



Akuisisi Data *Arduino* pada Reaktor *Macro TGA* Berbasis *Microwave* *Data Acquisition Using Arduino for Microwave Based MacroTGA Reactor*

Ibadurrohman Muhammad Taqy¹, Samsudin Anis^{1,a)}, Hilal Rozaq Akbar¹

¹Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang

^{a)}Corresponding author:samsudin_anis@mail.unnes.ac.id

Abstrak

Penelitian ini merancang dan mengembangkan sistem akuisisi data berbasis *Arduino* Mega 2560 yang diintegrasikan dengan reaktor *macro TGA* berbasis *microwave*. Sistem ini mengombinasikan sensor suhu *termokopel* tipe K dengan modul MAX6675 dan sensor berat *load cell* kapasitas 1 kg dengan modul HX711 untuk mengamati perubahan termal dan massa selama proses pemanasan berlangsung. *Absorber* berbahan karbon aktif ditempatkan di dalam ruang pemanasan guna meningkatkan distribusi panas dan mengurangi gangguan sinyal akibat interferensi gelombang mikro. Data dari kedua sensor dikirim secara langsung ke Microsoft Excel melalui perangkat lunak PLX-DAQ, sehingga memungkinkan pemantauan dan pencatatan data secara *real-time*. Hasil uji coba menunjukkan bahwa sistem ini mampu merekam data suhu dan massa dengan ketelitian masing-masing sebesar 90,13% dan 99,33%, serta memiliki kestabilan pembacaan yang cukup baik meskipun terjadinya *delay* pembacaan. Dengan fleksibilitas, keterjangkauan biaya, serta kemudahan integrasi, sistem ini memberikan solusi efektif sebagai alternatif dari peralatan TGA konvensional yang umumnya tertutup dan mahal. Temuan ini diharapkan dapat mendorong pengembangan lebih lanjut dalam riset sistem akuisisi data termogravimetri berbasis reaktor *microwave*.

Kata Kunci: *arduino*; PLX-DAQ; akuisisi data; *macro TGA*; *microwave*; *termokopel*; *load cell*

Abstract

This study presents the design and development of a data acquisition system based on the *Arduino* Mega 2560 platform, integrated with a microwave-based *macro TGA* reactor. The system combines a K-type thermocouple sensor with a MAX6675 module for temperature measurement, and a 1 kg load cell sensor with an HX711 module to monitor mass changes during the heating process. A carbon-based *Absorber* was placed within the heating chamber to enhance thermal distribution and reduce signal interference caused by microwave radiation. Sensor readings were transmitted directly to Microsoft Excel using the PLX-DAQ software, enabling real-time monitoring and data logging. The experimental results showed that the system achieved measurement accuracy rates of approximately 90.13% for temperature and 99.33% for mass, with generally stable readings despite minor delays. With its flexibility, cost-effectiveness, and ease of integration, the system offers a practical alternative to conventional TGA instruments, which are typically expensive and closed-source. These findings support further exploration of microwave-based thermogravimetric applications using accessible microcontroller platforms.

Keywords: *arduino*; PLX-DAQ; data acquisition; *macro TGA*; *microwave*; thermocouple; *load cell*

PENDAHULUAN

Teknik analisis termal yang mengukur perubahan suhu sampel seiring dengan perubahan massa dalam atmosfer yang terkontrol disebut TGA (*Thermogravimetric analysis*) [1]. Penggunaan reaktor berbasis gelombang mikro dalam TGA sudah banyak dilakukan di berbagai sektor industri karena teknik ini

sangat efektif untuk menganalisis perubahan massa sampel dengan pemanasan hingga suhu 1200°C secara stabil [2]. Dalam pelaksanaannya, sampel diletakkan dalam wadah kaca borosilikat dan dipanaskan menggunakan gelombang mikro dari *microwave*, sehingga pencatatan suhu dan massa direkam secara bersamaan, karena kedua parameter tersebut berperan penting untuk menghasilkan kurva TGA dan DTG.

Seiring berkembangnya teknologi penggunaan reaktor pada *macro* TGA berbasis *microwave*, diperlukan penerapan untuk sistem akuisisi data secara *real-time* dengan menggunakan *Arduino* yang dilengkapi sensor *termokopel* tipe K dan *load cell*. *Arduino* Mega 2560 sebagai perangkat *open-source* yang memungkinkan pembuatan sistem kontrol dengan skala kecil yang mendukung pencatatan data secara kontinu [3]. *Mikrokontroler* ini dapat langsung dihubungkan dengan laptop menggunakan kabel USB. Sensor *termokopel* tipe K, yang mampu mengukur suhu hingga 1.260°C, dipasangkan dengan modul MAX6675 yang terdiri dari pin VCC, GND, SCK, CS, dan DO untuk pembacaan suhu akurat. Sementara itu, sensor *load cell* yang terintegrasi dengan modul HX711 dapat mendeteksi berat sampel hingga 1 kg dengan presisi skala gram. Data suhu dan berat yang diperoleh kemudian dapat langsung direkam dan diolah menggunakan perangkat lunak PLX-DAQ (*Parallax Data Acquisition*) dalam format *spreadsheet* untuk analisis lebih lanjut [4].

