

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian “Deteksi Boraks pada Pangan Berbasis Nanofiber Fe_3O_4 /PVA-GA/Kurkumin dengan Instrumentasi Sensor GMR” telah dilaksanakan pada bulan April-Juni 2026, bertempat di Laboratorium Fismatel, Laboratorium Terpadu, UIN Sunan Gunung Djati Bandung serta di Kantor Bolabot Techno Robotic Institute, Jl. Sauyunan VI No. 10 Blok F6, Kelurahan Cipadung, Kecamatan Panyileukan, Kota Bandung, Jawa Barat 40614.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat Penelitian

Adapun alat yang digunakan pada proses penelitian adalah sebagaimana Tabel 3.1 berikut.

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
SUNAN GUNUNG DJATI
BANDUNG

Tabel 3.1 Daftar Alat yang digunakan pada Penelitian ini.

No.	Alat	Jumlah
1.	Mesin <i>Laser Cutting</i>	1 set
2.	Raspberry Pi 5 dan Monitor	1 kit
3.	Solder	1 buah
4.	Tang Pemotong	1 buah
5.	Gunting	1 buah
6.	Obeng	1 buah
7.	Pipet	1 buah
8.	Pinset	1 buah
9.	Timbangan Digital	1 buah
10.	Sonikator	1 buah
11.	<i>Electrospinning</i>	1 kit
12.	<i>Magnetic Stirrer</i>	1 kit
13.	Spatula	1 buah
14.	<i>Magnetic Bar</i>	1 buah
15.	Vial	Secukupnya
16.	Gelas Ukur	1 buah
17.	<i>Fume Hood</i>	1 buah
18.	Gaussmeter	1 buah
19.	Catu Daya	1 buah
20.	Mesin Sonikasi	1 buah

Tabel 3.1 memuat daftar peralatan yang dipakai dalam penelitian ini. *Casing* pada kit instrumentasi GMR menggunakan material akrilik yang telah mengalami proses pemotongan dengan mesin *laser cutting*. Raspberry Pi 5 dan monitor berperan sebagai mikrokomputer yang terintegrasi dalam kit instrumen GMR untuk menjalankan pemrograman, penyimpanan data, serta pengolahan data lanjutan yang ditunjukkan secara *real-time*. Untuk menghubungkan antarkomponen

elektronik dengan aman dan teratur, digunakan solder dengan penuh kehati-hatian. Tang pemotong digunakan untuk memangkas kumparan dan kaki komponen kecil, sedangkan gunting digunakan untuk memotong kabel, material isolasi, serta lembaran nanofiber $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVA-GA}$. Obeng digunakan dalam proses merakit *casing*, sedangkan pipet dipakai untuk menyedot serta meneteskan larutan sintesis. Pinset berfungsi untuk mengambil fragmen nanofiber, sedangkan timbangan digital digunakan dalam proses penimbangan dan pengukuran bahan untuk sintesis Fe_3O_4 , PVA, dan boraks. Sonikator berfungsi untuk mendukung proses pembuatan larutan $\text{PVA}/\text{Fe}_3\text{O}_4$ dan larutan boraks. Perangkat *electrospinning* digunakan untuk sintesis nanofiber $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVA-GA}$, sedangkan *magnetic stirrer* berfungsi untuk mengaduk dalam proses sintesis Fe_3O_4 dan PVA dengan bantuan *magnetic bar*. Spatula digunakan untuk mengambil bahan padat yang akan dipakai, sementara vial berfungsi sebagai tempat penyimpanan larutan. Gelas ukur dipakai untuk mengukur pelarut seperti air deionisasi dan etanol, sementara sintesis Fe_3O_4 dilaksanakan dalam *fume hood* untuk memastikan keselamatan kerja. Gaussmeter dipakai untuk kalibrasi serta pengukuran medan magnet pada kumparan Helmholtz, sementara catu daya berfungsi untuk menyuplai tegangan ke kumparan Helmholtz. Mesin sonikasi digunakan dalam proses sonikasi untuk mencampurkan aquades dengan Fe_3O_4 menggunakan gelombang ultrasonik.

Tabel 3.2 Perangkat Lunak (*Software*) yang Digunakan

No.	Nama Perangkat	Tipe Berkas	Tipe Software	Kegunaan
1	Arduino IDE 2.3.4	EXE	Freeware	Pemrograman mikrokontroler Arduino
2	Python 3.12.10	EXE	Freeware	Bahasa pemrograman untuk analisis data dan integrasi perangkat
3	matplotlib 3.7.1	Package	Freeware	Membuat grafik visual dari data
4	tk 0.1.0	Package	Freeware	Membuat antarmuka GUI (Graphical User Interface)
5	pyserial 3.5	Package	Freeware	Modul komunikasi serial antara Arduino dan Python
6	pandas 2.2.3	Package	Freeware	Mengolah, mengelola, dan menganalisis data tabular
7	scikit-learn 1.6.1	Package	Freeware	Analisis data dan penerapan metode <i>machine learning</i>
8	numpy 1.26.4	Package	Freeware	Perhitungan numerik dengan array multidimensi
9	scipy 1.15.3	Package	Freeware	Komputasi ilmiah dan analisis matematika lanjutan
10	CorelDraw 2019	ZIP	Freeware	Desain grafis untuk <i>casing</i> instrumen
11	LaserDRW 2013.02	EXE	Freeware	Mencetak desain casing menggunakan mesin laser
12	Eclipse Mosquitto	EXE	Freeware	Sebagai broker serta menjalankan protokol komunikasi dan <i>Internet of Things</i>

Tabel 3.2 berisi daftar aplikasi yang dipakai dalam proses pembuatan kit instrumentasi GMR. Arduino IDE 2.3.4 dipakai untuk pemrograman. Arduino Uno berfungsi sebagai mikrokontroler utama dalam sistem. Python 3.12.10 memiliki peran dalam pemrograman tingkat lanjut dan pengolahan data, dengan bantuan pustaka *matplotlib 3.7.1* untuk representasi/visualisasi grafik, serta *tk 0.1.0* untuk membuat antarmuka GUI pengguna yang interaktif. Pustaka *pyserial 3.5* memungkinkan komunikasi serial antara perangkat Arduino dan komputer, sehingga data dari sensor dapat ditransfer secara *real-time*. Selain itu, juga digunakan pustaka *pandas 2.2.3* untuk mengatur dan mengelola informasi dalam format tabel, sedan-

gkan *scikit-learn 1.6.1* untuk mendukung algoritma *machine learning* pada sensor. Pustaka *numpy 1.26.4* digunakan untuk perhitungan numerik berbasis array, serta *scipy 1.15.3* digunakan untuk analisis ilmiah dan perhitungan matematis yang lebih rumit. Dari segi visualisasi *hardware*, digunakan CorelDraw 2019 untuk mendesain *casing* instrumen, dan hasil desain tersebut dicetak menggunakan LaserDRW 2013.02 dengan mesin laser, sehingga *casing* yang dihasilkan tepat sesuai desain. Semua perangkat lunak ini saling mendukung dalam perancangan, pengolahan data, dan pengujian kinerja kit instrumentasi GMR.



3.2.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut.

