frac{1}{n_1 - 1} \sum (x_{i1} - \bar{x}_1)^2 \dots\dots\dots (45)$$

$$t_o = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{(n_1 - 1)S_{1^2} + (n_2 - 1)S_{2^2}}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} \dots\dots\dots (46)$$

## 2.12 Alat Uji Analyser

### 2.12.1 Cara menggunakan alat uji gas analyser

Ketika akan menghidupkan kendaraan perlu diadakan pemeriksaan bagian-bagian yang terkait :

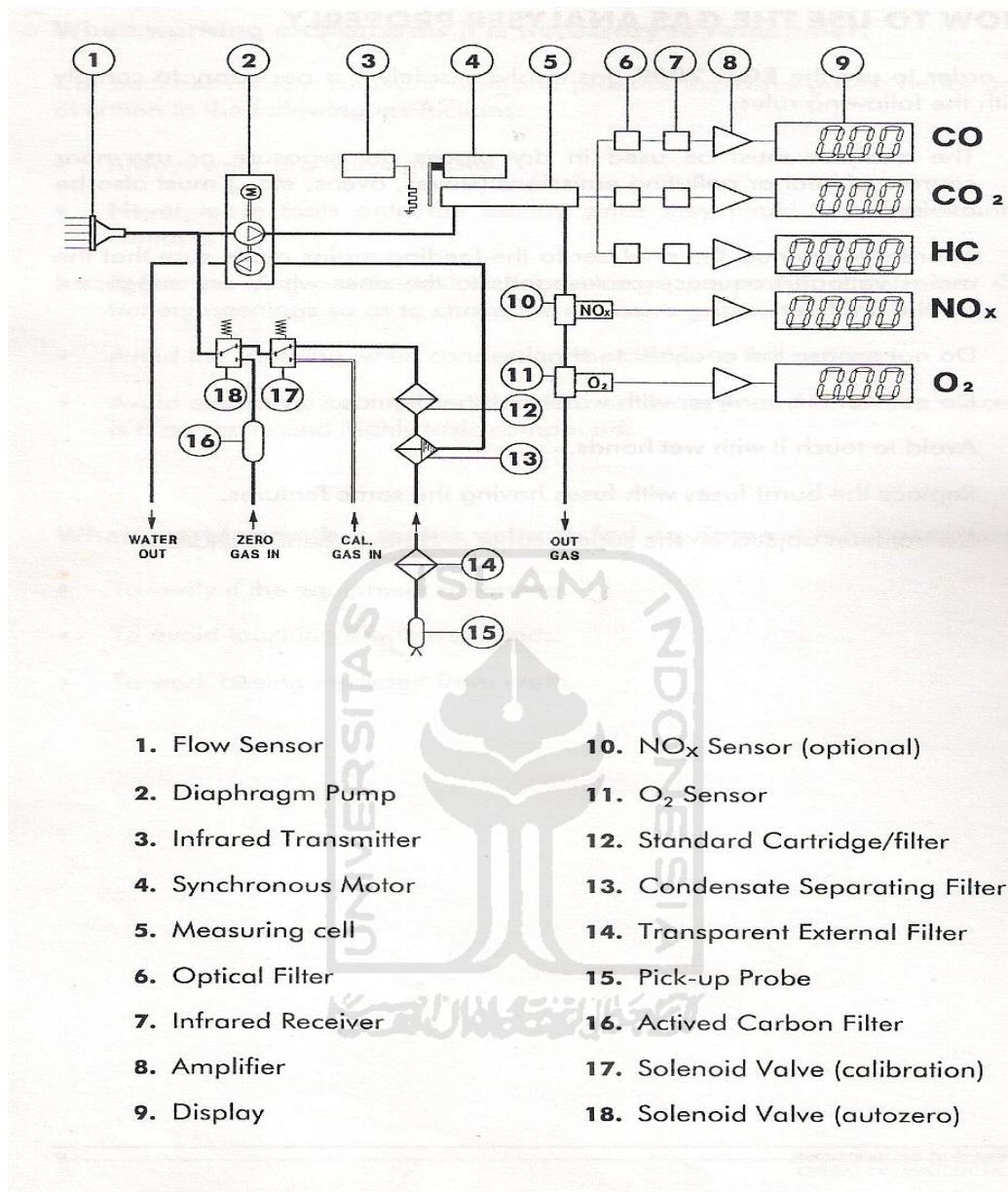
- 1) Memakai pakaian kerja yang nyaman agar keamanan didalam bekerja dapat terjaga
- 2) Sebelum menghidupkan engine periksa dulu bahwa transmisi dalam kondisi neutral; dan gunakan *hand brake* untuk menjaga kendaraan agar tidak bergerak sendiri, karena roda terkunci.
- 3) Gunakan sarung tangan apabila akan bersentuhan dengan bagian kendaraan yang panas seperti, *spark plug*, *exhaust pipe*, radiator.
- 4) Dilarang merokok atau menyalakan api pada saat bekerja dalam kendaraan.
- 5) Periksa sambungan kabel dan pastikan pengamanannya baik/kuat.
- 6) Perlu hati-hati didalam menangani benda yang berputar, terutama tangan jangan menggunakan perlengkapan seperti jam tangan, cincin dan lain sebagainya, rambut harus rapi terlindungi jangan terurai.
- 7) Perlu diperhatikan fan pendingin, apabila engine sudah panas tiba-tiba akan berputar, maka jauhkan dari benda lain
- 8) Jangan menambahkan bahan bakar langsung dalam karburator agar *engine* mudah hidup.
- 9) Jangan buka tutup radiator sebelum kondisi temperature engine dingin
- 10) Jangan memegang kabel bertegangan tinggi/*plug cord* pada saat *engine* hidup.

- 11) Pakailah kacamata kerja untuk menghindari dari hal yang tidak kita inginkan yang dimungkinkan bias mempengaruhi mata.
- 12) Perlu diperhatikan muffler sangat panas maka hindarilah kedekatan bahan bakar atau barang-barang yang mudah terbakar.

#### 2.12.2 Cara menggunakan gas analyser secara benar/tepat

Didalam menggunakan **EGA 2000** gas analysis secara aman, maka perlu mengikuti pada petunjuk pemakaian

- 1) Analyser digunakan pada tempat yang kering, dipersiapkan penggunaannya dekat dengan sumber panas dan pencemaran udara.
- 2) Hubungkan analyser dengan saluran utama dan pastikan arus listrik masuk dalam analyser dan dapat dilihat pada data.
- 3) Jaga analyser jangan sampai mendapat hentakan/getaran.
- 4) Analyser jangan dibasahi dengan air ataupun cairan lainnya.
- 5) Apabila tangan basah jangan memegang analyser.
- 6) Penggantian fuse dengan yang sama karakteristiknya
- 7) Kabel gas analyser jangan ditarik kencang atau jangan ditebuk



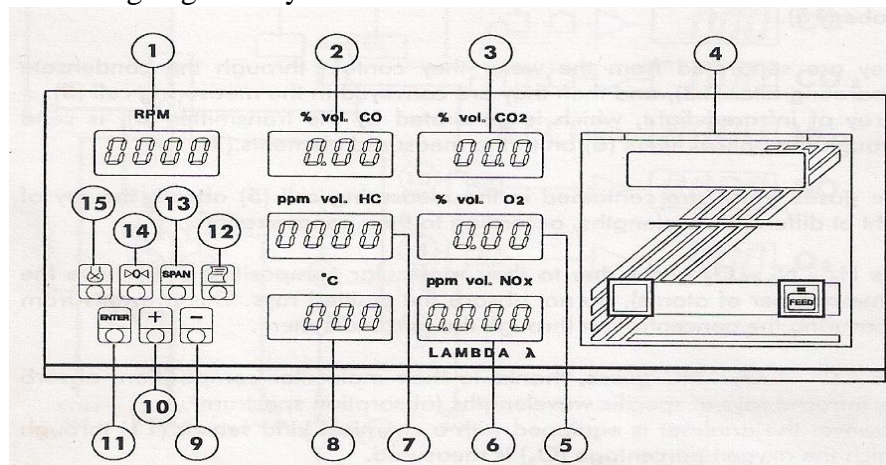
Gambar 2.39 Nama-nama analyser EGA 2000  
(Anonim, 2000)



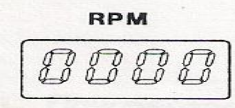
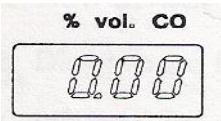

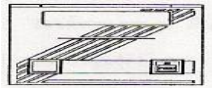

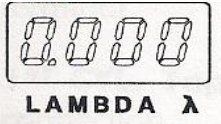

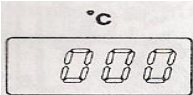
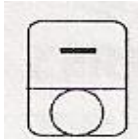
### 2.12.3 Yang penting didalam menggunakan gas analyser

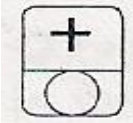

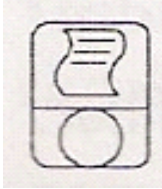

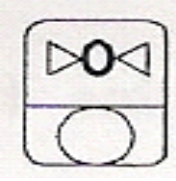
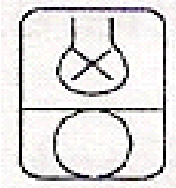
- 1) Analyser mendeteksi kadar CO, CO<sub>2</sub>, HC dan O<sub>2</sub>.
- 2) Gas analyser yang diperiksa dengan alat melalui saluran gas buang pada kendaraan.
- 3) Kadar CO, CO<sub>2</sub>, HC dan O<sub>2</sub> dipisahkan dari air, kemudian melalui filter pemisah (13) kemudian dibawa ruang penyaluran (5) lampu sinar infra red yang dibangkitkan oleh transmister dikembalikan melalui filter optic (6) dalam elemen pengukuran (7)
- 4) Kadar gas buang diukur dalam ruang pengukuran (5), sinar lampu diserap pada perbedaan gelombang, menurut konsentrasinya.
- 5) Gas kadar H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> mempunyai nomor komperensi mekul yang sama, tidak dapat diserap oleh peredam sinar. Bagaimanapun alat analyser dengan sumber yang lembut (11), bagaimanapun bagian oksigen yang lewat akan terserap.

### 2.12.4 Keterangan gas analyser

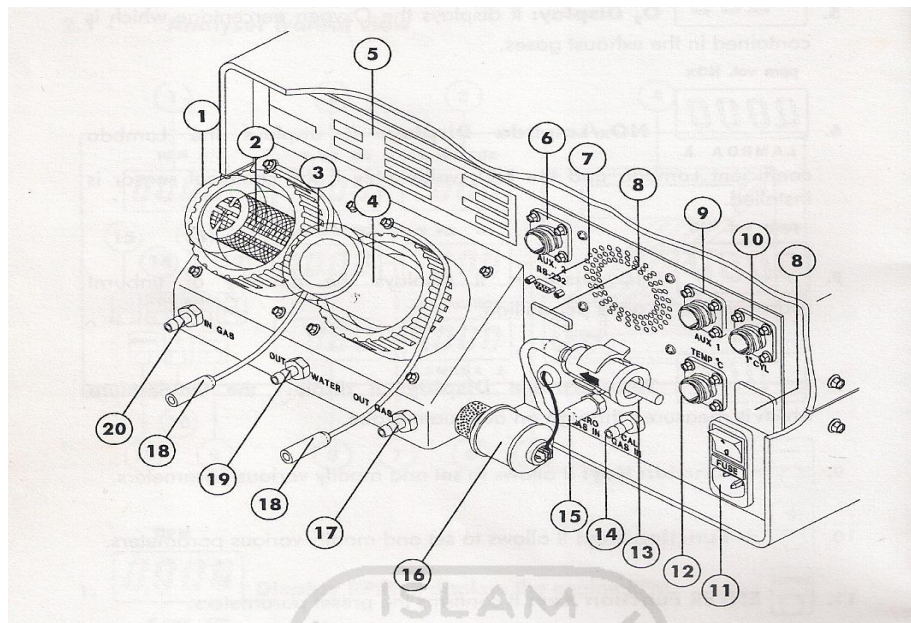


Gambar 2.40 Tampilan analyser EGA 2000  
(Anonim, 2000)

1.  **Display RPM** : Penunjukan RPM engine
2.  **Co Display** : Penunjukan muatan carbon monoksida yang terkandung didalam gas buang.
3.  **CO<sub>2</sub> Display** : Penunjukan besarnya carbon dioksida yang terkandung didalam gas buang.
4.  **Printer** : Mencetak hasil dari test pada kertas data.
5.  **O<sub>2</sub> Display** : Menunjukkan muatan oxygen yang terkandung didalam gas buang
6.  **NOx/Lambda Display** : Penunjukan coefficient lamda dan nilai Kimiawi NOx masuk dalam sensor
7.  **HC Display** : Penunjukan jumlah hydrocarbon yang tidak terbakar tiap juta.
8.  **Temperatur Display** : Penunjukan temperatur yang lewat melalui alat pemeriksa.
9.  **- Function Key** : Untuk penyetelan variasi parameter

10.  + Function Key : Untuk penyetelan variasi parameter
11.  Enter function Key : Pengesahan parameter
12.  Print Function Key : Mulai mencetak data yang terdeteksi
13.  Span Function Key : Mulai mendata pelaksanaan
14.  Zero Setting Function Key : Ini perekam untuk circuit pembersih pump yang sangat teliti
15.  Pump Function Key : Untuk melihat kedua pump mulai bekerja

Gambar 2.41 Keterangan fungsi tampilan analyser EGA 2000  
(Anonim, 2000)



Gambar 2.42 Tampilan belakang analyser EGA 2000  
(Anonim, 2000)

1. Short Transparent Plug : Untuk memegang filter perintah.
2. Condensate Separating Filter : Untuk memisahkan keadaan kadar dari gas buang.
3. Long Transparent Plug : Untuk memegang filter utama.
4. Standart cartridge/filter : Untuk memisahkan kotoran dari gas buang.
5. Certification plate : Untuk melihat data technical yang ada.
6. AUX .2 Tap : Untuk menghubungkan analyser menurut cara bagian diagnosa.
7. RS232 9 pin Series Tap : Digunakan menghubungkan langsung pada Semua Unit.
8. Cap : Tutup karet
9. AUX. 1 Serial Tap : Dipakai menghubungkan dengan terminal microcosm 56

10. 1<sup>st</sup> CYL. Tap : Tutup pengikat atau penyambung penghubung pelindung sekering (2A) dan tempat penyambungan cable.
11. Mains supply filter : Penekan utama dengan 2 tombol (1/0).
12. Temp °C Tap : Tutup papan pin untuk menghubungkan pendeteksi panas.
13. Actived Carbon Filter : Pemisahan udara yang dihisap untuk masuk dalam saluran pembersih dari hydrocarbons dan kotoran-kotoran.
14. Cal Gas in Connection : Dipergunakan untuk menghubungkan contoh bptol gas.
15. Zero gas in Connection : Penghubung saluran udara masuk pada saluran pembersih.
16. Oxygen Sensor : Mengukur jumlah oksigen yang terkandung dalam gas.
17. Out Gas Connection : Sambungan keluar dari gas analyser.
18. Tightness Test Plugs : Pendeteksian udara keluar dan masuk secara ketat.
19. Out Water Connection : Keluaran analisa gas.
20. In Gas Connection : Penghubung kedalam dari gas buang.