PLX-DAQ merupakan ekstensi pada Microsoft Excel yang berfungsi untuk menghubungkan komunikasi serial antara *Arduino* dengan Excel [5]. Fitur ini menjadi sangat relevan dalam kegiatan eksperimen yang membutuhkan presisi tinggi dan akuisisi data berkelanjutan, seperti pada pengujian makro TGA berbasis *Microwave*. Dengan memanfaatkan fungsi otomatisasi Microsoft Excel, termasuk pengolahan data dan visualisasi grafik secara langsung, PLX-DAQ berkontribusi signifikan dalam penyederhanaan proses analisis data eksperimental. Dengan demikian, penggunaan PLX-DAQ tidak hanya mempercepat proses pencatatan, tetapi juga mendukung akurasi dan keandalan interpretasi data yang dihasilkan dari sensor temperatur dan sensor massa secara bersamaan [6] [7].

Saat ini akuisisi data pada *macro* TGA berbasis *microwave* telah mulai banyak dikembangkan [8] [9]. Namun beberapa teknologi tersebut belum dilengkapi dengan parameter yang dapat memantau proses eksperimen secara keseluruhan. Penelitian ini dikembangkan dengan menggunakan metode ADDIE yang dapat memantau kondisi *macro* TGA secara *realtime* dengan melibatkan sensor *termokopel* tipe K dan *load cell* untuk menampilkan arus dan tegangan *microwave* melalui sensor suhu MAX6675 dan sensor berat HX711. Data dari sensor kemudian ditransfer dan disimpan dalam PLX-DAQ sehingga bisa diakses saat dibutuhkan untuk selanjutnya dievaluasi. Metode ADDIE diadaptasi pada pengembangan sistem akuisisi data dengan *Arduino* karena diawali dengan menganalisa parameter suhu dan massa yang harus ditampilkan untuk dipantau khususnya pada modifikasi *macro* TGA berbasis *microwave*. Dilanjutkan dengan mulai mendesain, pengembangan

prototype hingga mengimplementasi *prototype* pada pengujian yang relevan untuk dapat parameter yang sesuai dengan analisa kebutuhan. Kemudian diakhiri dengan mengevaluasi hasil uji akuisisi data *Arduino* selama proses pemanasan berlangsung. Dengan dikembangkannya alat akuisisi data khususnya untuk *macro* TGA berbasis *microwave*, akan mendapatkan data yang akurat dan relevan untuk mengatasi keterbatasan alat konvensional sekaligus meningkatkan efisiensi dan fleksibilitas dalam riset *macro* TGA berbasis *microwave*.

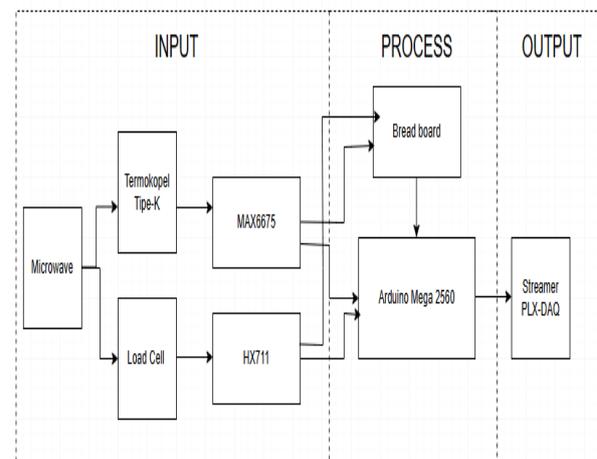
METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Metode penelitian ini dikembangkan dengan mengacu pada model pengembangan ADDIE, yang terdiri atas analisis, desain, *development*, implementasi, dan evaluasi.

1. Analisis

Penggunaan *Absorber* pada pemanasan *macro* TGA berbasis *microwave* memiliki peran penting dalam mengoptimalkan distribusi panas dan mencegah gangguan stabilitas sinyal sensor *termokopel* dan *load cell* akibat pantulan gelombang mikro. Dimana, material penyerap gelombang mikro seperti karbon aktif dapat mengubah energi gelombang mikro menjadi panas melalui mekanisme *dielectric loss* dan *magnetic loss*. Hal ini selaras dengan penelitian yang memperlihatkan bahwa penggunaan *Absorber* material dapat mengubah pola penyebaran energi *microwave* sehingga distribusi panas lebih merata dalam ruang pemanasan.

Terlihat pada [Gambar 1](#) hubungan antar komponen utama dalam sistem TGA berbasis *microwave* dengan komponen kontrol dalam pemantauan suhu dan berat massa secara bersamaan.



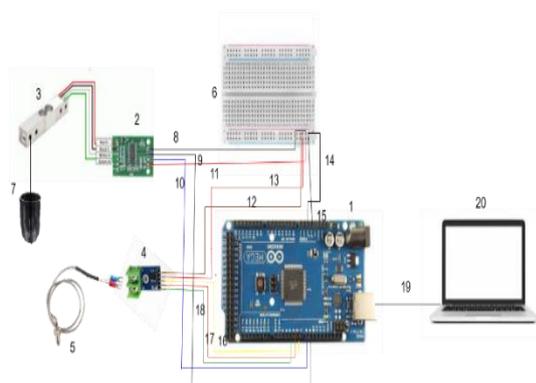
Gambar 1. Rancangan konseptual sistem akuisisi data

Komponen yang akan digunakan dipilih dengan mempertimbangkan akurasi sensor, kestabilan

komunikasi, kemudahan integrasi, dan pengendalian output. *microwave* sebagai input digunakan sebagai pusat pemanas, sinyal input yang berasal dari sensor *termokopel* dan sensor *load cell* akan dikirim melalui *Arduino* Mega 2560 yang menghubungkan sensor suhu MAX6675 dan sensor berat HX711 sebagai modul pengolah sinyal. Kemudian, sinyal dari sensor akan di program dalam *Arduino IDE* untuk ditampilkan pada PLX-DAQ.

