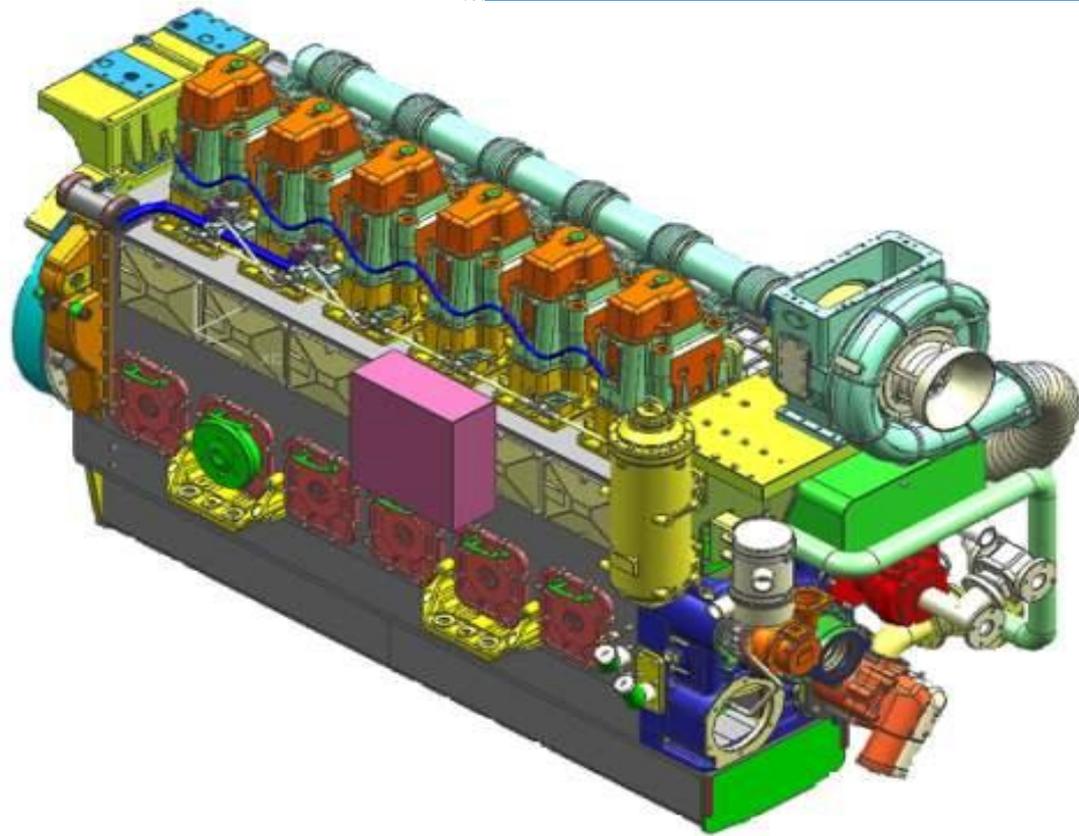


**ME 1841012**

# Combustion Engines Lab Work



JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

## I. PENDAHULUAN

Motor bakar merupakan salah satu penggerak yang banyak digunakan. Sifat dan perilaku motor bakar bisa dilihat dari hasil-hasil pengujian motor bakar tersebut, yang berkaitan dengan :

- Neraca energinya.
- Grafik-grafik prestasinya atau grafik-grafik proses pembakaran.
- Getaran yang dihasilkan.
- Pengaruh gas buang terhadap lingkungan.

Dengan mengetahui pengambilan data, proses pembahasan dan hasil pembahasan tentang neraca energi dan grafik-grafik proses pembakaran maupun dengan membandingkan diantara motor-motor bakar yang ada, akan menambah ketertarikan dan persepsi kita tentang motor bakar.

## II. TUJUAN PENGUJIAN

Pengujian motor bakar bertujuan untuk melihat unjuk kerja dari motor, yang berkaitan dengan fungsinya sebagai tenaga penggerak. Sesuai dengan macamnya, tujuan pengujian adalah :

2.1 Melihat keseimbangan energi yang terdapat dalam suatu mesin, termasuk didalamnya :

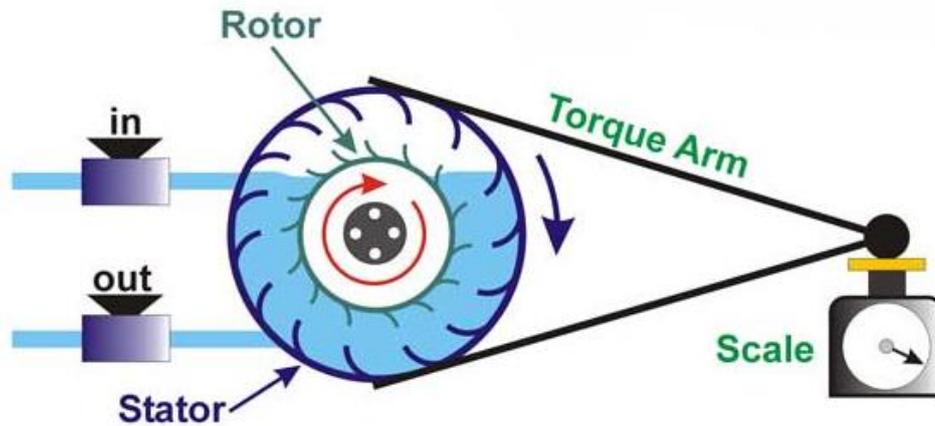
- Energi yang diubah menjadi kerja efektif.
- Energi yang dibuang lewat pembuangan (*exhaust system*).
- Energi yang dibuang lewat pendinginan (*cooling system*).
- Energi yang hilang akibat gesekan (*friction*).

