

# RANCANG BANGUN SET EKSPERIMEN KALORIMETER DIGITAL DENGAN PENGINDERA SENSOR TERMOKOPEL DAN SENSOR LOAD CELL BERBASIS ARDUINO UNO

Mardiyah Noviyanti<sup>1)</sup> Hufri<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang

<sup>2)</sup>Staf Pengajar Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang  
mardiyahnoviyanti2@gmail.com, hufri\_unp@yahoo.co.id

## ABSTRACT

A calorimeter is a device used to determine heat capacity, specific heat capacity and latent heat capacity. Calorimeter needs to be developed in terms of temperature and mass measurements into digital measurements using thermocouple sensors and Load Cell sensors and Arduino Uno as microcontrollers. This research is included in engineering research. This study describes the performance specifications and design specifications of a digital calorimeter experiment set. Performance specifications describe the system functions of the experimental set builder, while design specifications explain the accuracy and accuracy of the tools. The measurement technique is done directly and indirectly. Direct measurements are made of temperature and mass, while indirect measurements are carried out by analyzing the accuracy and accuracy of the digital calorimeter experimental set. The sensors used are thermocouple sensors and Load Cell sensors. The percentage of accuracy of the temperature reading is 99.38% with a percentage error of 0.62%. At a temperature measurement of 30 °C the percentage of accuracy was 99.57%. At a temperature measurement of 70 °C, the percentage of measurement accuracy is 99.75%. At measuring 100 °C, the percentage of measurement accuracy was 99.82%. The accuracy percentage of the mass reading is 99.46% with a percentage error of 0.54%. In the repeated measurements of the mass of the copper cube which has a mass of 59.6 grams, the percentage of measurement accuracy is 99.60%.

**Keywords :** Calorimeter, Microcontroller, Thermocouple Sensor, Load Cell Sensor



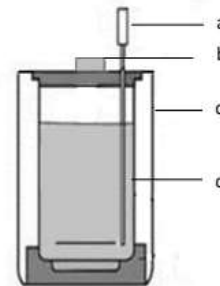
This is an open access article distributed under the Creative Commons 4.0 Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited . ©2018 by author and Universitas Negeri Padang.

## PENDAHULUAN

Fisika telah menjadi dasar dalam kemajuan teknologi. Salah satu bidang kajian yang memiliki perkembangan pesat yaitu Elektronika dan Instrumentasi termasuk dalam praktikum fisika. Teori-teori baru berkembang melalui percobaan yang dilakukan saat praktikum. Praktikum fisika menjadi upaya dalam penemuan dan menginformasikan fakta ilmiah yang ada<sup>[1]</sup>. Percobaan di laboratorium umumnya masih menggunakan alat ukur analog. Alat ukur analog menyebabkan praktikan mengalami kesulitan karena data-data yang didapat kurang tepat. Kesalahan yang menyebabkan data kurang tepat yaitu kesalahan dalam kalibrasi alat, kesalahan dalam pembacaan skala dan ketepatan dalam penggunaan alat. Salah satu percobaan yang masih menggunakan alat ukur analog adalah Kalorimeter.

Kalorimeter adalah alat yang digunakan untuk menentukan kapasitas kalor, kapasitas kalor jenis, dan kapasitas kalor laten dari suatu benda atau bahan. Alat kalorimeter yang sering digunakan dalam percobaan di laboratorium adalah kalorimeter gelas atau kalorimeter termos. Wadah kalorimeter ini terbuat dari logam dan dilapisi oleh bahan isolator untuk mencegah hilangnya kalor dari wadah logam ke lingkungan. Prinsip kerja alat ini adalah mengukur

perubahan suhu dan perkiraan kapasitas kalor, umumnya kapasitas kalor wadah dapat diabaikan karena relatif sangat kecil<sup>[2]</sup>. Bentuk kalorimeter sederhana dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Kalorimeter Sederhana

Keterangan:

a= pengaduk

b= penutup wadah

c= wadah penyekat terbuat dari plastik

d= wadah logam

Cara mendapatkan nilai kapasitas kalor kalorimeter adalah dengan pemisalan sebuah kalorimeter terisi  $m_1$  gram air dingin pada suhu  $T_1$ °C. lalu ditambahkan  $m_2$  gram air panas dengan suhu  $T_2$ °C ke dalam kalorimeter tersebut. Setelah diaduk dan dianggap setimbang ternyata suhu

akhirnya adalah  $T_a$  °C. Untuk keadaan ini berlaku Azas Black:

Banyaknya kalor yang dilepaskan air panas = banyak kalor yang diterima air dingin dan kalorimeter

$$Q_{\text{air panas}} = Q_{\text{air dingin}} + Q_{\text{kalorimeter}}$$

$$m_2 c_a (T_2 - T_a) = m_1 c_a (T_a - T_1) + C(T_a - T_1)$$

Sehingga besarnya kapasitas kalor kalorimeter adalah:

$$C = \frac{m_2 c_a (T_2 - T_a) - m_1 c_a (T_a - T_1)}{(T_a - T_1)} \quad (1)$$

Keterangan:

$m_1$  = massa air dingin (kg)

$m_2$  = massa air panas (kg)

$c_a$  = kalor jenis air (J/kg°C)

$C$  = kapasitas kalor kalorimeter (J/°C)

$T_1$  = suhu air dingin (°C)

$T_2$  = suhu air panas (°C)

