

BAB III

METODE PENELITIAN

Dalam bab ini dibahas mengenai metode penelitian dan desain perancangan prototipe sistem pemantauan massa bergerak menggunakan transduser piezoelektrik berbasis mikrokontroler Arduino Mega yang meliputi rancangan desain, sistem kerja, skema rangkaian, karakterisasi sensitivitas transduser, dan pengujian prototipe.

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

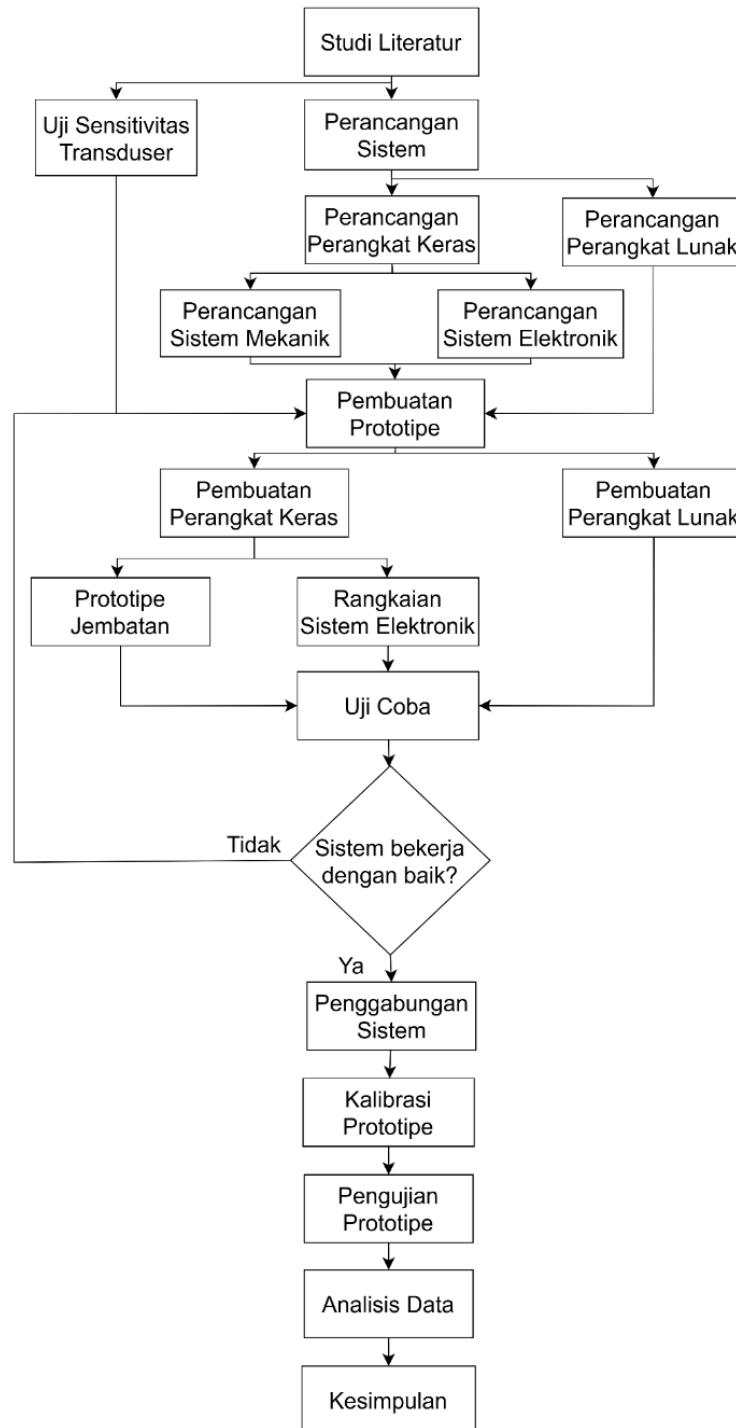
Penelitian yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Pemantauan Massa Bergerak Pada Miniatur Jembatan Menggunakan Piezoelektrik Berbasis Arduino Mega” dimulai pada bulan April hingga Agustus 2024, di Laboratorium Fisika Instrumentasi, Gedung FPMIPA B, Universitas Pendidikan Indonesia, yang beralamat di Jalan Dr. Setiabudhi No.299, Bandung 40154, Jawa Barat, Indonesia.

