

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Akuisisi data merupakan suatu pengolahan data yang memerlukan beberapa komponen untuk hasil yang akurat. Komponen-komponen tersebut di antaranya sensor, pengkondisi sinyal, kontroler, dan perangkat penampil data.

2.1 Sensor

Penggunaan sensor pada alat akuisisi data ini adalah sensor *thermocouple*. Sensor *thermocouple* bekerja berdasarkan hukum seebeck dimana jika ada 2 buah material logam berbeda jenis lalu disatukan dan diberi beda temperatur pada sambungannya (*hot junction*), maka akan menghasilkan *electromotive* (Barmawi et al., 2023).

Sensor *thermocouple* terdapat beberapa jenis diantaranya jenis paling umum adalah Tipe B, Tipe J, Tipe K, Tipe S, dan Tipe T. Sensor yang sesuai untuk sistem refrigerasi pada laboratorium konversi energi adalah Tipe J. Sensor Tipe J memiliki rentang suhu rendah (-210 hingga 760 derajat Celsius).

2.2 Pengkondisi Sinyal

Pengkondisi sinyal merupakan suatu proses pengolahan data mentah dari suatu sensor atau transduser yang dilakukan untuk mendapatkan data yang dapat kita baca atau kita ukur. Berdasarkan dari tipe sensor yang akan dipakai pada penelitian ini, jenis pengkondisian data yang tepat adalah dengan melakukan penguatan terhadap keluaran dari sensor. Pengkondisian sinyal dengan metode penguatan akan dilakukan dengan cara penguatan diferensial dan penguatan instrumentas (Noviyanto, 2016).

2.3 Kontroler

Kontroler adalah perangkat keras atau perangkat lunak yang mengelola dan mengatur fungsi tertentu dalam sistem komputer atau perangkat elektronik. Ada berbagai jenis kontroler, tergantung pada fungsinya. Kontroler memiliki peran penting dalam memastikan bahwa perangkat berfungsi dengan benar dan efisien, serta memungkinkan komunikasi yang lancar antara berbagai komponen dalam sistem.

Arduino adalah platform mikrokontroler terbuka yang mudah digunakan, berbasis hardware dan software. Hardware dan software arduino yang digunakan adalah arduino IDE sebagai software dan arduino-Mega sebagai hardware. Pengolahan data berjalan berdasarkan *coding* yang telah diprogram dengan menggunakan bahasa pemrograman C++ pada Arduino IDE sebagai acuan perintah untuk menjalankan Arduino mega.

2.3.1. Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menulis, mengedit, dan mengunggah kode program ke papan mikrokontroler. *Software* ini dirancang untuk memudahkan pengguna, baik pemula maupun profesional, dalam mengembangkan proyek berbasis Arduino. *Software* ini digunakan untuk membuat *sketch* pemrograman atau dengan kata lain arduino IDE sebagai media untuk pemrograman pada board yang ingin diprogram. Arduino IDE ini berguna untuk membuat, meng-upload ke board yang ditentukan, dan meng-coding program tertentu. Arduino IDE dibuat dari bahasa pemrograman JAVA, yang dilengkapi dengan library C/C++(wiring), yang membuat operasi input/output lebih mudah (Kamal et al., 2023).

2.3.2. Arduino-Mega

Arduino-Mega 2560 adalah papan diagram mikrokontroler yang dirancang oleh Perusahaan Arduino LLC. Papan mikrokontroler tersebut merupakan salah satu varian dari keluarga Arduino yang memiliki spesifikasi lebih tinggi dibandingkan dengan model lainnya, seperti Arduino Uno. Kelebihan dari Arduino-Mega 2560 adalah kapasitas memori yang lebih besar dibandingkan dengan Arduino Uno, sehingga cocok untuk proyek yang kompleks dan membutuhkan banyak modul. Mikrokontroler ini sangat ideal untuk menunjang pembuatan alat akuisisi data karena memerlukan pemrosesan data yang lebih besar dan membutuhkan lebih banyak pin input data.

