

# Desain dan Implementasi “Sistem Pendingin *Non-Conventional* pada Motor Bakar Tidak Bergerak “ Berbasis *Controlled Water Flow System*”

Siti Rodiyah Andary<sup>#1</sup>, Tjatur Derta Utama<sup>#2</sup>

<sup>#</sup>Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Jember  
Jl. Mastrip PO BOX 164 Jember, 68121

<sup>1</sup>diahandary@yahoo.com

<sup>2</sup>tjaturdertautama@gmail.com

## Abstract

The cooling system on the vehicle engine is a system that serves to keep the engine temperature in ideal conditions. The continuous combustion process in the engine produces the engine in a very high-temperature conditions. Extremely high temperatures will result in uneconomical engine design, most machines are also in an environment not too far away with humans thereby lowering the safety factor. Very low temperatures are also not very profitable in the process of working the machine. The problem arises when the existing motor fuel system is not equipped with a conventional cooling system such as a radiator. This is because the motor fuel system is stationary in one place, while the conventional water-based machine cooling system, ideally working on a moving machine, such as a car. In order to maintain engine endurance in motor fuel systems as well as practical activities that utilized by the engine is running well, required a non-conventional system that is easy to move and reliably.

**Keywords**— The cooling system, non-conventional system, easy to move, reliably

## I. PENDAHULUAN

Politeknik Negeri Jember salah satu perguruan tinggi yang menerapkan sistem pembelajaran berbasis kompetensi telah mengembangkan peralatannya untuk mendukung hal tersebut. Salah satu peralatan yang mendukung kegiatan praktikum adalah motor bakar berbasis *gasoline engine* dan *diesel engine*[1]. Beberapa motor bakar tersebut pada program studi Teknik Mesin Otomotif digunakan dalam beberapa kegiatan praktikum, diantaranya praktikum Teknologi Injeksi, Teknik Pengukuran dan Uji Prestasi Mesin[2]. Permasalahan muncul manakala sistem motor bakar yang ada, tidak dilengkapi dengan sistem pendingin konvensional seperti radiator. Hal ini dikarenakan sistem motor bakar ini dalam kondisi diam di satu tempat, sedangkan sistem pendingin mesin konvensional berbasis air, idealnya bekerja pada mesin yang bergerak, semisal mobil. Sistem pendingin mesin yang selama ini ada, membutuhkan sirkulasi air konstan dengan debit tetap sekitar 6 l/menit pada tekanan 3 bar, serta suhu yang terkontrol yaitu maksimal 45°C, dimana sistem pendingin ini tidak ada pada sistem motor bakar itu sendiri sejak dari vendor pengembang.

Dalam rangka menjaga keawetan mesin pada sistem

motor bakar serta kegiatan praktikum yang memanfaatkan mesin tersebut berjalan dengan baik, maka dibutuhkan sistem pendingin non konvensional yang mudah dipindah-pindah dan handal. Untuk mencapai tujuan tersebut dibutuhkan beberapa tahapan diantaranya. Mendesain sistem pendingin berbasis air dengan debit serta suhu terkontrol. Menguji berbagai alternatif penampungan air (tandon) yang paling optimal, untuk menjaga temperatur air tetap di bawah suhu rekomendasi untuk jangka waktu tertentu. Menghasilkan sistem pendingin sistem motor bakar dengan debit dan serta suhu terkontrol serta mudah dipindah-pindah yang paling optimal.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Sistem Pendingin Motor Bakar

Sistem pendinginan dalam mesin kendaraan adalah suatu sistem yang berfungsi untuk menjaga supaya temperatur mesin dalam kondisi yang ideal. Proses pembakaran yang berlangsung terus menerus dalam mesin mengakibatkan mesin dalam kondisi temperatur yang sangat tinggi. Temperatur sangat tinggi akan mengakibatkan desain mesin menjadi tidak ekonomis, sebagian besar mesin juga berada di lingkungan yang tidak terlalu jauh dengan manusia sehingga menurunkan faktor keamanan[3]. Temperatur yang sangat rendah juga tidak terlalu menguntungkan dalam

proses kerja mesin. Sistem pendinginan digunakan agar temperatur mesin terjaga pada batas temperatur kerja yang ideal.