2.2 Mengetahui proses pembakaran pada motor diesel, diantaranya adalah :

- *Heat release* yang terjadi.
- Tekanan maksimum yang terjadi.
- *Knocking* yang terjadi.

### III. PERALATAN UJI

Pengujian untuk melihat karakteristik motor dilakukan pembebanan dengan peralatan dynamometer. Salah satunya adalah *Water Brake Dynamometer*.



Gambar 3.1 Water Brake Dynamometer

*Water Brake Dynamometer* terdiri dari rotor bersudu dan dikopel dengan putaran poros motor, serta stator yang mempunyai dua buah lengan, yaitu lengan pertama sebagai alat keseimbangan dan lengan kedua mempunyai tempat untuk meletakkan beban. Pada lengan kedua terdapat alat untuk mengukur beban (*scale*). Pada stator terdapat dua buah pipa air yang digunakan untuk memasukkan air dan mengeluarkan air dari dalam dynamometer. Semakin banyak air yang masuk kedalam maka semakin berat bebannya. Begitu juga sebaliknya. Ini yang menjadi alasan dinamakan *Water Brake Dynamometer*.

### IV. INSTALASI PERALATAN UJI

Motor diesel uji, dihubungkan dengan sistem pendingin oleh pipa-pipa. Instalasi pendingin dibantu oleh dua penukar panas, untuk pelumas dan pendingin mesin. Penukar panas didinginkan oleh air yang didinginkan dalam *cooling tower*.

Peralatan yang digunakan adalah :

Tabel 4.1 Peralatan yang digunakan untuk praktikum keseimbangan energi

No.	Alat	Foto	Keterangan
1	Mesin Jastram		Objek pengujian
2	Water brake dynamometer		Untuk beban mesin
3	Tachometer		Untuk mengukur jumlah RPM
4	Stopwatch		Untuk menghitung waktu

<p>5</p>	<p><i>Thermometer</i></p>		<p>Untuk mengukur suhu, baik pada mesin dan ruangan</p>
<p>6</p>	<p>Tangki bahan bakar</p>		<p>Penyimpan bahan bakar dan indikator konsumsi bahan bakar</p>

Tabel 4.2 Peralatan yang digunakan untuk praktikum proses pembakaran

No.	Alat	Foto	Keterangan
1	Mesin Jastram		Objek pengujian
2	TMR gas analyzer		Untuk mengukur dan menganalisa proses pembakaran yang diamati

Spesifikasi mesin yang digunakan adalah :

Tabel 4.3 Spesifikasi motor bakar

Diesel Specification	
Maker	Hamburger Motorenwerke Cart Jastram
Motor construction	I-line; 3 cylinders; 4 strokes
Motor type	KRG 3
Nominal power	66 kW at 800 RPM
Bore	180 mm
Stroke	230 mm
Volume	0.01755 m <sup>3</sup> → 17.55 L

## V. TAHAPAN PENGUJIAN

Seperti disebutkan dalam bab tujuan pengujian, terdapat 2 pokok pengamatan, yaitu mengamati :

- Keseimbangan energi dari suatu motor bakar (*balance energy*).
- Proses pembakaran (*combustion proces*).

### 5.1 Keseimbangan Energi (*Balance Energy*)

Dalam motor bakar dalam (*internal combustion engine*) terlihat, bahwa tidak semua nilai kalor hasil pembakaran diubah menjadi kerja indikator, yang selanjutnya diubah menjadi daya poros, setelah terjadi kerugian-kerugian gesekan pada : dinding silinder; bantalan-bantalan; roda gigi dan kerugian untuk menggerakkan pompa bahan bakar; generator; pompa air; katup dan sebagainya. Dari grafik-grafik engine performance terlihat bahwa paling banyak 50% dari nilai kalor yang diubah menjadi kerja indikator.

Pengujian dilakukan dalam 3 putaran mesin yang pada masing-masing putaran diterapkan 3 pembebanan. Dalam masing-masing kondisi pembebanan dan putaran tersebut diambil data-data percobaan seperti yang terdapat dalam tabel pengamatan dan tabel perhitungan.

Tahapan pengujian untuk keseimbangan energi adalah:

1. Pengujian dilakukan pada 3 putaran awal yang ditetapkan (3 putaran tersebut ditentukan oleh instruktur lab).
2. Tentukan putaran mesin (misalnya 500 RPM) pada kondisi tanpa beban.
3. Terapkan pembebanan pada mesin dengan mempertahankan putarannya tetap.
4. Pengamatan dilakukan (sesuai dengan tabel pengamatan).
5. Pembebanan ditambah bertahap sebanyak 3 pembebanan, dengan tetap mempertahankan putarannya.
6. Ulangi point 2 sampai 5 dengan putaran mesin yang berbeda yang telah ditentukan instruktur.