Tabel 3.3 Bahan yang Digunakan

No.	Bahan	Jumlah
1	Sensor GMR AAL024-10E	1 buah
2	Resistor 47 Ω	2 buah
3	Resistor 2,2 k Ω	1 buah
4	Resistor 1 k Ω	1 buah
5	Op-amp LM358	1 buah
6	Resistor 2 k Ω	2 buah
7	Kapasitor 1 μ F	1 buah
8	ADC ADS1115	1 buah
9	Arduino Uno R3	1 buah
10	PCB Kit Instrumentasi	1 buah
11	Timah	Secukupnya
12	<i>Aquadest</i>	Secukupnya
13	PVA (<i>polyvinyl alcohol</i>)	0,8 gram
14	Serbuk Fe ₃ O ₄ hasil sintesis	0,2 gram
15	Etanol	Secukupnya
16	Aluminium foil (20 × 10 cm)	Secukupnya
17	Tape perekat	Secukupnya
18	<i>Borax</i>	Secukupnya
19	Kunyit	2 gram
20	Etanol	10 mL
21	<i>Glutardialdehyde</i>	Secukupnya

Berdasarkan Tabel 3.3, bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dibagi menjadi tiga kelompok utama, yaitu komponen instrumentasi, bahan pembuatan nanofiber, dan bahan pembuatan sampel uji. Komponen utama sistem pengukuran terdiri atas sensor GMR AAL024-10E, rangkaian pengondisi sinyal, ADC ADS1115, Arduino Uno R3, dan PCB kit instrumentasi. Sensor GMR digunakan untuk mendeteksi perubahan medan magnet yang muncul selama proses pengujian. Sinyal keluaran sensor kemudian diperkuat dan dikondisikan menggunakan rangkaian op-amp LM358 yang didukung oleh beberapa resistor. Resistor dan kapasitor juga digunakan sebagai bagian dari rangkaian penyaring untuk mengurangi derau pada sinyal sebelum dibaca oleh ADC ADS1115. Data hasil konversi selanjut-

nya diteruskan ke Arduino Uno R3 untuk proses akuisisi dan pengiriman data ke perangkat komputer.

Bahan yang digunakan dalam pembuatan nanofiber meliputi PVA, serbuk material magnetik, aquadest, etanol, aluminium foil, perekat, dan glutaraldehida. PVA berfungsi sebagai matriks polimer dalam pembentukan serat, sedangkan material berbasis besi digunakan untuk memberikan sifat magnetik pada nanofiber. Aquadest dan etanol digunakan sebagai pelarut selama proses pembuatan larutan. Aluminium foil berfungsi sebagai media kolektor pada proses *electrospinning*, sedangkan perekat digunakan untuk menahan aluminium foil pada bagian kolektor. Glutaraldehida digunakan sebagai agen pengikat silang agar struktur nanofiber lebih stabil ketika berinteraksi dengan larutan sampel.

Bahan yang digunakan untuk pembuatan bioreseptor dan sampel uji terdiri atas kunyit, etanol, dan boraks. Kurkumin diperoleh dari ekstraksi kunyit sebanyak 2 gram menggunakan 10 mL etanol. Larutan hasil ekstraksi kemudian digunakan untuk membasahi nanofiber sebelum diberikan larutan sampel. Boraks digunakan untuk membuat larutan uji dengan beberapa variasi konsentrasi. Selain larutan boraks murni, penelitian ini juga menggunakan formalin, NaCl, MSG, dan ekstrak bakso yang dikondisikan dengan penambahan boraks sebagai sampel pengujian. Oleh karena itu, bahan-bahan tersebut perlu ditambahkan ke dalam tabel agar daftar bahan sesuai dengan seluruh pelaksanaan eksperimen.

3.3 Metode Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian "Deteksi Boraks pada Pangan Berbasis Nanofiber $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVA-GA/Kurkumin}$ dengan Instrumentasi Sensor GMR"

Gambar 3.1 menunjukkan diagram alur penelitian skripsi. Studi ini dimulai dengan kajian literatur dari berbagai sumber untuk mendapatkan informasi dan referensi yang relevan mendukung pengembangan kit instrumen GMR. Tahap selanjutnya adalah menganalisis masalah untuk mengenali kebutuhan, batasan, serta solusi yang dapat diberikan oleh sistem yang dirancang, dilanjutkan dengan perancangan mekatronika yang mencakup pengembangan komponen mekanik dari kit

instrumentasi GMR. Selanjutnya, dilakukan desain rangkaian perangkat keras yang divisualisasikan dalam diagram teknis untuk menggambarkan konfigurasi semua komponen, serta perancangan perangkat lunak yang berfokus pada pengembangan logika program dan algoritma pemrosesan data dari sensor GMR. Setelah desain sistem selesai, penelitian berlanjut ke tahap sintesis sampel uji yang mencakup sintesis partikel Fe_3O_4 , pembuatan nanofiber $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVA-GA}$ dengan metode *electrospinning*, dan sintesis larutan boraks sebagai variasi bahan pengujian. Pada fase pengujian, sistem dievaluasi secara menyeluruh melalui beberapa langkah, termasuk kalibrasi medan magnet dengan kumparan Helmholtz untuk mengetahui akurasi pembangkitan medan standar, pengujian responsivitas alat GMR terhadap medan magnet, serta pengujian sensitivitas dan linearitas terhadap variasi konsentrasi sampel nanopartikel Fe_3O_4 dan nanofiber $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVA-GA}$. Dilanjutkan dengan pengujian sensitivitas dan linearitas pada sampel $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVA-GA}$ sebagai label yang dicampur dengan boraks, pengujian sensitivitas pada sampel $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVA}$ sebagai label yang dipadukan dengan boraks. Hasil pengujian selanjutnya dianalisis guna menilai kinerja sistem, sekaligus menerapkan algoritma *machine learning Support Vector Regression* (SVR) untuk meningkatkan ketepatan analisis data dan pengelompokan respons sensor. Seluruh langkah penelitian ini dirangkum dalam diagram alur yang ditampilkan pada Gambar 3.1.

3.3.1 Studi Literatur

Studi literatur dalam penelitian ini dilakukan dengan mengumpulkan referensi dari buku, jurnal ilmiah, prosiding, skripsi, tesis, dan sumber akademis lainnya yang diperoleh secara cetak maupun daring. Referensi yang dikaji meliputi prinsip kerja sensor *Giant Magnetoresistance* (GMR) dalam mendeteksi perubahan medan magnet, karakteristik material $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVA-GA}$, serta fungsi kurkumin sebagai bahan yang dapat berinteraksi dengan boraks. Kajian juga mencakup proses pembuatan nanofiber, penggunaan kumparan Helmholtz dalam menghasilkan dan mengatur medan magnet, serta metode pengukuran respons sensor terhadap variasi konsentrasi

sampel. Selain larutan boraks, literatur mengenai formalin, NaCl, dan MSG juga dipelajari karena bahan-bahan tersebut digunakan sebagai zat pembanding dalam pengujian respons sensor. Kajian mengenai penggunaan bakso sebagai sampel pangan turut dilakukan untuk mendukung penerapan awal sensor dalam mendeteksi boraks pada matriks makanan. Pengolahan data dalam penelitian ini difokuskan pada nilai medan magnet, kestabilan sinyal selama waktu pengukuran, hasil rata-rata dari tiga kali pengulangan, serta hubungan antara konsentrasi sampel dan respons sensor. Studi literatur tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan tahapan pembuatan material, proses pengujian, pengolahan data, dan pembahasan hasil penelitian.

3.3.2 Analisis Permasalahan

Sistem instrumentasi yang digunakan dalam penelitian ini dirancang untuk mengamati perubahan medan magnet pada sensor *Giant Magnetoresistance* (GMR) setelah berinteraksi dengan nanofiber $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVA-GA/kurkumin}$ dan sampel uji. Permasalahan utama dalam proses pengukuran adalah perubahan sinyal yang relatif kecil, sehingga diperlukan proses pembacaan dan pencatatan data yang stabil. Selain itu, setiap konsentrasi sampel dapat menghasilkan nilai yang berdekatan. Oleh karena itu, pengukuran dilakukan selama 60 detik dan diulang sebanyak tiga kali agar pola respons sensor dapat diamati dengan lebih jelas.