Prinsip pendinginan adalah melepaskan panas mesin ke udara, tipe 1 langsung dilepaskan ke udara disebut pendinginan udara (air cooling), tipe 2 menggunakan fluida sebagai perantara disebut pendinginan air[4].

### B. Armfield Engine



Gambar. 1 Alat Praktikum Motor Bakar yang digunakan di Prodi Otomotif POLIJE.

The Armfield CM11MkII seperti yang terlihat pada gambar 1 adalah integrasi dari Mesin multi silinder, dinamometer dan Sistem instrumentasi, berdasarkan VAG (Volkswagon Automotive Group) 1.2 Liter, mesin 3 silinder, Seperti yang digunakan di sejumlah mobil VW. Mesin ini adalah a Desain modern, dengan manajemen mesin elektronik Dari penyalaan dan pengaturan injeksi bahan bakar[5].

Armfield CM11MkII dapat dijalankan pada berbagai macam campuran biofuel dan etanol. Ini bisa digunakan untuk pengujian bahan bakar dan latihan perbandingan. (Setelah masing-masing berjalan dengan bahan bakar non-standar, mesin harus dijalankan dalam waktu singkat dengan bensin standar.

Dinamika arus eddy menyediakan beban variabel pada mesin, memungkinkan karakteristik dan kurva torsi untuk diproduksi ulang di laboratorium.

Sistem dilengkapi dengan instrumentasi yang luas, termasuk pengukuran RPM, torsi (dari mana daya dapat dihitung), ditambah berbagai suhu, tekanan dan arus.

Seluruh sistem dirancang untuk dihubungkan ke komputer menggunakan perangkat lunak yang disediakan. Ini menyediakan pemantauan real time dari berbagai sensor, dengan berbagai pilihan data logging dan grafis. Dinamometer dan throttle keduanya dapat dikontrol secara elektronik, yang membuat pemasangan menjadi sel uji

tertutup sangat mudah, dan memungkinkan pengoperasian jauh. Fasilitas pengawas keselamatan 'memastikan sistem mati dengan aman jika terjadi kegagalan komputer atau perangkat lunak.

Antarmuka kompatibel dengan paket seperti LabVIEW™ dan MatLab untuk pengguna yang ingin memberikan kontrol dan perangkat lunak pemantauan mereka sendiri. Keuntungan lebih lanjut dari kontrol komputer adalah pembacaan RPM yang stabil dapat dengan mudah dicapai dengan menggunakan fungsi kontrol loop tertutup pada drive dinamometer. Sistem pendinginan air tertutup primer tertutup, lengkap dengan alat penukar panas untuk menghubungkan ke suplai air dingin sekunder.

Fitur dari sistem ini adalah Engine Control Unit (ECU), yang mengendalikan waktu pengapian dan karakteristik injeksi bahan bakar. Pengguna memiliki akses penuh terhadap informasi ini, dan pengguna tingkat lanjut dapat mengubah parameter untuk mengeksplorasi kinerja mesin dalam kondisi yang berbeda. Juga waktu pembukaan injector tersedia dari perangkat lunak ECU dan bisa digunakan untuk menghitung konsumsi bahan bakar yang akurat.

Perangkat lunak ECU dapat dijalankan di komputer yang sama seperti yang digunakan untuk kontrol dan pencatatan data, atau dapat dijalankan di komputer yang terpisah.