Tabel 5.1 Form pengamatan

No	Putaran (RPM)	Posisi katup	Gaya rem (N)	Jumlah bahan bakar (cc)	Waktu (menit)	Temperatur Ruangan (°C)	Temperatur Air Masuk (°C)			Temperatur Keluar (°C)			Temperatur Silinder (°C)			Temperatur Gas Buang (°C)	Temperatur Oli (°C)	Tekanan udara (mbar)	Volume udara (m <sup>3</sup> /jam)	Volume air pendingin (m <sup>3</sup> )	Tekanan Oli (bar)	
							T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3							
1																						
2																						
3																						
4																						
5																						
6																						
7																						
8																						
9																						

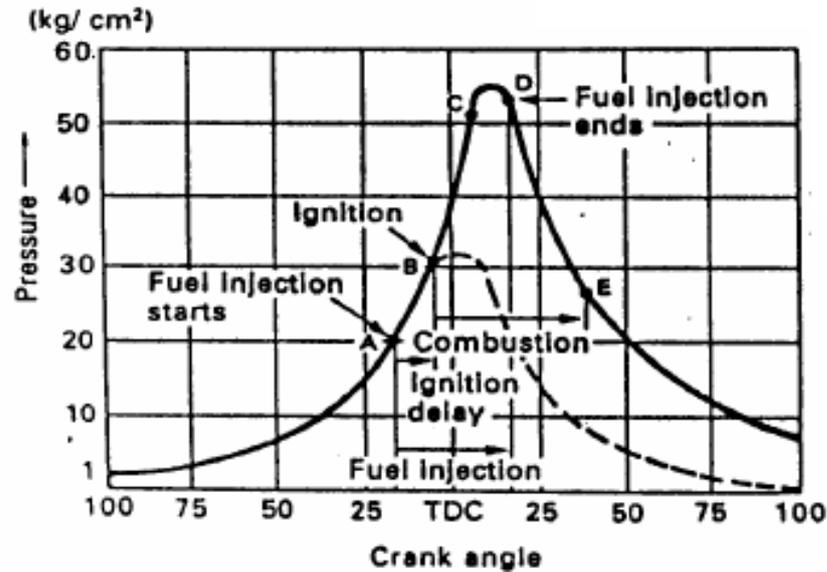
Tabel 5.2 Form perhitungan

No	Item	Simbol	Satuan	Rumus	Beban			
					Tanpa beban			
<b>Daya</b>								
1	Putaran Mesin	n	min <sup>-1</sup>	melihat catatan				
2	Putaran Mesin	n	s <sup>-1</sup>	n/60				
3	Kecepatan sudut	$\omega$	s <sup>-1</sup>	$\omega=2\pi n$				
4	Gaya rem	P <sub>R</sub>	N	melihat catatan				
5	Momen Puntir	M <sub>p</sub>	Nm	M <sub>p</sub> =P <sub>R</sub> l (l = 2,67m untuk Jastram dan l=0,388 untuk Holman)				
6	Daya efektif	N <sub>e</sub>	KW	N <sub>e</sub> =M <sub>p</sub> $\omega$ x10 <sup>-3</sup>				
7	Tekanan efektif rata-rata	P <sub>e</sub>	N/m <sup>2</sup>	P <sub>e</sub> =(N <sub>e</sub> x i/Vl x n)x10 <sup>-3</sup> dimana i=2				
<b>Bahan Bakar</b>								
8	Volume bahan bakar	V <sub>BB</sub>	m <sup>3</sup>	0,25x10 <sup>-3</sup> atau 0,75x10 <sup>-3</sup>				
9	Kerapatan massa	$\rho_{BB}$	kg/m <sup>3</sup>					
10	Waktu aliran bahan bakar	t <sub>BB</sub>	s	melihat catatan				
11	Kecepatan aliran bahan bakar	m <sub>BB</sub>	Kg/s	m <sub>BB</sub> = $\rho_{BB}$ V <sub>BB</sub> /t <sub>BB</sub>				
12	Pemakaian bahan bakar spesifik	b <sub>e</sub>	g/KWh	b <sub>e</sub> =m <sub>BB</sub> /N <sub>e</sub> x3,6x10 <sup>6</sup>				
13	Nilai panas rendah	H <sub>T</sub>	KJ/Kg					
<b>Air Pendingin</b>								
14	Volume air pendingin	V <sub>AP</sub>	m <sup>3</sup>	melihat meteran air				
15	Waktu aliran air pendingin	t <sub>AP</sub>	s	melihat stopwatch				
16	Suhu pemasukan air pendingin	T <sub>APM</sub>	K	melihat catatan				
17	Suhu pengeluaran air pendingin	T <sub>APK</sub>	K	melihat catatan				
18	Kerapatan massa air pendingin	$\rho_{AP}$	Kg/m <sup>3</sup>	melihat diagram I				
19	Kecepatan aliran air pendingin	m <sub>AP</sub>	Kg/s	m <sub>AP</sub> = $\rho_{AP}$ V <sub>AP</sub> /t <sub>AP</sub>				
<b>Udara</b>								
20	Tekanan atmosfer	P <sub>0</sub>	mBar	melihat catatan				
21	Tekanan atmosfer	P <sub>0</sub>	N/m <sup>2</sup>	P <sub>0</sub> =P <sub>0</sub> x10 <sup>2</sup>				
22	Suhu udara	T <sub>U</sub>	K	melihat catatan				
23	Volume aliran udara hisap	V <sub>U</sub>	m <sup>3</sup> /h	melihat catatan				
24	Volume aliran udara hisap	V <sub>U</sub>	m <sup>3</sup> /s	V <sub>U</sub> =V <sub>U</sub> /3600				
25	Tekanan hisap udara	Ph <sub>U</sub>	mBar	melihat catatan				
26	Tekanan hisap udara	Ph <sub>U</sub>	N/m	Ph <sub>U</sub> =Ph <sub>U</sub> x10 <sup>2</sup>				
27	Kerapatan massa udara	$\rho_U$	Kg/m <sup>3</sup>	$\rho_U=Ph_U/(R_U \times T_U)$ dimana R <sub>U</sub> =287 J/KgK				
28	Kerapatan massa aliran udara	m <sub>U</sub>	Kg/s	m <sub>U</sub> =V <sub>U</sub> x $\rho_U$				