$T_a$  = suhu campuran (°C)

Hubungan kuantitatif antara kalor dan bentuk lain energi disebut termodinamika. Termodinamika dapat didefinisikan sebagai cabang kimia yang menangani hubungan kalor, kerja, dan bentuk lain dari energi dengan kesetimbangan dalam reaksi kimia dan dalam perubahan keadaan [3]. Kalor jenis suatu benda adalah kalor yang dibutuhkan atau dilepaskan untuk menaikkan atau menurunkan suhu tiap satuan massa benda tersebut sebesar 1°C yang memenuhi persamaan:

$$c = \frac{Q}{m \Delta T} \quad (2)$$

Cara mendapatkan nilai kalor jenis suatu materi adalah dengan pemisalan sebuah kalorimeter terisi  $m_1$  gram air dingin pada suhu  $T_1$ °C. Lalu dimasukkan sebuah logam yang sudah dipanaskan dengan massa  $m_2$  gram dan suhu  $T_2$ °C ke dalam kalorimeter tersebut. Setelah diaduk dan setimbang ternyata suhu akhirnya adalah  $T_a$  °C. Untuk keadaan ini berlaku Azas Black.

Banyaknya kalor yang dilepaskan logam = banyak kalor yang diterima air dingin dan kalorimeter

$$Q_{\text{logam}} = Q_{\text{air dingin}} + Q_{\text{kalorimeter}}$$

$$m_2 c (T_2 - T_a) = m_1 c_a (T_a - T_1) + C(T_a - T_1)$$

Sehingga besarnya kalor jenis logam adalah:

$$c = \frac{m_1 c_a (T_a - T_1) + C(T_a - T_1)}{m_2 (T_2 - T_a)} \quad (3)$$

Keterangan:

$m_1$  = massa air dingin (kg)

$m_2$  = massa benda (logam) (kg)

$c_a$  = kalor jenis air (J/kg°C)

$c$  = kalor jenis benda (logam) (J/kg°C)

$C$  = kapasitas kalor kalorimeter (J/°C)

$T_1$  = suhu air dingin (°C)

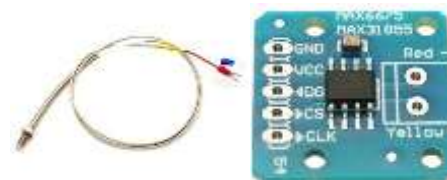
$T_2$  = suhu benda (logam) (°C)

$T_a$  = suhu campuran (°C)

Pengembangan alat ukur kalorimeter sudah pernah dilakukan oleh Meyer dengan membuat serangkaian alat yang dapat menyerap energi panas bumi. Dalam rangkaian alat yang dikembangkan oleh Meyer terdapat desain baru dari kalorimeter yang digunakan. Kalorimeter tersebut berupa *coffe-cup*, yaitu wadah kalorimeter yang terbuat dari *Styrofoam*. Selanjutnya Lestari juga mengembangkan desain kalorimeter sederhana yang dipantau dengan mikroskop digital. Dalam penelitian ini memanfaatkan penggunaan mikroskop digital sebagai alat bantu dalam pembacaan suhu pada termometer. Mikroskop digital akan merekam perubahan yang terjadi pada saat pencampuran larutan untuk menentukan suhu awal dan suhu campuran.

Setelah melakukan tinjauan lapangan, masalah yang ditemukan terkait percobaan kalorimeter yaitu di laboratorium fisika dasar Fmipa UNP masih menggunakan alat ukur analog dalam pembacaan suhu dan massa. Pentingnya memodifikasi alat kalorimeter analog menjadi kalorimeter digital agar data hasil pengukuran memiliki kesalahan yang kecil dan waktu pengambilan data juga tidak membutuhkan waktu yang lama. Dengan alat kalorimeter yang sudah ada, peneliti akan mengembangkan alat kalorimeter dengan menambahkan sensor termokopel dan sensor *load cell*. Sensor termokopel berguna untuk mendeteksi suhu bahan, sedangkan sensor *load cell* berguna untuk mengukur massa bahan. Data hasil pengukuran akan diprogram dengan menggunakan arduino uno untuk ditampilkan pada *Liquid Crystal Display* (LCD).

Sensor adalah perangkat yang menerima stimulus dan dirubah menjadi sinyal listrik<sup>[4]</sup>. Termokopel merupakan sensor suhu yang mengubah perbedaan suhu menjadi perubahan tegangan yang disebabkan oleh perbedaan kerapatan yang dimiliki oleh masing-masing logam yang bergantung pada massa jenis logam<sup>[5]</sup>. Sama halnya dengan sensor pada umumnya yang dapat digunakan sebagai masukan pada sebuah sistem kendali, sensor termokopel selain dapat membaca perubahan suhu juga dapat berperan sebagai masukan analog pada sebuah sistem kendali<sup>[6]</sup>.



Gambar 2. Sensor Termokopel<sup>[7]</sup> dan modul MAX6675

Gambar 2 diatas merupakan sensor termokopel type K dan modul pengolah sinyal. Termokopel adalah jenis sensor suhu yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur suhu

melalui dua jenis logam konduktor yang berbeda sehingga menimbulkan efek *Thermoelectric*<sup>[8]</sup>. Pada penggunaannya sensor termokopel membutuhkan sebuah modul sebagai pengolah sinyal. Modul yang digunakan yaitu MAX6675. Modul ini memiliki 5 pin yang akan dihubungkan ke Arduino Uno yaitu VCC, GND, SCK, CS, dan DO.