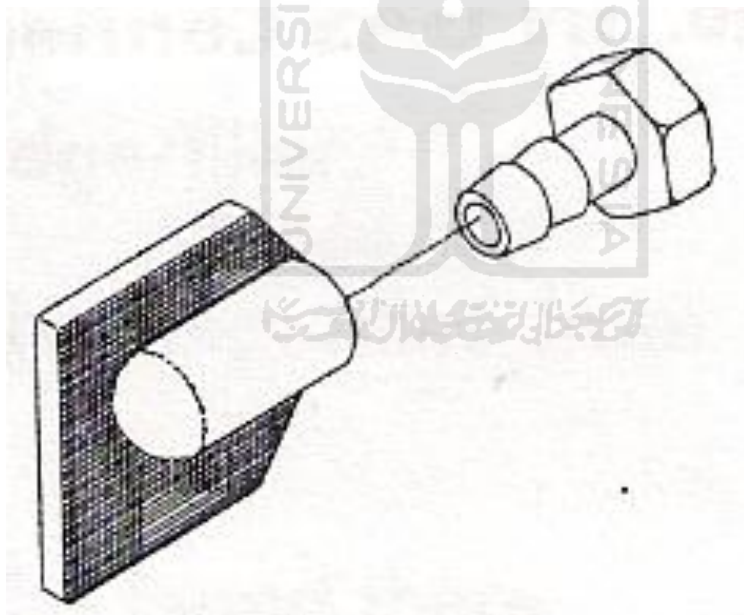
### 2.12.5 Bagaimana menyambungkan gas analyser

#### a. Keluarkan Analyser dari tempatnya.

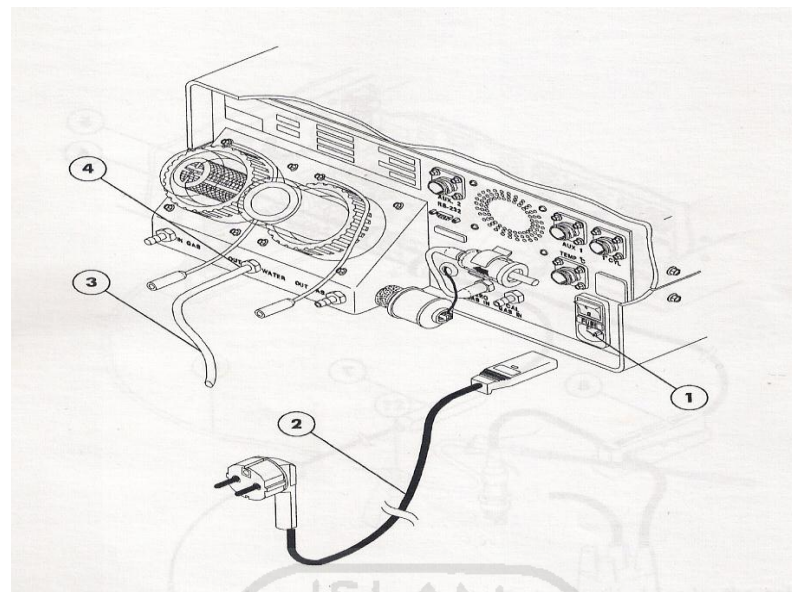
Tempat analyser disimpan agar nantinya bisa dipakai lagi apabila diperlukan untuk membawa analyser.

Perhatikan

Pada saat melepas plugs dengan cara disisipkan dalam sambungan dalam. Itu perlu untuk menjaga plugs, sebab didalam tempat pada tempat diperlukan untuk kemajuan laboratory (pendataan, perbaikan, pembongkaran), hal itu akan menjamin kenyamanan penjagaan secara keseluruhan didalam rangkaian pneumatic

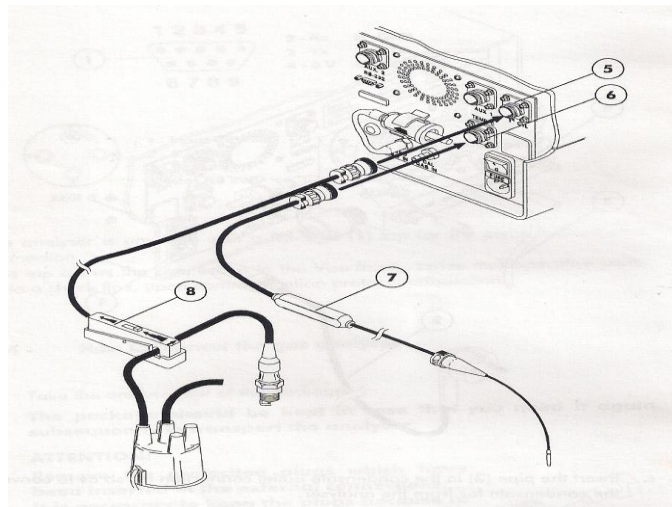


Gambar 2.43 Cara menyambung gas analyser EGA 2000  
(Anonim, 2000)



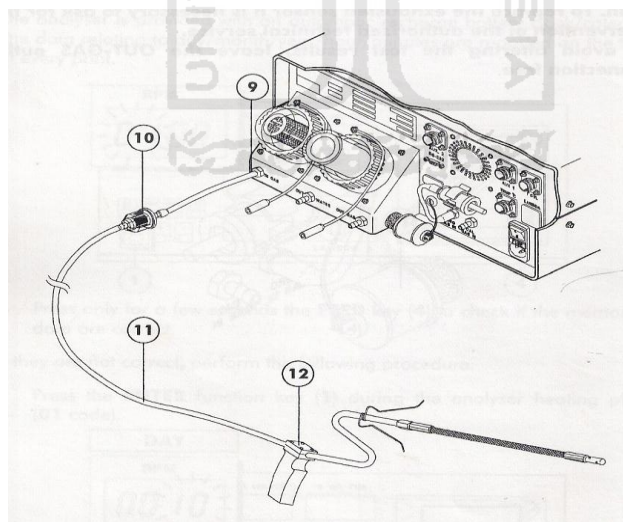
Gambar 2.44 Cara menyambung gas analyser EGA 2000 dengan Arus Listrik (Anonim, 2000)

- b. Apabila analyser milik sendiri letakkan pada tempat khusus.
- c. Pasangkan pipa (3) dalam sambungan keluar (4) sesuaikan kondisi dari analyser .
- d. Sambungkan kabel utama (2) kepada 220V (1) untuk pemasangan sambungan utama, pastikan tekanan tepat sama.
- e. Voltage/Frekuensi mengutamakan yang tertulis pada plate dimana terletak pada sebaliknya.



Gambar 2.45 Cara pemasangan clamp induksi pada plug cord gas analyser EGA 2000 (Anonim, 2000)

- f. Pasangkan clamp induksi (8) pada kabel busi no 7 (5).
- g. Sambungkan temperatur probe (7) untuk temperatur °C (6).



Gambar 2.46 Cara pemasangan gas probe gas analyser EGA 2000 (Anonim, 2000)

- h. Sambungkan *bottle* gas apabila *bottle* dilengkapi ukuran dimana tahu tekanannya.



i. Setel sistim alat pengambil dengan menurut petunjuk.

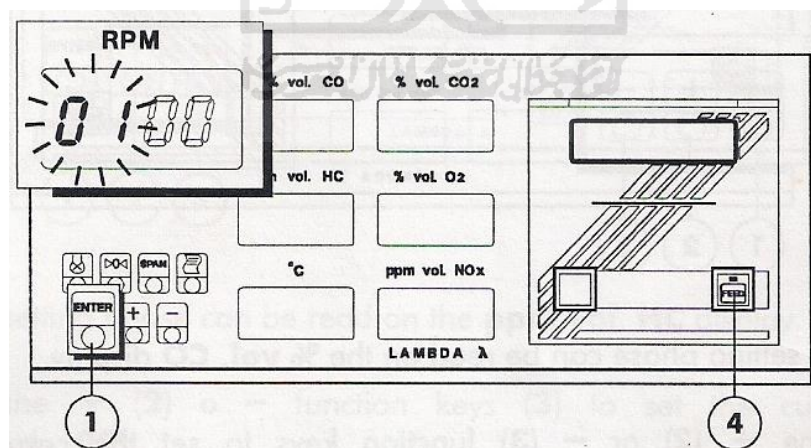
- 1) Masukkan contoh gas probe (12) pada 6m pipa (11)
- 2) Sambungkan pipa luar filter (10) dimana adalah perlengkapan itu pipa 80cm.
- 3) Pasangkan rangkaian tersebut dalam pemasangan sambungan gas (9).

Sensor oxygen (13) adalah salah satu kimiawi yang penting dan itu dapat diganti tidak lama agar didapat secara otomatis penggantian sensor gas buang adalah perlu dilakukan pada dealer service.

### 2.13 Persiapan Didalam Penggunaan Gas Analyser EGA 2000

#### Penyetelan Jam/Penanggalan

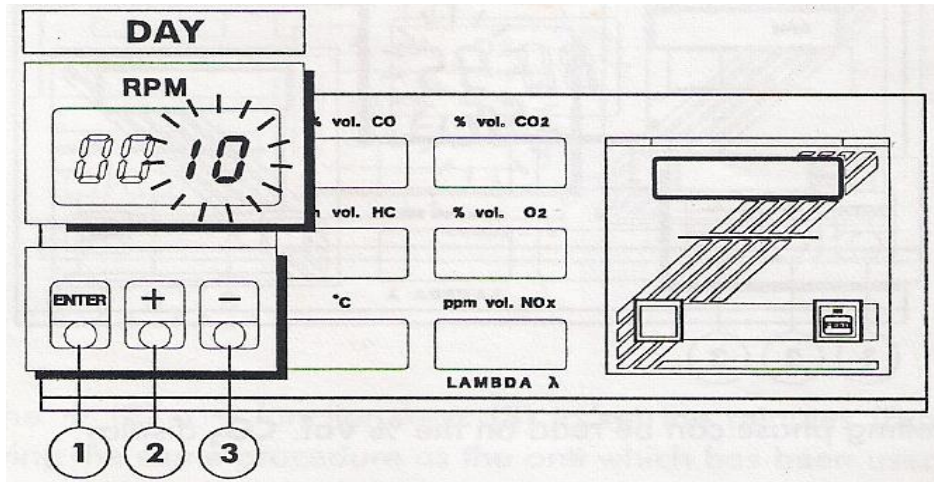
Analyser dipakai dengan outomatic pengisian jam battery/penanggalan data hari/bulan/tahun/jam/menit tertera dalam kertas pada saat dicetak.



Gambar 2.47 Persiapan pemakaian gas analyser EGA 2000 (Anonim, 2000)

- 1) Tekan sebentar feed key (4) untuk melihat apabila data benar.
- 2) Apabila tidak benar, laksanakan menurut urutan kerjanya.

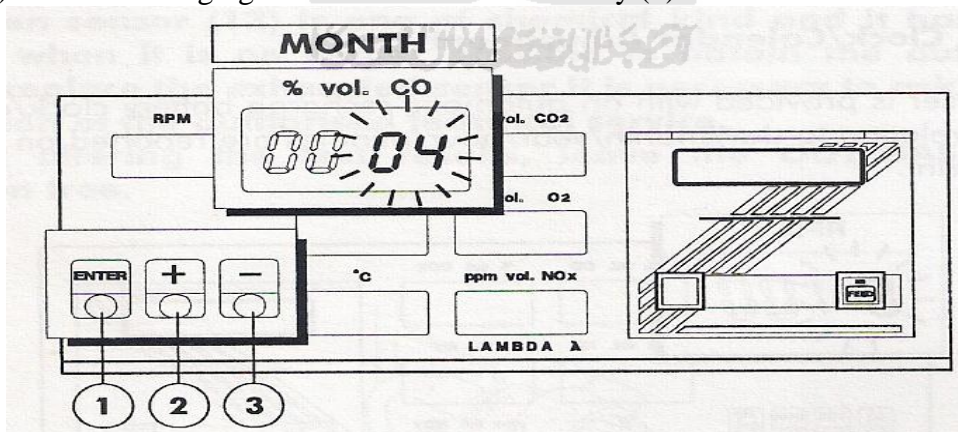
- 3) Tekan enter pada key (1) saat analyser masa pemanasan (01)



Gambar 2.48 Pemeriksaan kontrol RPM gas analyser EGA 2000 (Anonim, 2000)

Setelah mulai urutan penyetelan jam/tanggal, layer RPM menunjukkan hari, yang dapat disetel, atau dilengkapi, dengan scrolling hitungan + (2) atau - (3) pada keys.

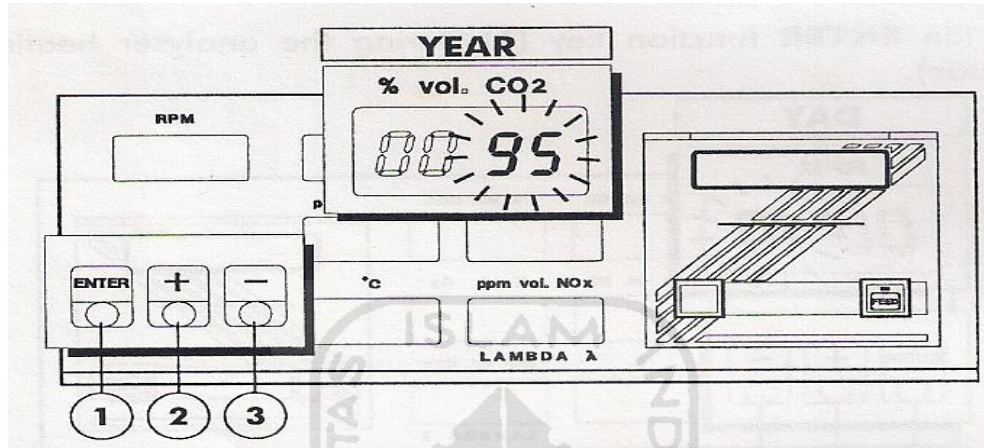
- 4) Untuk mengingat nomor/hari tekan enter key (1)



Gambar 2.49 Setting untuk membaca penampilan Volume CO Gas Analyser EGA 2000 (Anonim, 2000)

Penyetelan bulan dapat dibaca pada % vol tampilan CO

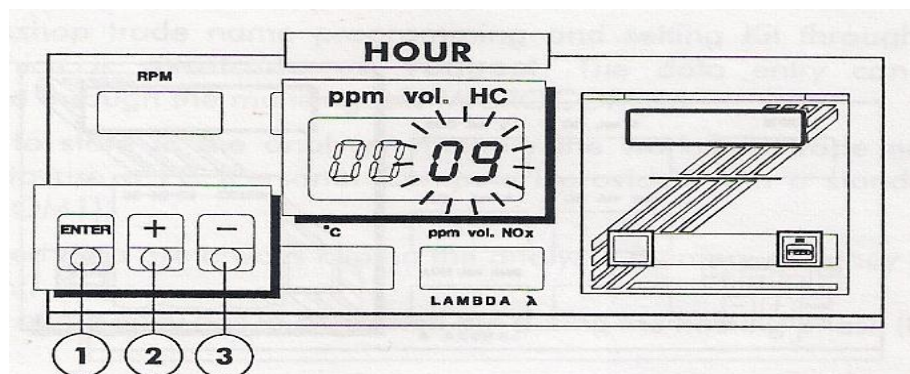
- 1) Gunakan + (2) atau - (3) pada keys untuk memeriksa bulan (contoh: April = 04), mengikuti cara yang sama untuk penyetelan hari.
- 2) Untuk mengingat nomor/bulan tekan enter key (1)



Gambar 2.50 Setting untuk membaca penampilan volume CO<sub>2</sub> gas analyser EGA 2000 (Anonim, 2000)

Penyetelan tahun dapat dilihat pada tampilan % vol CO<sub>2</sub>

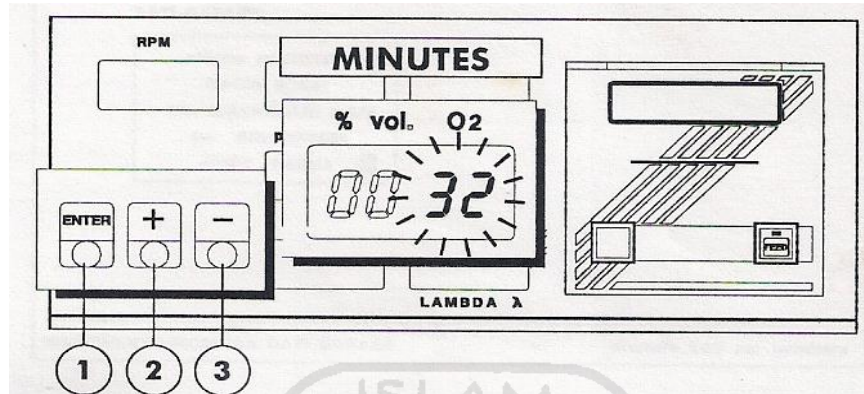
- 1) Gunakan + (2) o - (3) pada key untuk menyetel tahun (contoh:95) mengikuti cara yang sama dimana akan menyetel hari.
- 2) Untuk mengingat nomor/tahun tekan enter key (1)



Gambar 2.51 Setting untuk membaca volume hc gas analyser EGA 2000 (Anonim, 2000)

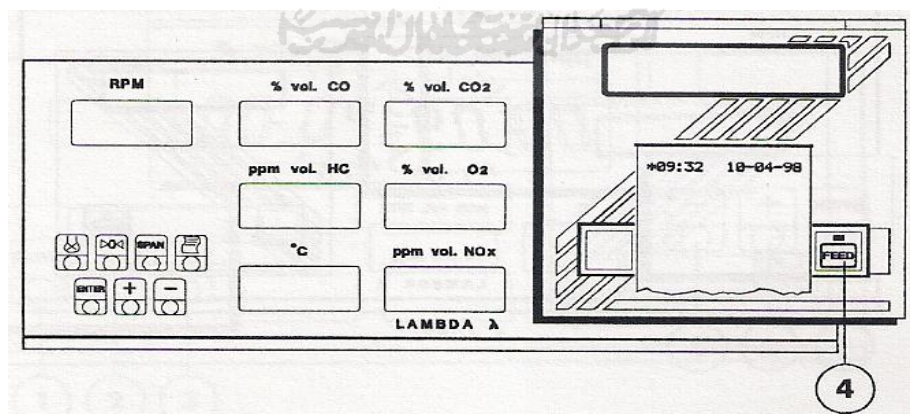
Penyetelan jam dapat dibaca pada tampilan ppm vol. HC

- 1) Gunakan + (2) o – pada key (3) untuk penyetelan jam (contoh: 09).
- 2) Untuk mengingat nomor/jam tekan enter key (1)



Gambar 2.52 Setting Untuk Membaca Volume O<sub>2</sub> Gas Analyser EGA 2000 (Anonim, 2000)

- 3) Gunakan + (2) o – Key (3) untuk menyetel menit (contoh:32) mengikuti petunjuk yang sama untuk menyetel hari.
- 4) Untuk mengingat nomor/menit kembali pada 01 tekan enter key (1)



Gambar 2.53 Setting Untuk Mencetak Hasil dari Gas Analyser EGA 2000 (Anonim, 2000)

untuk melihat hasil pemeriksaan penyetelan tercatat keluar pada cetakan kertas data (4).