29	Kebutuhan udara pembakaran teori	$m_{Ust}$	Kgu/Kg <sub>BB</sub>	$m_{Ust}=(2,667 \times 0,796 \times H+S+N+O)/0,232$	14,047	14,047	14,047	14,047
30	Kecepatan aliran udara teori	$m_{Ust}$	Kgu/s	$m_{Ust}=m_{Ust} \times m_{BB}$				
31	Faktor kelebihan udara	$\lambda$		$\lambda=m_u/m_{Ust}$				
32	$cp/R=t(T)$ untuk udara	$cp/R$		melihat diagram II				
33	Entalpi jenis udara	$h_u$	KJ/Kg	$h_u=cp/R \times R_u \times T_u$ dimana $R_u=0,287$ KJ/KgK				
<b>Gas Pembakar</b>								
34	Suhu gas pembakar	$T_{GP}$	K	melihat catatan				
35	Kecepatan aliran gas pembakar	$m_{GP}$	Kgs	$m_{GP}=m_u+m_{BB}$				
36	$cp/R=t(T)$ untuk gas pembakar	$cp/R$		melihat diagram II				
37	Entalpi jenis gas pembakar	$h_{GP}$	KJ/Kg	$h_{GP}=cp/R \times R_u \times T_{GP}$ dimana $R_u=0,287$ KJ/KgK				
<b>Neraca Energi</b>								
38	Kecepatan aliran energi bahan bakar	$J_{BB}$	KJ/s	$ J_{BB} =m_{BB} \times H_t$				
39	Daya efektif	$N_e$	KJ/s					
40	Efisiensi efektif	$\eta_e$		$\eta_e= N_e/J_{BB} $				
41	Kecepatan aliran energi air pendingin	$J_{AP}$	KJ/s	$ J_{AP} =m_{AP} \times C_{A} \times (T_{APK}-T_{APM})$ dimana $C_A=4,18$ KJ/KgK				
42	Kecepatan aliran energi udara	$J_u$	KJ/s	$ J_u =m_u \times h_u$				
43	Kecepatan aliran energi gas pembakar	$J_{GP}$	KJ/s	$ J_{GP} =m_{GP} \times h_{GP}$				
44	Kecepatan aliran energi konveks	$Q$	KJ/s	$Q= J_{BB} + J_u -( N_e + J_{AP} + J_{GP} )$				

## 5.2 Proses Pembakaran (*Combustion Proses*)

Pada waktu nozle injektor mulai menginjeksikan bahan bakar maka akan terjadi proses yang disebut dengan keterlambatan antara awalnya penyemprotan dengan mulainya bahan bakar terbakar (A – B) atau sepanjang daerah pembakaran tertunda. Jika dimulainya awal penyemprotan bahan bakar oleh injector pada titik A yaitu pada akhir langkah kompresi maka bahan bakar dan udara tidak segera akan terbakar pada titik A tersebut akan tetapi awalnya pembakaran terjadi pada titik B, injektor terus menyemprotkan bahan bakar sampai piston melewati TMA (titik mati atas) setelah langkah kompresi atau awal langkah usaha, untuk lebih jelasnya lihat grafik di bawah ini:



Gambar 5.1 Proses pembakaran pada mesin diesel

Tahapan pengujian untuk proses pembakaran adalah:

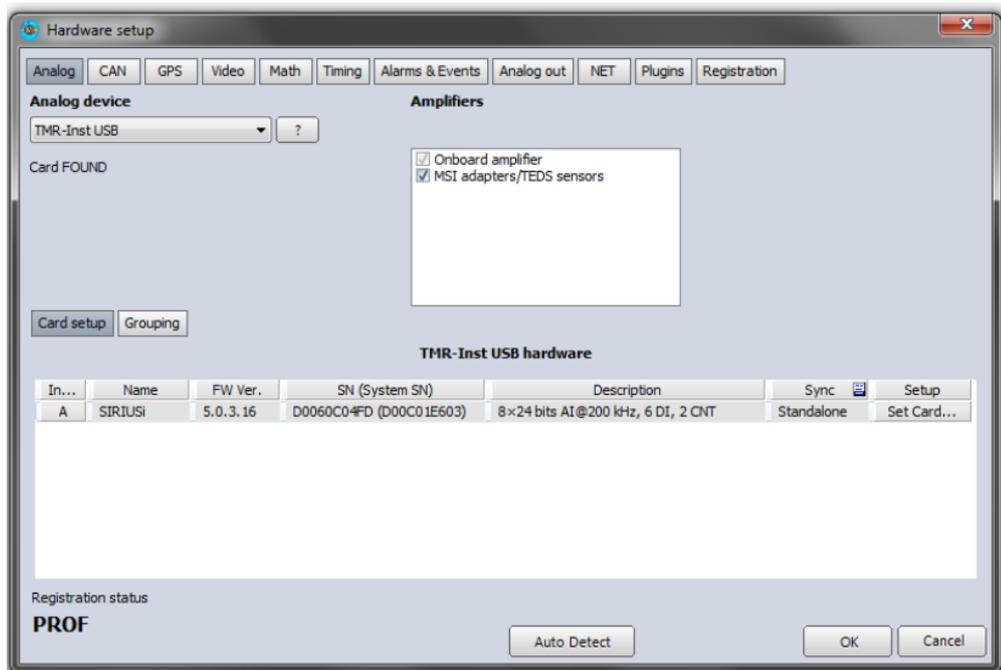
- 1 Pengujian dilakukan pada 3 putaran awal yang ditetapkan (3 putaran tersebut ditentukan oleh instruktur lab). Disamakan dengan RPM pada praktikum keseimbangan energi.
- 2 Tentukan putaran mesin (misalnya 500 RPM) pada kondisi tanpa beban.
- 3 Terapkan pembebanan pada mesin dengan mempertahankan putarannya tetap.
- 4 Pengamatan dilakukan (sesuai dengan tabel pengamatan). Data yang diambil adalah tekanan (P), *knocking*, *heat release*, dan IMEP yang ditampilkan oleh *TMR gas analyzer*.
- 5 Ulangi point 2 sampai 4 dengan putaran mesin yang berbeda yang telah ditentukan instruktur.