2. Desain komponen

Terlihat pada **Gambar 2** perangkat utama yang digunakan adalah *mikrokontroler* berupa *Arduino* tipe Mega 2560, sensor temperatur berupa *termokopel* tipe K dengan *driver* MAX6675 dan sensor berat berupa *load cell* kapasitas 1 kg dengan *driver* HX711.



Gambar 2. Rangkaian perangkat lunak

Keterangan:

- | | |
|-----------------------------------|--|
| 1. HX711 Module | 14. Pin GND <i>Arduino</i> to Breadboard |
| 2. Load cell | 15. Pin 5V <i>Arduino</i> to Breadboard |
| 3. MAX6675 Module | 16. MAX6675 SCK to Pin 6 |
| 4. Thermocouple Type K | 17. MAX6675 CS to Pin 5 |
| 5. Breadboard | 18. MAX6675 SO to Pin 16 |
| 6. Spesimen Container | 19. USB Connection |
| 7. HX711 GND to GND Breadboard | 20. Laptop |
| 8. HX711 VCC to 5V Breadboard | |
| 9. HX711 DT to pin 9 | |
| 10. HX711 DT to pin 9 | |
| 11. HX711 SCK to pin 8 | |
| 12. MAX6675 GND to GND Breadboard | |
| 13. MAX6675 VCC to 5V Breadboard | |

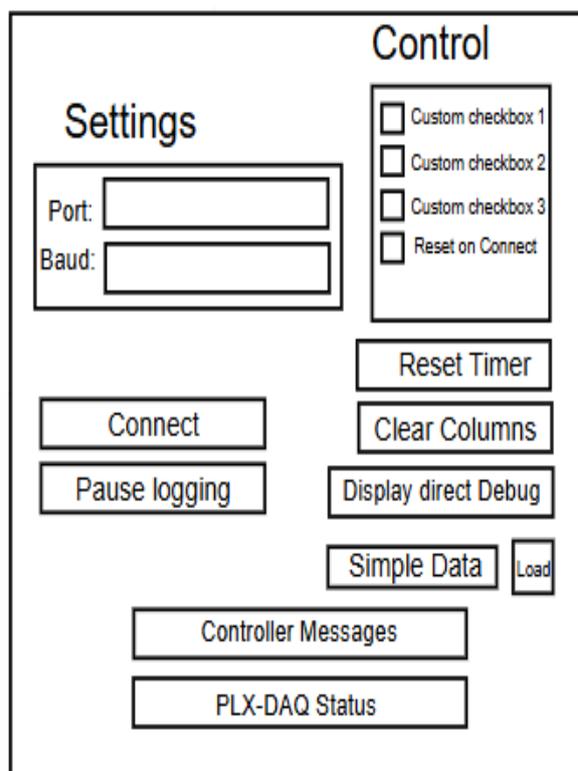
Arduino Mega 2560 dipilih karena memiliki banyak pin input dan memori yang besar sehingga dapat menampung banyak data percobaan, sedangkan sensor *termokopel* tipe K dan sensor *load cell* dipilih karena mudah untuk digunakan dan berbiaya murah. Semua komponen ini dirakit secara terpisah tanpa menggunakan *Mega Shield V2.0*, dan *relay*, sehingga rangkaian menjadi lebih sederhana dan mudah dimodifikasi. Data suhu dan massa sampel dikirim langsung ke komputer melalui

koneksi USB *Arduino* dan diolah menggunakan aplikasi PLX-DAQ yang mengintegrasikan data berupa *spreadsheet* Excel secara *real time*, untuk memudahkan visualisasi dan pencatatan hasil percobaan secara kontinu.

3. Development

a. Desain Perangkat Lunak

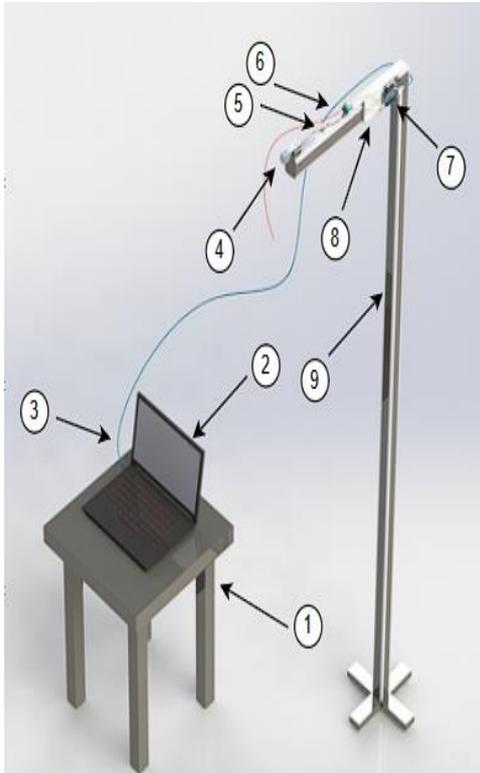
Perangkat lunak yang digunakan adalah perangkat lunak berbasis sumber terbuka yaitu Microsoft Excel yang dipadukan dengan *Arduino IDE* dan PLX-DAQ. Perangkat lunak ini berfungsi untuk memberikan instruksi dan menjalankan *mikrokontroler*. Intruksi yang dilakukan adalah melakukan pembacaan tegangan keluaran sensor *termokopel* untuk membaca suhu dan *load cell* untuk mendapatkan berat massa agar dapat diolah oleh *Arduino*. Untuk menampilkan hasil akuisisi dan visualisasi data dalam bentuk tabel secara langsung digunakan Microsoft Excel yang terhubung dengan *Arduino* melalui *toolbox* PLX-DAQ. *Toolbox* ini memungkinkan Excel menerima data dari port serial tanpa perlu pemrograman tambahan. Agar proses ini berjalan optimal, pengguna perlu menyesuaikan *port* dan *baud rate* antara *Arduino IDE* dan PLX-DAQ. *Arduino IDE* digunakan untuk menuliskan program yang akan diunggah pada board *Arduino*. Kemudian, kode program ini berfungsi untuk membaca data digital yang telah dikonversi oleh modul MAX6675 dan HX711 dari sinyal analog yang berasal dari sensor suhu dan sensor berat. Desain perangkat lunak yang akan digunakan ditunjukkan pada **Gambar 3** di bawah ini.