## 2.14 Penelitian yang Relevan

Menurut Arisma (2010), meneliti Pengaruh Penambahan Reheater pada Knalpot terhadap Emisi Gas Buang CO Sepeda Motor Yamaha Jupiter Z tahun 2004. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada pengaruh signifikan penambahan reheater pada knalpot terhadap emisi gas buang CO sepeda motor Yamaha Jupiter Z Tahun 2004, persentase emisi gas buang CO menurun. Hal ini ditunjukkan pada hasil pengukuran knalpot yang ditambah reheater dengan rerata emisi gas buang CO 1,602 % volume, 0,860 % volume dan 0,479 % volume sedangkan dari knalpot standar dengan rerata emisi gas buang CO 3,307 % volume, dan pada hasil uji F untuk anva satu jalan di mana Fobservasi = 759,26 > Ftabel = 5,29 pada taraf signifikan 1%, (2) Semakin banyak jumlah gelombang pipa dalam reheater pada knalpot, emisi gas buang CO semakin rendah.

Menurut Setiyawan (2007), dalam penelitian Pengaruh *Ignition Timing* dan *Compression Ratio* Terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Motor Bensin Berbahan Bakar Campuran Etanol 85% dan Premium 15% (E-85) menyatakan bahwa, pada *ignition timing* 30° BTDC campuran udara dan bahan bakar ( $\lambda$ ) cukup mendekati campuran stokiometri yaitu 1.15, sebaliknya meskipun pada *compression ratio* tertinggi (10,2:1) memberikan rata-rata daya terbesar ternyata campuran udara dan bahan bakar ( $\lambda$ ) terlalu kaya yaitu rata-rata sebesar 0,81. Hal ini yang menyebabkan tingginya emisi gas buang yang dihasilkan oleh motor bensin pada *compression ratio* 10,2:1.

Basuki dan Musabbikhah (2006), meneliti Upaya Minimasi Gas Buang CO, NO<sub>x</sub>, HC dan CO<sub>2</sub> untuk Menciptakan Lingkungan yang Bersih dan Sehat.

Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi kadar gas buang yaitu adalah jarak tempuh pemakaian busi, jarak tempuh pemakaian platina dan kondensor, penyetelan serta interaksi antar kedua faktor. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini berupa kombinasi optimal dengan menggunakan prosedur MRSN adalah A1B1C2, artinya untuk meminimasi kadar gas buang agar lingkungan bersih dan sehat, maka pengguna transportasi dapat memvariasikan parameter jarak tempuh pemakaian busi 10.000 km, jarak tempuh pemakaian platina dan kondensor 10.000 km, dan penyetelan upper standart disamping perawatan secara intensif dari peralatan transportasi yang dimiliki.

Chairuddin (2006), dalam penelitian Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Konsentrasi Carbon Monoksida di dalam Darah Para Montir Bengkel Otomotif, menyatakan bahwa kadar CO rata-rata di tempat kerja para montir sebesar 11,65 ppm dengan SD 1J2, yang masih di bawah nilai ambang batas (20,00 ppm). Ratan-rata kadar CO di dalam darah para montir sebanyak 7,43% COHb dengan SD 2,87, yang sudah mendekati nilai ambang batas (10% COHb). Sebanyak 35% montir mempunyai kadar CO dalam darah melebihi nilai ambang batas. Keadaan ini didukung oleh keluhan para montir yaitu pusing, sakit kepala, mudah lelah dan mudah marah. Analisis regresi menunjukkan bahwa tingkat konsentrasi CO dipengaruhi faktor-faktor: umur, lama dinas, kadar CO di tempat kerja, dan banyaknya rokok yang dikonsumsi.

Noviyanti (2010), dalam penelitian yang berjudul Analisis Pengaruh Kadar Gas Karbon Monoksida (CO) terhadap Kualitas Udara dalam Gedung Auditorium Universitas Sumatera Utara Medan. Variabel pengukuran kualitas

udara terhadap kadar gas CO adalah kecepatan, suhu, dan kelembaban udara. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan bahwa kadar gas CO tertinggi 10 ppm terdapat pada titik keenam dan kadar gas CO terendah 5 ppm terdapat pada titik kedua, kecepatan alir udara tertinggi 2,8 ms<sup>-1</sup> terdapat pada titik kelima dan kecepatan alir udara terendah 0.6 ms<sup>-1</sup> terdapat pada titik pertama, suhu udara tertinggi 31.2°C terdapat pada titik keenam dan suhu udara terendah 27.4°C terdapat pada titik pertama, dan kelembaban udara tertinggi 67.5% terdapat pada titik pertama dan kelembaban udara terendah 61.3% terdapat pada titik keenam.

Menurut Kusuma (2002), dalam penelitian Alat Penurun Emisi Gas Buang Pada Motor, Mobil, Motor Tempel dan Mesin Pembakaran Tak Bergerak menyatakan bahwa pengujian kendaraan bermotor dengan kondisi penarikan gas secara berlebihan dan penambahan pelumas pada knalpot kendaraan menunjukkan hasil yang bagus terhadap pengurangan gas buang CO, yang mana emisi gas buang dari *re-heater* masih berada di bawah nilai 2%. Ini berarti, gas buang CO yang timbul di ujung knalpot kendaraan (bukan dari hasil proses pembakaran bahan bakar, tetapi akibat reaksi pelumas dengan gas buang kendaraan), masih bisa dikurangi dengan jalan mengalirkan gas panas ke dalam *re-heater*. Sekalipun temperatur gas buang yang mengalir ke dalam *re-heater* sangat rendah, namun *re-heater* dapat bekerja dengan baik sehingga masih mampu memutuskan rantai ikatan CO, meskipun tidak sempurna sebelumnya. *Re-heater* gas buang CO telah bekerja dengan baik sehingga mampu mengurangi emisi gas CO kendaraan

bermotor hingga batas yang paling maksimal, yakni di bawah angka 2%. Harga ini jauh di bawah ambang batas 4%.





## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Obyek dan Subyek Penelitian

##### 3.1.1 Obyek Penelitian

Obyek penelitian ini berupa gas buang Carbon Monoksida (CO) yang dihasilkan dari *Engine* Toyota Soluna dengan cara memvariasikan keempat faktor utama yaitu *Ignition Timing*, *Spark Plug Gap*, *RPM (Revolution per Minute)*, dan *Air Intake* yang masing-masing menggunakan tiga level setiap faktor yang dihubungkan pada Engine Gas Analyser (EGA) 2000 sebagai alat uji gas buang. Pengambilan dan pengujian kadar CO dilakukan dalam Laboratorium Otomotif di Akademi Teknologi “Warga” Surakarta

##### 3.1.2 Subyek Penelitian

Subyek penelitian ini adalah *Engine* Soluna tahun pembuatan 2004 yang telah diperiksa dahulu kompresinya agar layak digunakan dalam eksperimen dengan hasil pemeriksaan sebagai berikut :

- 1) Cylinder: 1. 13,5 kg/m<sup>2</sup>
- 2) Cylinder: 2. 13,5 kg/m<sup>2</sup>
- 3) Cylinder: 3. 13,5 kg/m<sup>2</sup>
- 4) Cylinder: 4. 13 kg/m<sup>2</sup>

Berdasarkan data kompresi ini, *engine* soluna layak untuk eksperimen.

### 3.2 Ruang Lingkup Penelitian

Batas-batas yang akan diteliti dalam penelitian ini meliputi:

1. Bahan bakar yang digunakan premium yang standar dipakai pada pasaran diluar dengan nilai oktan 88.
2. Didalam penelitian ini yang diukur kadar CO, yang merupakan kandungan yang ada di dalam gas buang *gasoline Engine*.
3. Penelitian ini dilakukan pada *Engine* hidup stasioner dengan putaran *engine*, 900 RPM, 1200 RPM, 1500 RPM
4. Penelitian ini dilakukan dalam laboratorium dengan suhu udara antara 27°C s/d 30°C.
5. Alat uji CO yang dipakai adalah Engine Gas Analyser (EGA) 2000.

### 3.3 Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah gas buang yang dihasilkan dari engine soluna berupa gas buang Hidro Carbon (HC), Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>), Carbon Dioksida (CO<sub>2</sub>), Carbon Monoksida (CO) dan Lambda ( $\chi$ ).

Sampel penelitian ini adalah gas buang Carbon Monoksida (CO) yang dihasilkan dari engine soluna tersebut. Penggunaan sampel Carbon Monoksida ini mengingat gas buang Carbon Monoksida (CO) merupakan fungsi dari rasio kebutuhan udara dan bahan bakar pada proses pembakaran di dalam ruang bakar mesin, termasuk gas buang yang paling berbahaya dalam kehidupan sehari-hari karena beracun dan dapat menimbulkan berbagai penyakit.

### 3.4 Variabel dan Definisi Operasional

#### 3.4.1 Variabel

Variabel bebas (*independent variable*) adalah variable yang menjadi sebab berubahnya atau timbulnya variabel terikat/variable respon (Sugiyono 2009, h 39). Dalam penelitian ini variable bebas yang digunakan antara lain : *Ignition Timing, Spark Plug Gap, RPM (Revolution per Minute)*, dan *Air Intake*.

Variabel terikat (*dependent variable*) adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas (Sugiyono 2009, h 39). Variabel terikat merupakan himpunan sejumlah gejala yang memiliki sejumlah aspek atau unsur didalamnya, yang berfungsi menerima atau menyesuaikan diri dengan kondisi lain. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kadar CO pada gas buang engine Soluna tahun 2004.

Variabel pada penelitian ini terdiri dari 4 faktor utama dan 3 level, dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 Faktor dan Level

<b>Faktor Kendali</b>	<b>Level 1</b>	<b>Level 2</b>	<b>Level 3</b>
A. Ignition timing	5° BTDC	7,5° BTDC	10° BTDC
B. <i>Spark plug gap</i>	0,70 mm	0,9 mm	1,1 mm
C. RPM	900 RPM	1200 RPM	1500 RPM
D. <i>Air Intake</i>	Pakai kecil/busa	Pakai standart	Tidak pakai

### 3.4.2 Definisi operasional variabel.

#### 3.4.2.1 Gas Buang CO

Gas buang Carbon Monoksida adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa yang terdiri dari atom karbon yang secara kovalen berikatan dengan suatu atom oksigen. Dalam ikatan ini terdapat dua ikatan kovalen dan satu ikatan kovalen koordinasi antara atom karbon dan oksigen. Carbon Monoksida terbentuk apabila terdapat kekurangan oksigen dalam proses pembakaran, memiliki sifat beracun, mudah terbakar, menghasilkan api warna biru.

Asap kendaraan merupakan sumber utama bagi karbon monooksida di berbagai perkotaan. Faktor CO merupakan fungsi dari rasion kebutuhan udara dan bahan bakar dalam proses pembakaran di dalam ruang bakar *engine*. Pencampuran yang baik antara udara dan bahan bakar terutama yang terjadi pada *engine* yang menggunakan turbocharger merupakan salah satu strategi untuk meminimkan emisi CO.

Carbon Monoksida yang meningkat di berbagai perkotaan dapat mengakibatkan turunnya berat janin dan meningkatkan jumlah kematian bayi serta kerusakan otak. Karena itu strategi meminimasi kadar carbon monoksida adalah tergantung pada pengendalian emisi seperti penggunaan bahan katalis yang mengubah bahan carbon monoksida menjadi carbon dioksida dan penggunaan bahan bakar yang rendah polusi bagi kendaraan bermotor.

Banyaknya CO dari gas buang itu tergantung dari perbandingan bahan bakar dengan udara hanya pada pembakaran yang sempurna dari bahan bakarnya ,

maka nilai CO nya dapat 0 (nol). hal ini dapat dicapai pada perbandingan secara teoritis.14,8:1

Perbandingan sebesar ini selama motor berjalan jarang dipertahankan ,karena kualitas campuran selalu berubah dengan frekwensi putaran *engine* dan pembebanan motor (Suharno,1991)

#### 3.4.2.2 *Ignition timing*

*Ignition timing* adalah waktu terjadinya loncatan bunga api pada busi saat akhir langkah kompresi, sehingga terjadi pembakaran di ruang bakar. Waktu pengapian dinyatakan dengan sudut yang merupakan perbandingan posisi piston saat terjadi loncatan bunga api pada busi dengan posisi paling atas yang dicapai piston ( TMA ).

*Ignition timing* berperan didalam menentukan kadar CO yang dihasilkan dari pembakaran. ketepatan saat pembakaran sangat diperlukan,karena berfungsi akan kesempurnaan didalam proses pembakaran bahan bakar saat *engine* berputar *Ignition timing* dapat berubah sejalan dengan perubahan RPM *engine*, pada saat RPM *engine* naik (lebih besar) maka *Ignition timing* akan mengikuti lebih cepat demikian pula apabila RPM *engine* turun, maka *Ignition timing* juga akan mengikuti turun (lebih kecil).

Pemilihan faktor *Ignition timing* didalam eksperimen untuk meminimasi kadar CO yang terkandung dalam gas buang karena ketepatan *Ignition timing* sangat berpengaruh terhadap *power* yang dihasilkan oleh *engine*. Level yang dipakai antara 5° BTDC, 7,5°BTDC, 10°BTDC, hal ini diambil kerana apabila

*Ignition timing* di *adjust* < dari 5° BTDC maka proses pembakaran atau maksimum ekspansi akan terjadi jauh dari ATDC, hal ini membuat tenaga dari *engine* akan merosot karena *combustion chamber* volumenya menjadi besar.

Jika *Ignition timing* yang dipakai > dari 10° BTDC, *engine* akan mengalami knocking didalam pembakarannya, hal ini terjadi karena maksimum ekspansi terjadi tepat TDC bahkan bisa terjadi BTDC, maka tenaga yang dihasilkan dari *engine* akan turun bahkan bisa menyebabkan kerusakan pada *engine*.

#### 3.4.2.3 Spark plug gap

*Spark plug gap* adalah jarak katup antara ujung batang katup dengan ujung baut penyetel katup agar tetap sesuai standar sehingga diperoleh unjuk kerja mesin yang optimal. Katup/klep/valve merupakan komponen berbentuk seperti payung atau cendawan yang dipasang pada kepala silinder. Ketepatan *Gap* dari *Spark Plug* akan langsung dirasakan pada saat pembakaran terjadi, karena *Gap Spark Plug* membentuk loncatan bunga api yang berfungsi untuk pembakaran dalam ruang bakar.