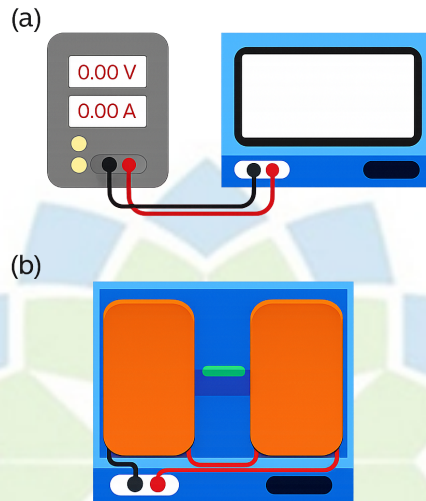
Proses akuisisi data dilakukan menggunakan dua program. Program pertama dibuat menggunakan Arduino IDE untuk mengendalikan mikrokontroler dan membaca sinyal keluaran sensor GMR. Data hasil pembacaan kemudian dikirimkan melalui komunikasi serial ke komputer. Nilai yang diperoleh selanjutnya dinyatakan sebagai medan magnet B dalam satuan militesla. Program kedua menggunakan bahasa pemrograman Python untuk menerima, menampilkan, dan menyimpan data pengukuran dalam format yang lebih terstruktur, seperti CSV atau Excel. Penggunaan Python juga membantu proses pembuatan grafik medan magnet terhadap waktu.

Pengujian dilakukan pada larutan boraks murni dengan beberapa variasi konsentrasi untuk mengetahui perubahan respons sensor. Formalin, NaCl, dan MSG digunakan sebagai zat pembanding untuk melihat perbedaan respons yang dihasilkan oleh sensor. Selain pengujian menggunakan larutan, penelitian ini juga menggunakan sampel bakso yang diberi boraks secara terkontrol. Pengujian tersebut dilakukan untuk mengetahui apakah perubahan medan magnet masih dapat diamati ketika boraks berada di dalam sampel makanan.

Data hasil pengukuran dianalisis melalui grafik respons medan magnet terhadap waktu, nilai rata-rata dari tiga kali pengulangan, serta hubungan antara konsentrasi sampel dan nilai medan magnet. Analisis juga dilakukan dengan membandingkan respons boraks terhadap formalin, NaCl, dan MSG. Pengolahan data dibatasi pada analisis tersebut tanpa menggunakan algoritma *machine learning*, sehingga tahapan penelitian tetap sesuai dengan data yang diperoleh dan dapat dilakukan menggunakan perangkat serta perangkat lunak yang tersedia.



3.3.3 Perancangan Mekatronika Perangkat Keras

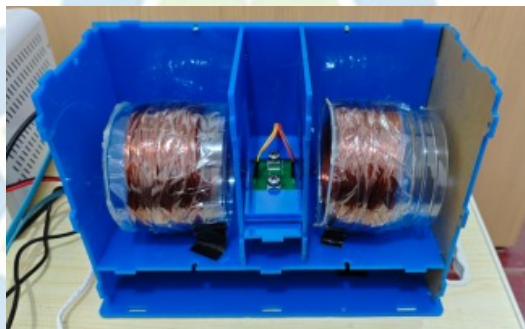


Gambar 3.2 Rancangan Prototipe Mekatronika Kit Instrumentasi Sensor GMR (a) Tampak Luar Terintegrasi dengan Catu Daya, (b) Tampak Dalam dengan Kumparan Helmholtz dan Sensor GMR

Gambar 3.2 menunjukkan prototipe desain mekatronika perangkat keras kit instrumen sensor GMR. Tampilan luar menunjukkan kit instrumentasi yang dilengkapi layar interaktif untuk pengendalian sistem dan menampilkan hasil uji, dengan kabel terintegrasi sumber daya yang memberikan daya pada kumparan Helmholtz sebagai sumber medan magnet eksternal. Tampilan dalam menunjukkan kumparan Helmholtz yang ditempatkan di antara sensor GMR sebagai medan magnet luar dan peralatan pengukuran yang terintegrasi dalam desain mekanis.



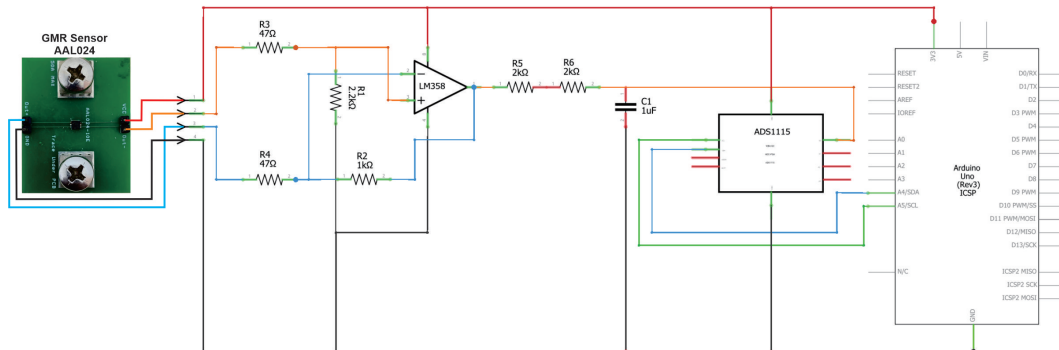
Gambar 3.3 Visualisasi kit GMR tampak luar (Sanjaya, et al., 2025)



Gambar 3.4 Visualisasi kit GMR tampak dalam (Sanjaya, et al., 2025)

Visualisasi desain prototipe tersebut disajikan pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4. Sistem yang saling terintegrasi dari kit instrumen sensor GMR terdiri dari beberapa komponen utama seperti mikrokomputer Raspberry Pi 5 lengkap dengan layar monitor yang tertanam, mikrokontroler Arduino Uno, PCB untuk instrumen sensor GMR, kumparan Helmholtz, sensor GMR, serta kabel koneksi untuk dihubungkan ke catu daya eksternal.

3.3.4 Perancangan Desain Rangkaian Perangkat Keras



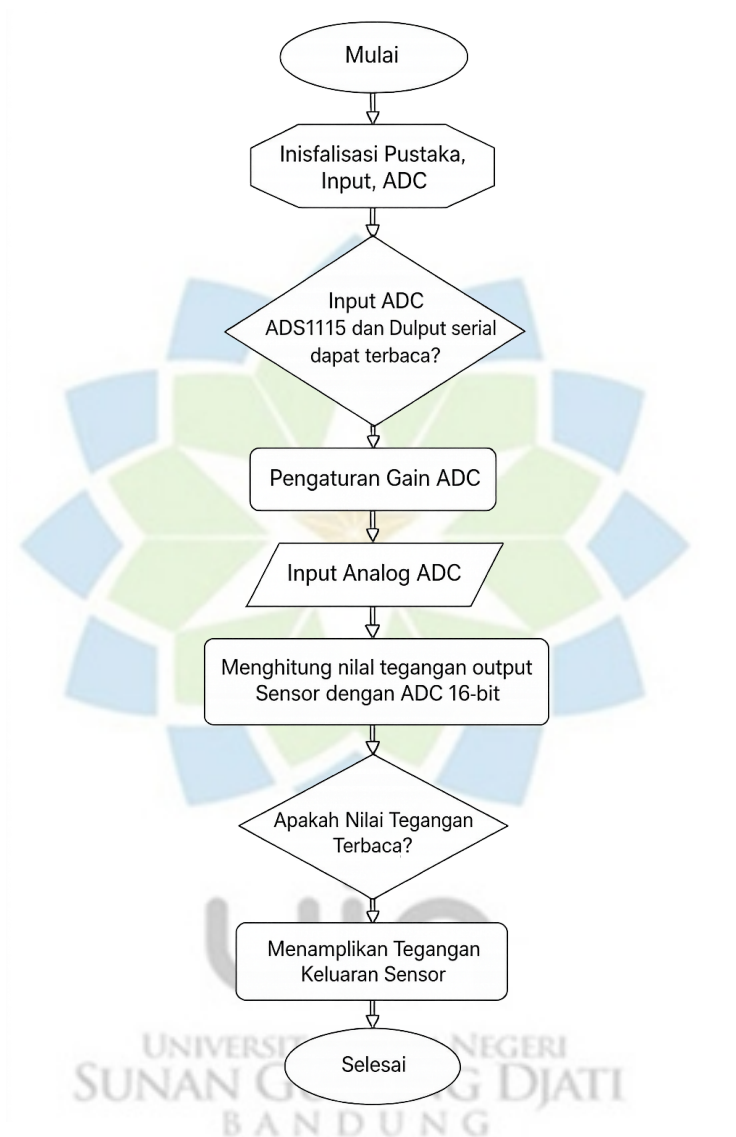
Gambar 3.5 Desain Rangkaian Perangkat Keras Kit Instrumentasi GMR (Sanjaya, et al., 2025)