3.2 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan yaitu metode eksperimen untuk menguji respon transduser terhadap perubahan posisi massa bergerak pada miniatur jembatan. Pada metode eksperimen dilakukan perancangan dan pembuatan prototipe, pengujian karakteristik sensitivitas transduser, pengujian prototipe, serta analisa hasil pengujian.

Penelitian ini diawali dengan melakukan studi literatur untuk mencari dan mempelajari beberapa referensi tentang konsep pemantauan massa bergerak pada miniatur jembatan menggunakan transduser piezoelektrik dan penelitian terdahulu yang telah dilakukan dalam penggunaan transduser tersebut. Selanjutnya, identifikasi masalah yang muncul dari perancangan sistem ini yaitu belum pernah dilakukan penelitian sebelumnya yang memanfaatkan transduser piezoelektrik untuk pemantauan massa bergerak pada miniatur jembatan, di mana seringkali pemanfaatan dari transduser ini hanya berfokus pada pemanen energi (*energy harvesting*) untuk sumber daya perangkat elektronik berdaya rendah. Setelah diketahuinya permasalahan yang ada, kemudian dilakukan perancangan sistem pemantauan massa bergerak pada miniatur jembatan menggunakan transduser piezoelektrik. Pada tahap selanjutnya, pendefinisian data dimensi penampang, mutu material, dan beban yang akan diperhitungkan dalam analisis struktur miniatur jembatan untuk melihat karakteristik perilaku miniatur jembatan saat pembebanan. Langkah selanjutnya yaitu pembuatan prototipe sistem

pemantauan massa bergerak pada miniatur jembatan, kemudian karakterisasi transduser piezoelektrik, serta pengujian prototipe yang telah dibuat dengan cara melakukan kalibrasi dan pengujian sistem secara keseluruhan. Selanjutnya, analisis hasil pengujian dilakukan untuk membandingkan hasil yang diperoleh secara eksperimental dengan teori atau konsep yang ada. Secara garis besar prosedur penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Perancangan Sistem Pemantauan Miniatur Jembatan

Perancangan sistem pemantauan massa bergerak pada miniatur jembatan menggunakan transduser piezoelektrik terdiri dari dua bagian, yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Perancangan perangkat keras meliputi pembuatan desain miniatur jembatan dan rangkaian skematik untuk bagian pengkondisi sinyal. Perancangan perangkat lunak meliputi pembuatan program mikrokontroler untuk bagian pengolahan data. Secara keseluruhan skema sistem yang akan dibangun ditunjukkan seperti diagram blok pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3. 2 Diagram blok sistem pemantauan miniatur jembatan

Cara kerja sistem ini terdiri dari bagian input, proses, dan output. Pada bagian input, sistem akan mendeteksi, mengukur, dan menerima respon dari massa bergerak yang melintas pada miniatur jembatan dengan menggunakan transduser piezoelektrik. Kemudian, transduser akan bekerja menerima inputan tersebut dan mengubahnya menjadi energi listrik berupa tegangan DC. Sinyal tegangan tersebut kemudian akan dikondisikan terlebih dahulu oleh modul REES52 sebelum diproses oleh mikrokontroler agar sinyal menjadi stabil dan dapat dibaca oleh mikrokontroler Arduino Mega 2560. Selanjutnya, output modul REES52 akan diteruskan pada bagian pengolahan data yaitu mikrokontroler Arduino Mega 2560 untuk mengidentifikasi hasil deteksi tekanan akibat adanya massa bergerak. Jika tekanan terdeteksi maka mikrokontroler akan menampilkan besar tegangan yang dihasilkan. Bagian output pada sistem ini adalah LCD 16x2 yang digunakan untuk menampilkan parameter hasil pengukuran berupa tegangan (Volt) dan juga sebagai indikator posisi massa bergerak.