Pemilihan faktor *spark plug gap* di dalam penelitian ini karena besar kecilnya *spark plug gap* berdampak langsung jarak loncatan bunga api yang ditimbulkan oleh spark plug dan tentu akan mempengaruhi besar kecilnya bunga api, maka akan berpengaruh terhadap kadar CO didalam gas buang.

*Spark plug gap* yang dipakai 0,7 mm, 0,9 mm dan 1,1 mm. Pemilihan level ini mengingat jika gap dari spark plug < dari 0,7 mm maka jarak terlalu

dekat dan bunga api yang terjadi akan kecil maka proses pembakaran pasti tidak akan sempurna. Akan tetapi jikalau  $gap >$  dari 1,1 mm maka jarak terlalu jauh sehingga loncatan bunga api akan semakin lemah. Hal ini akan sangat berpengaruh pada proses pembakaran (pembakaran tidak sempurna) sudah barang tentu akan mempunyai dampak pada kadar CO di dalam gas buang.

#### 3.4.2.4 RPM (*Revolutions per minute*)

RPM (*Revolutions Per Minute*) adalah jumlah putaran/rotasi suatu poros dalam 1 menit yang berpengaruh langsung terhadap *Horse Power* (HP). RPM putaran *engine* turut serta didalam menentukan kadar gas buang dari kendaraan selama kendaraan berjalan RPM *engine* selalu berubah naik (lebih cepat) atau turun (lebih lambat), pada saat terjadinya perubahan putaran *engine* sedikit banyak akan mempengaruhi proses kompresi dari *engine*.

Putaran stasioner *engine* dipilih sebagai faktor didalam penelitian ini, mengingat putaran *engine* berdampak langsung terhadap kemampuan intake dan *engine*, semakin besar putarannya kemampuan hisap semakin kuat maka jumlah campuran antara bahan bakar dengan udara yang masuk dalam ruang bakar semakin banyak knock (bagi *engine* tanpa EVI), bagi *engine* dengan EVI. Demikian pula udara murni yang masuk juga sangat ditentukan oleh kecepatan putaran *engine*, keduanya akan berpengaruh terhadap proses pemampatan di dalam ruang bakar dan tentunya akan berpengaruh pula terhadap pembakaran di dalam ruang bakar RPM yang dipilih 900 RPM, 1200 RPM dan 1500RPM.

### 3.4.2.5 Air cleaner

*Air Cleaner* adalah penyaring udara yang masuk dalam ruang bakar pada *engine*, udara luar kebanyakan mengandung kotoran seperti debu dan kotoran-kotoran halus lainnya, sehingga baik buruknya *Air Cleaner* berdampak langsung pada jumlah udara yang masuk dalam ruang bakar pada *engine*.

*Air Intake* (sistem pemasukan udara) diambil sebagai faktor didalam melakukan penelitian ini, karena jumlah udara yang masuk kedalam ruang bakar sangat berpengaruh terhadap proses pembakaran didalam ruang *engine*. Oleh sebab itu kelancaran saluran udara masuk harus diperhatikan, didalam eksperimen dipakai level: *air cleaner* pakai kecil, *air cleaner* pakai standart dan tanpa *air cleaner*.

*Air cleaner* yang baik dapat mengurangi hambatan udara masuk, sebab udara akan melewati saringan untuk dibersihkan dari unsur kotoran (debu) sehingga kotoran tidak ikut masuk didalam ruang bakar.

### 3.5 Instrumen Penelitian (Alat dan Alat Ukur yang Dipakai)

1. Gas Analyser : Alat untuk mendeteksi data CO yang dihasilkan dari gas buang.adalah gas analyser CE EGA 2000.
2. Timing Light : berfungsi untuk melihat titik api (saat spark plug meloncatkan bunga api), yaitu saat terjadinya pembakaran didalam ruang bakar pada *engine* (Fukuda 351)
3. Dwill Tacho Tester : alat ini untuk mengukur putaran *engine* baik saat



putaran stasioner maupun pada putaran tinggi  
(ANZEN B.345)

4. Kompresion Tester : alat ini untuk mengukur kekuatan kompresi setiap cylinder dari *engine* yang akan kita pakai untuk eksperimen sehingga bisa tahu akan kondisi *engine* yang akan dipakai dalam eksperimen
5. Soket Wrech : alat ini berfungsi untuk melepas dan memasang belt atau rut *egine* secara aman (Socket Wrench Fukung).
6. Off Set Wrech : alat ini berfungsi untuk melepas dan memasang belt atau rut *engine* (Off Set Wrech Fukung).
7. Open and Wrech : alat ini berfungsi untuk melepas dan memasang belt atau rut *engine*.
8. Driver +/- : alat ini berfungsi untuk melepas dan memasang scruw belt atau cleam (visel).
9. Thiknes : alat ini berfungsi untuk mengetahui/mengukur besarnya gap/jarak.
10. Player : alat ini berfungsi untuk memegang / menjepit pipa atau *cabl*.
11. Spark Plug Wrech : alat ini berfungsi untuk melepas dan memasang *spark plug* secara aman.

### 3.6. Pengumpulan Data

Pengumpulan data primer dan sekunder dilakukan dengan beberapa cara :

#### 3.6.1 Data Primer

##### a. Observasi

Pada observasi ini dilakukan pengumpulan data-data berkaitan dengan kondisi dan permasalahan yang disebabkan oleh tingginya kadar gas buang Carbon Monoksida yang dihasilkan dari peralatan transportasi yang berdampak buruk pada kesehatan lingkungan dan masyarakat. Dalam hal ini, Peneliti melakukan pengamatan langsung berkaitan dengan kepadatan lalu lintas jalan raya dan kondisi lingkungan dan masyarakat sekitar yang terkena dampak tingginya kadar gas buang.

##### b. Eksperimen

Pada percobaan ini dilakukan dengan memvariasikan variabel bebas yaitu *Ignition Timing*, *Spark Plug Gap*, *RPM (Revolution per Minute)*, dan *Air Intake*. *Array orthogonal* dan setting parameter pengujian yang digunakan dalam eksperimen kadar gas buang ditunjukkan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Setting parameter pengujian gas buang

Yang diuji			
1	A1 B1 C1 D1	<i>Ignition timing</i>	5° BTDC
		<i>Spark plug gap</i>	0,7 mm
		RPM	900 RPM
		<i>Intake</i>	Pakai kecil/busa

2	A1 B2 C2 D2	<i>Ignition timing</i>	5° BTDC
		<i>Spark plug gap</i>	0,9 mm
		RPM	1200 RPM
		<i>Intake</i>	Pakai standart
3	A1 B3 C3 D3	<i>Ignition timing</i>	5° BTDC
		<i>Spark plug gap</i>	1,1 mm
		RPM	1500 RPM
		<i>Intake</i>	Tidak pakai
4	A2 B1 C2 D3	<i>Ignition timing</i>	7,5° BTDC
		<i>Spark plug gap</i>	0,7 mm
		RPM	1200 RPM
		<i>Intake</i>	Tidak pakai
5	A2 B2 C3 D1	<i>Ignition timing</i>	7,5° BTDC
		<i>Spark plug gap</i>	0,9 mm
		RPM	1500 RPM
		<i>Intake</i>	Pakai kecil
6	A2 B3 C1 D2	<i>Ignition timing</i>	7,5° BTDC
		<i>Spark plug gap</i>	1,1 mm
		RPM	900 RPM
		<i>Intake</i>	Pakai standart

7	A3 B1 C3 D2	<i>Ignition timing</i>	7,5° BTDC
		<i>Spark plug gap</i>	0,7 mm
		RPM	1500 RPM
		<i>Intake</i>	Pakai standart
8	A3 B2 C1 D3	<i>Ignition timing</i>	10° BTDC
		<i>Spark plug gap</i>	0,9 mm
		RPM	900 RPM
		<i>Intake</i>	Tidak pakai
9	A3 B3 C2 D1	<i>Ignition timing</i>	10° BTDC
		<i>Spark plug gap</i>	1,1 mm
		RPM	1200 RPM
		<i>Intake</i>	Pakai kecil

### 3.6.2. Data sekunder

Pada data sekunder dilakukan dengan dua cara yaitu :

#### a. Kajian Pustaka

Dilakukan dengan mengumpulkan teori pendukung yang berkaitan dengan obyek penelitian berasal dari jurnal ilmiah, internet, artikel, text book.

#### b. Interview

Metode ini dilakukan tanya jawab kepada pakar yang mengerti tentang cara penanggulangan gas buang yang dihasilkan dari kendaraan.

### 3.7. Desain Eksperimen

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan kombinasi taraf faktor utama yang dapat menghasilkan kadar Carbon Monoksida yang optimal. Sebagai langkah awalnya adalah dengan melakukan pemilihan tabel OA yang sesuai. Pemilihan tabel OA untuk percobaan utama didasarkan pada jumlah derajat bebas total. Jumlah derajat bebas total diperoleh dari penjumlahan derajat bebas faktor utama antara tiga faktor utama yang signifikan yaitu sebanyak 8 (delapan). Dengan demikian tabel OA tiga taraf yang diperlukan dalam penelitian ini menggunakan  $1/9$  FFE (*Fractional Factorial Experiment*) sehingga dipilih tabel OAL<sub>9</sub>. Dalam percobaan ini faktor utama yang signifikan adalah *Ignition Timing* (A); *Spark Plug Gap* (B); RPM (C) dan *Air Intake* (D). Penentuan letak faktor-faktor yang digunakan pada percobaan utama yaitu *Ignition Timing* (A); *Spark Plug Gap* (B); RPM (C) dan *Air Intake* (D) pada kolom OA tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) Faktor Utama A diletakan pada kolom 1.
- 2) Faktor Utama B diletakan pada kolom 2.
- 3) Faktor Utama C diletakan pada kolom 3.
- 4) Faktor Utama D diletakan pada kolom 4.

Tabel 3.3 Desain eksperimen 4 faktor, 3 level

		A1			A2			A3		
		B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3
C1	D1									
	D2									
	D3									
C2	D1									
	D2									
	D3									
C3	D1									
	D2									
	D3									

(Sujana Desain dan analisis eksperimen 1991)

### 3.8 Prosedur Penelitian

#### 3.8.1 Tahap Persiapan

Dalam tahap ini dilakukan persiapan bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian. Bahan yang digunakan meliputi : bensin, oli. Sedangkan peralatan meliputi : 1 set *Engine Gas Analyser* (EGA 2000), busi, air cleaner (air intake), Timing Light, Dwell Tacho Tester, Compression Tester, Engine Toyota Soluna, 1 set tang dan kunci, dan alat tulis.

### 3.8.2 Tahap Eksperimen

Dalam tahap ini, eksperimen yang dilakukan dengan cara memvariasikan *Ignition Timing* (A); *Spark Plug Gap* (B); RPM (C) dan *Air Intake* (D) masing-masing 3 level faktor yang mengacu pada Array Orthogonal L9 ( $3^4$ ) seperti ditunjukkan pada table 3.4.

Tabel 3.4 Array Orthogonal L9 ( $3^4$ )

Trial	Faktor			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

### 3.8.3 Prosedur Pengumpulan Data

Pengumpulan data primer dilakukan dengan eksperimen pada pengujian kadar CO menggunakan *Engine Gas Analyser 2000* dengan memvariasikan keempat faktor utama menggunakan matriks L9( $3^4$ ). Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

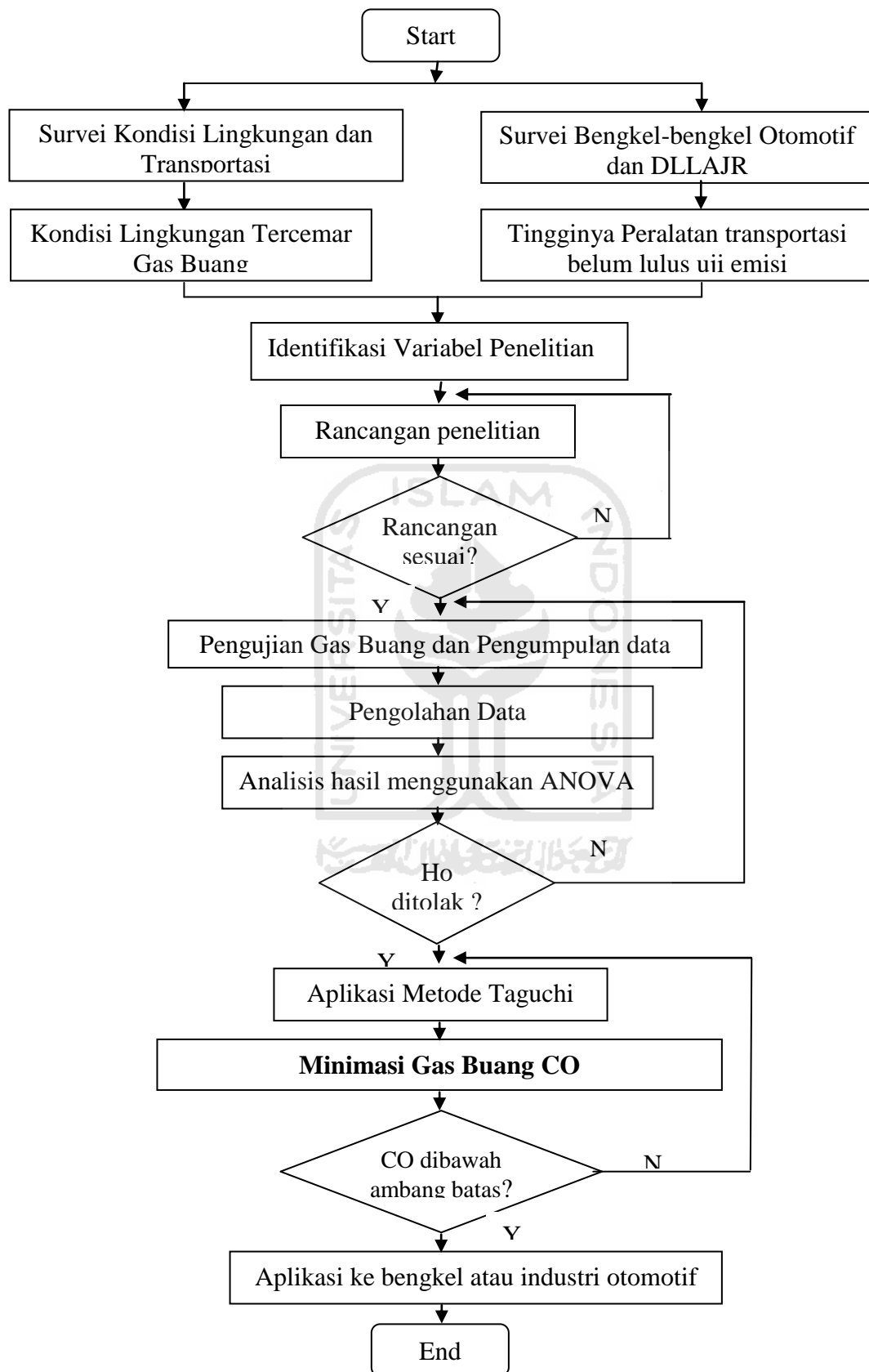
1. Pastikan mesin uji gas analyzer dalam keadaan on dengan menekan 0/1.

2. Setelah 2 menit tampilkan RPM dengan code 01 yang menunjukkan setup mesin selama 15 menit dan untuk mengakhirinya code 21.
3. Pada saat code 21 aktif dan kedap-kedip tampilkan RPM screen sehingga akan menunjukkan nilai CO, CO<sub>2</sub>.
4. Eksekusi dengan zero setting analyzer otomatis akan menunjukkan nilai kalibrasi O<sub>2</sub> (20,8% : 21%).
5. Tampilkan kembali RPM screen dengan code 03, EGA siap digunakan.
6. Sebelum penyetelan dilakukan, atur temperatur 5°C dan 40°C, pastikan tidak ada sisa gas yang tersisa pada pipa tersebut.
7. Catat dan ukur data pada saat temperatur mesin lebih dari 60°C.
8. Pada pengukuran NOx dan ppm tekan code 01 yang menunjukkan gasoline dan code 77 yang menunjukkan tampilan RPM. Pada Gasoline tekan 4 kemudian tekan 0 sehingga nilai ppm, Vol NOx akan tampil.
9. Catat data-data gas buang yang terdapat dalam display layer.
10. Bandingkan gas CO hasil penelitian dengan nilai ambang batas.