Selain menggunakan sensor suhu, penelitian ini juga menggunakan sensor massa yaitu sensor *load cell*. Dunia industri banyak menggunakan sensor *load cell* untuk alat pengukur massa. Secara umum, *load cell* dan sensor gaya berisi pegas logam mekanik dengan mengaplikasikan beberapa keping *strain gauges*, misalnya keping dari bahan *piezoelectric*. Sinyal listrik yang dihasilkan oleh *load cell* bergabung dengan gaya yang diterima oleh pegas mekanik timbul sebagai pengaruh akibat pembebanan yang ditransmisikan pada *strain gauge*. Sinyal yang dihasilkan sensor *load cell* adalah dari perubahan resistansi *strain gauge* yang linear dengan gaya yang diberikan<sup>[9]</sup>. Sensor *load cell* harus dikalibrasi terlebih dahulu dengan *non zero calibration* pada tegangan, dimana tegangan keluaran tidak menunjukkan angka nol ketika belum diberi beban<sup>[10]</sup>.



Gambar 3. Sensor Load Cell dan Modul HX711

Gambar 3 diatas merupakan sensor *load cell* dan modul pengolah sinyal yaitu HX711. Modul HX711 merupakan komponen yang memiliki fungsi sebagai pengkonversi sinyal analog menjadi digital (ADC) dengan prinsip kerjanya yaitu mengkonversi tegangan yang terukur dalam perubahan resistansi ke dalam besaran tegangan melalui rangkaian dalam modul tersebut. Modul HX711 tersusun dari komponen-komponen seperti resistor, kapasitor, transistor dan IC HX711 sebagai regulator, penguat, serta osilator yang akan menghasilkan keluaran dalam bentuk digital<sup>[11]</sup>. Modul ini memiliki 6 pin yang terhubung ke sensor *load cell* (4 pin yang umum dipakai) dan 4 pin dihubungkan ke Arduino Uno.

Mikrokontroler adalah suatu IC dengan kepadatan yang sangat tinggi, dimana semua bagian yang diperlukan untuk pengontrolan sudah dikemas dalam satu keping<sup>[12]</sup>. Arduino Uno merupakan papan mikrokontroler yang sudah terintegrasi dengan mikrokontroler ATmega328. Mikrokontroler adalah sebuah sistem mikroprosesor dimana didalamnya sudah terdapat CPU, *Read Only Memory* (ROM), *Random Access Memory* (RAM),

*Input-Output*, *timer*, *interrupt*, *Clock*, dan peralatan internal lainnya yang sudah saling terhubung dan terorganisasi dengan baik dalam satu chip yang siap dipakai<sup>[13]</sup>. Arduino memiliki kelebihan diantaranya telah dilengkapi *bootloader* sehingga tidak memerlukan *chip programmer*, pemrogramannya relatif mudah karena memiliki banyak *library* yang mudah diakses serta modul yang siap pakai<sup>[14]</sup>.



Gambar 4. Board Arduino Uno

Dari Gambar 4 dapat dijelaskan bahwa Arduino UNO merupakan papan mikrokontroler yang memiliki 14 pin digital input/output (6 pin dapat digunakan untuk output PWM), 6 input analog dan beberapa perangkat lainnya. Mikrokontroler ini dapat langsung dihubungkan dengan komputer menggunakan kabel USB.

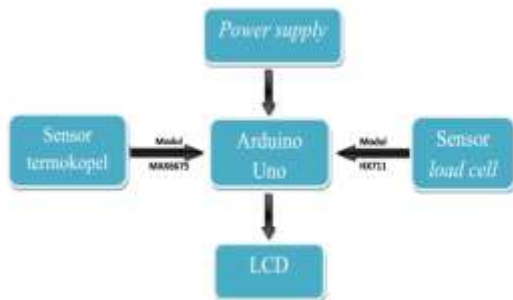
LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah suatu jenis media tampil dimana sebagai penampil utamanya menggunakan kristal cair. LCD sudah dipakai diberbagai bidang misalnya alat-alat elektronik seperti televisi, kalkulator, ataupun layar komputer. LCD memberikan beberapa keuntungan dibandingkan dengan perangkat lain untuk menampilkan sebuah data, antara lain hemat energi, ringan dan proses perancangan yang relatif lebih mudah dan mampu menampilkan karakter sesuai dengan yang diinginkan<sup>[15]</sup>. LCD yang digunakan dalam penelitian ini adalah LCD dengan ukuran 4 x 20.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Fisika Jurusan Fisika FMIPA UNP. Jenis penelitian ini tergolong kedalam penelitian rekayasa. Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi ide-ide dan kejelasan tugas, konseptual rancangan, susunan geometri kefungsiannya, rancangan detail, pembuatan model dan pengujian. Pelaksanaan penelitian ini memerlukan alat dan bahan. Alat dan bahan yang diperlukan dalam penelitian ini diantaranya yaitu multimeter, sensor termokopel, sensor *load cell*, Arduino Uno, LCD dan tombol reset.

