

dengan R_m dan δ_1 berturut-turut merupakan resistansi dan *skin depth* pada lapisan konduktif, d_1 dan d_2 berturut-turut menyatakan ketebalan lapisan lapisan konduktif dalam dan lapisan feromagnetik luar (Makhnovskiy dan Panina, 2000). Berdasarkan Persamaan 2.7 tersebut, kontribusi lapisan magnet terhadap impedansi dapat dijelaskan dengan induktansi eksternal pada lapisan.

Struktur simetri pada multi lapisan memiliki jumlah lapisan (N) di bagian bawah yang sama dengan bagian atas. Struktur simetri dinilai memiliki atribut fluks magnetik yang tertutup. Konfigurasi *flux magnetic* tertutup pada struktur simetri ini dapat membantu mengurangi kebocoran fluks pada lapisan magnetik sehingga didapatkan nilai rasio magnetoimpedansi yang lebih tinggi dari struktur asimetri (Chen *et al.*, 2010).

2.7 Sakarin sebagai Zat Aditif pada Larutan Elektrolit

Elektrodeposisi pada paduan NiFe tanpa penambahan sakarin ke larutan dapat menghasilkan lapisan yang terbakar dan robek karena tekanan internal yang tinggi pada proses elektrodeposisi (Kim *et al.*, 2005). Tegangan antara tembaga dan pelapisan harus dikurangi untuk merekatkan paduan NiFe pada substrat Cu. Penyempurnaan ukuran butir pelapisan dengan menambahkan sakarin pada larutan elektrolit efektif dapat mengurangi tekanan internal (Yu *et al.*, 2009).

Saat sakarin ditambahkan ke dalam larutan, molekul sakarin teradsorpsi ke elektroda. Hal ini mempengaruhi proses reduksi ion logam dan menginduksi mikrodistribusi besi yang tidak seragam dalam elektrodeposit. Elektrodeposit dalam larutan yang menggunakan sakarin dengan konsentrasi rendah ditemukan memiliki permukaan mengkilap dengan butiran nano, yang mungkin merupakan hasil dari relaksasi tekanan dan perbaikan butir (Kim *et al.*, 2005). Perubahan kandungan sakarin dalam elektrolit diketahui memiliki efek penting pada efisiensi arus dan laju deposisi NiFe (Yu *et al.*, 2009).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan dengan dua tahap yaitu pembuatan sampel lapisan $[\text{NiFe/Cu}]_N/\text{Cu}/[\text{NiFe/Cu}]_N$ metode elektrodeposisi dan pengambilan data. Pembuatan sampel lapisan $[\text{NiFe/Cu}]_N/\text{Cu}/[\text{NiFe/Cu}]_N$ dilaksanakan di Laboratorium Material dan pengambilan data magnetoimpedansi dilaksanakan di Laboratorium Instrumentasi Elektronika Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret. Penelitian dilaksanakan dari bulan September 2021 sampai bulan Januari 2022.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat – Alat yang Digunakan dalam Penelitian

Alat – alat yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi tiga yaitu alat untuk pembuatan larutan elektrolit, proses elektrodeposisi, dan pengambilan data. Pada proses pembuatan $[\text{NiFe/Cu}]_N/\text{Cu}/[\text{NiFe/Cu}]_N$ alat yang digunakan diantaranya adalah neraca digital untuk menimbang bahan, gelas beker sebagai wadah untuk mencampur larutan elektrolit dan wadah substrat saat proses *cleaning*, pengaduk kaca untuk mengaduk larutan, dan *ultrasonic cleaner* untuk mensterilkan substrat.