#### 3.8.4 Alur penelitian

Penelitian ini diawali dengan melakukan survey kondisi lingkungan yang tercemar gas buang akibat padatnya lalu lintas jalan raya yang menggunakan peralatan transportasi. Survey juga dilakukan pada bengkel-bengkel otomotif sebagai tempat servis peralatan transportasi, dan DLLAJR yang menangani uji emisi. Alur penelitian kadar gas buang CO disajikan pada gambar 3.1.





Gambar 3.1 Alur penelitian

### 3.8.5 Tahap Analisis

#### 3.8.5.1 Analisis Variasi (ANOVA)

Secara lebih detail jelas data sampel percobaan untuk 3 level ditunjukkan pada tabel 3.5 berikut ini.

Tabel 3.5 Skema percobaan 4 faktor,3 level dengan n replikasi pada pengujian gas buang

<b>Faktor B</b> ( <i>Spark Plug Gap</i> )	<b>Faktor D</b> ( <i>Air Cleaner</i> )	<b>Faktor A</b> ( <i>Ignition Timing</i> )			<b>db</b>	<b>JK</b>	<b>RJK</b>
		5°BTDC	7.5°BTDC	10°BTDC			
		<b>Faktor C</b> ( <i>RPM</i> )					
		<b>900</b>	<b>1200</b>	<b>1500</b>			
0.7mm	Pakai Kecil (Busa)	$Y_{111}$	$Y_{121}$	...	$Y_{1b1}$		
		$Y_{11n}$	$Y_{12n}$	...	$Y_{1bn}$		
Jumlah		$J_{110}$	$J_{120}$	...	$J_{1b0}$	$J_{100}$	
Mean		$\bar{Y}_{110}$	$\bar{Y}_{120}$		$\bar{Y}_{1b0}$		$\bar{Y}_{100}$
0.9 mm	Pakai Standar	$Y_{211}$	$Y_{221}$	...	$Y_{2b1}$		
		$Y_{21n}$	$Y_{22n}$	...	$Y_{2bn}$		
Jumlah		$J_{210}$	$J_{220}$	...	$J_{2b0}$	$J_{200}$	
Mean		$\bar{Y}_{210}$	$\bar{Y}_{220}$		$\bar{Y}_{2b0}$		$\bar{Y}_{200}$
1.1 mm	Tidak Pakai	$Y_{311}$	$Y_{321}$	...	$Y_{3b1}$		
		$Y_{31n}$	$Y_{32n}$	...	$Y_{3bn}$		
Jumlah		$J_{310}$	$J_{320}$	...	$J_{3b0}$	$J_{300}$	
Mean		$\bar{Y}_{310}$	$\bar{Y}_{320}$		$\bar{Y}_{3b0}$		$\bar{Y}_{300}$
<b>Total</b>		$T_{010}$	$T_{020}$	...	$T_{0b0}$		$T_{000}$
<b>Total Rata-rata</b>		$\bar{Y}_{10}$	$\bar{Y}_{20}$		$Y_{0b0}$		$\bar{Y}_0$

Berdasarkan hasil perhitungan tabel 3.5, maka dibuat tabel Analysis of Variance ditunjukkan pada tabel 3.6.

Tabel 3.6 Daftar Anova Eksperimen kadar gas buang

Sumber Variasi	dk	JK	RJK	F Hit	P Value
Rata-rata	1	$R_y$	R		
Faktor A	(a-1)	$V_A$	A	$SS_A/V_A$	$SS_A/SS_T$
Faktor B	(b-1)	$V_B$	B	$SS_B/V_B$	$SS_B/SS_T$
Faktor C	(c-1)	$V_C$	C	$SS_C/V_C$	$SS_C/SS_T$
Faktor D	(d-1)	$V_D$	D	$SS_D/V_D$	$SS_D/SS_T$
Error	abce(r-1)	$V_e$	SSe	MSe	T
Jumlah	$SS_T$	$V_T$			100%

(Douglas Montgomery, 1997)

Daerah kritis pengujian optimasi kadar gas buang ditentukan oleh :

1. F tab (a-1), ab(n-1) untuk hipotesis  $H_{01}$
2. F tab (b-1), ab(n-1) untuk hipotesis  $H_{02}$

3. F tab (c-1), ab(n-1) untuk hipotesis H<sub>03</sub>
4. F tab (d-1), ab(n-1) untuk hipotesis H<sub>04</sub>

Perhitungan F test dalam uji hipotesis adalah

$$F_o = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

Kesimpulan dari hasil penelitian berdasarkan Anova adalah jika memenuhi kriteria berikut : **Tolak hipotesis nol, bila F tab < F test dari tabel Anova**

3.8.5.2 Menentukan nilai optimal level tiap faktor pada masing-masing variabel respon

Kombinasi faktor yang memberikan hasil optimum pada eksperimen diperoleh dengan menghitung rata-rata rasio S/N tiap-tiap level pada masing-masing faktor. Nilai taksiran optimum yang yang dicapai dalam eksperimen adalah :  $Y_{ijkl} = Y + (A_i - Y) + (B - Y) + (C - Y) + (D - Y)$  dimana A,B,C,D adalah faktor-faktor yang signifikan dan i,j,k,l adalah level faktor yang menghasilkan respon optimum.

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN

#### 4.1 Hasil

Percobaan utama untuk meminimasi kadar gas buang CO (Carbon Monoksida) ini dilakukan berdasarkan keempat faktor yaitu *Ignition Timing* (A); *Spark Plug Gap* (B); RPM (C) dan *Air Intake* (D). Banyaknya level yang dipakai dalam penelitian ini sebanyak 3 level. Oleh karena itu rancangan percobaan yang dipilih dalam penelitian ini menggunakan  $L9(3^4)$ .

Data hasil pengujian gas buang Carbon Monoksida yang banyaknya 0.03% sudah merupakan racun yang berbahaya untuk udara yang diisap oleh manusia. Banyaknya CO dari gas buang itu tergantung dari perbandingan bahan bakar dan udara, hanya pada pembakaran yang sempurna dari bahan bakarnya maka nilai CO-nya dapat bernilai 0 (nol). Pencampuran yang baik antara udara dan bahan bakar terutama yang terjadi pada mesin-mesin yang menggunakan turbocharge merupakan salah satu strategi untuk meminimalkan emisi CO.

Besarnya gas buang CO yang dihasilkan dari eksperimen dengan memvariasikan *Ignition Timing* (A); *Spark Plug Gap* (B); RPM (C) dan *Air Intake* (D) masing-masing 3 level faktor pada engine analyser 2000 ditunjukkan seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1 Data pengujian kadar CO

Eks	FAKTOR								Kadar CO(%)		
	A	B	C	D	e	e	e	e	n1	n2	n3
1	1	1	1	1	e	e	e	e	0.39	0.41	0.41
2	1	2	2	2	e	e	e	e	0.52	0.51	0.48
3	1	3	3	3	e	e	e	e	0.37	0.38	0.37
4	2	1	2	3	e	e	e	e	0.50	0.51	0.51
5	2	2	3	1	e	e	e	e	0.39	0.40	0.37
6	2	3	1	2	e	e	e	e	0.46	0.46	0.46
7	3	1	3	2	e	e	e	e	0.37	0.38	0.38
8	3	2	1	3	e	e	e	e	0.45	0.49	0.50
9	3	3	2	1	e	e	e	e	0.4	0.43	0.44

## 4.2. Pengolahan Hasil

### 4.2.1 Uji distribusi normal

Dalam penelitian ini, untuk pengujian normalitas data digunakan uji Kolmogorof Smirnov.

Hipotesa :

Ho : Residual berdistribusi normal

H1 : Residual tidak berdistribusi normal

Tabel 4.2 Hasil uji normalitas menggunakan Kolmogorof Smirnov

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test		KadarCO
N		27
Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	.4348
	Std. Deviation	.05316
Most Extreme Differences	Absolute	.161
	Positive	.161
	Negative	-.112
Kolmogorov-Smirnov Z		.837
Asymp. Sig. (2-tailed)		.485

a. Test distribution is Normal.

Berdasarkan Uji Kolmogorov Smirnov Z diperoleh nilai sebesar 0.837, sedangkan besarnya  $\chi^2_{0.05,8} = 15,5$  (tabel  $\chi^2$ ). Grafik yang dihasilkan juga berdistribusi normal (lampiran 15).

Kesimpulan : karena  $\chi^2_{hitung} < \chi^2_{0.05,8}$ , maka  $H_0$  diterima, artinya data berdistribusi normal

#### 4.2.2 Uji homogenitas

Dalam penelitian ini, untuk pengujian homogenitas data digunakan uji Barlett.

Hipotesa :

$$H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_k^2$$

$H_1$  : paling sedikit satu tanda sama dengan tidak berlaku

Berdasarkan hasil perhitungan pada lampiran 14 diperoleh  $\chi^2 = 0.034288 \approx 0.0343$ , sedangkan nilai  $\chi^2_{0.05,8} = 15,5$  (tabel distribusi  $\chi^2$ ).

Kesimpulan : karena  $\chi^2 < \chi^2_{0.05,8}$ , maka  $H_0$  diterima, artinya data homogen

#### 4.2.3 Anova respon gas buang carbon monoksida (CO)

Untuk mengetahui faktor utama yang berpengaruh secara signifikan terhadap variabel respon Gas Buang Carbon Monoksida (CO), maka digunakan analisis varians (ANOVA). Data yang digunakan dalam analisis ANOVA telah ditransformasi ke dalam rasio S/N (*signal to noise*). Berikut ini hasil Hasil perhitungan ANOVA kadar Carbon Monoksida pada gas buang seperti ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 ANOVA Gas Buang Carbon Monoksida (CO)

Factor	DOF	Sum of Squares.	Variance	F-Ratio	Pure Sum	Percent
	(f)	(S)	(V)	(F)	(S')	P(%)
A: <i>Ignition Timing</i>	2	0.471	0.235	0.000	0.471	5.141%
B: <i>Spark Plug Gap</i>	2	0.878	0.439	0.000	0.878	9.588%
C: RPM	2	6.308	3.154	0.000	6.308	68.822%
D: <i>Air Intake</i>	2	1.507	0.753	0.000	1.507	16.446%
Error	0			0.000	0.471	Other/error
Total	8	9.166				100.00%

Analisis Variansi dilakukan untuk menguji pengaruh faktor *Ignition timing* (A); *Spark Plug Gap* (B); RPM ( C ) dan *Air intake* (D) terhadap kadar CO pada gas buang.

Pengujian hipotesis dan kesimpulan yang dapat diambil dari ANOVA pada tabel 4.3 adalah sebagai berikut:



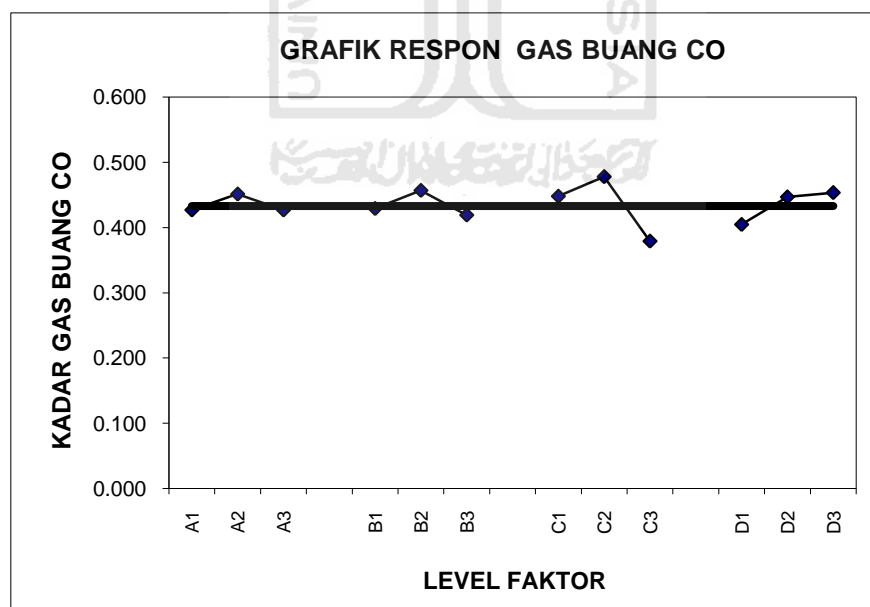
- i. Ho:  $\alpha_1 = \dots = \alpha_3 = 0$  (tidak ada efek faktor *Ignition timing* )  
 H1 : paling sedikit ada satu pasang  $\alpha_1$  yang tidak sama.  
 Kesimpulan : P Value = 5.141% > 5%, maka menolak Ho, yaitu ada pengaruh perbedaan level dari *Ignition timing* pada variabel respon gas buang CO.
- ii. Ho :  $\beta_1 = \dots \beta_3 = 0$  (tidak ada efek faktor *Spark Plug Gap* ).  
 H1 : paling sedikit ada satu pasang  $\beta_j$  yang tidak sama.  
 Kesimpulan : P Value = 9.588% > 5%, maka menolak Ho, yaitu terdapat pengaruh perbedaan level dari *Spark Plug Gap* pada variabel respon gas buang CO
- iii Ho :  $\gamma_1 = \dots = \gamma_3 = 0$  (tidak ada efek faktor RPM).  
 H1 : paling sedikit ada satu pasang  $\gamma_k$  yang tidak sama.  
 Kesimpulan : P Value = 68.822% > 5%, maka menolak Ho, yaitu terdapat pengaruh perbedaan level dari RPM pada variabel respon gas buang CO
- iv Ho :  $\delta_1 = \dots = \delta_3 = 0$  (tidak ada efek faktor *Air Intake* ).  
 H1 : paling sedikit ada satu pasang  $\delta_1$  yang tidak sama.  
 Kesimpulan : P Value = 16.446% > 5%, maka menolak Ho, yaitu terdapat pengaruh perbedaan level dari Intake pada variabel respon gas buang CO

Berdasarkan hasil pengujian dan hasil perhitungan pada tabel 4.3 diperoleh faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan ( $\alpha=5\%$ ) terhadap variabel respon gas buang CO secara berturut-turut antara lain : RPM (C), *Air intake* (D), *Spark Plug Gap* (B) dan *Ignition timing* (A). Hal ini menunjukkan bahwa sumbangan dari keempat faktor tersebut sangat signifikan dalam pembentukan model.

Tabel 4.4 Respon faktor utama

LEVEL	FAKTOR			
	A	B	C	D
1	0.427	0.429	0.448	0.404
2	<b>0.451</b>	<b>0.457</b>	<b>0.478</b>	0.447
3	0.427	0.419	0.379	<b>0.453</b>
SELISIH	0.024	0.038	0.099	0.049
RANK	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

Adapun grafik respon faktor utama gas buang CO menunjukkan besarnya kadar gas buang CO yang dihasilkan dari peralatan otomotif dalam setiap level faktor yang berpengaruh signifikan ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik respon faktor utama gas buang CO

#### 4.2.4 Signal to noise ratio

*Signal to noise ratio* merupakan logaritma dari suatu fungsi kerugian kuadrat dan digunakan untuk mengevaluasi kualitas suatu produk. Dalam penelitian gas buang ini karakteristik kualitas yang digunakan adalah *Smaller The Better* dimana semakin rendah nilai kadar CO, maka kualitas gas buang yang dihasilkan dari peralatan otomotif semakin baik. Nilai S/N untuk jenis karakteristik STB adalah :

$$S/N_{STB} = -10 \log \left[ 1/n \sum_{i=1}^n y_i^2 \right]$$

$$SNR_1 = -10 \log [1/3(0.39)^2 + (0.41)^2 + (0.41)^2]$$

$$SNR_1 = -10 \log \left[ \frac{(0.1521) + (0.1681) + (0.1681)}{3} \right]$$

$$SNR_1 = -10 \log 0.16277$$

$$SNR_1 = -10 \times (-0.7884)$$

$$SNR_1 = 7.884$$

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan SNR untuk kesembilan percobaan ditunjukkan pada tabel 4.5 berikut ini.