Ide-ide dan kejelasan tugas didapatkan melalui penelusuran studi literatur. Konseptual rancangan merupakan merealisasikan suatu sistem dari penelitian yang akan dibuat. Hal penting sebelum melakukan penelitian adalah merancang blok diagram. Blok diagram berisi rancangan elektronik yang akan membantu kinerja dan hasil

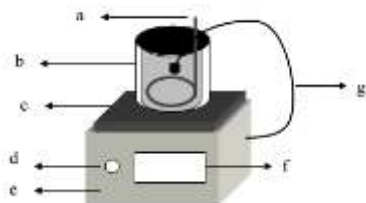
pembuatan alat. Blok diagram untuk set eksperimen kalorimeter digital ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Blok Diagram Sistem

Blok diagram pada Gambar 5 diatas menjelaskan bahwa alat yang akan dibuat terdiri atas *power supply* sebagai catu daya, sinyal input yang berasal dari sensor temokopel dan sensor *load cell*. Sinyal yang ditangkap oleh sensor akan dikirim ke Arduino Uno melalui modul pengolah sinyal. Sinyal dari sensor akan diprogram dalam Arduino Uno untuk ditampilkan pada layar LCD.

Desain perangkat dalam penelitian ini terbagi dua, yaitu desain perangkat keras dan desain perangkat lunak. Desain perangkat keras merupakan desain mekanis produk yang diteliti. Rancangan set alat kalorimeter digital diperlihatkan pada Gambar 6.

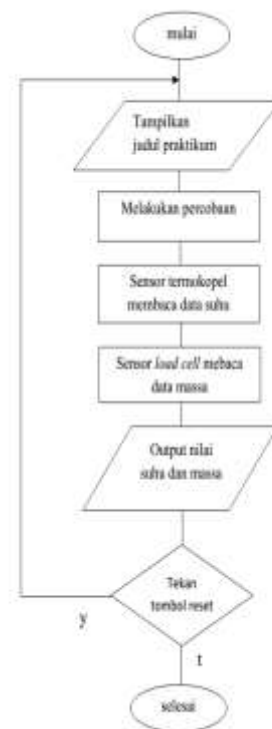


Gambar 6. Desain Mekanis Dari Kalorimeter Digital  
Keterangan gambar:

|                                |                     |
|--------------------------------|---------------------|
| a=pengaduk                     | e=kotak rangkaian   |
| b=tangki kalorimeter           | f=LCD               |
| c=meja sensor <i>load cell</i> | g=sensor termokopel |
| d=tombol reset                 |                     |

Gambar 6 merupakan desain dari set alat kalorimeter digital. Alat ini dilengkapi dengan sensor *load cell* yang ditempelkan di bagian sisi atas kotak rangkaian agar bisa sekaligus berfungsi sebagai meja timbangan. Alat ini juga memiliki sensor termokopel untuk membaca suhu, LCD sebagai penampil data serta tombol reset untuk mengulang tampilan jika terdapat kesalahan dalam melakukan percobaan.

Perangkat lunak ini berfungsi untuk memberikan instruksi dan menjalankan mikrokontroler. Berikut merupakan desain perangkat lunak untuk set alat kalorimeter digital dengan pengindera sensor termokopel dan sensor *load cell* berbasis Arduino Uno.



Gambar 7. Desain Perangkat Lunak

Instruksi yang dilakukan adalah membaca tegangan keluaran sensor termokopel untuk mendapatkan suhu dan sensor *load cell* untuk mendapatkan massa. Untuk lebih jelaskan rancangan program perangkat lunak dari rangkaian set alat kalorimeter digital dengan pengindera sensor termokopel dan sensor *load cell* dengan menggunakan program mikrokontroler arduino seperti yang terlihat pada Gambar 7.

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

### 1. Hasil Penelitian

Hasil penelitian dan pembahasan pada bab ini akan lebih menjelaskan mengenai sistem set alat kalorimeter digital yang telah dikembangkan dengan penggunaannya yang sesuai berdasarkan tujuan penelitian dan juga data yang diperoleh saat melakukan penelitian. Data pengukuran mempunyai arti yang penting dalam suatu penelitian. Berdasarkan data yang diperoleh dapat terlihat bagaimana spesifikasi komponen yang digunakan dan bagaimana hubungan antara satu besaran dengan besaran lain yang terdapat pada alat. Analisis set alat terhadap data yang didapatkan berupa spesifikasi performansi alat ukur dan spesifikasi desain alat ukur. Penyajian data dinyatakan dalam bentuk tabel dan grafik. Data ketepatan diperoleh melalui perbandingan pengukuran suhu dan massa oleh sensor yang terbaca pada LCD dengan alat ukur standar yaitu thermometer digital dan timbangan digital. Sedangkan data ketelitian diperoleh dengan cara melakukan pengukuran berulang sebanyak sepuluh kali.

#### a. Spesifikasi Performansi Sistem

Spesifikasi performansi sistem merupakan pengidentifikasian atau penguraian fungsi-fungsi dari tiap bagian pembangun sistem. Hal ini perlu dilakukan dengan menguji alat serta menganalisis alat sehingga dapat terlihat bahwa alat sudah bekerja dengan semestinya. Komponen yang terdapat pada set alat kalorimeter digital ini yaitu sensor termokopeldan modul MAX6675, sensor *load cell* dan modul HX711, Arduino Uno, LCD dan tombol reset. Untuk lebih mudah memahami bentuk dari set alat kalorimeter digital dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Set Eksperimen Kalorimeter Digital

Gambar 8 merupakan set eksperimen kalorimeter digital. Tabung berwarna putih diatas kotak rangkaian merupakan wadah kalorimeter beserta pengaduk. Diameter dari wadah kalorimeter yaitu 8 cm dan massa 107 gram. Wadah ini terdiri atas wadah yang terbuat dari aluminium di bagian dalam dan terbuat dari plastik di bagian luar. Wadah plastik berguna untuk menahan agar kalor tidak menyebar ke lingkungan.