Untuk lebih jelasnya tentang penggunaan *TMR gas analyzer* dan pengambilan datanya, dapat dilihat pada langkah-langkah dibawah ini.

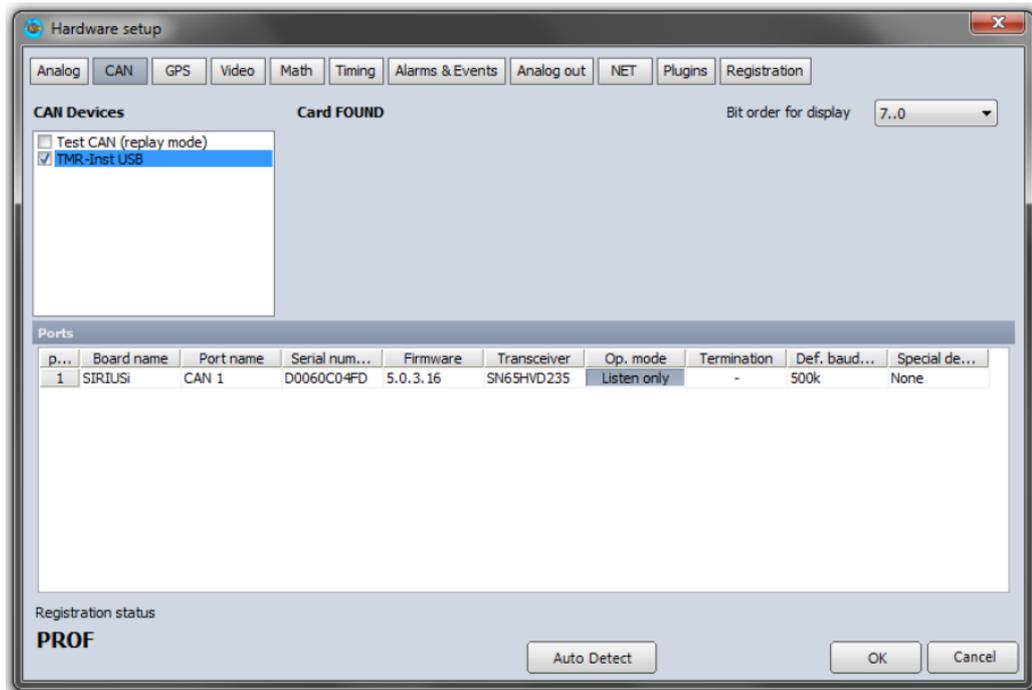
1. *Setup* hardware dan software analisis proses pembakaran yaitu Vibrasindo TMR-Card Board & TMR-Crankangle-CPU dengan Software SYSMONSoft v2.0.3 sebagai data akuisisi, proses dan analisis. Selain itu juga melakukan *Engine Setup* yang dikomparasikan dengan hardware dan software tersebut seperti pada Gambar 5.2 dibawah ini. Pemasangan *Pressure Transducer* serta *Rotating Encoder*.
2. Proses Hardware Setup dilakukan untuk menyambungkan antara device yang terinstal software dengan hardware (*Analyzer*) yang terhubung dengan mesin seperti pada Gambar 5.3, 5.4 dan 5.5 dibawah ini