Gambar 3.5 menunjukkan diagram sirkuit dari kit instrumentasi GMR. Dalam skematik rangkaian kit instrumentasi yang menggunakan sensor GMR AAL024-10E, perangkat keras ini dibuat untuk mendeteksi serta memproses perubahan medan magnet dengan tepat melalui proses pengkondisian sinyal hingga konversi digital. Detektor GMR AAL024-10E berfungsi sebagai transduser utama yang sangat peka terhadap perubahan medan magnet, di mana fluktuasi resistansi akibat interaksi magnetik diubah menjadi sinyal listrik. Sinyal keluaran dari sensor ini selanjutnya diproses oleh rangkaian penguat diferensial yang menggunakan IC LM358 dengan konfigurasi pengurang. Dalam pengaturan ini, resistor 47 Ω , 1 k Ω , serta 2,2 k Ω dipakai untuk menyesuaikan penguatan sinyal berdasarkan perbedaan potensial di input inverting dan non-inverting. Penguatan pada jalur input inverting ditetapkan sebesar 21 kali, sedangkan jalur non-inverting diperkuat hingga 47 kali, sehingga dapat menghasilkan sinyal keluaran diferensial yang lebih akurat dan sebanding dengan variasi resistansi sensor GMR. Selanjutnya, sinyal *output* dari op-amp melewati rangkaian filter pasif *low-pass* yang terbuat dari kombinasi resistor 2×2 k Ω dan kapasitor 1 μ F. Fungsi filter ini adalah mengurangi komponen frekuensi tinggi dan gangguan (*noise*) yang tidak diinginkan, sehingga hanya sinyal frekuensi rendah yang berkaitan dengan perubahan medan magnet yang disimpan. Setelah sinyal

melalui tahap penyaringan, proses konversi dari analog ke digital dilakukan dengan menggunakan ADC ADS1115 yang beresolusi tinggi 16-bit, sehingga bisa memberikan akurasi representasi sinyal analog dengan lebih rinci dalam bentuk digital. Data hasil konversi dari ADC selanjutnya dikirim ke mikrokontroler Arduino Uno R3 menggunakan jalur komunikasi I2C (*Inter-Integrated Circuit*). Mikrokontroler ini berfungsi untuk memproses sinyal digital yang diterima dan memperlihatkannya pada perangkat monitor, sehingga pengguna dapat melakukan pengamatan maupun analisis terhadap data yang dihasilkan.



3.3.5 Perancangan Perangkat Lunak

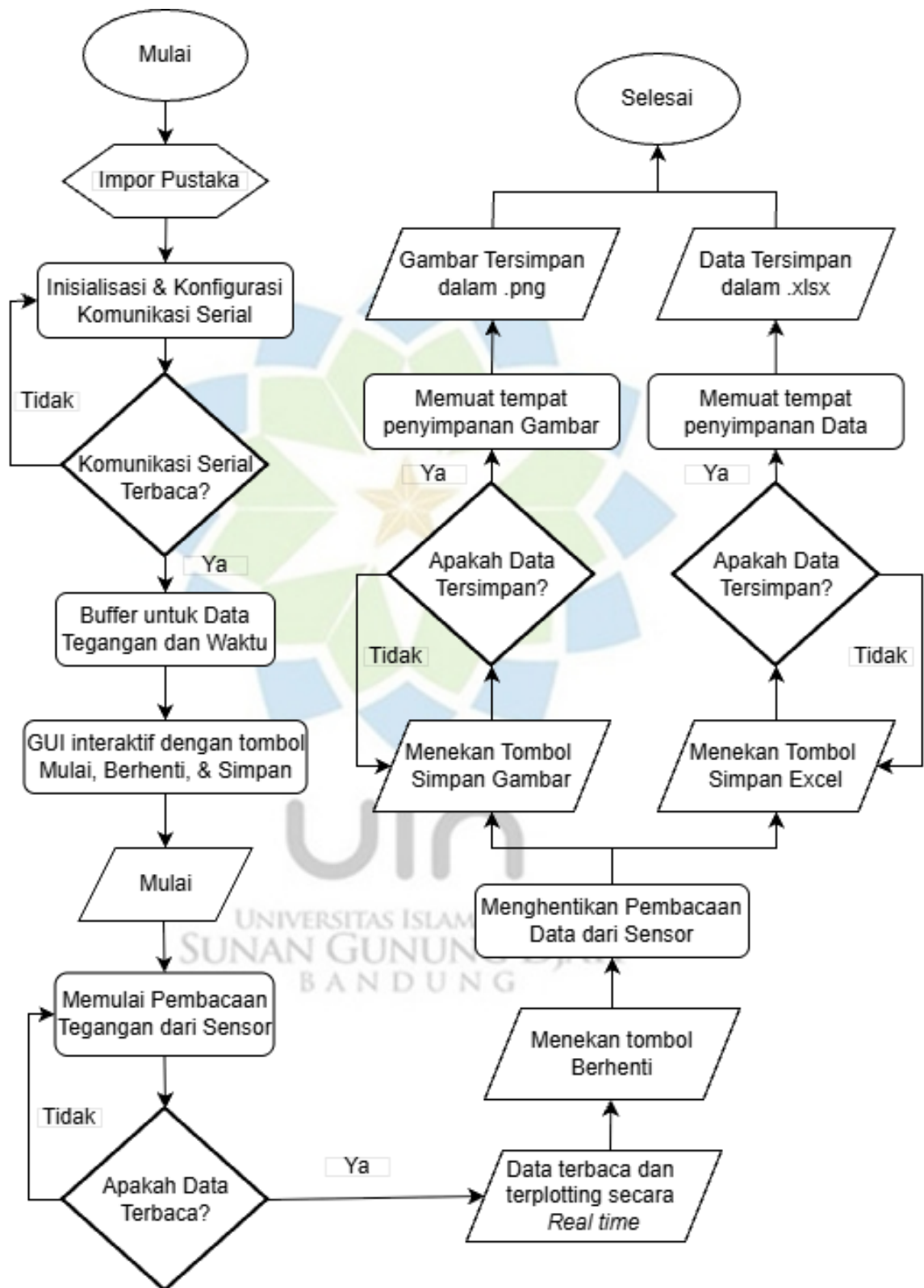


Gambar 3.6 Diagram Alir Pemrograman Arduino Kit Instrumentasi GMR

Gambar 3.6 menunjukkan alur pemrograman Arduino IDE pada kit instrumen-tasi sensor GMR berdasarkan flowchart dan kode yang digunakan, dimulai dari proses inisialisasi, yaitu aktivasi pustaka komunikasi `I2CWire.h` dan `Adafruit_ADS1X15.h` yang berfungsi untuk menghubungkan mikrokontroler dengan ADC ADS1115. Setelah itu, program memeriksa apakah perangkat ADS1115 terdeteksi dengan sukses melalui fungsi `ads.begin()`. Apabila tidak teridentifikasi, sistem akan menunjukkan pesan kesalahan dan menghentikan program. Jika