Fitur Armfield CM11MkII

Fitur yang dimiliki dari mesin Armfield CM11MkII diantaranya

- a. Modern, efisiensi tinggi, mesin otomotif 3 silinder.
- b. Biofuel yang kompatibel.
- c. Integrated eddy current dynamometer untuk memvariasikan beban mesin.
- d. Plotting torsi karakteristik dan kurva daya terhadap kecepatan mesin.
- e. Kendali perangkat lunak sistem, termasuk pengaturan beban dan throttle.
- f. Kontrol perangkat lunak loop tertutup dari pemuatan rem untuk mempertahankan konstan Kecepatan mesin selama pengukuran.
- g. Kontrol pengguna timing pengapian dan injeksi bahan bakar sekarang standar.
- h. Pendingin air sekunder dengan alat penukar panas, dengan pengukuran Perubahan suhu dan laju alir.
- i. Versi MkII dilengkapi dengan sensor Lambda wideband untuk Peningkatan kinerja.
- j. Remote emergency stop, dan fasilitas untuk safety interlocks.
- k. Opsional operasi dengan LPG serta bensin dan biofuel.
- l. Opsional pengukuran tekanan silinder, dan merencanakan ini Diagram p-V.

Spesifikasi Teknis Armfield CM11MkII

Data mesin

Model Mesin : tipe VAG AWY

Pemindahan :

1198cc

Bore	: 76.5mm
Stroke	: 86.9mm
Silinder	: 3 (6 katup)
Daya Nominal	: 40kW @ 4700 rpm (Berjalan dengan bensin)
Torsi Nominal	: 106Nm @ 3750 rpm (Berjalan dengan bensin)
Data dinamometer	
Tipe dinamometer	: arus eddy
Pendingin	: Udara didinginkan
Max Power	: 55kW selama 20 menit

#### Instrumentasi dan Sensor:

- Penghitung kecepatan mesin
- Muatkan sel untuk mengukur torsi
- Aliran udara masuk diukur dengan plat orifice
- Suhu udara masuk
- Aliran air pendingin sekunder dan
- Suhu (inlet dan outlet)
- Sensor Lambda (wideband).

#### C. Termodinamika Air

Termodinamika adalah suatu ilmu yang menggambarkan usaha untuk mengubah kalor (perpindahan energi yang disebabkan perbedaan suhu) menjadi energi serta sifat-sifat pendukungnya. Termodinamika berhubungan erat dengan fisika energi, panas, kerja, entropi dan kespontanan proses. Termodinamika juga berhubungan dengan mekanika statik. Dalam proses pendinginan motor bakar menggunakan air kali ini proses termodinamika dianggap hal yang perlu diperhatikan karena terdapat proses pemanasan air pendingin oleh motor bakar itu sendiri pada saat mesin dijalankan.

Berikut adalah beberapa karakteristik dasar termodinamika air :

Sifat termal untuk air[6]:

- Kepadatan maksimum pada 4 °C - 1000 kg / m<sup>3</sup>
- Berat spesifik pada 4 °C - 9,807 kN / m<sup>3</sup>
- Suhu beku - 0 °C
- Suhu mendidih - 100 °C
- Panas laten mencair - 334 kJ / kg
- Panas akhir penguapan - 2257 kJ / kg
- Suhu kritis - 380 °C - 386 °C
- Tekanan kritis - 221,2 bar, 22,1 MPa (MN / m<sup>2</sup>)
- Air panas spesifik - 4.187 kJ / kgK
- Uap air panas spesifik - 1,996 kJ / kgK
- Ekspansi termal dari 4 °C sampai 100 °C - 4.2x10<sup>-2</sup> (Catatan! - Ekspansi suhu volumetrik air tidak linier dengan suhu)
- Elastisitas modulus bulk - 2,15 x 10<sup>9</sup> (Pa, N / m<sup>2</sup>)

#### III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Tujuan dan manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Mendesain sistem pendingin non konvensional berbasis air dengan debit dan suhu terkontrol.
- Menguji berbagai alternatif penampungan air (tandon) yang paling optimal, untuk menjaga temperatur air tetap dibawah suhu rekomendasi pada jangka waktu tertentu.
- Menghasilkan sistem pendingin sistem motor bakar non konvensional dengan debit dan suhu terkontrol serta mudah dipindah-pindah yang paling optimal.