Tabel 4.5 *Signal to noise ratio* kadar CO pada gas buang

Eks	FAKTOR				Data			SNR				
	A	B	C	D	e	e	e		n1	n2	n3	
1	1	1	1	1	e	e	e	e	0.39 % volume	0.41 % volume	0.41 % volume	7.884
2	1	2	2	2	e	e	e	e	0.52 % volume	0.51 % volume	0.48 % volume	5.957
3	1	3	3	3	e	e	e	e	0.37 % volume	0.38 % volume	0.37 % volume	8.557
4	2	1	2	3	e	e	e	e	0.50 % volume	0.51 % volume	0.51 % volume	5.905
5	2	2	3	1	e	e	e	e	0.39 % volume	0.40 % volume	0.37 % volume	8.248
6	2	3	1	2	e	e	e	e	0.46 % volume	0.46 % volume	0.46 % volume	6.744
7	3	1	3	2	e	e	e	e	0.37 % volume	0.38 % volume	0.38 % volume	8.48
8	3	2	1	3	e	e	e	e	0.45 % volume	0.49 % volume	0.50 % volume	6.366
9	3	3	2	1	e	e	e	e	0.4 % volume	0.43 % volume	0.44 % volume	7.459

#### 4.2.5 Efek faktor pada respon gas buang carbon monoksida (CO)

Respon Gas Buang Carbon Monoksida (CO) dinyatakan dengan persen(%). Variabel terikat ini mempunyai karakteristik kualitas lebih kecil lebih baik (*Smaller The Better*) yang artinya semakin kecil kadar gas CO, semakin disukai karena polusi yang ditimbulkan semakin kecil, sehingga kesehatan lingkungan menjadi lebih baik. Dengan menggunakan data percobaan utama dapat diketahui faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan pada respon gas buang CO.

Berikut ini perhitungan efek tiap faktor pada Gas Buang CO, dimana hasil perhitungan S/N Ratio gas buang CO, maka dapat diketahui faktor-faktor yang

dapat memberikan respon terendah sampai yang tertinggi terhadap tinggi rendahnya kadar gas buang CO.

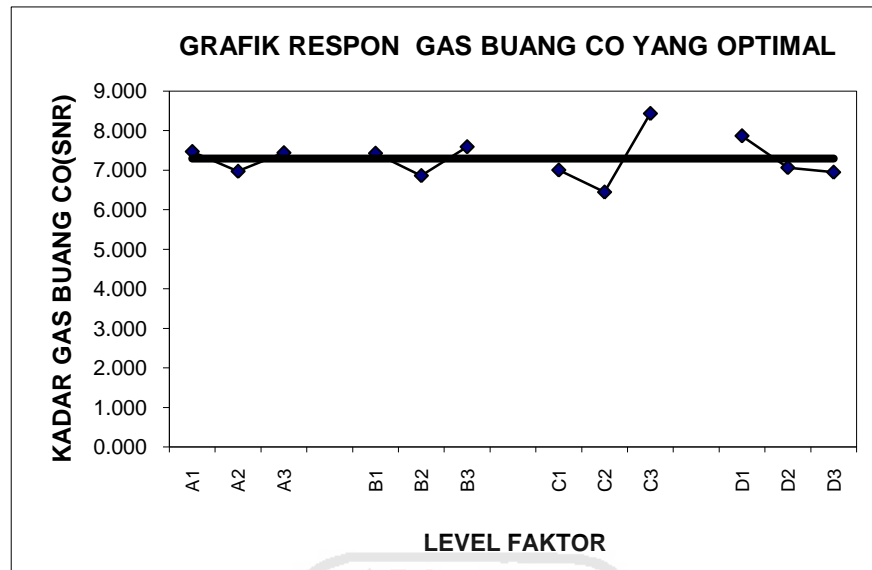
$$\begin{aligned} \text{Faktor } A_1 &= \frac{7.884 + (5.957) + 8.557}{3} \\ &= 7.467 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, hasil perhitungan efek tiap faktor pada gas buang CO untuk ditunjukkan pada tabel 4.6 berikut ini.

Tabel 4.6 Nilai optimal tiap faktor pada gas buang CO

LEVEL	FAKTOR			
	A	B	C	D
1	<b>7.467</b>	7.423	6.999	<b>7.864</b>
2	6.966	6.858	6.441	7.061
3	7.435	<b>7.587</b>	<b>8.429</b>	6.943
SELISIH	0.500	0.729	1.988	0.921
RANK	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

Adapun grafik respon faktor utama gas buang CO yang optimal dari *Signal to Noise Ratio* yang dihasilkan dari peralatan otomotif dalam setiap level faktor yang berpengaruh signifikan ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik respon gas buang CO yang optimal

Dengan demikian kombinasi level faktor optimal adalah **C3D1B3A1** atau **A1B3C3D1** artinya untuk meminimasi gas buang CO dibutuhkan kombinasi level faktor *Ignition Timing* 5° BTDC; *Spark Plug Gap* 1,1 mm; Putaran Mesin 1500 RPM; dan pemakaian busa pada Air *Intake*.

#### 4.2.6 Prosedur *pooling* gas buang CO

Berdasarkan tabel ANOVA pada tabel 4.3 diperoleh bahwa keempat faktor yang digunakan untuk meminimasi kadar CO pada gas buang secara statistik berpengaruh signifikan dan memberikan kontribusi yang cukup besar. Selain itu  $db_{error} = 0$  dan  $db_{total} = 8$ . Oleh sebab itu prosedur *Pooling* tidak dapat dilakukan. Hal ini dikarenakan prosedur *Pooling* direkomendasikan hanya dilakukan sampai derajat bebas error mendekati setengah dari derajat bebas total.

#### 4.2.7 Kondisi optimum kadar CO

Kondisi optimum berguna untuk mengetahui level dari setiap faktor sehingga respon gas buang CO dapat dioptimalkan. Kombinasi level faktor yang memberikan kadar gas buang optimum diperoleh dari rata-rata respon kadar gas buang CO terendah. Kondisi optimum dipilih untuk setiap level yang memberikan nilai rata-rata rasio S/N yang tertinggi. Untuk keempat faktor utama yang diamati yaitu *Ignition Timing* (A); *Spark Plug Gap* (B); RPM (C) dan *Air Intake* (D) yang secara bersama-sama mempunyai pengaruh tiap faktornya terhadap kadar gas buang.

$$\bar{Y} = \frac{(7.467 + 7.423 + 6.999 + 7.864 + 6.966 + 6.858 + 6.441 + 7.061 + 7.435 + 7.587 + 8.429 + 6.943)}{12}$$

$$\bar{Y} = \frac{87.472}{12}$$

$$\bar{Y} = 7.289$$

$$S/N \text{ optimal} = \bar{Y} + (A1 - \bar{Y}) + (B3 - \bar{Y}) + (C3 - \bar{Y}) + (D1 - \bar{Y})$$

$$S/N \text{ optimal} = 7.289 + (7.467 - 7.289) + (7.587 - 7.289) + (8.429 - 7.289) + (7.864 - 7.289)$$

$$S/N \text{ optimal} = 9.476$$

Kondisi optimum yang dihasilkan untuk respon gas buang CO adalah A1B3C3D1 seperti ditunjukkan pada tabel 4.7 berikut ini.

Tabel 4.7 Tabel kondisi optimum gas buang CO

<b>Colum#/factor</b>	<b>Level Description</b>	<b>Level</b>
1 A: <i>Ignition Timing</i>	5 degree BTDC	1
2 B: <i>Spark Plug Gap</i>	1,1 mm	3
3 C: RPM	1500 RPM	3
4 D: <i>Air Intake</i>	Pakai Busa	1

Berdasarkan tabel 4.7 kondisi optimum pada respon gas buang CO menunjukkan bahwa untuk mengoptimalkan gas buang CO diperlukan setting parameter A1B3C3D1, artinya *Ignition Timing 5 degree BTDC, Spark Plug Gap 1.1 mm, RPM 1500 dan pakai busa pada Air Intake* yang menghasilkan SN optimal sebesar 9.476.

#### 4.2.8 Uji Beda

Uji beda dilakukan untuk mengetahui apakah data hasil konfirmasi berbeda atau sama dengan kondisi standart. Perumusan hipotesanya adalah sebagai berikut :

Ho : tidak ada perbedaan rata - rata nilai kadar CO hasil eksperimen konfirmasi dengan kondisi awal.

H1 : ada penurunan kadar CO hasil eksperimen konfirmasi di banding dengan kondisi awal.

Tingkat signifikansi :  $\alpha = 5\%$

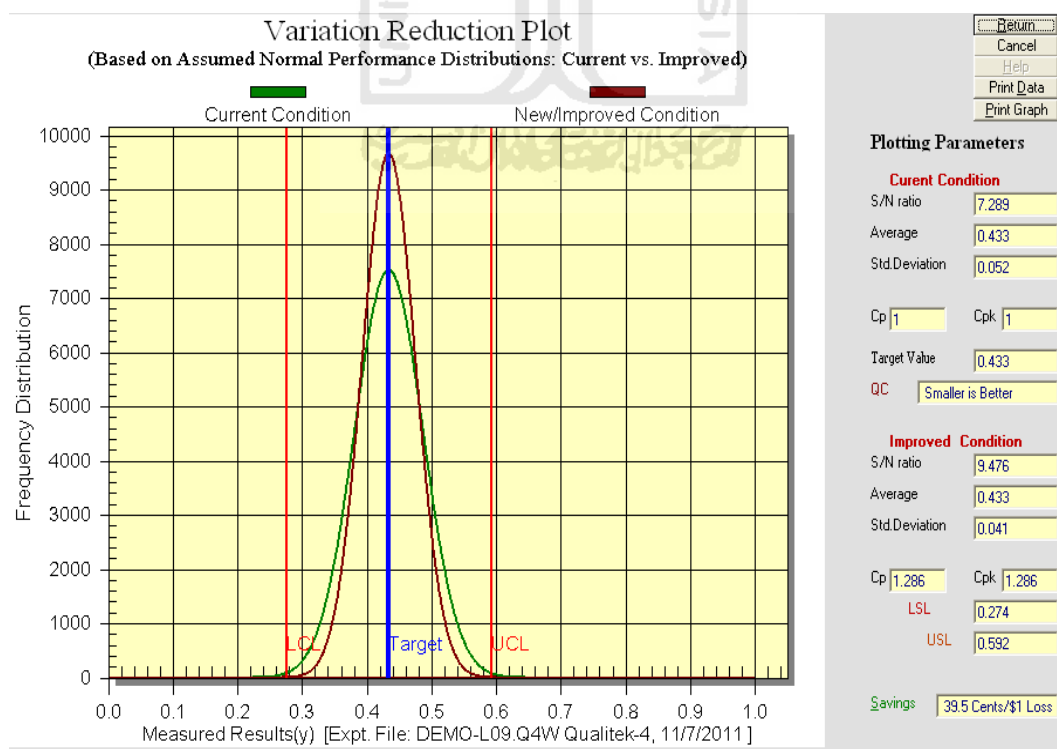
Berdasarkan perhitungan uji beda pada lampiran 17 diperoleh nilai CO sebesar



-5.00. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa  $t_{hitung} < t_{tabel} = -5.00 - 2.78$ , artinya ada penurunan rata-rata nilai kadar Carbon Monoksida berdasarkan disain usulan dibandingkan disain awal.

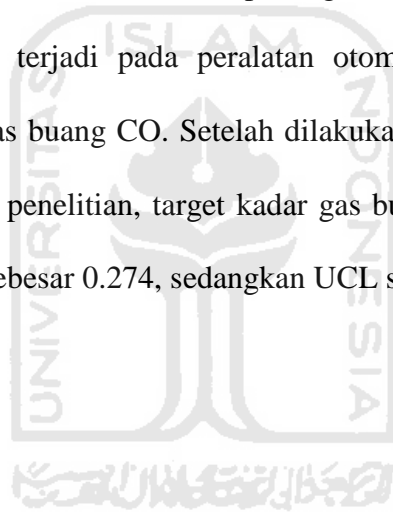
#### 4.2.9 Pengurangan variasi

Grafik pengurangan variasi merupakan grafik yang menunjukkan perbandingan kondisi awal dengan improved condition. Hal ini dapat dilihat dari peningkatan nilai S/N ratio, Capabilitas Proses (Cp) dan Capabilitas Proses Kane (Cpk) serta penurunan standart deviasi dari condition awal dengan improved condition. Grafik pengurangan variasi kadar CO pada gas buang yang dilakukan dengan memvariasikan keempat faktor utama yaitu *Ignition Timing (A)* , *Spark Plug Gap (B)*, RPM (C) dan *Air Intake* disajikan pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik pengurangan variasi pada kadar CO

Berdasarkan gambar 4.3 (pengurangan variasi) menunjukkan bahwa rata-rata penurunan kadar CO sebesar 43.3 %. Pada kondisi awal besarnya S/N Ratio sebesar 7.289 dengan standar deviasi 0.052. Pada improved condition, nilai S/N Ratio mengalami peningkatan menjadi 9.476. Sedangkan standar deviasi mengalami penurunan menjadi 0.041. Nilai Cp dan CPk pada kondisi awal sebesar 1 (satu). Nilai ini mengalami peningkatan yang sangat signifikan menjadi 1.286 pada improved condition. Hal ini menunjukkan bahwa capabilitas proses *engine* tinggi dalam mereduksi kadar CO pada gas buang. Dengan demikian proses pembakaran yang terjadi pada peralatan otomotif sempurna sehingga mampu menekan kadar gas buang CO. Setelah dilakukan setting parameter yang optimal berdasarkan hasil penelitian, target kadar gas buang dapat tercapai yaitu sebesar 0.433, nilai LSL sebesar 0.274, sedangkan UCL sebesar 0.592.



## BAB V

### PEMBAHASAN

#### 5.1 Analisis Faktor

Faktor-faktor dominan adalah faktor-faktor yang diduga berpengaruh terhadap kadar gas buang CO. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor yang berpengaruh secara signifikan ( $\alpha=5\%$ ) terhadap variabel respon kadar gas buang CO adalah RPM( C ); *Air intake*(D); *Spark Plug Gap* (B); dan *Ignition timing* (A).

Adapun menurut Basuki dan Musabbikhah (2006, h.1), faktor yang berpengaruh terhadap kadar gas buang CO adalah jarak tempuh pemakaian busi 10.000 km, jarak tempuh pemakaian platina dan kondensor 10.000 km, dan penyetelan upper standart disamping perawatan secara intensif dari peralatan transportasi yang dimiliki.

##### 5.1.1 *Ignition timing*

*Ignition timing* berperan didalam menentukan kadar CO yang dihasilkan dari pembakaran. ketepatan saat pembakaran sangat diperlukan, karena berfungsi untuk kesempurnaan di dalam proses pembakaran bahan bakar.

Berdasarkan ANOVA pada tabel 4.3 menunjukkan bahwa *Ignition timing* mempunyai pengaruh yang signifikan dengan persen kontribusi sebesar 5.141%. Hal ini menunjukkan bahwa faktor *Ignition timing* memiliki kekuatan relatif faktor dalam mengurangi variasi kadar CO pada gas buang sebesar 5.141%.

Hasil perhitungan pada kondisi optimum (tabel 4.7) menunjukkan bahwa waktu pengapian ditentukan untuk menghasilkan *ignition timing* maksimal sekitar  $5^{\circ}$  BTDC. Dengan demikian meningkatnya putaran mesin akan menyebabkan tekanan maksimal terjadi jauh setelah TMA dan menurunkan tekanan maksimal yang terjadi di dalam silinder. Majunya waktu pengapian yang sesuai dengan waktu *delay period*, maka tekanan maksimal akan tetap terjadi sekitar  $5^{\circ}$  setelah TMA (TDC) dengan penurunan tekanan maksimal yang kecil karena efisiensi volumetrik.

Hasil penelitian ini sesuai dengan teori Bartok dkk (1989, h.29) yang menyatakan bahwa titik timing dari engine biasanya berkisar antara  $5^{\circ}$  BTDC sampai  $10^{\circ}$  BTDC. Apabila kita perhatikan pada grafik *ignition* diatas, perubahan titik *timing* akan sangat mempengaruhi saat terjadinya maksimum *pressure* dan tentunya akan berpengaruh terhadap tenaga yang dihasilkan dari *engine*, hal ini akan berdampak pada kadar CO dari gas buang *engine* itu.