Rangkaian elektronika dari tiap komponen pembangun sistem disusun sedemikian rupa dan ditempatkan dalam kotak rangkaian. Pada kotak rangkaian terdapat tombol reset dan LCD. Tombol reset berguna untuk mengembalikan ke tampilan awal dan LCD dengan ukuran 4 X 20 berguna untuk menampilkan data. Selain sebagai penutup, bagian atas kotak rangkaian juga digunakan sebagai penyangga sensor *load cell* yang berguna sebagai timbangan. Isi dari kotak rangkaian dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Rangkaian Elektronika Pembangun Sistem

Gambar 9 merupakan rangkaian elektronika pembangun sistem yang berada di dalam kotak

rangkaiannya. Dalam kotak rangkaian ini terdapat Arduino Uno sebagai mikrokontroler, modul MAX6675 sebagai pengolah sinyal untuk sensor termokopel, modul HX711 sebagai pengolah sinyal untuk sensor *load cell*, kabel penghubung yang berguna untuk menghubungkan komponen satu sama lain. Sensor termokopel dibuat keluar dari kotak rangkaian agar lebih mudah untuk mengukur suhu.

#### b. Spesifikasi Desain Sistem

##### 1) Karakterisasi Termokopel

Hasil pertama dari penelitian yang telah dilakukan adalah pengukuran karakteristik sensor suhu yang digunakan yaitu termokopel. Pengukuran dilakukan dengan menghubungkan sensor dengan arduino melalui modul MAX6675 lalu membuat programnya. Data karakteristik hubungan suhu dan tegangan terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Karakteristik Hubungan Suhu Dan Tegangan

| No. | Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Tegangan (mV) |
|-----|-----------------------------|---------------|
| 1.  | 31.19                       | 1.28          |
| 2.  | 35.36                       | 1.45          |
| 3.  | 42.25                       | 1.69          |
| 4.  | 46.8                        | 1.92          |
| 5.  | 51.7                        | 2.12          |
| 6.  | 57.07                       | 2.34          |
| 7.  | 61.95                       | 2.54          |
| 8.  | 67.3                        | 2.76          |
| 9.  | 72.4                        | 2.97          |
| 10. | 77.8                        | 3.19          |
| 11. | 82.7                        | 3.39          |
| 12. | 88.04                       | 3.61          |
| 13. | 92.9                        | 3.81          |
| 14. | 98.3                        | 4.03          |
| 15. | 102.4                       | 4.2           |

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa kenaikan tegangan sebanding dengan kenaikan suhu yang terukur oleh sensor. Dimana setiap kenaikan suhu 5  $^{\circ}\text{C}$  maka tegangan akan naik sebesar 0.2 mV. Hal ini menandakan bahwa tiap kenaikan 1  $^{\circ}\text{C}$  maka tegangan akan naik sebesar  $\pm 41 \mu\text{V}$ .

##### 2) Ketepatan Pembacaan Suhu

Ketepatan pembacaan suhu pada set eksperimen kalorimeter digital dengan pengindera sensor termokopel yang telah diprogram menggunakan Arduino, sedangkan alat ukur standar yang digunakan sebagai pembandingan adalah termometer digital. Suhu yang terbaca oleh sensor termokopel akan ditampilkan pada LCD. Ketepatan pembacaan suhu pada set eksperimen kalorimeter digital yaitu menggunakan sensor termokopel dengan alat standar yaitu termometer digital ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Ketepatan Pembacaan Suhu Pada Sensor Termokopel Dengan Alat Standar

| N<br>o.   | T<br>ermome<br>ter<br>digital<br>(°C) | T<br>ermoko<br>pel<br>(°C) | Kesal<br>ahan<br>Relat<br>if (%) | Ketepata<br>n relatif | Ketep<br>atan<br>relatif<br>(%) |
|-----------|---------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| 1         | 52.7                                  | 52.5                       | 0.38                             | 0.9962                | 99.62                           |
| 2         | 60                                    | 60.7                       | 1.17                             | 0.9883                | 98.83                           |
| 3         | 64.5                                  | 65.2                       | 1.09                             | 0.9891                | 98.91                           |
| 4         | 72                                    | 71.8                       | 0.28                             | 0.9972                | 99.72                           |
| 5         | 75.8                                  | 76.3                       | 0.66                             | 0.9934                | 99.34                           |
| 6         | 80                                    | 80.3                       | 0.38                             | 0.9962                | 99.62                           |
| 7         | 85                                    | 85.3                       | 0.35                             | 0.9965                | 99.65                           |
| 8         | 90                                    | 91                         | 1.1                              | 0.9889                | 98.89                           |
| 9         | 97.2                                  | 97.7                       | 0.51                             | 0.9949                | 99.49                           |
| 10        | 100                                   | 100.3                      | 0.3                              | 0.997                 | 99.7                            |
| Rata-rata |                                       |                            | 0.62                             | 0.9938                | 99.38                           |

Dari Tabel 2 dapat dijelaskan ketepatan pembacaan suhu pada sensor termokopel dengan alat ukur standar yaitu termometer digital. Nilai ketepatan hasil pengukuran sensor termokopelyaitu berkisar antara 98.83% sampai 99.72% dengan nilai rata-rata yaitu 99.38%. Nilai kesalahan relatif pengukuran sensor termokopel yaitu berkisar 0.28% sampai 1.17% dengan nilai rata-rata 0.62%.