#### IV. METODE PENELITIAN

##### A. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu dengan melakukan pengujian terhadap sistem pendingin motor bakar non konvensional yang telah dikembangkan dimana debit dan suhu terkontrol serta mudah dipindah-pindah.

##### B. Tahapan Penelitian

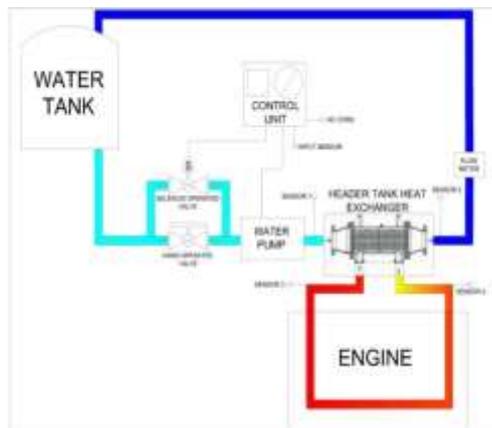
- Melakukan analisis kebutuhan sistem pendingin motor bakar non konvensional dengan debit dan suhu terkontrol serta mudah dipindah-pindah.
  - Sistem Pemipaan  
Sistem ini merupakan sistem yang berperan untuk mendistribusikan air dari tandon kemudian dihisap oleh pompa dan dimasukkan kedalam ruang pendingin mesin, untuk kemudian dialirkan kembali kedalam tandon untuk proses pendinginan. Sistem ini dinilai penting karena sirkulasi air harus dipastikan lancar sesuai dengan debit yang dibutuhkan.
  - Penampungan  
Pada bagian ini merupakan penampungan air (tandon) utama yang nantinya akan disirkulasikan kedalam sistem pendingin mesin. Perhitungan kapasitas tandon yang tepat akan membuat kecepatan kenaikan suhu air didalam tandon akibat air dari sisa pendinginan mesin yang hangat, menjadi lebih lambat. Bahan baku dari tandon itu sendiri juga akan mempengaruhi proses pendinginan air didalamnya menjadi lebih optimal. Pemilihan model tandon yang tepat juga akan memudahkan perakitan sistem yang mudah dipindah-pindah.
  - Sistem Pengatur Debit  
Pada sistem ini akan mempertahankan debit air yang masuk pada mesin tetap terkontrol sekitar 17-27 lt/menit pada tekanan 3 bar. Hal ini diperlukan karena kebutuhan minimal dari debit air yang

masuk sesuai spesifikasi teknis dari mesin adalah 17-27 lt/menit pada tekanan 3 bar.

- Sistem Pengatur Suhu  
Pada sistem ini memungkinkan pengguna sistem motor bakar bisa melihat suhu air dalam tandon. Hal ini bertujuan untuk menjaga suhu air tetap terjaga dibawah 45°C.
- b. Melakukan pengembangan sistem pendingin sistem motor bakar non konvensional dengan debit dan serta suhu terkontrol.

V. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

Untuk menyelesaikan permasalahan yang ada diperlukan desain dari sistem pendingin motor bakar menggunakan *controlled water flow system*. Mulai dari sistem sirkulasi air maupun sistem sensor untuk pengamanan dari sistem itu sendiri. Desain sistem sistem pendingin motor bakar menggunakan *controlled water flow system* terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Desain Sistem Pendingin Motor Bakar.