2.4 Perangkat Penampil Data

Perangkat penampil data adalah alat yang digunakan untuk menampilkan informasi dalam berbagai format seperti teks, grafik, atau gambar pada layar atau, media lainnya. Perangkat penampil data yang digunakan pada alat akuisisi data adalah HMI (*Human Machine Interface*)

HMI (*Human Machine Interface*) adalah sistem yang memungkinkan interaksi antara manusia dan mesin atau sistem otomatis. HMI berfungsi sebagai antarmuka yang menghubungkan operator dengan peralatan industri, memberikan cara yang cerdas dan efisien untuk mengontrol, mengoordinasikan, dan mengkonfigurasi proses serta perangkat.

Human Machine Interface (HMI) adalah sebuah alat yang dapat menampilkan proses sistem yang dijalankan oleh Arduino-Mega. Tujuan dari HMI adalah meningkatkan interaksi antara mesin dengan operator melalui tampilan layar komputer sehingga memenuhi kebutuhan pengguna terhadap

informasi sistem yang diberikan sehingga mempermudah pekerjaan fisik (Mubarraq, 2019).

Komponen HMI (*Human Machine Interface*)

1. Antarmuka Pengguna (*User Interface*) biasanya terdiri dari layar sentuh atau monitor yang menampilkan informasi grafis.
2. Perangkat Keras termasuk komputer industri atau panel PC yang menjalankan perangkat lunak HMI.
3. Perangkat Lunak program yang digunakan untuk mendesain antarmuka pengguna dan menghubungkan HMI dengan perangkat Arduino-Mega dan sensor input/output

Keuntungan menggunakan HMI (*Human Machine Interface*)

1. Peningkatan Efisiensi dengan menyediakan informasi secara langsung dan memungkinkan kontrol cepat, HMI membantu meningkatkan produktivitas operasional.
2. Pengurangan Kesalahan Manusia dengan visualisasi data yang jelas dan kontrol yang mudah diakses, risiko kesalahan manusia dalam pengoperasian dapat diminimalkan
3. Integrasi Sistem HMI dapat terintegrasi dengan sistem SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) untuk pengumpulan data yang lebih luas dan sistem kontrol yang lebih kompleks.

2.5 Prinsip Kerja *Thermocouple* dan Koefisien Seebeck

Thermocouple merupakan sensor temperatur yang paling banyak digunakan dalam aplikasi industri dan penelitian karena durabilitasnya yang tinggi, respon waktu yang cepat, serta rentang pengukuran yang luas. Prinsip

kerja dasar dari *thermocouple* didasarkan pada fenomena termoelektrik yang ditemukan oleh Thomas Johann Seebeck pada tahun 1821, yang kemudian dikenal sebagai Efek Seebeck.

Fenomena ini menjelaskan bahwa jika dua buah logam yang memiliki komposisi kimia berbeda (misalnya logam A dan logam B) disambungkan pada kedua ujungnya membentuk rangkaian tertutup, dan terdapat perbedaan temperatur antara kedua sambungan tersebut (sambungan ukur/*hot junction* dan sambungan referensi/*cold junction*), maka akan timbul arus listrik yang mengalir terus-menerus. Jika rangkaian tersebut dibuka pada salah satu ujungnya, maka akan terukur beda potensial atau Gaya Gerak Listrik (GGL) termal (V_{emf}).

Secara mikroskopis, efek ini terjadi karena adanya difusi elektron bebas. Ketika satu ujung logam dipanaskan, elektron pada sisi tersebut memperoleh energi kinetik yang lebih tinggi dan bergerak menuju sisi yang lebih dingin. Akibatnya, terjadi penumpukan muatan negatif pada sisi dingin dan muatan positif pada sisi panas, yang menciptakan medan listrik internal. Karena dua logam yang berbeda memiliki kepadatan elektron dan mobilitas yang berbeda pula, besarnya perpindahan muatan ini tidak sama pada kedua logam, sehingga timbul selisih tegangan bersih di antara keduanya.