Gambar 3. Rancangan Tool box PLX-DAQ

b. Desain perangkat keras

Desain perangkat keras merupakan desain mekanis produk yang diteliti. Desain rancangan alat akuisisi data *Arduino* pada *macro* TGA berbasis *Microwave* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Desain Set Eksperimen Uji TGA

Keterangan:

- | | |
|-------------------|----------------------|
| 1. Meja Laptop | 8. Breadboard |
| 2. Laptop | 9. Kerangka Penopang |
| 3. USB Connector | |
| 4. Load cell | |
| 5. MAX6675 Module | |
| 6. HX711 Module | |
| 7. Arduino Mega | |

Pengembangan perangkat keras melibatkan *Microwave* yang digunakan sebagai sumber pemanas dengan mekanisme konduksi melalui reaktor berbahan kaca borosilikat (*Pyrex*). Reaktor dengan ukuran tinggi 21 cm dan diameter lebar 10 cm, dialiri gas nitrogen untuk menciptakan kondisi inert dan mencegah terjadinya oksidasi pada sampel biomassa. Di dalam reaktor ini, sampel biomassa diletakkan dalam *basket* spesimen dengan ukuran 4,5 cm × 5 cm diposisikan dan dikaitkan dengan kawat nikel secara stabil pada permukaan sensor *load cell*. Kemudian untuk setiap komponen elektronik dalam sistem dirakit secara terstruktur dan ditempatkan pada rangka penopang agar tidak bersentuhan langsung dengan *microwave*. Rangkaian pada rangka penopang ini terdapat *Arduino* Mega 2560 sebagai mikro kontrol, modul MAX6675 sebagai pengolah sinyal untuk sensor *termokopel*, HX711 sebagai pengolah sinyal untuk sensor

load cell, kabel jumper untuk menghubungkan antara komponen satu dengan yang lain, dan laptop sebagai penampil data dengan menggunakan kabel *USB connector*, kemudian pada *toolbox* PLX-DAQ terdapat tombol *port* dan *baud rate* untuk menghubungkan *software Arduino* dengan PLX-DAQ, selanjutnya tombol *connect* untuk mengulang tampilan jika terdapat kesalahan dalam melakukan percobaan.

4. Implementasi sistem

Sebelum percobaan utama dilakukan, sebaiknya pengujian pada komponen harus dilakukan terlebih dahulu untuk memastikan perangkat *mikrokontroler*, sensor temperatur dan sensor berat dapat berfungsi dan berjalan dengan baik. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan *termokopel* tipe K pada *Temperature Controller* Omron E5CWL-RITC untuk memantau respon sensor terhadap perubahan suhu, sedangkan untuk proses kalibrasi pada sensor *load cell* yaitu dengan menempatkan beban secara bertahap menggunakan anak timbangan standar. Jika nilai yang terbaca mendekati nilai referensi dan menunjukkan hubungan linier, maka sensor dinyatakan telah terkalibrasi dengan baik. Selanjutnya, program *Arduino* yang telah dirancang untuk membaca data suhu dan massa dari sensor diunggah ke *board Arduino*. Jika sistem dapat menampilkan data suhu dan berat secara akurat dan konsisten, maka kedua sensor tersebut dapat dinyatakan berfungsi dengan baik.

Langkah selanjutnya dalam proses pengujian sistem akuisisi data, dilakukan dengan menghubungkan *mikrokontroler Arduino* yang telah terintegrasi pada sistem *microwave* ke laptop melalui koneksi *USB*. Sistem ini dipersiapkan dengan menempatkan gelas reaktor yang berisikan spesimen berupa karbon aktif di dalamnya. Program yang telah dikembangkan menggunakan *Arduino IDE* kemudian diunggah ke *mikrokontroler*, sementara aplikasi PLX-DAQ dioperasikan secara otomatis pada laptop untuk memulai proses akuisisi data secara *real-time*.

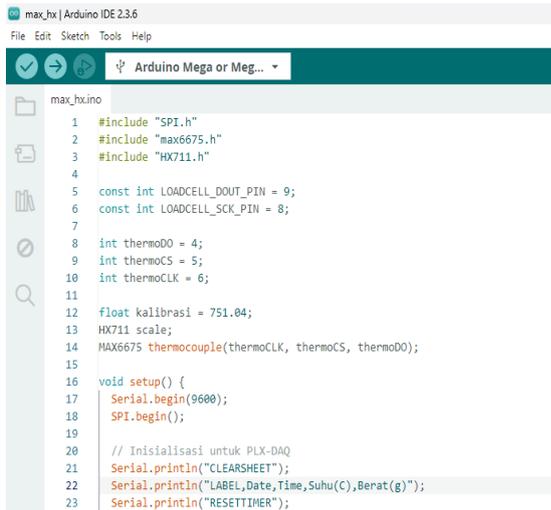
Percobaan dilakukan sebanyak lima kali selama 30 menit untuk *set point*. Setelah percobaan selesai dilakukan, data yang didapatkan dari hasil akuisisi disimpan ke laptop.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Source Code Pada Tampilan *Arduino IDE*