Air dingin dari *Water Tank* dipompakan kedalam *Header Tank Heat Exchanger* menggunakan *Water Pump*. Debit air yang masuk diatur secara otomatis menggunakan *solenoids operated valve*. Air pendingin dari *Header Tank Heat Exchanger* akan kembali masuk ke dalam tandon untuk nantinya akan disirkulasikan kembali. Air yang akan masuk ke dalam *Header Tank Heat Exchanger* akan disensor temperaturnya oleh sensor 1. Sedangkan air yang keluar dari *Header Tank Heat Exchanger* juga akan disensor oleh sensor 2. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui perbandingan suhu air yang masuk dan suhu air yang keluar. Apabila temperatur sudah melebihi ambang batas, pada sistem ini dilengkapi *bypass valve* yaitu *electric selenoid valve* yang akan menambah debit air yang masuk kedalam *Header Tank Heat Exchanger* secara otomatis sehingga diharapkan suhu air lebih cepat turun.

Pada sisi mesin motor bakar juga ditambahkan sensor temperatur pada internal water coolant system yang ber

sirkulasi di dalam mesin motor bakar itu sendiri yaitu sensor 3 dan sensor 4. Hal ini dilakukan untuk menambah nilai acuan temperatur pada sistem yang dikembangkan.

Pada gambar 3 menunjukkan bagaimana sistem pendingin motor bakar berbasis *controlled water flow system* telah selesai dibuat dan siap diuji.



Gambar 3 Sistem pendingin motor bakar yang telah jadi.

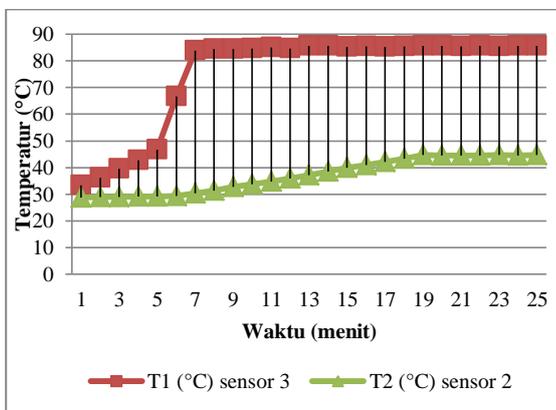
Proses pengujian dari sistem yang telah dikembangkan meliputi pengujian perubahan kapasitas air terhadap pengaruh pendinginan mesin pada jangka waktu tertentu. Setting debit air mengikuti ketentuan minimal operasional alat yaitu 17-27 lt/menit. Sehingga nantinya diperoleh kapasitas air paling efisien agar mesin motor bakar tetap berjalan dengan baik pada saat kegiatan praktikum mahasiswa berlangsung.

TABEL 1  
PENGUJIAN PERUBAHAN KAPASITAS AIR ( 100LT, 200LT DAN 300LT ),  
ENGINE RUNNING : 2800 RPM, LOAD : 40%

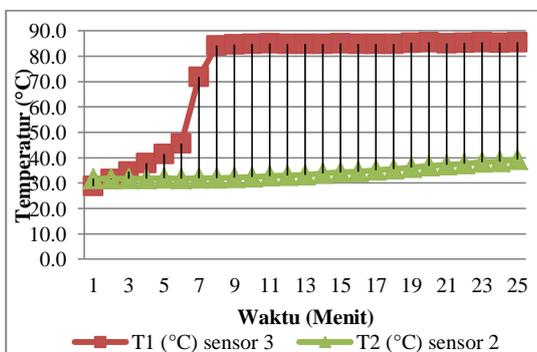
Waktu Uji	Kapasitas 100 lt		Kapasitas 200 lt		Kapasitas 300 lt	
	T1 (°C) sensor 3	T2 (°C) sensor 2	T1 (°C) sensor 3	T2 (°C) sensor 2	T1 (°C) sensor 3	T2 (°C) sensor 2
1	33.4	28.8	28.9	31.8	29.8	29.1
2	36.2	28.9	31.6	31.8	33.6	29.0
3	39.5	29.0	34.5	31.8	38.5	29.1
4	42.8	29.2	37.8	31.8	44.2	29.1
5	46.8	29.1	41.4	31.9	62.4	29.1
6	66.6	29.3	45.5	31.8	83.7	30.0
7	83.8	30.3	71.9	31.9	84.2	30.7
8	84.5	31.4	84.1	32.0	84.2	31.2
9	84.5	32.7	84.6	32.2	84.5	31.8
10	84.7	33.8	84.8	32.4	84.4	32.4
11	85.0	34.7	85.0	32.7	84.3	33.1
12	84.7	35.9	84.8	33.0	84.6	33.5
13	85.6	37.2	84.9	33.3	84.5	34.4
14	85.6	38.5	84.8	33.8	84.3	34.5
15	85.3	39.9	85.0	34.2	84.5	34.7