berhasil, langkah selanjutnya adalah mengonfigurasi nilai gain ADC dengan perintah `ads.setGain(GAIN_TWOTHIRDS)` yang menyesuaikan rentang tegangan input sesuai dengan kebutuhan pengukuran sensor GMR. Selanjutnya, program melanjutkan ke bagian *main loop* untuk mengambil nilai input dari sensor melalui kanal analog ADS1115 menggunakan fungsi `ads.readADC_SingleEnded(0)` yang merefleksikan sinyal *output* sensor pada pin A0. Nilai digital 16-bit yang diperoleh dari konversi selanjutnya diproses menjadi nilai tegangan menggunakan rumus $(rawValue * 4.096) / 32767.0$, dengan konstanta 4.096 sebagai acuan tegangan maksimum sesuai gain yang dipilih, dan 32767 sebagai resolusi tertinggi ADC 16-bit. Hasil pengukuran tegangan ini adalah yang mencerminkan *output* sensor GMR yang telah diukur oleh sistem. Setelah nilai tegangan diperoleh, hasil tersebut ditampilkan lewat komunikasi serial dengan `Serial.println()` agar bisa dilihat pada Serial Monitor. Program selanjutnya memberikan jeda satu detik menggunakan `delay(1000)` sebelum melakukan pembacaan ulang secara terus-menerus, sehingga sistem dapat menampilkan nilai keluaran sensor GMR secara berkesinambungan dan *real-time* sesuai alur yang ditunjukkan dalam *flowchart*.





Gambar 3.7 Diagram Alir Pemrograman Python Kit Instrumentasi GMR

Gambar 3.7 menyajikan alur pemrograman Python dalam perangkat instrumen sensor GMR berdasarkan diagram alir dan kode program yang dimulai dengan pengimporan pustaka seperti serial, matplotlib, tkinter, dan pandas yang dibutuhkan untuk komunikasi data, visualisasi grafik, antarmuka pengguna, serta penyimpanan informasi. Setelah itu, komunikasi serial dengan Arduino diinisialisasi melalui port yang telah ditentukan dan diatur *baud rate*-nya. Program selanjutnya memeriksa apakah data komunikasi serial terbaca dengan akurat, jika berhasil, maka *buffer* untuk menyimpan data tegangan dan waktu akan disiapkan. Kemudian, sistem memuat antarmuka pengguna grafis dengan tombol interaktif seperti Mulai, Berhenti, Reset, Simpan Gambar, Simpan Excel, dan Keluar. Ketika tombol Mulai ditekan, program mulai mengambil data tegangan yang dikirim Arduino secara langsung, menyimpannya dalam *buffer*, dan menampilkannya dalam format grafik dinamis menggunakan matplotlib.animation. Jika data terbaca dengan sukses, nilai tegangan akan diproses dengan merekam waktu pengambilan, lalu dipetakan ke grafik yang memiliki sumbu waktu dan tegangan yang selalu diperbarui secara otomatis. Tombol Stop memungkinkan pengguna untuk menghentikan pembacaan data, sedangkan Reset berfungsi untuk menghapus *buffer* dan mengatur ulang tampilan grafik. Data yang diperoleh bisa disimpan dalam format Excel menggunakan fungsi `pandas.DataFrame.to_excel`, sedangkan grafik pemantauan dapat disimpan dalam format PNG. Program juga menawarkan pilihan untuk keluar melalui tombol Keluar yang akan menutup port serial dan menghentikan antarmuka pengguna grafis. Dengan alur ini, sistem Python beroperasi sebagai antarmuka interaktif yang tidak hanya menunjukkan data keluaran sensor GMR secara langsung tetapi juga menawarkan fitur penyimpanan data dan visualisasi sesuai dengan kebutuhan pengguna.

3.3.6 Tahapan Sintesis terhadap Sampel Uji

Tahapan sintesis sampel uji melingkupi beberapa tahapan utama, yaitu sebagai berikut.

3.3.6.1 Sintesis Nanopartikel Magnetik Fe₃O₄

3.3.6.2 Pembuatan Fe₃O₄

Disiapkan MO (*Moringa Oleifera*) sebanyak 5 gram, disediakan juga aquadest sebanyak 60 mL pada gelas beaker. Panaskan aquadest hingga aquadest tersebut mencapai suhu 60 derajat, dimasukan termometer guna memantau suhu aquadest tersebut. setelah mencapai suhu tersebut, dimasukan serbuk MO yang telah ditimbang tanpa mematikan/ menghentikan pemanasan aquadest yang sambil dilakukan. Dimasukan *magnetic bar*, dan di string dengan kecepatan 600 rpm serta mempertahankan diambang suhu 60 derajat selama 60 menit/ 1 jam. Bila sudah mencapai indikator tersebut, matikan serta dinginkan gelas beaker yang berisi aquadest dan MO yang sudah dipanas dan string hingga mencapai suhu 35 derajat. Lakukan Filtrasi/ penyaringan larutan MO dengan menggunakan kertas saring, pisahkan dari ampasnya, hasil saring ini masuk ke tahap berikutnya.

Disiapkan FeCl₃ sebanyak 2,086 gram dan aquadest sebanyak 7,5 mL. Digunakan gelas beaker dengan takaran 250 mL untuk memudahkan proses selanjutnya. Lalu campurkan keduanya, dan masukan magnetic bar ukuran besar kedalam gelas beaker dan string dengan kecepatan 600 rpm tanpa dipanaskan/ 0 derajat selama 15 menit. Larutan FeCl₃ siap digunakan. Disiapkan FeSO₄ sebanyak 4,054 gram dan aquadest sebanyak 7,5 mL. Digunakan gelas beaker dengan takaran 250 mL, lalu campurkan keduanya dan masukan magnetic bar ukuran besar kedalam gelas beaker dan string dengan kecepatan 600 rpm tanpa dipanaskan/ 0 derajat selama 15 menit. Larutan FeSO₄ siap digunakan.

Campurkan larutan FeSO₄ kedalam gelas beaker 250 mL yang berisi larutan FeCl₃ dan magnetic bar yang besar, lalu panaskan dengan suhu 60 derajat, sembari dipanaskan, string dengan kecepatan 600 rpm. panaskan dan string selama 60 menit. Setelah mencapai 60 menit, masukan larutan MO sebanyak 10 mL dan aduk larutan yang berisi FeSO₄, FeCl₃, dan MO dengan suhu 60 derajat pada larutan, dengan kecepatan string sebanyak 600 rpm pada waktu 30 menit.

Sembari menunggu larutan yang berisi FeSO_4 , FeCl_3 , dan MO beres, disiapkan NH_4OH sebanyak 12 mL dan aquades sebanyak 18 mL. lalu sting keduanya menggunakan magnetic bar ukuran kecil dengan kecepatan 500 rpm selama 15 menit. ketika larutan yang berisi FeSO_4 , FeCl_3 , dan MO sudah mencapai 30 menit, masukan larutan NH_4OH dengan cara ditetesi secara bertahap kepada larutan yang berisi campuran FeSO_4 , FeCl_3 , dan MO. dimasukan secara bertahap NH_4OH menggunakan pipet terhadap larutan tersebut selama 90 menit dengan di string dengan kecepatan 600 rpm sambil mempertahankan suhu. Bila sudah mencapai indikator tersebut, dinginkan hingga mencapai suhu 35 derajat pada larutan.