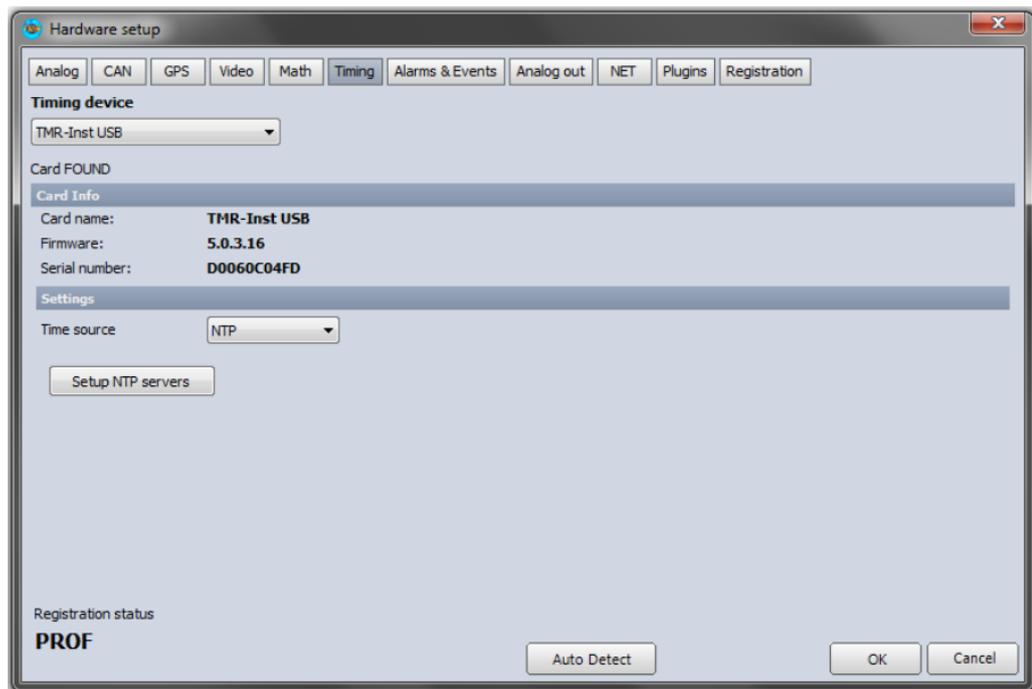
Gambar 5.2 Proses Setup Hardware



Gambar 5.3 Analog Device Hardware Setup

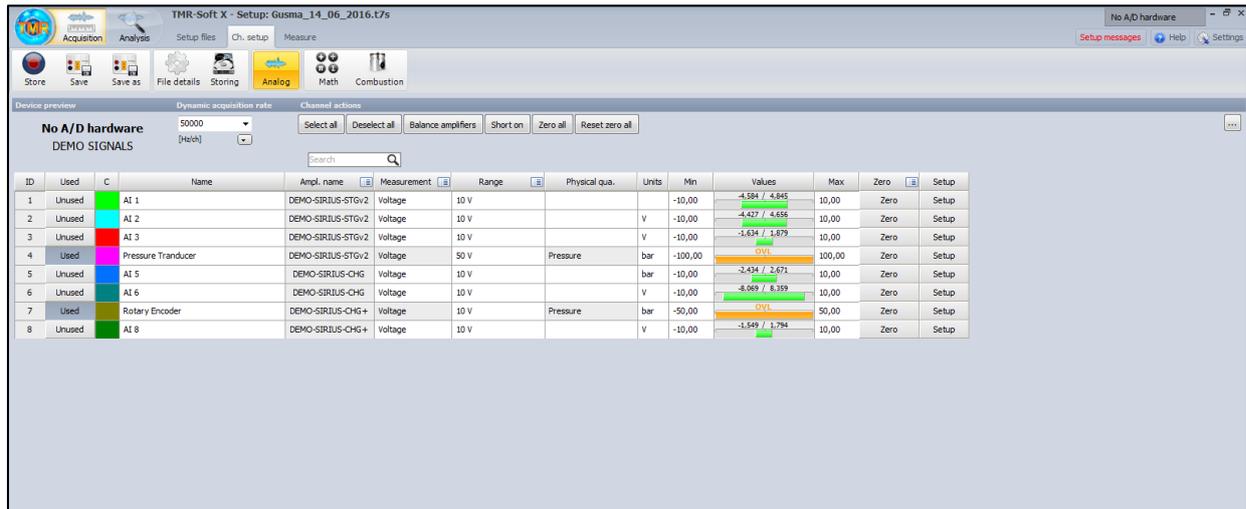


Gambar 5.4 CAN Device Hardware Setup



Gambar 5.5 Timing Device Hardware Setup

- Proses selanjutnya yaitu melakukan *Analog Setup* di "Acquisition Bar". Dari 7 *Device Preview* yang tersedia, 2 yang digunakan untuk *Pressure Transducer* dan *Crank Angle Encoder*. Kemudian menentukan satuan dari *Dynamic Acquisition Rate* yaitu 50.000 Hz/ch dimana berfungsi sebagai data akuisisi. Semakin tinggi satuan semakin teliti hasil analisis yang dibaca oleh alat tersebut.



Gambar 5.6 Analog Signal Hardware Setup

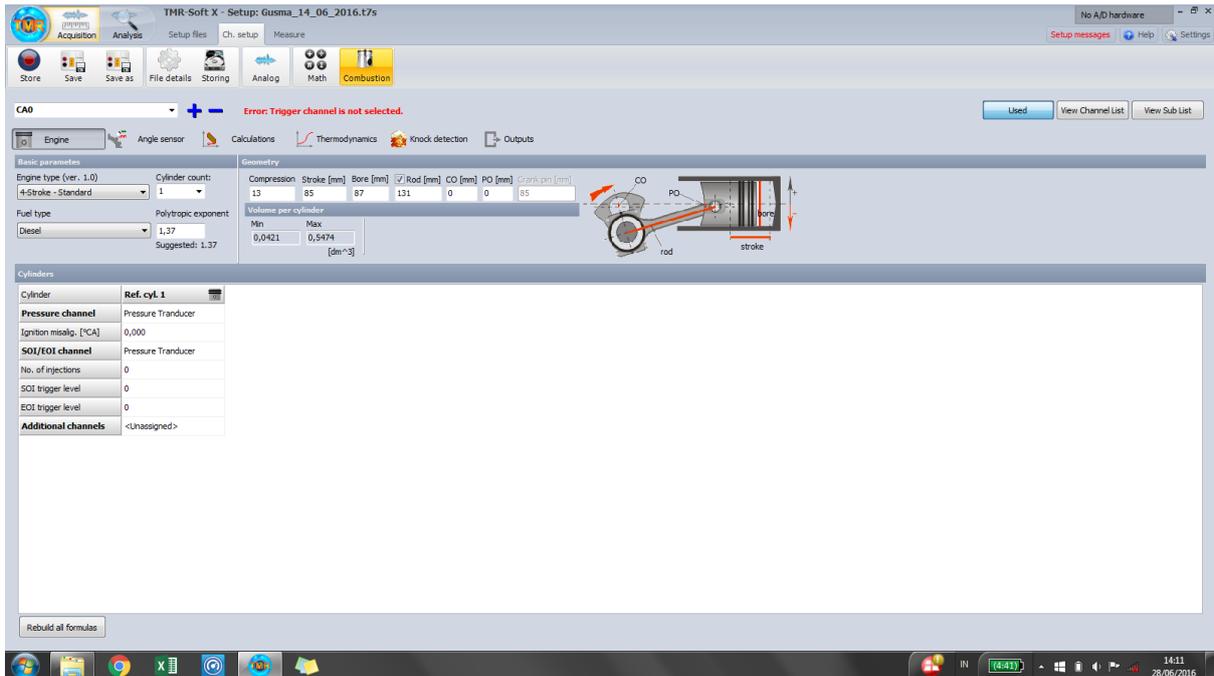
Setelah proses *Analog Setup* selesai maka selanjutnya menentukan parameter pada “Combustion Bar” seperti:

- Basic Parameter* yang terdiri dari karakteristik mesin *Yanmar TF85-MH*.
- Angle Sensor Type* : yaitu *Encoder – 1000*; *Connected to* (yaitu pada *Rotation Encoder* di *Ch7*); *Resolution* (Semakin rendah semakin jelas tingkat ketelitian analisisnya) yaitu 0.5 deg; 720p/rev
- Outputs* : Yaitu *Max. Pressure, Heat Release, MEP, Work, Power, Torque, Knock Detection*
- Top Dead Center Detection*. Proses tersebut dilakukan untuk mengkalibrasi agar tekanan yang dihasilkan sesuai dengan derajat saat mesin dalam keadaan kompresi dan kerja.

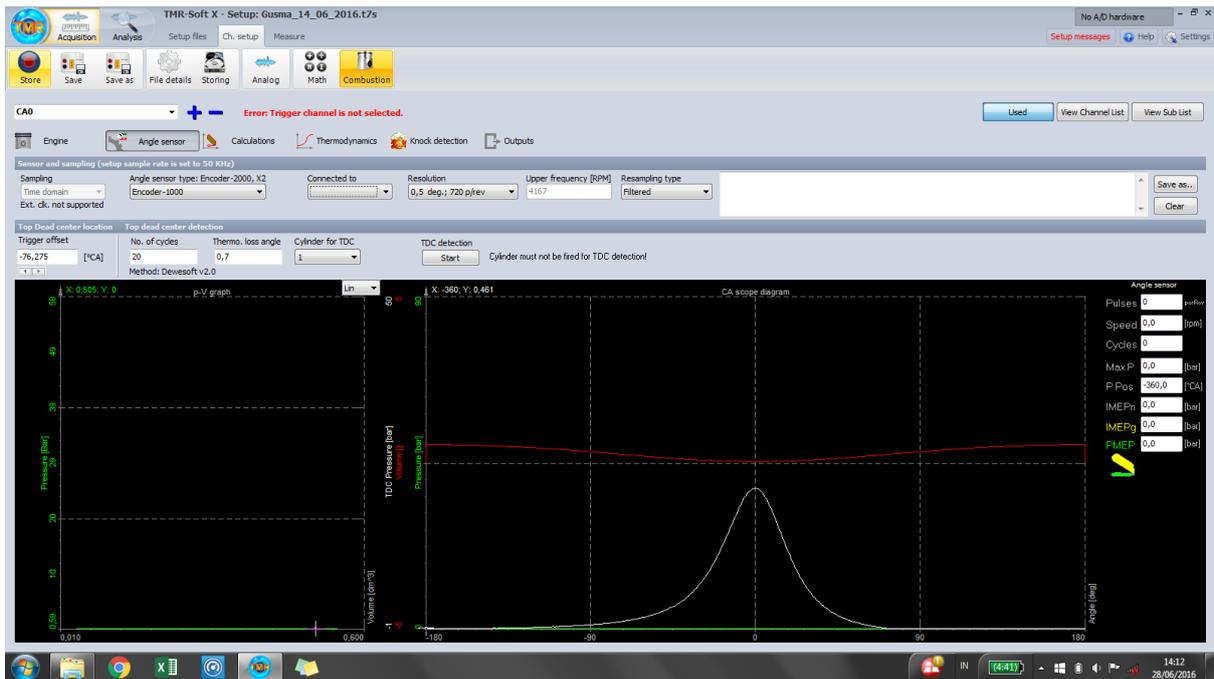
Data proses pembakaran dapat diambil ketika *hardware setup, analog setup, engine setup* sudah terhubung dan mesin dalam keadaan hidup. Data tersebut bisa ditampilkan pada layar monitor pada “*Measure Bar*” dengan menyeting sesuai dengan kebutuhan apa saja yang dibutuhkan.

Hasil analisis proses pembakaran yaitu berupa grafik yang terletak dalam “*Analysis* di *Main Bar*” yang dapat diekspor menjadi angka (excel). Dalam proses ekspor dibagi menjadi 2 versi yaitu data berupa skalar dan data berupa vector. Dimensi skalar yaitu data single yang mengacu pada hasil akhir tanpa acuan derajat. Dan dimensi vektor yaitu menggunakan acuan derajat sehingga hasilnya lebih rinci seperti pada Gambar 5.7 dan 5.8 dibawah ini.