3.3.2 Perancangan Sistem Mekanik

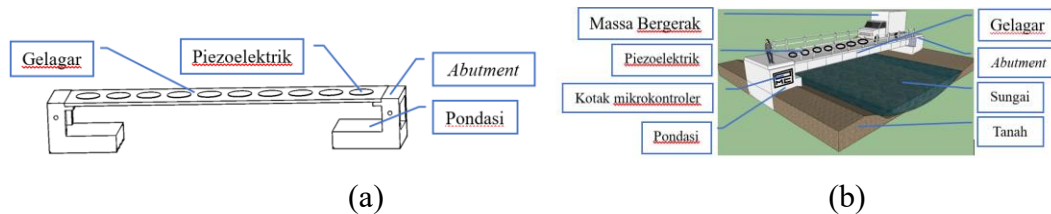
Sistem mekanik dalam prototipe ini terdiri dari miniatur jembatan gelagar berupa balok sederhana dengan tumpuan sendi-rol dan kotak mikrokontroler. Miniatur jembatan dirancang sedemikian rupa sehingga dapat dilakukan pemantauan massa bergerak untuk mengetahui distribusi momen lentur yang terjadi pada balok saat beban melintas dengan pemodelan seperti pada gambar 3.3(a) yaitu dengan memasang piezoelektrik pada 10 titik target pengamatan, antara lain 0 mm, 27,5 mm, 72,5 mm, 117,5 mm, 162,5 mm, 207,5 mm, 252,5 mm, 297,5 mm,

Gabriela Oktaviani Subrata, 2024

RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN MASSA BERGERAK PADA MINIATUR JEMBATAN MENGGUNAKAN PIEZOELEKTRIK BERBASIS ARDUINO MEGA

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

342,5 mm, 387,5 mm, 432,5 mm dan 460 mm. Pengambilan data akan dilakukan saat miniatur jembatan dibebani secara bergantian pada titik target pengamatan tersebut, di mana pada setiap titik target dilakukan pengulangan sebanyak 10 kali untuk mendapatkan variasi data dan agar data yang didapatkan menjadi lebih akurat.

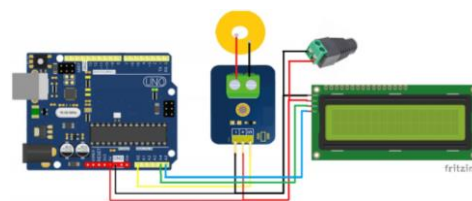


Gambar 3. 3 (a) Desain model miniatur jembatan (b) Implementasi model miniatur jembatan

Pada gambar 3.3(b) terdapat 10 buah transduser piezoelektrik sebagai input yang diletakkan di permukaan bawah gelagar pada miniatur jembatan secara simetris dengan jarak yang sama satu sama lain sehingga masing – masing transduser dapat mendeteksi massa bergerak. Struktur bawah miniatur jembatan berupa kepala jembatan (*abutment*) dan pondasi yang terbuat dari filamen PLA hasil 3D printing berukuran 82,9 mm x 100 mm dengan ketebalan 25,75 mm, struktur bawah ini dibuat sebagai tumpuan jembatan. Piezoelektrik yang digunakan adalah tipe PZT dengan diameter 35 mm sebanyak 10 buah yang direkatkan pada bagian bawah gelagar yang berupa akrilik berukuran 82,9 mm x 460 mm dengan tebal 3 mm. Peletakan piezoelektrik pada bagian bawah gelagar dilakukan dengan tujuan agar piezoelektrik dapat mendeteksi perubahan massa bergerak yang melintas di atas gelagar serta agar piezoelektrik tidak cepat rusak jika tertekan oleh massa bergerak.