Setelah didinginkan lakukan pencucian untuk memisahkan larutan dengan endapan yang didapat. Dalam melakukan pencucian, endapan harus berada didasar/ dibawah agar tidak terbang pada saat pencucian. Buang larutan yang berada diatas, dengan pembuangan larutan ditempatkan pada tempat khusus karena bersifat basa. Dalam proses pencucian simpan magnet berukuran besar untuk mengikat endapan agar tidak ikut terbang pada saat pencucian. Pada setiap pencucian dimasukan kertas lakmus guna mengukur apa larutan berada dalam kondisi netral atau tidak, bila sudah netral (dalam rentang 7) bisa dilakukan pembuangan pada larutan. Ulangi proses pencucian selam 7 kali hingga tersisa endapannya ada.

Setelah didapatkan endapan dengan sedikit air didalamnya pada gelas beaker, pindahkan ke gelas petri dan ratakan hasil endapan tersebut keseluruh permukaan gelas petri. Bakar endapan pada gelas petri tersebut dengan proses *furnace* selama 60 menit, proses ini dilakukan untuk pengerasan dan mendapatkan hasil berupa Fe_3O_4 dengan bentuk serbuk. Setelah Furnace dilakukan, angkat dan ambil hasil tersebut bisa dikeruk maupun diambil biasa melalui spatula. Fe_3O_4 telah didapat.

3.3.6.3 Pembuatan Larutan Fe_3O_4

Disiapkan Fe_3O_4 sebanyak 0,2 gram dalam bentuk serbuk/ butiran halus. Disiapkan juga aquadest sebanyak 1 mL yang telah diukur dengan gelas ukur. Dimasukan

Fe_3O_4 /PVA kedalam aquadest, lalu diaduk dengan alat sonikator selama 15 menit hingga keduanya tercampur rata. Larutan Fe_3O_4 /PVA siap digunakan.

3.3.6.4 Pembuatan Larutan Polivinil Alkohol (PVA)

Disiapkan polivinil alkohol (PVA) sebanyak 0,8 gram dalam bentuk serbuk, disiapkan juga 10 mL Aquadest kedalam gelas ukur. Dimasukan *magnetic bar* ukuran 1 cm/ kecil kedalam wadah yang berisi aquadest. Panaskan aquadest hingga mencapai suhu 60 derajat. Setelah mencapai suhu tersebut masukan polivinil alkohol (PVA) kedalam aquadest yang dipanaskan, lalu aduk menggunakan magnetic bar dengan kecepatan 600 rpm. Selama dipanaskan dan diaduk, naikan suhu secara perlahan. Atur hingga rentang suhu 80-90 derajat pada larutan dengan mempertahankan kecepatan sebesar 600 rpm. Bila mencapai rentang suhu tersebut, pertahankan selama 60 menit sambil diaduk dengan kecepatan 600 rpm. Setelah mencapai 60 menit, matikan pemanas dan pemutar magnetic bar, dan diamkan hingga mencapai suhu ruang. Larutan polivinil alkohol (PVA) siap digunakan.

3.3.6.5 Pembuatan Kurkumin (Ekstraksi Kunyit)

Pertama, disiapkan kunyit yang sudah dibersihkan sebanyak 2 gram. Selanjutnya, kunyit dihaluskan hingga berukuran kecil. Etanol sebanyak 10 mL disiapkan, kemudian kunyit yang telah dihaluskan dimasukkan ke dalam etanol. Keduanya dicampur melalui proses sonikasi selama 30 menit. Larutan kurkumin siap digunakan dan dapat dipakai berulang kali.

3.3.6.6 Sintesis Nanofiber Fe_3O_4 /PVA

Proses awal pembuatan nanofiber Fe_3O_4 /PVA dimulai dengan menyiapkan larutan polivinil alkohol (PVA). PVA seberat 0,8 g ditimbang, lalu dilarutkan dalam 5 mL aquades. *Aquades* dimasukkan ke dalam vial dan dipanaskan dengan menggunakan *magnetic stirrer* sampai suhu mencapai 60 °C. Setelah suhu itu tercapai, PVA

yang sudah ditimbang dimasukkan ke dalam vial dan diaduk menggunakan pengaduk magnet dengan kecepatan 600 rpm. Kecepatan ini dipilih agar vorteks yang dihasilkan tidak terlalu besar namun cukup efisien dalam mencapai homogenisasi larutan. Proses pengadukan diteruskan sampai suhu larutan mencapai rentang 80–90 °C dengan suhu rata-rata yang ditetapkan pada 87 °C. Larutan selanjutnya dipertahankan pada suhu tersebut dengan kecepatan pengadukan yang konsisten selama 60 menit untuk memastikan terbentuknya larutan polivinil alkohol (PVA) yang homogen. Setelah itu, larutan didinginkan sampai mencapai suhu ruangan agar siap untuk dicampurkan dengan larutan Fe_3O_4 .

Untuk larutan Fe_3O_4 dilakukan dengan menimbang sampel Fe_3O_4 hasil sintesis sebelumnya sebanyak 0,2 g dan melarutkannya dengan 1 mL aquades. Campuran ini kemudian disonikasi menggunakan sonikator selama 15 menit agar partikel Fe_3O_4 terdispersi merata dalam medium air. Setelah larutan Fe_3O_4 dan PVA 14% siap, keduanya dicampurkan dan kembali disonikasi selama 15 menit untuk menghasilkan larutan homogen $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVA}$ yang siap digunakan dalam proses *electrospinning*.

Langkah selanjutnya adalah pembuatan nanofiber melalui metode *electrospinning*. Agar memastikan kondisi sintesis yang optimal, kelembaban relatif di ruang kerja peralatan diatur hingga 50% dengan menggunakan tabung silika gel. Larutan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVA}$ yang telah tercampur merata dimasukkan ke dalam *syringe* dengan jarum dan dipasang pada penyangga yang terintegrasi dengan *conveyor belt* untuk menekan hasil keluaran tetesan larutan. Alat *electrospinning* kemudian dihidupkan dengan menyalakan sakelar pengatur daya dan kamera CCD untuk mengawasi pembentukan tetesan serta corong Taylor yang berlangsung selama proses *electrospinning*.

Sebagai media penangkap nanofiber, digunakan lembaran aluminium foil berukuran 20 × 10 cm yang ditempelkan pada permukaan kolektor. Parameter *electrospinning* disetel sebagai berikut: laju aliran larutan mencapai 15 $\mu\text{L}/\text{menit}$, kecepatan rotasi kolektor diatur pada tingkat “tinggi”, jarak antara ujung jarum dengan kolektor adalah 15 cm, dan waktu pemrosesan berlangsung selama 2–3 jam.

Tegangan tinggi diterapkan dengan menghubungkan penjepit buaya pada ujung jarum suntik dan mengatur tegangan hingga mencapai 15 kV.

Selama *electrospinning*, kolektor yang berputar mengumpulkan serat-serat tipis dari larutan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVA}$ yang ditarik oleh medan listrik. Proses ini secara bersamaan menghasilkan lapisan tipis nanofiber di atas permukaan aluminium foil yang berfungsi sebagai kolektor. Produk sintesis dihasilkan berupa nanofiber halus dengan warna kecoklatan, yang menunjukkan keberadaan substansi Fe_3O_4 . Lembaran nanofiber tersebut selanjutnya siap digunakan sebagai sampel uji untuk sensor *Giant Magnetoresistance* (GMR).