16	85.4	41.0	84.8	34.5	84.5	35.1
17	85.3	42.2	84.9	35.0	84.5	35.7
18	85.4	43.4	84.9	35.6	84.2	36.3
19	85.6	44.7	85.3	36.1	84.3	36.5
20	85.6	44.6	85.4	36.8	84.3	36.8
21	85.5	44.5	85.1	37.1	84.3	37.3
22	85.6	44.6	85.2	37.6	84.3	37.6
23	85.5	44.7	85.4	38.2	84.4	37.7
24	85.6	44.6	85.2	38.5	84.5	37.7
25	85.6	44.7	85.5	39.2	84.4	38.0

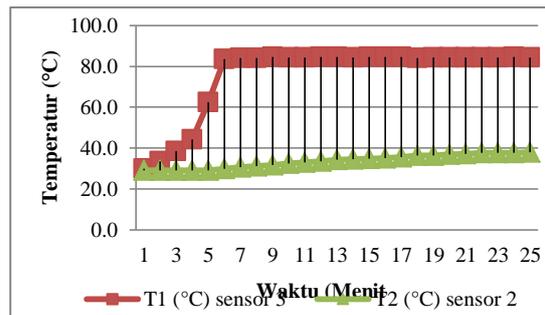
Tabel 1 memperlihatkan hasil pengujian sistem pendingin dengan merubah volume air pada tandon. Perubahan volume air pada tandon dirubah mulai dari kapasitas 100 lt, 200 lt dan 300 lt. Hal ini dilakukan untuk mencari komposisi air tandon yang paling efisien dimana selama proses pendinginan, temperatur/suhu air untuk proses pendinginan masih di bawah suhu yang direkomendasikan yaitu 45°C[5].



Gambar 4. Grafik temperatur air terhadap waktu untuk kapasitas air = 100 lt



Gambar 5. Grafik temperatur air terhadap waktu untuk kapasitas air = 200 lt



Gambar 6. Grafik temperatur air terhadap waktu untuk kapasitas air = 300 lt

T1 dan T2 merupakan suhu yang dibaca pada saat pengujian sistem dimana mesin motor bakar dijalankan dan sistem pendingin juga diaktifkan secara bersama-sama. T1 merupakan nilai suhu pada sensor 3 pada gambar 2 dan T2 merupakan nilai suhu pada sensor 2 pada gambar 2. T2 digunakan untuk mengukur suhu air pada sistem pendingin eksternal yang dikembangkan, sedang T1 digunakan untuk mengukur suhu internal coolant pada mesin itu sendiri.

Pada gambar 4, yaitu pada volume air tandon 100 lt, suhu air tandon (T2) di awal tercatat 28,8 °C. Suhu tersebut berangsur-angsur naik sampai menit ke 25 suhu akhirnya adalah 44,7 °C. Nilai suhu (T2) terakhir sudah mendekati nilai suhu yang direkomendasikan oleh mesin. Suhu pada water coolant internal mesin (T1) pada menit ke 7 dan 8 sudah mulai naik signifikan ke angka lebih dari 80 °C hal ini memang menjadi hal wajar, karena mesin motor bakar akan bekerja dengan efisien suhu pendingin internal mesin berkisar 80 – 90 °C. Sebab kalau suhu pendingin internal mesin dibawah itu maka nilai oktan dari bahan bakar akan turun dan mesin menjadi lebih boros[4].