3.3.3 Perancangan Sistem Elektronik

Sistem elektronik yang dirancang pada prototipe ini berupa rangkaian skematik (*wiring*) sistem yang dibuat menggunakan *software* Fritzing serta terdiri dari beberapa komponen elektronik, yaitu Arduino Mega, transduser piezoelektrik, modul REES52, LCD 16x2, *jack power* DC, *header male-female*, *power supply* 5V, serta kabel yang dirangkai pada PCB. Rangkaian skematik secara keseluruhan dapat digambarkan seperti seperti pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3. 4 Rangkaian skematik sistem

Perancangan sistem elektronik pada Gambar 3.4 dilakukan agar transduser piezoelektrik dan mikrokontroler Arduino Mega dapat terhubung dengan baik, sehingga tegangan keluaran dari transduser dapat diproses oleh Arduino Mega melalui pemrograman pada Arduino IDE. Berikut merupakan penjelasan konfigurasi pin yang terhubung antar komponen.

3.3.3.1 Arduino Mega

Arduino Mega bertugas untuk mengolah sinyal output dari modul REES52 agar dapat ditampilkan melalui LCD berupa tegangan dalam satuan Volt. Untuk menjalankan tugas tersebut maka Arduino Mega dan modul REES52 dapat dihubungkan seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Konfigurasi pin Arduino Mega

Pin Arduino	Pin komponen
A0	Pin S modul REES52
A4	Pin SDA LCD I2C
A5	Pin SCL LCD I2C
GND	GND modul piezoelektrik dan LCD
5V	VCC modul piezoelektrik dan LCD

3.3.3.2 Modul REES52

Modul REES52 ini adalah komponen yang digunakan untuk mengukur tegangan listrik yang dihasilkan oleh transduser piezoelektrik ketika diberi tekanan. Output dari modul ini berupa sinyal analog yang nantinya akan diproses oleh Arduino Mega untuk ditampilkan pada LCD. Oleh karena itu, transduser piezoelektrik dan modul REES52 dapat dihubungkan seperti pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Konfigurasi pin pada modul piezoelektrik REES52

Pin I/O Modul piezoelektrik	Pin komponen
Pin S (Signal Output)	pin A0 Arduino
Pin + (VCC)	Pin 5V Arduino
Pin – (GND)	Pin GND Arduino
Screw terminal INPUT	Anoda transduser piezoelektrik (keramik)
Screw terminal GND	Katoda transduser piezoelektrik (kuningan)

3.3.3.3 LCD I2C 16x2

Perubahan tegangan listrik akibat perubahan tekanan mekanik yang diberikan pada transduser piezoelektrik akan ditampilkan secara numerik pada LCD atas perintah dari Arduino Mega. Oleh karena itu, Arduino Mega dan LCD I2C 16x2 dapat dihubungkan seperti pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Konfigurasi pin pada LCD I2C 16x2

Pin I/O LCD	Pin Arduino Mega
Pin SDA	pin A4
Pin SCL	Pin A5
Pin GND	Pin GND
Pin VCC	Pin 5V

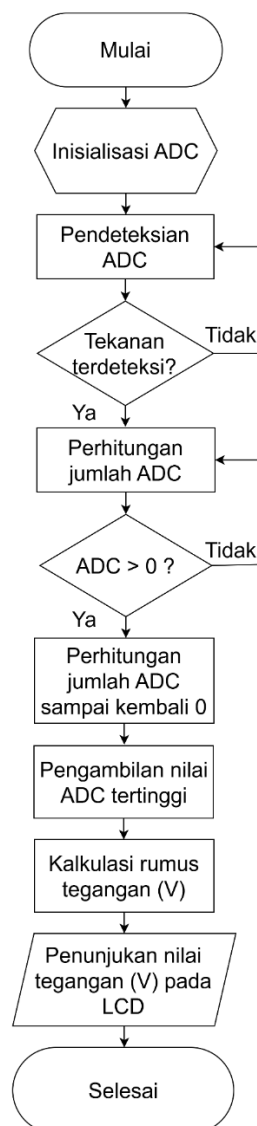
3.3.4 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Program yang dibuat pada *software* Arduino IDE digunakan untuk memuat perintah yang akan dijalankan oleh mikrokontroler Arduino Mega. Selanjutnya, program yang dibuat dapat mengatur komunikasi antara Arduino Mega dengan transduser piezoelektrik. Program yang dibuat ini akan memerintahkan mikrokontroler untuk mengukur inputan tekanan, regangan, dan getaran yang dideteksi oleh transduser piezoelektrik untuk kemudian ditampilkan pada LCD berupa tegangan (Volt).