Besarnya tegangan keluaran (V) yang dihasilkan oleh *thermocouple* berbanding lurus dengan perbedaan temperatur (ΔT) antara ujung sensor yang mendeteksi panas dan ujung referensi. Hubungan linearitas ini dinyatakan dalam persamaan sederhana:

$$V = \alpha \times (T_{hot} - T_{cold})$$

Di mana:

- V adalah tegangan termoelektrik (biasanya dalam satuan mikrovolt/ μV).
- ΔT adalah perbedaan suhu antara *hot junction* dan *cold junction*.
- α adalah koefisien Seebeck atau sensitivitas termoelektrik material ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$).

Dalam penelitian ini, jenis *thermocouple* yang digunakan adalah Tipe J (Iron-Constantan). Pemilihan tipe ini didasarkan pada karakteristik sensitivitasnya. *Thermocouple* Tipe J terdiri dari kaki positif yang terbuat dari Besi (*Iron*) murni dan kaki negatif yang terbuat dari paduan Konstanta (*Constantan*: 55% Tembaga, 45% Nikel).

Berdasarkan referensi standar (Moffat, 1990), *Thermocouple* Tipe J memiliki karakteristik khusus sebagai berikut:

1. Sensitivitas Tinggi: Tipe J memiliki koefisien Seebeck sekitar 50–52 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ pada suhu kamar. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan *thermocouple* Tipe K (*Chromel-Alumel*) yang memiliki sensitivitas sekitar 41 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Sensitivitas yang lebih tinggi ini menguntungkan dalam sistem akuisisi data berbasis mikrokontroler karena menghasilkan perubahan tegangan yang lebih besar untuk setiap perubahan derajat suhu, sehingga resolusi pembacaan menjadi lebih baik dan rasio sinyal terhadap *noise* (SNR) meningkat.
2. Rentang Operasional: Tipe J efektif digunakan pada rentang suhu -40°C hingga 750°C . Rentang ini sangat ideal untuk aplikasi refrigerasi yang umumnya beroperasi pada suhu rendah hingga menengah, di mana sensor Tipe J menawarkan stabilitas yang baik dibandingkan tipe lain.

Namun, pemahaman mendalam mengenai koefisien Seebeck sangat krusial dalam perancangan sistem akuisisi data. Persamaan linear $V = \alpha \times \Delta T$ sejatinya adalah penyederhanaan. Pada kenyataannya, koefisien Seebeck (α) tidaklah konstan, melainkan berubah sedikit seiring perubahan suhu (non-linear). Oleh karena itu, modul pengkondisi sinyal atau mikrokontroler harus melakukan linearisasi data.

Selain itu, tantangan utama dalam penggunaan sensor *thermocouple* adalah ketergantungannya pada suhu referensi (*cold junction*). Tegangan yang dibaca oleh sensor hanyalah representasi dari selisih suhu, bukan suhu mutlak. Jika suhu di terminal sambungan (tempat kabel *thermocouple* masuk ke modul akuisisi data) berubah, maka pembacaan suhu target juga akan bergeser.

Oleh karena itu, diperlukan teknik Kompensasi Sambungan Dingin (*Cold Junction Compensation*). Seperti yang dijelaskan oleh Riantono dkk. (2019), ketidaktepatan dalam kompensasi ini akan menyebabkan kesalahan pengukuran yang signifikan. Modul akuisisi data modern mengatasi hal ini dengan menyematkan sensor suhu internal tambahan di dalam chip untuk mengukur suhu terminal, lalu secara matematis menambahkan tegangan kompensasi pada hasil pembacaan *thermocouple* untuk mendapatkan nilai suhu mutlak yang akurat.

2.6 Pengukuran Temperatur Permukaan Pipa (*Surface Temperature Measurement*)

Dalam eksperimen termal, khususnya pada sistem refrigerasi, akurasi pengukuran temperatur fluida kerja (refrigeran) merupakan parameter krusial untuk menentukan performa sistem (COP). Secara ideal, metode pengukuran yang paling akurat adalah metode invasif atau pencelupan (*immersion*), di mana sensor diletakkan langsung di dalam aliran fluida menggunakan *thermowell*. Metode ini meminimalkan hambatan termal antara fluida dan sensor. Namun, teknik ini memiliki kelemahan praktis yang signifikan, yaitu risiko kebocoran refrigeran, penurunan tekanan (*pressure drop*) akibat gangguan pada aliran, serta kompleksitas instalasi yang tinggi.