Gambar 5 menunjukkan kenaikan suhu air tandon pada volume 200 lt. Suhu awal (T2) terpantau 31,8 °C dan setelah digunakan untuk pendinginan mesin selama 25 menit mengalami kenaikan hingga 39,2 °C. Nilai suhu tersebut jauh dibawah nilai suhu yang direkomendasikan yaitu 45 °C.

Sedangkan pada gambar 6. Menunjukkan peningkatan suhu pendingin (T2) pada volume air tandon 300 lt. Suhu Awal (T2) tercatat 29,1 °C dan suhu akhir tercatat 38 °C. Hal ini menunjukkan volume yang lebih besar, proses pemanasan yang diakibatkan dari proses pendinginan mesin di dalam *Header Tank Heat Exchanger* menjadi lebih lambat.

## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Dari berbagai percobaan yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan di antaranya :

1. Selama proses percobaan dengan merubah volume air dari 100 lt hingga 300 lt, temperatur air pendingin yang keluar dari *Header Tank Heat Exchanger*

belum mencapai 45 °C (temperatur rekomendasi Armfield). Hal ini dimungkinkan bekerjanya sistem kontrol temperatur dengan baik, sehingga *solenoid valve* bekerja sesuai harapan :

- a. ON → debit air di-*bypass* (27 lt/menit)
  - b. OFF → debit air dibatasi (17 lt/menit)
2. Nilai Suhu paling atas diperoleh pada volume tandon 100 lt, yaitu pada nilai 44,7 °C.
  3. Volume air tandon yang paling efisien adalah pada nilai 100 lt. Karena :
    - a. Jumlah air yang digunakan tidak berlebihan.
    - b. Suhu maksimal yang dicapai masih di bawah ambang batas untuk penggunaan mesin motor bakar selama 25 menit.
    - c. Dengan penghematan air maka target Go Green POLIJE bisa tercapai.
  4. Terjaminnya keberlangsungan praktikum tepat waktu dikarenakan kelebihan sistem ini yang mudah digunakan dan bersifat mobile.
  5. Sistem ini juga mendukung keberlangsungan beberapa praktikum mata kuliah lainnya

#### B. Saran

Mengingat masih ada beberapa kelemahan dari sistem ini, diantaranya adalah terbatasnya durasi waktu operasional maka dianggap perlu untuk dikembangkan supaya sistem ini bisa digunakan untuk durasi waktu yang lebih lama, sehingga bisa untuk mendukung operasional alat-alat selain CM11 dan CM12 dan juga mata kuliah dan pengujian-pengujian lain.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami persembahkan kepada, Ka Lab Mesin Otomotif POLIJE, yang telah memfasilitasi proses penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] “Buku Kerja Praktek Mahasiswa (BKPM) Mata Kuliah Motor Bensin,” Politeknik Negeri Jember, Program Studi Mesin Otomotif, Jurusan Teknik, BKPM, 2013.
- [2] “Buku Kerja Praktek Mahasiswa (BKPM) Mata Kuliah Uji Prestasi Mesin,” Politeknik Negeri Jember, Program Studi Mesin Otomotif, Jurusan Teknik, BKPM, 2013.
- [3] F. Franks, *The Physics and Physical Chemistry of Water*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [4] J. B. Heywood, *Internal combustion engine fundamentals*. New York: McGraw-Hill, 1988.
- [5] “CM11MKII : Gasoline Engine.” [Daring]. Tersedia pada: <http://discoverarmfield.com/en/products/view/cm11/gasoline-engine>. [Diakses: 30-Okt-2017].
- [6] “Water phase diagram.” [Daring]. Tersedia pada: [http://www1.lsbu.ac.uk/water/water\\_phase\\_diagram.html](http://www1.lsbu.ac.uk/water/water_phase_diagram.html). [Diakses: 30-Okt-2017].