Tampilan *source code* pada Gambar 5. dibuat pada program *Arduino IDE* bertujuan untuk memastikan program berjalan sesuai dengan *coding* yang telah dirancang. Dalam hal ini perlu dicermati untuk menuliskan *Void Setup* dan *Void Loop*. *Void Setup* merupakan proses pengaturan perangkat yang tersambung dengan *Arduino*

Mega 2560. Adapun *Void loop* fungsi pengulangan pembacaan pada tiap sensor [11] [12].



```
1 #include "SPI.h"
2 #include "max6675.h"
3 #include "HX711.h"
4
5 const int LOADCELL_DOUT_PIN = 9;
6 const int LOADCELL_SCK_PIN = 8;
7
8 int thermoD0 = 4;
9 int thermoCS = 5;
10 int thermoCLK = 6;
11
12 float kalibrasi = 751.04;
13 HX711 scale;
14 MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoD0);
15
16 void setup() {
17   Serial.begin(9600);
18   SPI.begin();
19
20   // Inisialisasi untuk PLX-DAQ
21   Serial.println("CLEAR SHEET");
22   Serial.println("LABEL, Date, Time, Suhu(C), Berat(g)");
23   Serial.println("RESET TIMER");
24 }
```

Gambar 5. Tampilan Source Code pada Arduino IDE

Gambar 5. bagian *Void Setup* berfungsi sebagai tempat inisialisasi awal, yang hanya dijalankan sekali saat sistem pertama kali menyala atau setelah di *reset*. Kemudian dilakukan konfigurasi perangkat keras yang terhubung dengan *Arduino Mega 2560*, seperti pengaturan komunikasi *serial begin {}*. Komunikasi tersebut bertanggung jawab atas persiapan agar sistem siap melakukan proses akuisisi data secara stabil.

Sementara itu, fungsi *Void Loop {}* merupakan inti dari program yang akan dijalankan secara berulang selama sistem menyala. Di dalam fungsi ini dilakukan proses pembacaan nilai sensor secara kontinu, pengolahan data, serta pengiriman hasil pembacaan pada *PLX-DAQ*. Untuk menjaga efisiensi dan respons sistem, fungsi *loop {}* juga diatur agar tidak memuat jeda waktu yang terlalu lama (*delay*), dengan cara mengganti penggunaan *delay* menjadi fungsi berbasis waktu seperti *millis*. Hal ini penting agar pembacaan sensor suhu dan massa dapat dilakukan secara *real time* dan sinkron dengan interval pencatatan tiap satu detik sekali.

Setelah semua sensor berfungsi dengan melihat tampilan pada serial monitor, langkah selanjutnya adalah melihat hasil data yang terekam pada *PLX-DAQ*. Bila data terekam dari pembacaan penguat sinyal *MAX6675 termokopel*, dan *HX711 Load cell* maka dapat dipastikan bahwa data logger berfungsi dengan baik [10]. Penggunaan adaptor USB dengan tegangan input 5V meningkatkan performa dari *Arduino data logger* dapat beroperasi secara stabil tanpa dibutuhkan penurunan tegangan. Tampilan *source code* pada *Arduino IDE* dapat ditunjukkan pada Gambar 6.

2. Tampilan sistem akuisisi data untuk pemantauan sensor secara *real-time*

Akuisisi data merupakan proses penting dalam sistem TGA makro berbasis *microwave*, di mana suhu dan perubahan massa diamati secara *real-time* menggunakan sensor yang terhubung ke perangkat *mikrokontroler*. Sinyal analog yang dihasilkan oleh sensor *termokopel* untuk suhu dan *load cell* untuk massa dikonversi menjadi sinyal digital melalui modul *ADC (analog-to-digital converter)* yang tertanam dalam *mikrokontroler Arduino*. Data digital ini selanjutnya dikirim secara langsung ke komputer menggunakan serial komunikasi. Tampilan sistem akuisisi data *Arduino* pada *macro TGA berbasis Microwave* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Rancangan alat akuisisi data berbasis *microwave*

Penelitian ini, sistem akuisisi data dirancang agar mampu merekam informasi suhu dan massa secara bersamaan dengan memanfaatkan platform *Parallax Data Acquisition (PLX-DAQ)* seperti yang terlihat pada Gambar 6. *PLX-DAQ* memungkinkan integrasi langsung dengan *Microsoft Excel*, sehingga data dapat ditampilkan dan disimpan secara otomatis dalam bentuk grafik yang mudah dianalisis. Sistem ini mempermudah proses pemantauan laju degradasi termal spesimen secara kontinu selama proses pemanasan dengan *microwave* serta meningkatkan akurasi pencatatan data.

3. Hasil Pembacaan Data Akuisisi menggunakan *PLX-DAQ*

Prototype perangkat *PLX-DAQ* ditampilkan pada Gambar 7. sebagai tampilan data *real-time* hasil pembacaan suhu dan massa yang diperoleh dari sensor *termokopel* tipe K dan *load cell* yang terintegrasi dengan *mikrokontroler Arduino*, sedangkan Tabel 1. merupakan pembacaan suhu dan massa tiap dua puluh detik.