Sebagai alternatif, metode non-invasif dengan menempelkan sensor pada dinding luar pipa (*surface mounting*) menjadi standar praktis yang diterima secara luas dalam penelitian refrigerasi, asalkan dilakukan dengan prosedur isolasi yang ketat. Validitas metode ini bergantung pada pemahaman terhadap fenomena perpindahan panas yang terjadi dari fluida ke dinding dalam pipa, lalu menembus ketebalan dinding pipa secara konduksi, hingga akhirnya mencapai sensor di permukaan luar.

Potensi penyimpangan data (*measurement error*) pada metode ini umumnya disebabkan oleh gradien temperatur antara fluida (T_{fluid}) dan dinding luar pipa (T_{wall}). Berdasarkan Hukum Konduksi Panas Fourier, laju perpindahan panas (q) yang menembus dinding silinder (pipa) dinyatakan sebagai fungsi dari konduktivitas termal material (k) dan dimensi pipa. Perbedaan suhu antara sisi dalam dan sisi luar pipa ($\Delta T_{conduction}$) berbanding lurus dengan ketebalan

dinding pipa dan berbanding terbalik dengan konduktivitas termal materialnya.

Dalam penelitian ini, pipa yang digunakan adalah pipa tembaga (*copper pipe*) standar ASTM yang memiliki karakteristik konduktivitas termal yang sangat tinggi, yaitu sekitar $k \approx 401 \text{ W/mK}$. Nilai ini jauh lebih tinggi dibandingkan material logam lain seperti baja atau besi. Karena tingginya nilai konduktivitas termal tembaga dan relatif tipisnya dinding pipa refrigerasi (umumnya 0,6 mm - 0.8 mm), hambatan termal (*thermal resistance*) dinding pipa menjadi sangat kecil mendekati nol. Akibatnya, penurunan suhu (*temperature drop*) saat panas merambat dari dinding dalam ke dinding luar pipa sangatlah minim dan dapat diabaikan secara matematis.

Meskipun hambatan dinding pipa dapat diabaikan, tantangan terbesar dalam pengukuran permukaan adalah pengaruh suhu lingkungan (*ambient temperature*). Jika sensor tidak diisolasi, sensor akan bertindak seperti sirip pendingin (*cooling fin*), di mana panas dari pipa akan terbangun ke udara sekitar melalui konveksi, menyebabkan sensor membaca nilai yang lebih rendah dari suhu aktual pipa.

Mengacu pada studi eksperimental yang dilakukan oleh Childs dkk. (2000) dalam *Review of Scientific Instruments*, serta prinsip dasar perpindahan panas yang dijelaskan oleh Incropera dkk. (2007), akurasi pengukuran permukaan sangat bergantung pada dua faktor mitigasi:

1. Resistansi Kontak (*Contact Resistance*): Celah udara mikroskopis antara sensor *thermocouple* dan permukaan pipa dapat menghambat aliran panas. Penggunaan *thermal paste* (pasta termal) mutlak diperlukan untuk mengisi celah udara tersebut dan memaksimalkan konduktivitas kontak.

2. Isolasi Termal: Sensor harus tertutup rapat dari udara luar menggunakan material isolator (seperti *insulation tape* atau *armaflex*). Isolasi ini berfungsi memblokir pengaruh konveksi udara luar sehingga sensor berada dalam kesetimbangan termal dengan dinding pipa semata.

Dengan menerapkan kedua langkah mitigasi tersebut, Childs dkk. (2000) menyimpulkan bahwa deviasi atau *error* pengukuran antara metode permukaan (*surface*) dan metode celup (*immersion*) pada pipa logam konduktif dapat ditekan hingga di bawah $0,5^{\circ}\text{C}$ - 1°C . Tingkat akurasi ini dinilai valid dan dapat diterima (*acceptable*) untuk keperluan analisis performa siklus refrigerasi tanpa mengurangi integritas data penelitian secara signifikan.