Kondisi ini berbeda jika dibandingkan dengan hasil penelitian Setiyawan (2007), yang menyimpulkan bahwa Pemajuan *ignition timing* dan peningkatan *compression ratio* dapat meningkatkan unjuk kerja motor bensin berbahan bakar E-85 bila dibandingkan dengan kondisi standar, meskipun masih dibawah unjuk kerja premium. Ignition timing terbaik dicapai pada  $30^{\circ}$ BTDC sedangkan *compression ratio* tercapai pada kondisi maksimum, yaitu 10,2:1.

Kadar emisi CO didalam gas buang sangat dipengaruhi oleh perbandingan jumlah udara pembakaran dan bahan bakar. Emisi CO yang ada dalam gas buang juga menjadi salah satu indikasi kesempurnaan pembakaran di dalam ruang bakar.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa setting parameter *Ignition timing* yang tepat dapat memberikan perbaikan unjuk kerja motor bensin secara signifikan.

### 5.1.2 *Spark Plug Gap*

Berdasarkan ANOVA pada tabel 4.3 menunjukkan bahwa *Spark Plug Gap* mempunyai pengaruh yang signifikan dengan persen kontribusi sebesar 9.588%. Hal ini menunjukkan bahwa faktor *Spark Plug Gap* memiliki kekuatan relatif faktor dalam mengurangi variasi kadar CO pada gas buang sebesar 9.588%.

Berdasarkan tabel 4.7, nilai optimal untuk *Spark Plug Gap*, sebesar 1,1 mm. Hal ini menunjukkan bahwa ketepatan *Gap* dari *Spark Plug* sebesar 1,1 mm akan langsung dirasakan alat saat pembakaran, karena *Spark Plug Gap* membentuk loncatan bunga api yang berfungsi untuk pembakaran dalam ruang bakar.

Hasil penelitian ini sesuai dengan teori Suharto (1999), yang menyatakan bahwa *Spark Plug gap* adalah jarak antara *center electrode* dengan *ground electrode*, loncatan bunga api antara *center electrode* dengan *ground electrode* akan membentuk volume bunga api, bunga api inilah yang berdampak langsung terhadap pembakaran antara bahan bakar dengan udara.

Pada busi dingin membutuhkan waktu lebih lama untuk dapat melakukan proses swa bersih (*self-cleaning action*), maka karbon akibat pembakaran tidak sempurna akan timbul lebih banyak dan menumpuk di antara penyekat *insulator* dan *casing* serta sebagian akan keluar bersama gas buang yang akan bereaksi dengan oksigen membentuk karbon monoksida (CO). Pada busi panas, karena

mempunyai *insulator nose* yang panjang, maka proses meradiasikan panas ke dinding silinder menjadi sulit. Hal ini terjadi karena dalam proses meradiasikan panas harus menempuh jarak yang lebih panjang. *Insulator nose* yang panjang juga akan berakibat permukaan yang bersinggungan dengan api juga menjadi luas sehingga busi mudah mencapai temperatur kerjanya ( $450^{\circ}\text{C}$ ) dan dapat melakukan proses swa bersih (*self-cleaning action*). Pada busi panas lebih cepat melakukan proses swa bersih, maka karbon yang terjadi menjadi lebih sedikit dan tidak terjadi penumpukan karbon pada *insulator nose* serta emisi gas karbon monoksida (CO) dapat berkurang.

Pengurangan volume ruang bakar akan meningkatkan tekanan di dalam silinder, sehingga temperatur pembakaran akan menjadi lebih tinggi. Dengan temperatur pembakaran yang lebih tinggi, maka panas yang diterima busi dari proses pembakaran menjadi lebih tinggi pula dan menyebabkan busi lebih cepat mencapai temperatur kerja, serta mengurangi emisi gas CO.

### 5.1.3 RPM (*Revolution per Minutes*)

Polusi udara yang telah terjadi selama ini sebagian besar disebabkan oleh keberadaan kendaraan bermotor sebagai alat transportasi, yang pada akhirnya dibarengi pula oleh peningkatan kebutuhan akan bahan bakar sebagai sumber energi utama moda transportasi. Efek variasi putaran mesin dan penggunaan bahan bakar yang nilai oktannya berbeda terhadap karakteristik emisi gas buang setelah di analisis dengan statistik menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap kadar gas CO yaitu sebesar 68.822%. Hal ini menunjukkan bahwa

setting putaran mesin yang digunakan dalam penelitian ini memberikan kontribusi penurunan kadar CO pada gas buang sebesar 68.822%. Akan tetapi kepadatan kendaraan dan kondisi jalan dapat menjadi pemicu tingkat konsentrasi gas CO sebagai pencemar udara di sekitarnya.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Arisma (2010), yang menyatakan bahwa hasil pengukuran knalpot yang ditambah reheater dengan rerata emisi gas buang CO 1,602 % volume, 0,860% volume dan 0,479 % volume sedangkan dari knalpot standar dengan rerata emisi gas buang CO 3,307 % volume. Semakin banyak jumlah gelombang pipa dalam reheater pada knalpot, emisi gas buang CO semakin rendah.

Hubungan antara emisi gas buang dan kebutuhan bahan bakar dapat dinyatakan bahwa pada putaran rendah, kecepatan aliran juga rendah, sehingga campuran udara-bahan bakar kurang homogen yang mengakibatkan kurang sempurnanya pembakaran di dalam ruang bakar. Hal ini akan berdampak pada meningkatnya kadar CO. Sebaliknya pada putaran tinggi (tabel 4.7), yaitu 1500 RPM seperti pada hasil optimal penelitian ini, meskipun waktu yang tersedia cukup pendek, namun aliran meningkat dan kemungkinan terjadi turbulensi di dalam aliran sehingga campuran udara-bahan bakar menjadi lebih homogen yang mengakibatkan pembakaran didalam ruang bakar lebih sempurna. Hal ini berdampak pada menurunnya kadar gas buang, sehingga kesehatan lingkungan menjadi lebih baik. Tingginya kadar CO menandakan kurangnya udara pembakaran di dalam proses pembakaran atau kurangnya waktu pembakaran di

dalam siklus untuk mencapai pembakaran. Untuk itu diperlukan setting parameter RPM yang tepat agar dapat meminimasi kadar CO.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi optimal dicapai pada RPM yang tinggi yaitu 1500 RPM. Hasil ini sesuai dengan teori Suharto (1999), yang menyatakan bahwa tingginya kadar karbon dioksida pada jalan stasioner untuk motor bensin disebabkan karena perbandingan campurannya kira-kira 13 : 1. hal ini disebabkan oleh frekuensi putar rendah, derajat isian tidak sempurna dan tekanan kompresi yang rendah, mengakibatkan waktu pembakaran sama, maka pembakarannya menjadi tidak sempurna. Makin sedikit campurannya makin meningkat zat asamnya.

Tingginya kadar CO di daerah yang padat kendaraan dan sering terjadi kemacetan dikarenakan:

- 1) Pada saat terjadi kemacetan kendaraan akan berjalan atau *engine* hidup stasioner, dengan demikian maka putaran *engine* hidup rata-rata dibawah 1000 RPM padahal dari hasil eksperimen RPM *engine* yang menghasilkan CO terendah pada RPM 1500 RPM, maka kadar CO yang terkandung di dalam gas buang pada saat terjadi kemacetan akan meningkat menjadi tinggi.
- 2) Pada saat *engine* hidup stasioner daya hisap piston akan rendah maka pemasukan udara dalam ruang bakar tidak dapat optimal, hal ini menyebabkan proses pembakaran kurang sempurna, sudah barang tentu akan menambah tingginya kandungan kadar CO didalam gas buang.



#### 5.1.4 Air Intake

*Air intake* adalah sekening udara yang masuk dalam ruang bakar ,karena udara luar baik buruknya *air intake* berdampak langsung pada jumlah udara yang masuk dalam ruang bakar. Kotoran udara didaerah kemacetan lalu lintas akan mempengaruhi *air cleaner* (*air cleaner* kotor), hal ini akan menambah hambatan laju aliran udara masuk kedalam ruang bakar.

Berdasarkan ANOVA pada tabel 4.3 menunjukkan bahwa *air intake* mempunyai pengaruh yang signifikan dengan persen kontribusi sebesar 16.446%. Hal ini menunjukkan bahwa faktor *air intake* memiliki kekuatan relatif faktor dalam mengurangi variasi kadar CO pada gas buang sebesar 16.446%.

Berdasarkan tabel 4.7 menunjukkan bahwa untuk meminimasi kadar CO pada gas buang, penggunaan busa pada *air Intake* dalam proses pembakaran sangat diperlukan. Hal ini bisa terjadi karena masuknya udara kedalam ruang bakar tanpa hambatan, sebaik-baiknya *air cleaner* tetap merupakan hambatan bagi lajunya udara untuk masuk ke dalam ruang bakar.

Hasil penelitian ini sesuai dengan teori Suharto (1999), yang menyatakan bahwa banyak sedikitnya udara yang masuk dalam *engine* tergantung dari kemampuan hisap *engine* itu sendiri dan juga tergantung baik buruknya saluran masuknya. Udara yang masuk dalam *engine* harus bersih terhadap kotoran terutama debu, maka dari itu saringan udara/*air cleaner* perlu digunakan, namun pada waktu tertentu *air cleaner* harus dibersihkan kalau perlu diganti dengan yang baru, hal ini dilakukan agar udara yang masuk bersih dan juga lancar sehingga

memenuhi standart campuran antar udara dengan bahan bakar didalam proses pembakaran.

Kendaraan yang tanpa *air cleaner* akan mempunyai power lebih baik, sehingga banyak kendaraan , baik kendaraan pribadi maupun kendaraan umum tidak memakai *air cleaner* hal ini untuk mendapatkan *acceleration* yang baik. Namun tindakan semacam ini secara teknis tidak baik karena akan memperpendek kemajuan *engine*, hal ini terjadi karena udara luar banyak mengandung debu atau partikel-partikel kecil yang kasar, apalagi pada musim kemarau debu di jalanan semakin pekat. Pada saat piston bergerak turun, pada saat langkah *intake* maka debu akan menempel pada dinding *cylinder /liner*, hal ini bisa terjadi karena dinding *cylinder /liner* terdapat oil filter.

Dengan menempelnya kotoran/debu pada dinding *cylinder* , maka pada saat piston bergerak naik/turun akan terjadi friksi antara piston ring/piston dengan dinding *cylinder /liner*, maka akan mempercepat keausan baik pada *cylinder /liner* maupun pada piston/piston ring dan akibatnya *oil clearance* akan semakin cepat besar dan akibatnya kompresi *engine* lemah maka *power* turun.

## 5.2 Analisis Hasil Eksperimen

Dalam penelitian eksperimen dilakukan dengan menerapkan percobaan Taguchi, dimana rancangan percobaan ini memberikan alternaif yang lebih efisien. Eksperimen utama dilakukan untuk melihat pengaruh faktor-faktor dominan terhadap kadar CO. Eksperimen utama dilakukan untuk mengambil data kadar CO dari 9 variasi faktor-faktor utama yaitu *Ignition timing* (A); *Spark Plug*

*Gap* (B); RPM (C) dan *Air intake* (D). Eksperimen dilakukan berdasarkan desain array orthogonal  $L9(3)^4$  masing-masing 3 replikasi sehingga diperoleh 27 data kadar CO. Pengolahan data eksperimen utama dibagi dalam dua bagian yaitu untuk menganalisa pengaruh faktor-faktor dominan terhadap kadar CO, dan menganalisa pengaruh faktor-faktor dominan terhadap variabilitas kadar CO. Analisa pengaruh faktor dominan terhadap kadar CO ini dilakukan dalam beberapa tahap yaitu : ANOVA, pemilihan level faktor pada kondisi optimal, perhitungan rata-rata pada kondisi optimal, persen kontribusi, serta penurunan variasi. Sedangkan analisis terhadap variabilitas kadar CO, data eksperimen ditransformasikan ke dalam bentuk S/N.

#### 5.2.1 Analisis Faktor Dominan Terhadap Rata-rata Kadar CO

Penentuan faktor dominan yang berpengaruh terhadap rata-rata kadar CO bermanfaat untuk memilih level faktor yang dapat menghasilkan kadar CO serendah mungkin, sehingga dapat diterapkan di perusahaan otomotif maupun bengkel-bengkel otomotif. Dengan level faktor tersebut dapat diperoleh hasil sesuai dengan kadar CO yang diinginkan.

#### 5.2.2 Analisis persen kontribusi terhadap faktor kadar CO

Persen kontribusi menunjukkan sumbangan faktor terhadap kadar CO yang dihasilkan. Semakin tinggi persen kontribusi, maka semakin kuat pengaruh faktor yang signifikan.

Persen kontribusi faktor terhadap variabel respon menunjukkan kekuatan relatif suatu faktor untuk mereduksi variasi (*sum of square*). Jika faktor atau level kontrol pada level yang tepat, maka total variasi dapat direduksi oleh sejumlah nilai pada persen kontribusi. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh bahwa keempat faktor dalam penelitian ini memberikan persen kontribusi yang sangat signifikan terhadap kadar CO yang dihasilkan. Sumbangan persen kontribusi yang dihasilkan dari yang terbesar hingga terkecil berturut-turut yaitu RPM, *Air Intake*, *Spark Plug Gap* dan *Ignition Timing*, yang memberikan persen kontribusi masing-masing 68.822%, 16.446%, 9.588% dan 5.141%.

Hal ini menunjukkan bahwa kekuatan faktor RPM untuk mereduksi total variasi sebesar 68.822%, sehingga faktor RPM merupakan faktor yang paling kuat mempengaruhi rata-rata kadar CO pada gas buang.

### 5.2.3 Pemilihan Level pada kondisi optimal

Pemilihan level dimaksudkan untuk memilih kombinasi level dari faktor yang signifikan yaitu kombinasi level dari faktor yang memberikan rata-rata kadar CO terendah. Kombinasi level faktor optimal yang dihasilkan adalah A1B3C3D1, artinya untuk meminimasi kadar CO pada gas buang diperlukan setting parameter *Ignition timing* pada level 1; *Spark Plug Gap* pada level 3; RPM 1500 di level 3 dan *Air intake* di level 1 (busa).

#### 5.2.4 Penentuan Rata-rata pada kondisi Optimal

Rata-rata kadar CO optimum diperoleh dari prediksi gas buang dengan melibatkan level faktor yang diduga berpengaruh kuat, yaitu *Ignition timing* level 1 (A1) yaitu 5° BTDC ; *Spark Plug Gap* level 3 (B3) yaitu 1,1 mm; RPM 1500 level 3 (C3) dan penggunaan busa *Air Intake* pada level 1 (D1). Hal ini menunjukkan bahwa penyetelan pada kendaraan Soluna paling baik agar kadar CO yang dihasilkan pada gas buang paling kecil menggunakan *ignition timing* 5° BTDC, *Spark plug gap* 1,1 mm, RPM pada 1500 RPM dan penggunaan busa pada *air cleaner* yang menghasilkan S/N optimal sebesar 9.476.

#### 5.2.5 Analisis Hasil Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi yang dilakukan mengacu pada parameter  $A_1B_3C_3D_1$  menggunakan tiga (3) kali replikasi. Selanjutnya berdasarkan uji beda dengan  $\alpha = 5\%$  diperoleh nilai  $t_0$  sebesar -5.00. Sehingga dapat disimpulkan bahwa  $t_{hitung} < -t_{tabel} = -5.00 < -2.78$  sehingga  $H_0$  ditolak, artinya ada penurunan rata-rata nilai kadar karbon monoksida berdasar disain usulan dibandingkan disain awal.

Dengan demikian agar kadar CO dapat diminimasi, maka variasi penyetelan *timing* 5° BDC, *Spark plug gap* 1,1 mm, RPM pada 1.500 RPM dan *air cleaner* menggunakan busa pada motor bensin, selanjutnya parameter ini dapat diaplikasikan pada skala yang lebih besar (industri).

### 5.2.6 Analisis pengaruh faktor dominan terhadap variabilitas kadar CO

Minimumnya variabilitas kadar CO dengan variabilitas yang kecil berdampak pada produk yang semakin seragam dan produk yang ditolak akibat variasi yang besar akan berkurang.