Gambar 7. Tampilan Toolbox PLX-DAQ

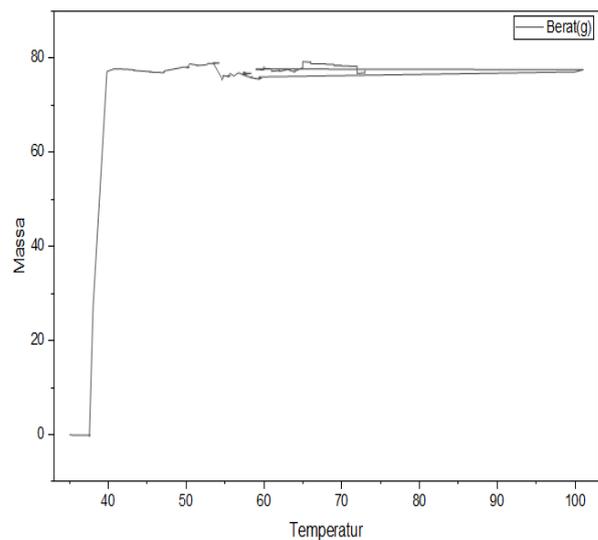
Tabel 1. Rekapitulasi pembacaan suhu dan massa tiap 20 detik

No.	Waktu	Suhu (°C)	Massa (g)
1.	7.15.10 PM	77,34	44,18
2.	7.15.20 PM	78,1	50,44
3.	7.15.40 PM	79,04	53,01
4.	7.16.00 PM	76,42	56,49
5.	7.16.20 PM	76,87	57,73
6.	7.16.40 PM	75,7	59,38
7.	7.17.00 PM	77,6	59,72
8.	7.17.20 PM	77,66	61,28
9.	7.17.40 PM	77,65	64,55
10.	7.18.00 PM	77,34	73,84

Tahap awal proses akuisisi data, massa yang tercatat pada Tabel 1. menunjukkan nilai 0 gram saat suhu berada di sekitar 35°C. Nilai ini tidak menggambarkan massa aktual spesimen, melainkan mencerminkan bahwa beban uji belum ditempatkan pada sistem saat pembacaan dimulai [14]. Massa sebenarnya dari spesimen sekitar 77 gram dan baru teridentifikasi oleh sensor *load cell* beberapa saat kemudian, setelah sampel diletakkan di atas platform penimbangan. Akibatnya, grafik menunjukkan peningkatan massa yang sangat tajam dari 0 gram ke 77–78 gram dalam rentang suhu 35°C hingga 40°C. Peningkatan ini bukan akibat dari perubahan termal material, melainkan disebabkan oleh perbedaan waktu antara peletakan sampel dan permulaan akuisisi data. Penurunan massa selama proses pemanasan tersebut menunjukkan bahwa kandungan volatil dalam spesimen tidak mengalami pelepasan.

Selain itu, pada Tabel 1 juga terlihat adanya fluktuasi suhu yang cukup signifikan, misalnya dari 79,04 °C turun menjadi 76,42°C dalam selang 20 detik. Fluktuasi ini dapat

disebabkan oleh dua faktor yaitu, keterbatasan kontrol daya *microwave* yang berbasis *duty cycle magnetron* menyebabkan suhu di dalam reaktor beresilasi karena pemanasan dilakukan secara siklus hidup-mati (*ON/OFF*). Ketika magnetron berada pada kondisi *OFF*, suhu sampel cenderung turun, dan ketika *ON* suhu akan naik kembali, sehingga data yang terekam menunjukkan fluktuasi periodik [15]. Kemudian faktor lainnya yaitu, adanya potensi gangguan dari sistem pengukuran suhu, terutama pada *termokopel* tipe K yang digunakan bersama modul MAX6675, dimana modul ini rentan terhadap interferensi gelombang elektromagnetik (EMI) dari *oven microwave*. Gangguan ini dapat menghasilkan *noise* pembacaan sensor, khususnya apabila penempatan *junction termokopel* tidak optimal atau terkena aliran gas nitrogen.



Gambar 8. Hasil Pembacaan Sensor *Termokopel* dan *Load cell*

Pada sisi sensor, seperti yang terlihat pada Gambar 8 kabel *termokopel* tipe K yang terhubung dengan modul MAX6675 berperan sebagai antena pasif untuk membaca suhu selama proses pemanasan berlangsung, sehingga radiasi elektromagnetik dari magnetron *microwave* dapat menginduksi sinyal gangguan yang terbaca sebagai lonjakan atau keterlambatan pembacaan suhu. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh [16] sistem pengukuran suhu menggunakan *termokopel* sangat rentan terhadap kesalahan pengukuran yang disebabkan oleh induksi gelombang elektromagnetik yang berpotensi mengganggu akurasi pengukuran suhu di lingkungan frekuensi tinggi.

Sementara itu, pada sisi komunikasi, modul USB pada *Arduino* yang berperan sebagai pengirim data ke komputer melalui PLX-DAQ juga mengalami gangguan elektromagnetik, sehingga transmisi data dapat tertunda bahkan terdistorsi sebelum diterima perangkat lunak. Hal ini menjelaskan mengapa pembacaan grafik menunjukkan

jeda singkat antara kejadian fisik spesimen ketika didalam reaktor dan tampilan data pada layar komputer. Untuk meminimalkan permasalahan tersebut, pada *termokopel* dapat menggunakan pelindung logam atau *thermowell* keramik agar lebih terlindung dari radiasi elektromagnetik, dan menambahkan *ferrite bead* atau filter sederhana pada kabel sensor untuk meredam noise frekuensi tinggi, serta memperkuat sistem *grounding* dan *shielding* pada jalur komunikasi serial. Selain itu, penempatan sensor harus diperhatikan kembali untuk tidak menempelkan modul pada dinding reaktor dan tidak langsung terkena aliran gas nitrogen dapat membantu menghasilkan data yang lebih stabil.