3.3.6.7 Pembuatan Larutan *Glutardialdehyde* (GA)

Disiapkan *Glutardialdehyde* (GA) sebanyak 3–5 mL dalam gelas *beaker*, lalu dilarutkan dengan asam klorida (HCL) sebanyak 3 tetes menggunakan pipet. Dalam mencampurkan 3 tetes HCL tersebut, dipastikan agar HCL diteteskan secara bertahap. Larutan GA siap dipakai.

3.3.6.8 Modifikasi Nanofiber $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVA}$ dengan pemberian *Glutardialdehyde* (GA)

Nanofiber $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVA}$ hasil proses *electrospinning* terlebih dahulu dilepaskan dari aluminium foil secara perlahan menggunakan pinset, kemudian diletakkan pada cawan petri kaca. Modifikasi menggunakan glutaraldehida (GA) dilakukan untuk meningkatkan kestabilan nanofiber ketika bersentuhan dengan larutan, karena PVA bersifat hidrofilik dan mudah mengalami pembengkakan atau larut dalam air.

Proses modifikasi dilakukan menggunakan metode paparan uap *Glutardialdehyde* (GA). Tisu atau kapas ditempatkan di dalam wadah tertutup, kemudian disemprot dengan larutan *Glutardialdehyde* (GA) dari jarak sekitar 30 cm. Penyemprotan dilakukan secukupnya hingga tisu atau kapas menjadi lembap, tetapi tidak sampai menghasilkan genangan larutan. Cawan petri yang berisi nanofiber kemudian dima-

sukkan ke dalam wadah tersebut dan ditutup rapat agar uap *Glutardialdehyde* (GA) tetap berada di dalam wadah.

Nanofiber diinkubasi selama 12–24 jam agar gugus aldehida pada *Glutardialdehyde* (GA) dapat berinteraksi dengan gugus hidroksil pada Polivinil Alkohol (PVA) dan membentuk jaringan ikatan silang (*crosslinking*). Proses ini bertujuan mengurangi kelarutan polivinil Alkohol (PVA), mempertahankan bentuk nanofiber, serta menjaga keberadaan partikel Fe_3O_4 di dalam matriks polimer selama pengujian.

Setelah proses inkubasi selesai, nanofiber dikeluarkan dari wadah dan dipanaskan menggunakan oven pada suhu $110\text{ }^\circ\text{C}$ selama 60 menit. Pemanasan dilakukan untuk membantu proses stabilisasi ikatan silang dan mengurangi sisa uap atau pelarut yang masih tertinggal pada nanofiber. Setelah pemanasan, nanofiber didinginkan pada suhu ruang sebelum digunakan pada tahap fungsionalisasi dengan kurkumin.

Hasil dari tahapan ini berupa nanofiber $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVA-GA}$ yang memiliki kestabilan fisik lebih baik dibandingkan nanofiber $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVA}$ sebelum modifikasi, sehingga tidak mudah larut atau mengalami perubahan bentuk ketika diberikan larutan sampel.

3.3.7 Karakterisasi Material

3.3.7.1 Karakterisasi Morfologi

Pengamatan morfologi dilakukan menggunakan mikroskop optik untuk melihat kondisi permukaan nanofiber $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVA-GA}$ setelah proses *crosslinking* dan stabilisasi termal. Sampel ditempatkan pada bidang pengamatan, kemudian diamati menggunakan perbesaran $4\times$, $10\times$, dan $40\times$.

Pengamatan difokuskan pada keutuhan lembaran nanofiber, keseragaman permukaan, serta keberadaan bagian yang tampak lebih gelap atau lebih padat pada

daerah tertentu. Hasil pengamatan didokumentasikan dalam bentuk citra dan selanjutnya dibahas pada Bab IV.

3.3.7.2 Karakterisasi *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Karakterisasi *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) dilakukan terhadap tiga jenis nanofiber, yaitu $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVA}$, $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVA-GA}$, dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVA-GA/kurkumin}$. Pengujian ini bertujuan membandingkan gugus fungsi yang terdapat pada nanofiber sebelum dan setelah proses modifikasi menggunakan glutaraldehida serta penambahan kurkumin.

Sebelum pengukuran, setiap sampel dipastikan dalam kondisi kering agar air yang terdapat pada permukaan sampel tidak terlalu memengaruhi hasil spektrum. Sampel kemudian diukur menggunakan instrumen FTIR pada rentang bilangan gelombang $4000\text{--}650\text{ cm}^{-1}$ dengan resolusi 4 cm^{-1} . Pengukuran dilakukan sebanyak 16 kali pemindaian untuk sampel dan 16 kali pemindaian untuk latar belakang.

Hasil pengukuran diperoleh dalam bentuk hubungan antara bilangan gelombang dan absorbansi. Spektrum ketiga sampel kemudian dinormalisasi agar memiliki skala intensitas yang sama sehingga pola dan posisi pita serapan lebih mudah dibandingkan. Proses normalisasi hanya mengubah skala absorbansi dan tidak mengubah posisi pita serapan pada masing-masing sampel.

Analisis dilakukan dengan membandingkan posisi dan perubahan intensitas pita serapan pada ketiga spektrum. Daerah yang diamati terutama meliputi pita regangan O–H, regangan C–H, pita yang berkaitan dengan gugus karbonil C=O, serta daerah C–O dan C–O–C. Perbandingan tersebut digunakan untuk melihat adanya perubahan lingkungan gugus fungsi setelah proses *crosslinking* menggunakan glutaraldehida dan setelah penambahan kurkumin.

Pergeseran posisi maupun perubahan intensitas pita serapan digunakan sebagai indikasi bahwa telah terjadi perubahan pada lingkungan gugus fungsi di dalam

nanofiber. Hasil FTIR pada penelitian ini tidak digunakan untuk memastikan terbentuknya ikatan kimia baru, tetapi sebagai data pendukung untuk menunjukkan adanya perubahan material pada setiap tahap modifikasi. Data hasil pengukuran FTIR selanjutnya diolah dan dibandingkan untuk mengidentifikasi perubahan posisi serta intensitas pita serapan pada ketiga sampel. Hasil perbandingan spektrum dan interpretasi gugus fungsi disajikan pada Bab IV.

3.3.8 Perancangan Pengujian dan Analisis Sistem

Pengujian sistem dan pengumpulan data pada tahap rancang bangun kit instrumentasi sensor GMR melingkupi beberapa tahap sebagai berikut.

3.3.8.1 Uji Kalibrasi Medan Magnet Kumparan Helmholtz

Tahap awal pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa kumparan Helmholtz yang digunakan mampu menghasilkan medan magnet yang terukur dan stabil sesuai dengan besarnya arus yang diberikan. Prosedur dimulai dengan merangkai kumparan Helmholtz menggunakan catu daya arus DC dalam rentang tegangan 0-18 Volt, kemudian mengukur medan magnet yang dihasilkan menggunakan gaussmeter referensi di titik pusat kumparan. Pengujian dilakukan dengan variasi tegangan bertingkat dari nol hingga tegangan saturasi di 18 Volt, sehingga diperoleh hubungan linier antara arus masukan dan medan magnet yang dihasilkan. Hasil kalibrasi ini menjadi dasar acuan dalam seluruh tahap pengujian berikutnya.