Guna menganalisa pengaruh faktor terhadap variabilitas kadar CO, data eksperimen utama ditransformasikan ke dalam bentuk SNR. Taguchi mentransformasikan data repetisi pada nilai yang mengukur variasi yang ada sesuai dengan karakteristik variabel respon. Dalam hal ini adalah kadar CO menggunakan jenis karakteristik kualitas *Smaller The Better* (lebih kecil lebih baik), karena untuk kadar CO ini lebih diinginkan yang minimum. Berdasarkan gambar 4.3 (pengurangan variasi) menunjukkan bahwa rata-rata penurunan kadar CO sebesar 43.3 %. Pada kondisi awal besarnya S/N Ratio sebesar 7.289 dengan standar deviasi 0.052. Pada improved condition, nilai S/N Ratio mengalami peningkatan menjadi 9.476. Sedangkan standar deviasi mengalami penurunan menjadi 0.041. Nilai Cp dan CPk pada kondisi awal sebesar 1 (satu). Nilai ini mengalami peningkatan yang sangat signifikan menjadi 1.286 pada improved condition. Hal ini menunjukkan bahwa capabilitas proses *engine* tinggi dalam mereduksi kadar CO pada gas buang. Dengan demikian proses pembakaran yang terjadi pada peralatan otomotif sempurna sehingga mampu menekan kadar gas buang CO. Setelah dilakukan setting parameter yang optimal berdasarkan hasil penelitian, kapabilitas mesin pada mobil soluna sebagai obyek penelitian termasuk kategori tinggi karena nilai Cp berada pada rentang 1 s/d 1.33.

## BAB VI

### SIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Simpulan

1. Faktor-faktor terkendali yang berpengaruh signifikan terhadap kadar CO pada gas buang adalah RPM, *Air Intake*, *Spark Plug Gap* dan *Ignition Timing*, yang memberikan persen kontribusi masing-masing 68.822%, 16.446%, 9.588% dan 5.141%.
2. Kombinasi level faktor optimal yang menghasilkan kadar CO rendah pada pembakaran sempurna yaitu A1B3C3D1, artinya *Ignition Timing* 5° BTDC, *Spark Plug Gap* 1.1 mm, RPM 1500 dan pemakaian busa pada *Air Intake*.
3. Kondisi optimal yang dicapai untuk meminimalkan kadar Carbon Monoksida pada gas buang dari hasil pembakaran sebesar 9.476 dengan rata-rata nilai SNR sebesar 0.433.
4. Pada kondisi awal kadar Carbon Monoksida sebesar 1.55%. Pengurangan variasi rata-rata kadar Carbon Monoksida sebesar 43.3 %. Pada kondisi awal besarnya S/N Ratio sebesar 7.289 dengan standar deviasi 0.052. Pada improved condition, nilai S/N Ratio mengalami peningkatan menjadi 9,476. Sedangkan standar deviasi mengalami penurunan menjadi 0.041. Nilai Cp dan CPk pada kondisi awal sebesar 1 (satu). Nilai ini mengalami peningkatan yang sangat signifikan menjadi 1.286 pada improved condition sehingga unjuk kerja mesin yang tinggi pada pembakaran yang sempurna dapat menurunkan kadar CO.

5. Nilai  $t$  hitung pada uji beda hasil eksperimen konfirmasi yang menggunakan parameter  $A_1 B_3 C_3 D_1$  dengan  $\alpha = 5\%$  diperoleh  $t_0$  sebesar -5.00, artinya ada penurunan rata-rata nilai kadar karbon monoksida berdasar disain usulan dibandingkan disain awal.

## 6.2 Saran

1. Dalam pengembangan penelitian lebih lanjut, perlu mempertimbangkan variabel bebas yang lebih kompleks yaitu *valve clearance*, selain itu perlu juga mempertimbangkan *variabel respon* yang lain yaitu gas buang NO<sub>x</sub>, dan HC.
2. Penelitian perlu melihat lebih jauh tentang bentuk *Intake Manifold* dengan *independent type* dengan *branch independent type*.
3. Penelitian perlu dikembangkan untuk jenis kendaraan berbahan bakar solar.
4. Pemakai kendaraan hendaknya secara berkala mengontrolkan kendaraannya pada bengkel yang bisa mengukur kadar CO pada gas buangnya.
5. Disarankan agar air *intake* perlu adanya penambahan *turbo chard*, untuk mengoptimalkan pemasukan udara.



## DAFTAR PUSTAKA

- Alloca, L., Amato, U., Bertoli, C. dan Corcione, F. E., 1990, Comparison of models and experiments for diesel fuel sprays, *International Symposium COMODIA 90:255-261*.
- Anonim, 2000, *Gas analyzer EGA 2000*, Manual book mesin *gas analyzer EGA*.
- Anonim, 2002, *Biodiesel production and quality*, National Biodiesel Board.
- Anonim, 2011a, Macam-macam busi, diakses tanggal 7 November 2011 tersedia: <http://www.eocommunity.com>
- Anonim, 2011b, Pencerahan tentang fungsi busi diakses tanggal 7 November 2011 tersedia di: <http://www.modifikasi.com>
- Arisma, D., 2010, Pengaruh penambahan reheater pada knalpot terhadap emisi gas buang Co sepeda motor Yamaha Jupiter Z tahun 2004, Skripsi, FKIP Universitas Sebelas Maret, Surakarta
- Arismunandar, W., 1988, *Penggerak mula motor bakar torak*, Penerbit ITB Bandung.
- Bartok, W. and Adel F., 1989, *Fossil fuel combustion – A source book*, John Willey and Sons Inc, New-York.
- Baumgarten, C., 2005, *Mixture formation in internal combustion engines*, Springer – Verlag. Berlin.
- Basuki dan Musabbikhah, 2006, Upaya minimasi gas buang CO, NO<sub>x</sub>, HC dan CO<sub>2</sub> untuk menciptakan lingkungan yang bersih dan sehat, *Jurnal Teknika ATW*, Surakarta, Edisi 2, h.25-31
- Bugis, H., 2009, Kajian pencampuran metanol dalam premium terhadap gas buang CO, HC, dan NO<sub>x</sub> kendaraan bermotor roda dua Tesis, MIPA Universitas Sebelas Maret, Surakarta
- BPS, 2002, Data penduduk, diakses tanggal 5 Oktober 2011, tersedia di: <http://www.ciptakarya.pu.go.id>
- Basuki dan Musabbikhah, 2003, *Penerapan Prosedur Multi Respon Signal To Noise Pada Gas Buang NO<sub>x</sub> dan CO*, Jurnal Ilmiah Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Vol 02 Nomor 1, 1-8.
- Basuki dan Musabbikhah, 2003, *Minimasi Kadar Polutan HC dengan Metode Taguchi*, Proceedings Semnas, Universitas Setia Budi Surakarta, 258-266.

- Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup, 2005, *Uji Emisi Kendaraan Bermotor*, Sukoharjo, Jawa Tengah.
- Belavendram, N., 1995, *Quality by design*, Prentice Hall, International, New York.
- Chairuddin, A., 2006, Faktor-faktor yang mempengaruhi konsentrasi karbon monoksida di dalam darah para montir bengkel otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makasar, *Jurnal Purifikasi*, Vol.7, no.2, h.145-150
- Direktorat Pembekalan dan Pemasaran Dalam Negeri, 1996, *Bahan bakar minyak pertamina untuk kendaraan, rumah tangga, industri dan perkapalan*, Pertamina, Indonesia.
- Douglas C. Montgomery, 1997, *Design and Analysis Experiments*, Fourth Edition, Arizona state University.
- Derringer, G., and Suich, R., 1980, *Simultaneous Optimization of Several Response Variables*, Journal of Quality Technology, p 214-219.
- Montgomery, D., C., 1997, *Design and analysis experiments*, Fourth Edition, Arizona state University
- Gavaises., M., Theodorakakos, A., Bergeles, G, Modeling wall impaction of diesel sprays, *International Journal of Heat and fluid flow*, Vol. 17, No. 2, April 1996
- Heywood, B., 1976, *Internal combustion engine fundamentals*, McGraw-Hill Book Company, Singapore.
- Haeny Suharsono, 2002, Bagaimana Memelihara Kualitas Udara Yang Bersih, Kumpulan Artikel.
- Jerzy Kozlowski, 1997, *Pendekatan Ambang Batas Dalam Perencanaan Kota Wilayah dan Lingkungan*, UI Press.
- Ketaren, S., 1986, *Pengantar teknologi minyak dan lemak pangan*, Jakarta.
- Kusuma, I., G., B., W., 2002, Alat penurun emisi gas buang pada motor, mobil, motor tempel dan mesin pembakaran tak bergerak, *Jurnal Makara, Teknologi*, Vol.6, no.3, h.95-101.
- Kokasih, 2005, Uji Emisi Gas Buang, Artikel Otomotif.
- Khuri, A.I, and Cornell, J.A., 1987. *Respon Surfaces*, Marcel Dekker, New York, NY.
- Lee and Seang-wock, 2002, Effect of diesel fuel characteristics on spray and combustion in a diesel engine, *JSAE Review*, 23 p.407 – 414.

- Mathur M.L. and Sharma R.P., 1980, *A course in internal combustion engine*, Dhanpat Rai & Son, Delhi.
- Manual Book, 2000, *Engine Gas Analyser*.
- Musabbikhah, 2004, *Minimasi Kadar Polutan HC dan CO2 dengan Prosedur MRSN Pada Metode Taguchi*, Proceedings Seminar Nasional Universitas Setia Budi Surakarta, 48-57.
- Michael purba 1994, majalah iptek, suharno 199, fardiaz 1995 : MENYUSUL
- Noviyanti, 2010, Analisis pengaruh kadar gas buang karbon monoksida (CO) terhadap kualitas udara dalam gedung auditorium Universitas Sumatra Utara Medan, Skripsi MIPA Universitas Sumatra Utara, Medan
- Nicolo Belavendram., 1999, *Quality By Design*, Second Edition, Prentice Hall, International.
- Otto Sumarwoto, 1998, Ilmu Lingkungan dan Dampaknya, UGM Press.
- Ross, P., J., 1996, *Taguchi techniques for quality engineering*, Second Edition, MC Graw Hill, Singapore.
- Pambudy, M.N., 2006, Bahan bakar alternatif tarik investor, Harian Kompas, 21 Maret 2006.
- POLWIL Surakarta, 2009, Menyusuri sebab ekonomi dari buruknya kualitas transportasi umum di Solo, diakses tanggal 5 Oktober 2011, tersedia di: <http://www.lpmkentingan.wordpress.com>
- Phillip J. Ross, 1998, *Taguchi Techniques for Quality Engineering*, Second Edition, MC Graw Hill, Singapore.
- Rahman, A., 2009, Karakteristik semprotan biodiesel menumbuk ruang bakar dengan type piston D-System pada ruang bakar bertekanan, Tesis, Jurusan Teknik Mesin, FTI-ITS
- Setiyawan, A., 2007, Pengaruh ignition timing dan compression ratio terhadap unjuk kerja dan emisi gas buang motor bensin berbahan bakar campuran etanol 85% dan premium 15% (E-85), *Prosiding Seminar Nasional Teknologi*, Yogyakarta, 24 November
- Sudjana, 1992, *Metoda statistik*, Edisi ke 5, Tarsito, Bandung
- Suharto, 1999, Manajemen Perawatan Mesin, Jakarta : Bhineka Cipta.
- Shanty MF Syahrif, 2003, Mengatasi Pencemaran Udara dengan Euro2, Jurnal Pelangi.

- Sugiyono, 2009. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D, Bandung : Alfabeta.
- Tong, L and Chao,T Su., 1997, *Optimizing Multirespon Problems In The Taguchi Methods by Fuzzy Multiple Attribute Decision Making*, Quality And Reability Engineering International, Vol 13, 25-34.
- Totok Prasetyo, 2003, Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor, Artikel Ilmiah.
- Yogie, 2011, Kontruksi busi diakses tanggal 5 Oktober, tersedia di: <http://www.getfreeartikel.wordpress.com>



## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2000, *Gas analyzer EGA 2000*, Manual book mesin *gas analyzer EGA*.
- Anonim, 2002, *Biodiesel production and quality*, National Biodiesel Board.
- Anonim, 2011a, Macam-macam busi, diakses tanggal 7 November 2011 tersedia: <http://www.eocommunity.com>
- Anonim, 2011b, Pencerahan tentang fungsi busi diakses tanggal 7 November 2011 tersedia di: <http://www.modifikasi.com>
- Arisma, D., 2010, Pengaruh penambahan reheater pada knalpot terhadap emisi gas buang Co sepeda motor Yamaha Yupiter Z tahun 2004, Skripsi, FKIP Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Bartok, W. and Adel F., 1989, *Fossil fuel combustion – A source book*, John Willey and Sons Inc, New-York.
- Basuki dan Musabbikhah, 2006, Upaya minimasi gas buang CO, NOx, HC dan CO2 untuk menciptakan lingkungan yang bersih dan sehat, *Jurnal Teknika ATW*, Surakarta, Edisi 2, h.25-31.
- BPS, 2002, Data penduduk, diakses tanggal 5 Oktober 2011, tersedia di: <http://www.ciptakarya.pu.go.id>
- Chairuddin, A., 2006, Faktor-faktor yang mempengaruhi konsentrasi karbon monoksida di dalam darah para montir bengkel otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makasar, *Jurnal Purifikasi*, Vol.7, no.2,h.145-150
- Derringer, G. and Suich, R., 1980, Simultaneous optimization of several response variables, *Journal of Quality Technology*, p 214-219.
- Direktorat Pembekalan dan Pemasaran Dalam Negeri, 1996, *Bahan bakar minyak pertamina untuk kendaraan, rumah tangga, industri dan perkapalan*, Pertamina, Indonesia.
- Fardiaz, S., 1992, *Polusi air dan udara*, Kanisius, Yogyakarta.
- Khuri, A. I. and Cornell, J. A., 1981, *Respon surfaces*, Marcel Dekker, New York, NY.
- Kokasih, 2005, Uji emisi gas buang, Artikel Otomotif.
- Kozlowski, J., 1999, *Pendekatan ambang batas dalam perencanaan kota wilayah dan lingkungan*, UI Press, Jakarta.

- Kusuma, I. G. B. W., 2002, Alat penurun emisi gas buang pada motor, mobil, motor tempel dan mesin pembakaran tak bergerak, *Jurnal Makara, Teknologi*, Vol.6, no.3, h.95-101.
- Montgomery, D. C., 1997, *Design and analysis experiment*, Fourth Edition, Arizona State University
- Noviyanti, 2010, Analisis pengaruh kadar gas buang karbon monoksida (CO) terhadap kualitas udara dalam gedung auditorium Universitas Sumatra Utara Medan, Skripsi MIPA Universitas Sumatra Utara, Medan.
- POLWIL Surakarta, 2009, Menyusuri sebab ekonomi dari buruknya kualitas transportasi umum di Solo, diakses tanggal 5 Oktober 2011, tersedia di: <http://www.lpmkentingan.wordpress.com>
- Prasetyo, T., 2003, Ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor, Artikel Ilmiah.
- Ross, P. J., 1996, *Taguchi techniques for quality engineering*, Second Edition, MC Graw Hill, Singapore.
- Setiyawan, A., 2007, Pengaruh ignition timing dan compression ratio terhadap unjuk kerja dan emisi gas buang motor bensin berbahan bakar campuran etanol 85% dan premium 15% (E-85), *Prosiding Seminar Nasional Teknologi*, Yogyakarta, 24 November.
- Sudjana, 1992, *Metoda statistik*, Edisi ke 5, Tarsito, Bandung.
- Sugiyono, 2009. *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif dan R & D*, Alfabeta, Bandung.
- Suharsono, H., 2002, Bagaimana memelihara kualitas udara yang bersih, Kumpulan Artikel.
- Suharto, 1999, *Manajemen perawatan mesin*, Bhineka Cipta, Jakarta.
- Sumarwoto, O., 1998, *Ilmu lingkungan dan dampaknya*, UGM Press, Yogyakarta.
- Suyanto, W., 1989, *Teori motor bensin*, Departemen Pendidikan Dan Kebudayaan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Jakarta.
- Syahrif, S., MF., 2003, Mengatasi pencemaran udara dengan euro2, *Jurnal Pelangi*.
- Toyota, tt, New step I training manual; Toyota Astra Motor, Jakarta.