Dengan kata lain, kestabilan garis massa pada suhu sedang dapat diinterpretasikan sebagai indikasi bahwa bahan bersifat cukup *inert* terhadap paparan panas awal, dan belum mencapai titik suhu kritis yang menyebabkan reaksi kimia atau fisik yang mengarah pada kehilangan massa. Kondisi ini penting untuk dicermati karena memperlihatkan bahwa pembacaan suhu selama pengujian belum mencapai ambang aktif termal dari spesimen, dan pembacaan data masih ditemukan *delay*, khususnya pada suhu dan berat. *Delay* ini kemungkinan besar disebabkan oleh interferensi gelombang mikro selama proses pemanasan berlangsung, sehingga proses pengiriman data dari *Arduino* ke Excel melalui PLX-DAQ menyebabkan jeda pembacaan sekitar satu sampai tiga detik. Oleh sebab itu, untuk memperoleh gambaran yang lebih utuh mengenai karakteristik degradasi termal bahan, diperlukan pengujian lanjutan dengan rentang suhu yang lebih tinggi.

4. Ketelitian sensor

Ketelitian sensor yang terlihat pada [Gambar 7](#). ditentukan dari kesamaan data hasil pengukuran berdasarkan pengukuran yang berulang-ulang [17]. Pengukuran nilai suhu dilakukan dengan menggunakan karbon aktif yang dipanaskan pada rentang suhu berkisar antara 37,37 °C hingga 77,34 °C. Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil pengukuran, tingkat ketelitian sensor suhu dapat dianalisis dengan membandingkan nilai rata-rata pembacaan terhadap nilai acuan yang telah ditetapkan. Untuk parameter suhu, nilai referensi yang digunakan adalah sebesar 46,63 °C., dan menunjukkan tingkat ketelitian sekitar 90,13%, yang diperoleh dari perbandingan antara nilai referensi dan rata-rata deviasi relatif. Meski terdapat sedikit fluktuasi pembacaan pada fase awal pemanasan, performa sensor secara keseluruhan tetap konsisten dalam mencatat perubahan suhu.

Selain ketelitian pengukuran suhu, pada set eksperimen *macro* TGA berbasis *microwave* juga dilakukan ketelitian pengukuran massa. Berdasarkan pengukuran massa karbon aktif didapatkan pembacaan massa yang memiliki nilai referensi sebesar 77,40 gram

memperlihatkan variasi data antara 77,05 hingga 78,35 gram. Dari rentang tersebut, diperoleh tingkat ketelitian yang menunjukkan bahwa sensor massa *load cell* bekerja dengan tingkat presisi tinggi serta fluktuasi yang sangat kecil [18]. Secara keseluruhan, meskipun terdapat sedikit penyimpangan dalam pengukuran suhu, sistem akuisisi data yang digunakan tetap menunjukkan kinerja yang dapat diandalkan dan sesuai untuk aplikasi pengujian termogravimetri pada reaktor berbasis *microwave*.