3.3.8.2 Uji Kalibrasi Sensitivitas Sensor Terhadap Perubahan Medan Magnet Kumparan Helmholtz

Setelah medan magnet terkalibrasi, tahap berikutnya adalah mengukur respon tegangan *output* sensor GMR terhadap variasi medan magnet yang dihasilkan kumparan Helmholtz. Sensor ditempatkan di pusat medan magnet, kemudian tegangan keluarnya dicatat untuk setiap variasi tegangan input terhadap kumparan pada rentang

0-18 Volt. Data yang diperoleh digunakan untuk menentukan sensitivitas sensor, yaitu gradien hubungan antara perubahan tegangan *output* terhadap perubahan medan magnet ($\Delta V/\Delta B$). Tahapan ini memberikan gambaran sejauh mana sensor dapat mendeteksi perubahan kecil pada medan magnet.

3.3.8.3 Uji Sensitivitas dan Linearitas Sensor GMR Terhadap Variasi Konsentrasi Boraks Nanofiber Fe_3O_4 /PVA-GA/Kurkumin

Pengujian berikutnya mengintegrasikan nanofiber Fe_3O_4 /PVA-GA/Kurkumin dengan larutan boraks pada berbagai konsentrasi, yaitu 0,5 mM, 1 mM, 3 mM, 5 mM, 8 mM, 10 mM, 13 mM, 15 mM, 18 mM, 20 mM, 23 mM, 25 mM, 28 mM, 30 mM, 33 mM, 35 mM, 38 mM, 40 mM, 43 mM, 45 mM. Sampel larutan dengan 10 mL aquades lalu ditetaskan atau diserapkan pada label nanofiber yang berada di suatu wadah lalu dipindahkan/ disimpan atas sensor GMR, lalu dicatat respon medan magnet yang ada untuk setiap konsentrasi boraks. Tujuan dari pengujian ini adalah menilai kemampuan sensor dalam mendeteksi variasi konsentrasi boraks secara tidak langsung melalui interaksi dengan material nanofiber.

3.3.8.4 Uji Selektivitas Sensor GMR terhadap Formalin, NaCl, dan MSG Menggunakan Nanofiber Fe_3O_4 /PVA-GA/Kurkumin

Pengujian selektivitas dilakukan menggunakan larutan formalin, NaCl, dan MSG sebagai bahan pembanding terhadap boraks. Masing-masing bahan diuji pada variasi konsentrasi yang sama dengan pengujian boraks, yaitu 0,5 mM, 1 mM, 3 mM, 5 mM, 8 mM, 10 mM, 13 mM, 15 mM, 18 mM, 20 mM, 23 mM, 25 mM, 28 mM, 30 mM, 33 mM, 35 mM, 38 mM, 40 mM, 43 mM, dan 45 mM. Setiap larutan uji disiapkan dengan volume akhir 10 mL.

Sebelum larutan uji diberikan, dilakukan pengukuran awal untuk memperoleh nilai *baseline* pada masing-masing bahan. Larutan formalin, NaCl, dan MSG kemudian ditetaskan atau diserapkan pada nanofiber Fe_3O_4 /PVA-GA/Kurkumin yang

ditempatkan pada wadah sampel. Nanofiber yang telah diberi larutan selanjutnya diletakkan pada posisi yang sama di atas sensor GMR, kemudian respons medan magnet direkam untuk setiap variasi konsentrasi.

Setiap pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan dengan mempertahankan posisi nanofiber, volume larutan, waktu pengukuran, dan kondisi rangkaian yang sama. Nilai respons sensor diperoleh dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap nilai *baseline* masing-masing bahan.

Hasil pengujian formalin, NaCl, dan MSG kemudian dibandingkan dengan respons sensor terhadap larutan boraks pada konsentrasi yang sama. Perbandingan tersebut dilakukan untuk mengetahui apakah sensor GMR dengan nanofiber $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVA-GA/Kurkumin}$ memberikan respons yang berbeda atau lebih besar terhadap boraks dibandingkan bahan pembanding.

3.3.8.5 Pengujian Respons Sensor GMR terhadap Ekstrak Bakso yang Dikondisikan dengan Boraks Menggunakan Nanofiber $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVA-GA/Kurkumin}$

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respons sensor GMR ketika boraks berada di dalam ekstrak bakso. Sampel yang digunakan terdiri atas ekstrak bakso tanpa penambahan boraks sebagai kontrol dan ekstrak bakso yang dikondisikan dengan penambahan boraks pada konsentrasi 0,5 mM, 1 mM, 5 mM, 15 mM, 25 mM, dan 35 mM.

Ekstrak bakso disiapkan terlebih dahulu, kemudian larutan boraks ditambahkan sesuai dengan konsentrasi yang telah ditentukan. Volume sampel dibuat sama pada setiap variasi konsentrasi agar hasil pengukuran dapat dibandingkan. Ekstrak bakso tanpa penambahan boraks digunakan untuk mengetahui kondisi awal respons sensor terhadap matriks bakso.

Pada proses pengukuran, sampel ditetaskan atau diserapkan pada nanofiber $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVA-GA/Kurkumin}$ yang telah ditempatkan pada wadah sampel. Nanofiber yang telah diberi ekstrak bakso kemudian diletakkan pada posisi yang sama di atas

sensor GMR. Respons medan magnet direkam selama waktu pengukuran yang telah ditentukan.

Setiap variasi konsentrasi diukur sebanyak tiga kali pengulangan. Selama pengujian, posisi nanofiber, jumlah sampel, waktu pengukuran, serta kondisi rangkaian sensor dipertahankan tetap. Nilai respons sensor diperoleh dengan membandingkan hasil pengukuran ekstrak bakso yang telah ditambahkan boraks terhadap hasil pengukuran ekstrak bakso tanpa penambahan boraks.

Hasil pengujian digunakan untuk melihat apakah penambahan konsentrasi boraks di dalam ekstrak bakso menghasilkan perubahan respons medan magnet yang dapat diamati oleh sensor GMR. Respons tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian larutan boraks standar untuk mengetahui adanya pengaruh matriks bakso terhadap respons sensor.

3.3.8.6 Pengolahan dan Analisis Data Respons Sensor GMR

Data hasil pengukuran sensor GMR berupa nilai medan magnet terhadap waktu. Setiap kondisi pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan untuk melihat konsistensi hasil pengukuran. Data yang diperoleh kemudian diolah untuk menentukan perubahan medan magnet yang dihasilkan setelah sampel diberikan pada nanofiber Fe₃O₄/PVA-GA/kurkumin.

Nilai respons sensor ditentukan berdasarkan perubahan medan magnet terhadap kondisi awal pengukuran. Kondisi awal diperoleh dari nilai rata-rata sinyal sebelum sampel diberikan dan digunakan sebagai *baseline*. Perubahan medan magnet dihitung menggunakan Persamaan 3.1.

$$\Delta B = B_{\text{sampel}} - B_{\text{baseline}} \quad (3.1)$$

dengan ΔB merupakan perubahan medan magnet dalam satuan mT, B_{sampel} merupakan nilai rata-rata medan magnet setelah pemberian sampel, dan B_{baseline}

merupakan nilai rata-rata medan magnet pada kondisi awal pengukuran.

Nilai ΔB dari tiga kali pengulangan kemudian dihitung nilai rata-rata dan simpangan bakunya. Nilai rata-rata digunakan sebagai respons sensor pada setiap konsentrasi, sedangkan simpangan baku digunakan untuk menunjukkan sebaran hasil pengukuran.

Hubungan antara konsentrasi sampel dan perubahan medan magnet selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik. Pada pengujian boraks, data dianalisis menggunakan regresi linear dan regresi polinomial untuk melihat pola hubungan antara konsentrasi dan respons sensor. Sementara itu, respons formalin, NaCl, dan MSG dibandingkan dengan respons boraks untuk mengevaluasi selektivitas sensor. Data ekstrak bakso yang dikondisikan dengan boraks dibandingkan dengan larutan boraks standar untuk melihat pengaruh matriks pangan terhadap respons sensor.