### 3) Karakterisasi Load Cell

Hasil selanjutnya dari penelitian yang telah dilakukan adalah karakteristik sensor *load cell*. Sensor *load cell* dihubungkan dengan Arduino Uno lalu diprogram agar dapat menghasilkan data yang bisa dibaca dengan mudah. Data tegangan didapatkan dengan pengukuran menggunakan multimeter pada keluaran sensor *load cell*. Data karakteristik hubungan tegangan dan massa terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Karakteristik Hubungan Massa Dan Tegangan

| No. | Massa(g) | Tegangan (mV) |
|-----|----------|---------------|
| 1.  | 0        | 5.2           |
| 2.  | 100      | 4.8           |
| 3.  | 200      | 4.3           |
| 4.  | 300      | 3.9           |
| 5.  | 400      | 3.5           |
| 6.  | 500      | 3.0           |
| 7.  | 600      | 2.6           |
| 8.  | 700      | 2.1           |
| 9.  | 800      | 1.7           |
| 10. | 900      | 1.2           |
| 11. | 1000     | 0.7           |

Pada Tabel 3 terlihat bahwa tegangan berbanding terbalik dengan massa dari pengukuran sensor. Dimana saat sensor *load cell* tidak dalam keadaan terbeban maka tegangan nya akan maksimum. Apabila beban pada sensor dinaikkan 100 gram, maka tegangan akan berkurang sebesar  $\pm 0.4\text{mV}$ .

### 4) Ketepatan Pembacaan Massa

Ketepatan pembacaan massa pada set eksperimen kalorimeter digital ini menggunakan sensor *load cell* yang telah diprogram menggunakan Arduino, sedangkan alat ukur standar yang digunakan sebagai pembanding adalah timbangan digital. Massa yang terbaca oleh sensor *load cell* akan ditampilkan pada LCD. Ketepatan pembacaan massa pada set eksperimen kalorimeter digital dengan timbangan digital ditunjukkan dalam Tabel 4. Beban yang digunakan dalam percobaan ini adalah kubus tembaga.

Tabel 4. Ketepatan Pembacaan Massa Kubus Tembaga

| N<br>O.   | m <sub>timbangan</sub><br>digital<br>(g) | m <sub>load</sub><br>cell<br>(g) | Kesalahan<br>Relatif<br>(%) | Ketepatan<br>relatif | Ketepatan<br>relatif<br>(%) |
|-----------|------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|
| 1.        | 59.6                                     | 60.16                            | 0.94                        | 0.9906               | 99.06                       |
| 2.        | 59.6                                     | 60.10                            | 0.84                        | 0.9916               | 99.16                       |
| 3.        | 59.6                                     | 60.03                            | 0.72                        | 0.9928               | 99.28                       |
| 4.        | 59.6                                     | 59.93                            | 0.55                        | 0.9945               | 99.45                       |
| 5.        | 59.6                                     | 59.90                            | 0.5                         | 0.9950               | 99.50                       |
| 6.        | 59.6                                     | 60.11                            | 0.86                        | 0.9914               | 99.14                       |
| 7.        | 59.6                                     | 59.28                            | 0.54                        | 0.9946               | 99.46                       |
| 8.        | 59.6                                     | 59.71                            | 0.18                        | 0.9982               | 99.82                       |
| 9.        | 59.6                                     | 59.52                            | 0.13                        | 0.9986               | 99.86                       |
| 10.       | 59.6                                     | 59.68                            | 0.13                        | 0.9986               | 99.86                       |
| RATA-RATA |                                          |                                  | 0.54                        | 0.9946               | 99.46                       |

Dari Tabel 4 dapat dijelaskan ketepatan pembacaan suhu pada sensor *load cell* dengan alat ukur standar yaitu timbangan digital dengan beban yang digunakan adalah kubus tembaga. Nilai ketepatan hasil pengukuran sensor *load cell* yaitu berkisar antara 99.06% sampai 99.86% dengan nilai

rata-rata yaitu 99,46%. Nilai kesalahan relatif pengukuran sensor *load cell* yaitu berkisar 0,13% sampai 0,94% dengan nilai rata-rata 0,54%.

#### 5) Ketelitian Sensor Yang Digunakan Pada Set Eksperimen Kalorimeter Digital

Ketelitian ditentukan dari kesamaan data hasil pengukuran berdasarkan pengukuran yang berulang-ulang. Pengukuran nilai suhu dilakukan berulang-ulang sebanyak 10 kali dengan menggunakan larutan dengan suhu 30°C, 70°C dan 100°C. Berdasarkan hasil pengukuran yang berulang didapatkan besarnya persentase ketelitian. Pada pengukuran suhu 30°C didapatkan persentase ketelitian pengukuran berkisar antara 99,31% sampai 99,98% dengan rata-rata 99,57%. Pada pengukuran suhu 70°C didapatkan persentase ketelitian pengukuran berkisar antara 99,63% sampai 99,91% dengan rata-rata 99,75%. Pada pengukuran suhu 100°C didapatkan persentase ketelitian pengukuran berkisar antara 99,56% sampai 99,94% dengan rata-rata 99,82%.