Selanjutnya untuk proses elektrodeposisi pada substrat digunakan rangkaian alat elektrodeposisi, multimeter untuk mengukur arus dan tegangan, serta *stopwatch* untuk mengukur waktu selama proses deposisi. Beberapa alat yang digunakan dalam karakterisasi dan pengukuran magnetoimpedansi adalah *power supply* untuk sumber tegangan, LCR meter sebagai pengukur kapasitansi dan resistansi pada sampel, gaussmeter sebagai pengukur besar medan magnet eksternal, solenoida sebagai pembangkit medan magnet eksternal, dan laptop sebagai perangkat untuk menyimpan hasil data yang didapatkan

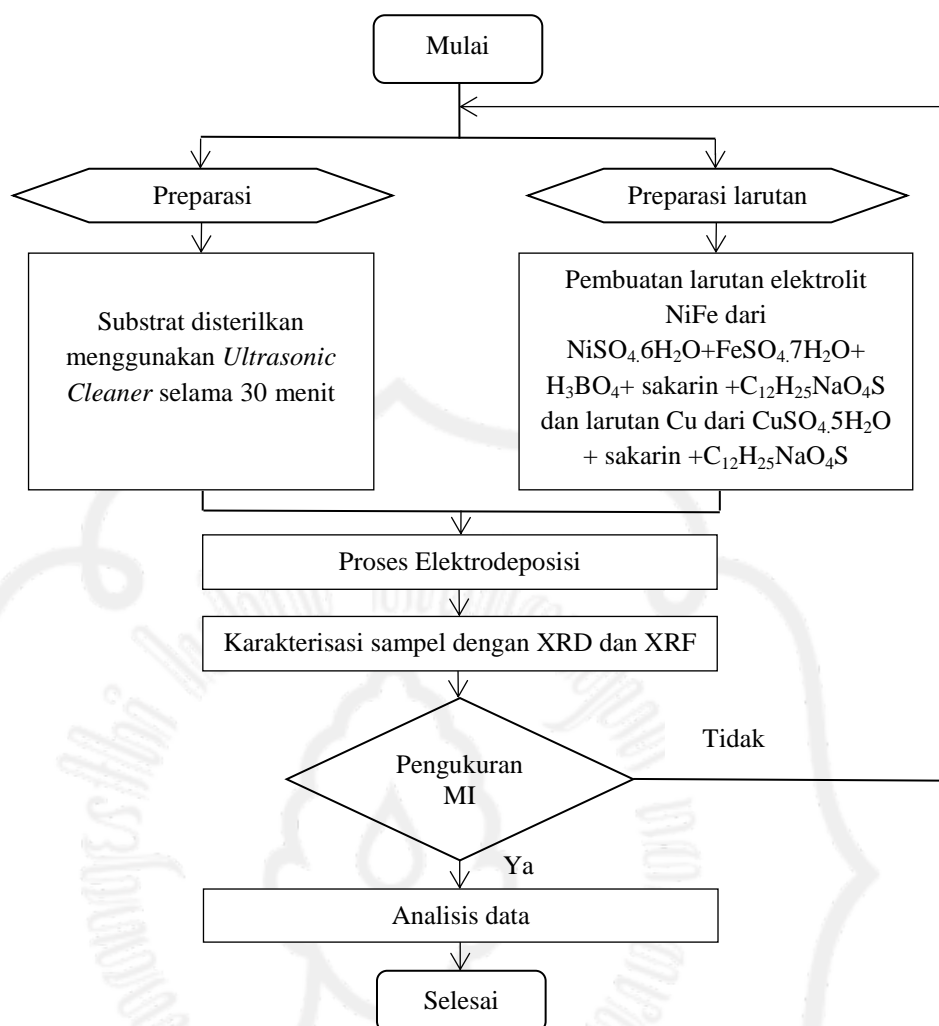
3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi bahan-bahan saat proses sterilisasi dengan *ultrasonic cleaner* hingga bahan pembuatan larutan elektrolit NiFe dan Cu untuk elektrodeposisi. Bahan untuk proses sterilisasi dengan *ultrasonic cleaner* tersebut diantaranya adalah PCB Cu sebagai substrat deposisi lapisan NiFe/Cu, ethanol untuk merendam substrat, air sebagai media rambat gelombang *ultrasonic* saat proses *ultrasonic cleaner*. Bahan-bahan untuk pembuatan larutan elektrolit terdiri dari $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebagai bahan terlarut penghasil ion Ni^{2+} , $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ sebagai bahan pelarut penghasil Fe^{2+} , H_3BO_3 sebagai zat aditif penstabil larutan NiFe, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ sebagai bahan terlarut penghasil ion Cu untuk larutan elektrolit Cu, saccharin ($\text{C}_7\text{H}_5\text{NO}_3\text{S}$) dan Sodium Dodecyl Sulfate ($\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{NaO}_4\text{S}$) yang digunakan sebagai zat aditif, serta akuades sebagai pelarut.