Analog to Digital Converter (ADC) merupakan pengubah keluaran transduser piezoelektrik yang berupa sinyal analog menjadi sinyal digital pada sistem komputer. Piezoelektrik akan menghasilkan sinyal analog berupa muatan listrik ketika mengalami tekanan mekanis. Saat diberi beban pada gelagar maka akan muncul muatan listrik akibat adanya tekanan, regangan, dan getaran yang dialami oleh transduser piezoelektrik yang disebabkan distribusi gaya pada miniatur jembatan. Sinyal listrik yang dihasilkan oleh piezoelektrik tersebut akan dikonversi menjadi sinyal digital agar sinyal dapat diolah dengan sistem komputer, salah satunya yaitu mikrokontroler Arduino Mega 2560 yang diproduksi oleh Atmel. Mikrokontroler ini memiliki resolusi 10 bit ADC dan tegangan referensi sebesar 5 V. Prinsip kerja ADC yaitu mengubah sinyal analog menjadi suatu besaran yaitu rasio perbandingan sinyal masukan dan tegangan referensi.

Proses kerja prototipe ini dijelaskan melalui diagram alir sistem pada gambar 3.5 di mana pada saat Arduino Mega dihidupkan melalui *power supply* dari adaptor 5V, maka arduino akan

membaca nilai ADC dari transduser piezoelektrik, ketika transduser belum mendeteksi tekanan mekanik dari massa bergerak yang melintas di atas gelagar, maka arduino akan terus membaca nilai ADC dari transduser. Ketika transduser mendeteksi tekanan maka arduino akan menghitung jumlah ADC yang terbaca dari keluaran transduser secara terus menerus. Ketika ADC yang terbaca tidak lebih dari 0 (nol), maka arduino akan terus menghitung jumlah nilai ADC yang terbaca. Ketika ADC lebih dari 0 (nol) maka arduino akan menghitung angka desimal sampai ketemu 0 (nol) lagi untuk mencari nilai tertinggi. Setelah arduino membaca nilai ADC tertinggi, maka akan dikalkulasikan dalam rumus untuk menentukan nilai tegangan dari massa bergerak yang terbaca oleh transduser. Kemudian hasil kalkulasi rumus tegangan akan ditampilkan pada LCD display. Diagram alir sistem penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3. 5 Diagram Alir sistem

3.3.5 Uji Karakteristik Sensitivitas Transduser Piezoelektrik

Uji karakteristik sensitivitas transduser piezoelektrik dilakukan untuk mengetahui karakteristik sensitivitas transduser dalam mendeteksi perubahan massa, yang dilakukan dengan memberikan variasi pembebanan berupa Anak timbangan (AT) 100 g – 1000 g. Ketika AT diletakkan di atas transduser maka akan dihasilkan tegangan DC. Tegangan keluaran tersebut akan diukur dengan menggunakan alat standar berupa multimeter digital merek Sanwa CD8000a yang mempunyai resolusi 0,01 mA DCA dan 0,1 mV DCV. Karakterisasi transduser piezoelektrik dilakukan dengan metode perbandingan langsung, di mana hasil pembacaan dari alat standar dibandingkan dengan hasil pembacaan dari transduser.