Selain ketelitian pengukuran suhu, pada set eksperimen kalorimeter digital juga dilakukan ketelitian pengukuran massa. Pengukuran nilai massa dari bahan yang digunakan dalam percobaan dilakukan secara berulang-ulang sebanyak 10 kali. Bahan yang digunakan adalah kubus tembaga. Berdasarkan pengukuran berulang massa kubus tembaga yang memiliki massa 59,6 gram didapatkan persentase ketelitian pengukuran berkisar antara 99,06% sampai 99,89% dengan rata-rata 99,60%.

## 2. Pembahasan

Berdasarkan analisis dan identifikasi yang telah dilaksanakan maka didapatkan hasil penelitian yang sesuai dengan tujuan penelitian. Hasil penelitian yang didapatkan meliputi spesifikasi performansi dan spesifikasi desain set alat eksperimen kalorimeter digital. Spesifikasi performansi telah diketahui melalui identifikasi fungsi setiap bagian pembangun sistem. Spesifikasi desain diketahui dari hasil pengukuran dan analisis data. Kegiatan penelitian dimulai dari persiapan alat hingga pengujian alat.

Hasil pertama dari penelitian yang telah dicapai adalah spesifikasi performansi dari set alat eksperimen kalorimeter digital. Pada spesifikasi performansi set alat eksperimen kalorimeter digital ini terdiri dari kotak rangkaian. Di dalam kotak rangkaian terdapat rangkaian elektronika pembangun sistem yaitu sensor termokopel dan sensor *load cell* beserta modul pengubah sinyal masing-masing sensor, Arduino Uno sebagai mikrokontroler, dan kabel penghubung.

Hasil dari spesifikasi performansi dari set alat eksperimen kalorimeter digital ini dapat menjelaskan fungsi dari setiap komponen yang digunakan. Kotak rangkaian yang digunakan berwarna hitam yang dilengkapi dengan tombol reset dan tampilan LCD pada sisi depannya. Spesifikasi performansi biasa disebut dengan spesifikasi fungsional. Spesifikasi

performansi mencakup kualitas dan kuantitas pembentuk sistem yang bisa memberikan kemudahan dalam setiap penggunaannya<sup>[16]</sup>.

Hasil kedua dari penelitian yang telah dicapai adalah spesifikasi desain sistem. Pada spesifikasi desain set alat ini terdiri dari karakterisasi sensor, pengukuran ketepatan pembacaan sensor dan ketelitian pembacaan sensor. Karakterisasi sensor termokopel didapatkan dengan menganalisis hubungan suhu dan tegangan dari sensor tersebut. Dari data pada Tabel 4 dapat dijelaskan bahwa hubungan suhu dan tegangannya adalah berbanding lurus. Setiap kenaikan suhu 5°C maka tegangan akan naik sebesar 0,2 mV. Karakterisasi sensor *load cell* didapatkan dengan mengukur tegangan saat sensor dalam keadaan terbeban dengan massa yang sudah diketahui. Dari Tabel 6 dapat dijelaskan bahwa hubungan massa dan tegangan adalah berbanding terbalik karena saat beban yang terukur semakin besar maka tegangan yang terukur semakin kecil.

Nilai ketepatan diperoleh dari perbandingan hasil pengukuran sensor dengan alat ukur standar. Hasil pengukuran suhu pada set alat dibandingkan dengan hasil pengukuran termometer digital dan massa pada set alat dibandingkan dengan pengukuran timbangan digital. Ketelitian didapatkan dari pengukuran berulang. Pengukuran nilai suhu dan massa dilakukan dengan pengukuran sebanyak 10 kali perulangan. Akurasi (ketepatan) merupakan kedekatan nilai yang terbaca pada alat ukur dengan nilai yang sebenarnya. Akurasi ditentukan dengan cara mengkalibrasi sistem pada kondisi tertentu. Sistem yang baik memiliki akurasi mendekati 100%. Presisi (ketelitian) yaitu kemampuan suatu alat ukur dalam menghasilkan nilai yang sama pada pengukuran berulang. Presisi dapat ditentukan melalui percobaan berulang, menggunakan sistem yang sama terhadap objek yang sama pada suatu besaran yang sama<sup>[17]</sup>.

Set alat eksperimen kalorimeter digital ini dapat direkomendasikan pada laboratorium elektronika dan instrumentasi Jurusan Fisika FMIPA UNP, dan laboratorium fisika dasar Jurusan Fisika FMIPA UNP. Set alat eksperimen ini menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sehingga pada percobaannya nilai suhu dan massa tidak dibaca secara manual. Hal ini dapat mengurangi waktu dalam pengambilan data pada saat percobaan di laboratorium.

Set alat eksperimen kalorimeter digital ini memiliki keterbatasan yaitu nilai kapasitas kalor dan kalor jenis masih menggunakan perhitungan secara manual. Hal ini dikarenakan nilai yang terbaca pada LCD tidak tersimpan. Sedangkan untuk mengukur kapasitas kalor atau kalor jenis suatu benda dibutuhkan data suhu dan massa lebih dari 1 data.