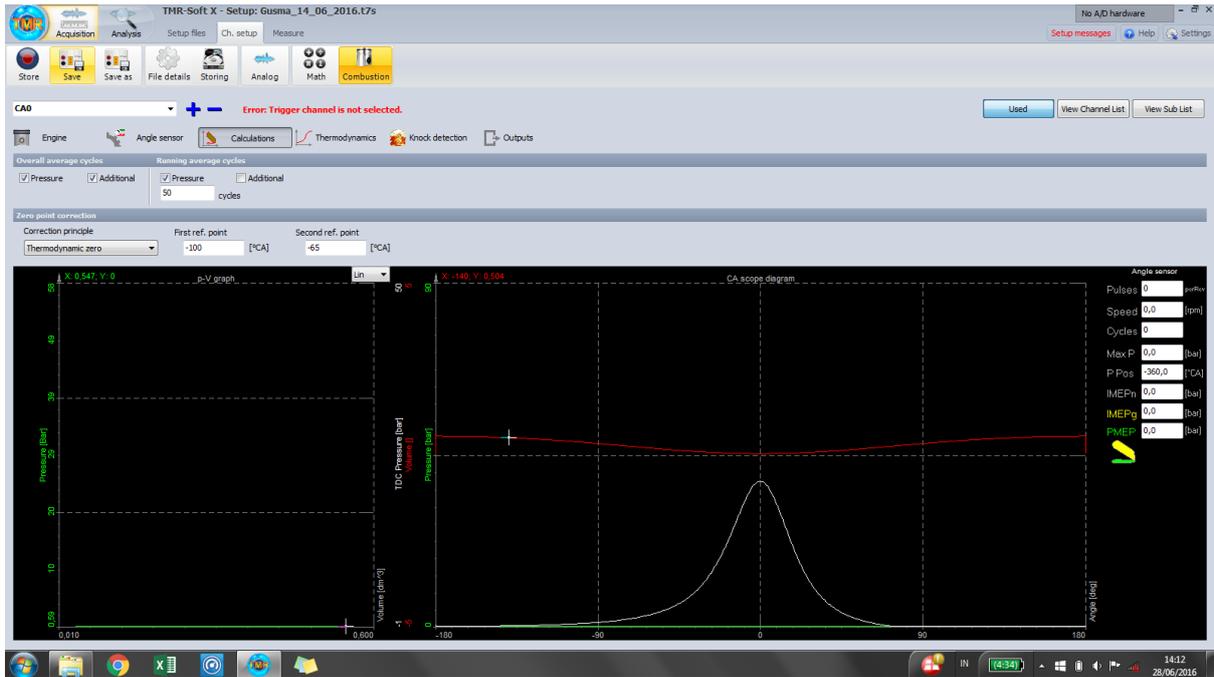




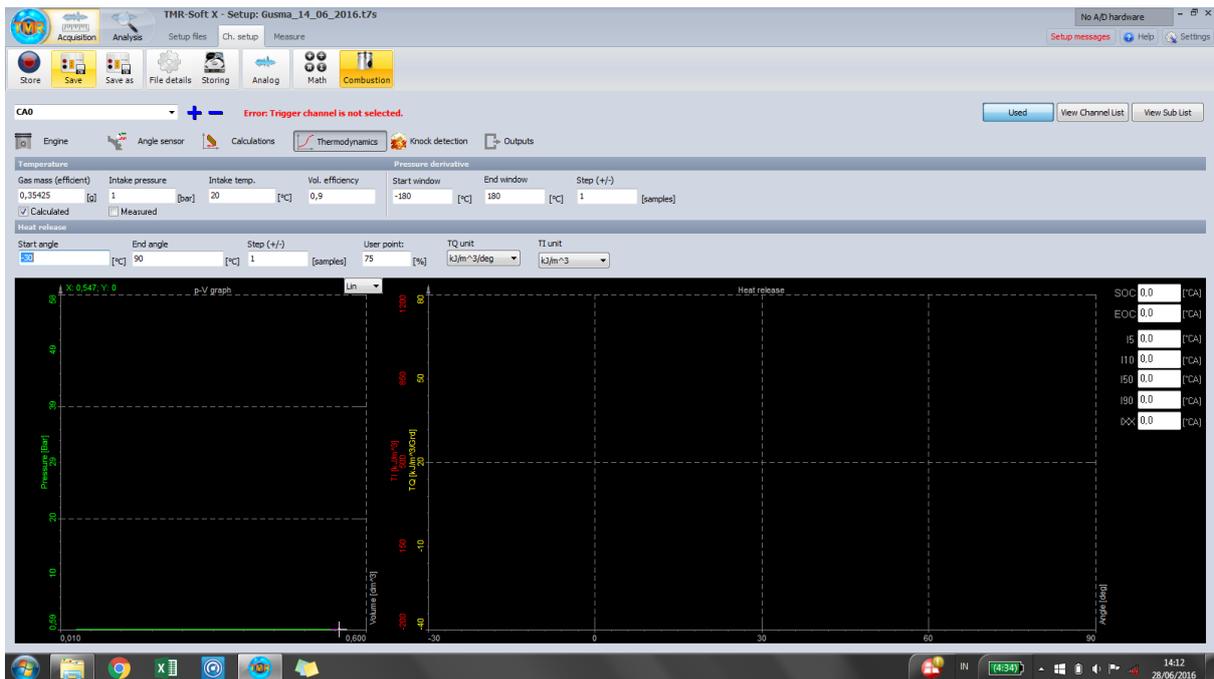
Gambar 5.9 Running Combustion Proses



Gambar 5.10 Hasil Untuk angle sensor



Gambar 5.11 Hasil Untuk Calculations



Gambar 5.12 Hasil Untuk Thermodynamic



Gambar 5.13 Hasil Untuk Proses Pembakaran

Tabel 5.3 Form pengamatan

No	Putaran (RPM)	Gaya rem (N)	Heat Release (kJ/m <sup>3</sup> )	Maximum Pressure (bar)	Knocking (bar)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					

Tugas analisa data pengujian:

1. Buatlah diagram hubungan antara *Pressure VS Crank Angle* beserta analisisnya.
2. Buatlah diagram untuk *heat release* beserta analisisnya.
3. Buatlah diagram untuk *knocking* yang terjadi beserta analisisnya.
4. Buatlah analisa IMEP pada proses pembakaran.