3.3.6 Pembuatan Prototipe Sistem Pemantauan Miniatur Jembatan

Pada tahapan pembuatan prototipe, diperlukan alat dan bahan seperti pada tabel 3.1 yang akan dihubungkan sesuai rancangan yang telah ditentukan sebelumnya. Sistem elektronik yang sudah terhubung akan diberi perintah melalui kode program yang telah diunggah ke mikrokontroler, kemudian disimpan di dalam kotak mikrokontroler. Kode program yang dibuat mencakup bentuk dasar pemrograman Arduino yaitu *header* yang berisikan *library*, deklarasi variabel yang terdiri dari nama, nilai, dan tipe data variabel, *setup*, serta *loop*.

Tabel 3. 1 Alat dan Bahan Pembuatan Sistem Pemantauan Miniatur Jembatan

No.	Alat dan Bahan	Jumlah
1	Laptop	1
2	<i>Power Supply</i>	1
3	Multimeter Digital	1
5	Transduser Piezoelektrik	10
6	<i>Acrylic Sheet</i> 3 mm	1
7	Arduino Mega 2560	1
8	Modul REES52	10
9	Kabel Jumper	Secukupnya
10	Mistar	1
11	Filamen PLA	1
12	LCD 16x2	1
13	Baut Mur 5mm x 12mm	4
14	<i>Super Glue</i>	1

No.	Alat dan Bahan	Jumlah
15	Kotak Hitam ABS	1
16	Anak timbangan 100g – 1000g	1 set
17	PCB	1
18	Solder dan timah	1

3.4 Kalibrasi Prototipe Sistem Pemantauan Miniatur Jembatan

Kalibrasi prototipe dilakukan untuk memastikan bahwa hasil pengukuran oleh prototipe akurat dan presisi jika dibandingkan dengan standar yang tertelusur serta dapat menjamin kinerja dari prototipe tersebut apakah sudah sesuai dengan nilai benarnya atau tidak. Pada prototipe ini, kalibrasi dilakukan dengan metode perbandingan langsung menggunakan alat ukur standar berupa Multimeter Digital Sanwa CD800a dengan resolusi 0,01 mA DCA dan 0,1 mV DCV, di mana hasil pembacaan dari alat standar dibandingkan langsung dengan hasil pembacaan dari prototipe. Inputan tekanan mekanik yang diberikan pada pengujian ini yaitu berupa AT 200 g yang diletakkan di atas transduser piezoelektrik. Ketika AT diletakkan, transduser piezoelektrik akan mendeteksi tekanannya dan menghasilkan tegangan yang ditampilkan pada serial monitor. Pada saat bersamaan, juga akan dibandingkan dengan alat standar berupa voltmeter. Pengambilan data dilakukan dengan sebanyak 15 kali pengulangan dengan perlakuan yang sama. Berdasarkan hasil perbandingan tersebut kemudian akan diolah untuk mengetahui tingkat akurasi dan presisi prototipe.

3.5 Pengujian Prototipe Sistem Pemantauan Miniatur Jembatan

Pengujian sistem dilakukan dengan menentukan penempatan titik target pengamatan yang digunakan sebagai titik target yang akan diamati pengaruh massa bergerak terhadap perubahan posisi pada gelagar. Massa bergerak yang digunakan memiliki massa yang sama berupa AT 500 g yang diletakkan secara bergantian pada masing-masing titik target pengamatan.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya distribusi gaya yang terjadi pada gelagar akibat pemodelan pembebanan yang diberikan sehingga dari hasil pengujian didapatkan karakteristik perilaku momen lentur miniatur jembatan akibat massa bergerak, di mana miniatur jembatan yang dirancang terdiri dari satu *layer* gelagar, pondasi, *abutment*, serta sambungan baut-mur.

3.6 Analisis Hasil Pengujian

Setelah tahapan pengujian prototipe selesai dilakukan, selanjutnya data yang telah diperoleh akan dianalisis dengan membandingkan berdasarkan referensi dan teori yang ada. Asumsi teoritis yang akan digunakan diperoleh dari perhitungan momen lentur balok sedeharna dengan beban rata segitiga sebagai pendekatan model miniatur jembatan satu *layer* dan perhitungan momen lentur balok sedeharna dengan beban terpusat sebagai pendekatan model miniatur jembatan dua *layer*.