## KESIMPULAN

1. Hasil spesifikasi performansi dari set alat eksperimen kalorimeter digital terdiri dari sensor termokopel, sensor *load cell*, modul pengolah sinyal sensor, Arduino Uno, tombol reset dan LCD untuk menampilkan data suhu dan massa. Komponen-komponen tersebut dirangkai sedemikian rupa dan diletakkan di dalam sebuah kotak rangkaian yang sekaligus menjadi penyangga sensor *load cell*.
2. Hasil spesifikasi desain set alat eksperimen kalorimeter digital adalah sebagai berikut:
  - a. Ketepatan pembacaan suhu dan massa yang terbaca pada LCD dibandingkan dengan alat ukur standar yaitu termometer digital dan timbangan digital. Persentase ketepatan dari pembacaan suhu yaitu sebesar 99.38% dengan persentase kesalahan 0.62%. persentase ketepatan dari pembacaan massa yaitu sebesar 99.46% dengan persentase kesalahan 0.54%.
  - b. Ketelitian pembacaan suhu dan massa didapatkan melalui percobaan berulang sebanyak 10 kali. Pada pengukuran suhu 30°C didapatkan persentase ketelitian sebesar 99.57%. Pada pengukuran suhu 70°C didapatkan persentase ketelitian pengukuran sebesar 99.75%. Pada pengukuran suhu 100°C didapatkan persentase ketelitian pengukuran sebesar 99.82%. Pada pengukuran berulang massa kubus tembaga yang memiliki massa 59.6 gram didapatkan persentase ketelitian pengukuran sebesar 99.60%.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sumintono, B.I., M.A. Ibrahim., dan F.A. Phang. 2010. "Pengajaran Sains dengan Praktikum Laboratori UM: Perspektif dari Guru-Guru Sains SMPN di Kota Cimahi". *Jurnal Pengajaran MIPA* 15(2), 120-127.
- [2] Rufiati, E. 2011. *Penentuan Kalor Reaksi*. Surabaya: Unair.
- [3] Sukardjo. 2004. *Kimia Fisika*. Jakarta : PT Rineka Cipta.
- [4] Yulkifli. 2013. *Sistem Sensor dan Aplikasinya*. Padang : Universitas Negeri Padang.
- [5] Wendri, dkk. 2012. "Alat Pencatat Temperatur Otomatis Menggunakan Termokopel Berbasis Mikrokontroler AT89S51". *Buletin Fisika* 13(1), 29–33.
- [6] Sari, Dewi Permata, dkk. 2018. "Kendali Suhu Air Dengan Sensor Termokopel Tipe-K Pada Simulator Sistem Pengisian Botol Otomatis". *Jurnal Ampere* Vol. 3 No. 1 :Juni 2018.
- [7] Kristanto, Sigit Adi., dan Bachtera Indarto. 2013. "Penggunaan Termokopel Tipe K Berbasis Mikrokontroler ATMEGA16 Untuk Mengukur Suhu Rendah di Mesin Kriogenik". *Jurnal Sains dan Seni POMITS*, Vol. 2, No. 1, hal 2
- [8] Suprianto. 2015. *Pengertian Termokopel (Thermocouple) dan Prinsip Kerjanya*. Blog.unnes.ac.id. Diakses 14 April 2019.
- [9] Rukmana, I. C. A., Ro'uf. A., 2014, "Aplikasi Sensor Load Cell pada Purwarupa Sistem Sortir Barang". Yogyakarta: FMIPA UGM., *IJEIS* Volume 4, Nomor 1, April 2014, ISSN: 2088-3714.
- [10] Woweni, Selsi.,Hufri., dan Zuhendri Kamus. 2011. "Prototipe Sistem Pengeringan Biji Kakao Berbasis Pengukuran Massa Menggunakan Pengindera Sensor Load Cell". *Himpunan Fisika Indonesia Cabang Sumatera Barat*, 104-107.
- [11] Suhendra, Imam dan Wahyu Setyo Pambudi. 2015. "Aplikasi Load Cell untuk Otomasi pada Depot Air Minum Isi Ulang.Teknik Elektro Universitas International". *Jurnal Sains dan Teknologi* Vol. 1, No. 1, Juni 2015.
- [12] Putra, Agfianto Eko. 2002. *Belajar Mikrokontroler AT89C51/52/55 Teori dan Aplikasi*. Yogyakarta:Gava Media.
- [13] Heri, Susanto, dkk. 2013. *Perancangan Sistem Telemetry Wireless Untuk Mengukur Suhu dan Kelembaban Berbasis Arduino Uno R3 Atmega328P dan XBEE PRO*. Riau: Universitas Maritim Ali Haji.
- [14] Dasriyani, Yohanna., Hufri., dan Yohandri. 2014. "Pembuatan Set Eksperimen Gerak Jatuh Bebas Berbasis Mikrokontroler dengan Tampilan PC". *Jurnal Sainstek* Vol. VI No. 1:84-95. ISSN: 2085-8019.
- [15] Rinanthi, Eka Putri.,Hufri., dan Zuhendri Kamus. 2016. "Pembuatan Alat Penentu Percepatan Gravitasi Bumi Menggunakan Metode Pendulum Berbasis Sensor Cahaya LDR". *Pillar Of Physics* Vol. 8, 33-40
- [16] Fuad, Muhammad, dkk. 2013. "Pembuatan Dan Penentuan Spesifikasi Sensor Gaya Berat Berbasis Pegas dan Ldr". *Pillar Of Physics* Vol. 2.
- [17] Fraden, Jacob. 2003. *Handbook of Modern Sensors*. Newyork: Springer.