PENUTUP

Simpulan

Penelitian ini bertujuan untuk pengembangan sistem akuisisi data menggunakan *Arduino* Mega 2560, yang terintegrasi dengan reaktor *macro* TGA berbasis *microwave*, berhasil dirancang dengan memanfaatkan sensor suhu *termokopel* tipe K dan sensor massa *load cell* untuk merekam perubahan suhu dan berat secara langsung dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi, yaitu 90,13% untuk suhu dan 99,33% untuk berat. Sistem ini memakai modul MAX6675 untuk pengukuran suhu dan HX711 untuk pengukuran massa, serta PLX-DAQ sebagai antarmuka untuk memudahkan pencatatan data langsung dalam bentuk spreadsheet, sehingga proses monitoring dan dokumentasi eksperimen dapat dilakukan secara efisien. Meskipun terdapat jeda waktu pembacaan data antara satu sampai tiga detik akibat interferensi dari gelombang. Penggunaan karbon aktif di dalam reaktor juga membantu meredam gangguan elektromagnetik yang berasal dari sumber *microwave*, sehingga meningkatkan kestabilan hasil pengujian.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada suhu di bawah 100°C, massa sampel relatif tidak berubah, yang berarti belum terjadi proses dekomposisi termal. Oleh sebab itu, diperlukan pengujian lebih lanjut pada suhu yang lebih tinggi untuk memahami dengan lebih baik perilaku termal material tersebut. Secara keseluruhan, sistem ini menawarkan solusi yang fleksibel, terjangkau, dan efektif sebagai alternatif dari alat TGA konvensional yang biasanya lebih mahal dan kompleks, sehingga dapat membuka peluang pengembangan penelitian TGA berbasis *microwave* di masa depan. Sebagai langkah tindak lanjut untuk pengembangan sistem yang lebih optimal, disarankan agar sistem akuisisi data diberi perlindungan tambahan seperti pelapisan *Arduino* dengan *box* berbahan logam, karena kemampuannya untuk memantulkan gelombang elektromagnetik selama proses pemanasan berlangsung. Selain itu, penggunaan sensor *termokopel infrared* juga disarankan sebagai alternatif sensor suhu kontak langsung untuk mengurangi pengaruh interferensi elektromagnetik pada pengukuran suhu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Bottom, "Thermogravimetric Analysis," *Princ. Appl. Therm. Anal.*, pp. 87–118, 2008, doi: 10.1002/9780470697702.ch3.
- [2] Y. Fan, L. Jin, W. Ji, J. Wang, L. Zhu, and W. Zhao, "Microwave-induced carbonization of rapeseed shell for bio-oil and bio-char: Multi-variable optimization and microwave Absorber effect," *Energy Convers. Manag.*, vol. 191, no. April, pp. 23–38, 2019, doi: 10.1016/j.enconman.2019.04.020.
- [3] F. Assyari Rahmatullah, R. Y. Putra, M. I. Fermi, and H. Rionaldo, "Perancangan Sistem Pengukuran, Pengendalian, dan Akuisisi Data Menggunakan *Arduino* dengan Antarmuka WinForms. Studi Kasus: Temperatur," *J. Tek. Media Pengemb. Ilmu dan Apl. Tek.*, vol. 22, no. 1, pp. 86–96, 2023, doi: 10.55893/jt.vol22no1.492.
- [4] R. A. Kusuma, R. Radi, and A. D. Saputro, "Arduino-Based Data Acquisition Device Design for Specific Heat Determination of Hot Vegetable Oil," *J. Tek. Pertan. Lampung (Journal Agric. Eng.)*, vol. 12, no. 1, p. 118, 2023, doi: 10.23960/jtep-l.v12i1.118-128.
- [5] N. K. Prabowo, M. Paristiwati, and Irwanto, "Arduino-based real-time data acquisition systems: boosting STEM career interest," *Int. J. Eval. Res. Educ.*, vol. 13, no. 4, pp. 2316–2325, 2024, doi: 10.11591/ijere.v13i4.27001.
- [6] B. Mahadevaiah, "Obstacle Avoidance Mobile Robot With Distance Monitoring Using Plx-Daq," *Europeanchemicalbulletin*, vol. 12, no. si5, 2023, doi: 10.48047/ecb/2023.12.si5.237.
- [7] M. U. Akhtar and M. T. Iqbal, "Development and Evaluation of an *Arduino*-Based Data Logging System Integrated with Microsoft Excel for Monitoring On-Grid Photovoltaic Systems," *Eur. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 8, no. 3, pp. 29–37, 2024, doi: 10.24018/ejece.2024.8.3.622.
- [8] S. Park *et al.*, "Thermogravimetric analysis-based proximate analysis of agro-byproducts and prediction of calorific value," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 12038–12044, 2022, doi: 10.1016/j.egy.2022.09.040.
- [9] C. Castro *et al.*, "Influence of Temperature in the Thermo-Chemical Decomposition of Below-Stoichiometric RDF Char—A Macro TGA Study," *Energies*, vol. 16, no. 7, 2023, doi: 10.3390/en16073064.
- [10] P. W. . Efendi r, Darwin, Badia B.D., Tando A., Herlina, "Rancang Bangun Dataloggertermokopel Berbasis *Arduino* Mega 2560 Skala Laboratorium," *Mach. J. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 15–19, 2023.
- [11] S. W. Suciyati, M. S. Hidayatullah, and G. A. Pauzi, "An Analysis of Data Acquisition System of Temperature, Oxygen, and Carbon Dioxide in Refrigerator with *Arduino* Mega 2560," *J. Ilm. Pendidik. Fis. Al-Biruni*, vol. 10, no. 1, p. 119, 2021, doi: 10.24042/jipfalbiruni.v10i1.7452.
- [12] N. P. Santos, "Arduino-Introduction and Advanced Resources," no. March, 2023, doi: 10.13140/RG.2.2.11434.29129.
- [13] Y. Y. Kee, Y. Asako, T. L. Ken, and N. A. C. Sidik, "Uncertainty of temperature measured by thermocouple," *J. Adv. Res. Fluid Mech. Therm. Sci.*, vol. 68, no. 1, pp. 54–62, 2020, doi: 10.37934/ARFMTS.68.1.5462.
- [14] R. Alfian, R. Wirawan, L. S. Hudha, N. Qomariyah, S. Rahayu, and M. Marzuki, "Pemanfaatan Sensor *Load cell* Dalam Pembuatan Prototipe Alat Uji Tekan Portable," *Wahana Fis.*, vol. 7, no. 1, pp. 82–92, 2022, doi: 10.17509/wafi.v7i1.46990.
- [15] J. A. Pazó, E. Granada, Á. Saavedra, P. Eguía, and J. Collazo, "Biomass thermogravimetric analysis: Uncertainty determination methodology and sampling maps generation," *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 11, no. 7, pp. 2701–2714, 2010, doi: 10.3390/ijms11072701.
- [16] Y. Wishnu, P. Prayudha, S. Muhammad, and S. Novianto, "Rancang Bangun Sistem Pengukuran Alat Thermobath sebagai Alat Kalibrasi Temperatur dengan Sistem *Arduino* Uno Design and Manufacture a Thermobath Measurement System as a Temperature Calibration Tool with *Arduino* Uno Sistem System," vol. 4, pp. 25–34, 2022.
- [17] R. Setiawan, A. R. Saleh, and R. M. Sulistiyo, "Rancangan Optimal Oven *Microwave* untuk Peningkatan Efisiensi Pengeringan Maggot menggunakan Simulasi CFD," vol. 3, 2025.
- [18] Y. F. Zhang and M. Lu, "Advances in magnetic induction hyperthermia," *Front. Bioeng. Biotechnol.*, vol. 12, no. August, pp. 1–21, 2024, doi: 10.3389/fbioe.2024.1432189.