3.3 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah pada penelitian ini memiliki enam tahapan utama. Keenam tahapan tersebut dijelaskan melalui skema diagram alir seperti pada Gambar 3.1. Penelitian dimulai dengan persiapan substrat serta larutan elektrolit dilanjutkan dengan proses elektrodeposisi. Pembuatan multi lapisan dilakukan dengan variasi penambahan massa sakarin pada larutan elektrolit untuk elektrodeposisi.

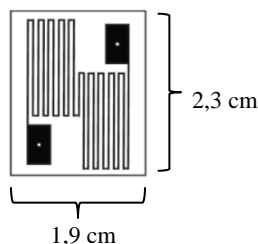
Setelah didapatkan sampel multilapisan, dilakukan karakterisasi dan pengukuran magnetoimpedansi. Apabila tidak ditemukan efek magnetoimpedansi saat pengukuran, maka penelitian dimulai dari awal kembali dengan pembuatan sampel multi lapisan. Data yang didapatkan dari pengukuran dicatat secara manual kemudian diolah untuk dianalisa.



Gambar 3.1 Diagram skematik prosedur penelitian

3.3.1 Preparasi Substrat

Pada penelitian ini digunakan substrat PCB Cu dengan luasan 1 cm^2 berpola *meander*. Substrat harus disterilkan terlebih dahulu dengan *ultrasonic cleaner* sebelum proses elektrodeposisi. Substrat dimasukkan ke dalam gelas beker berisi ethanol hingga seluruh bagiannya terendam. Kemudian gelas beker yang berisi substrat dan etanol tersebut ditempatkan ke dalam *ultrasonic cleaner* yang berisi air setengahnya. Proses *ultrasonic cleaner* ini dilakukan selama 30 menit dilanjutkan dengan mengeringkan substrat. Skema substrat PCB Cu yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Skema substrat PCB Cu untuk elektrodeposisi (Salma *et al.*, 2018).

3.3.2 Pembuatan Larutan Elektrolit

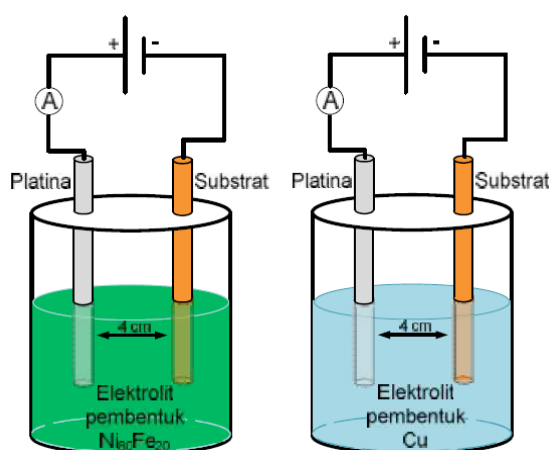
Pembuatan larutan elektrolit dilakukan untuk dua jenis larutan yang digunakan dalam proses elektrodeposisi yaitu larutan NiFe dan larutan Cu. Bahan-bahan yang akan digunakan ditimbang terlebih dahulu sesuai dengan kebutuhan. Larutan elektrolit NiFe dibuat dari campuran $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, FeSO_4 , H_3BO_3 , sakarin ($\text{C}_7\text{H}_5\text{NO}_3\text{S}$) dan $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{NaO}_4\text{S}$. Sedangkan larutan elektrolit Cu dibuat dari campuran CuSO_4 , sakarin ($\text{C}_7\text{H}_5\text{NO}_3\text{S}$) dan $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{NaO}_4\text{S}$. Masing-masing larutan tersebut kemudian ditambahkan akuades 100 mL dan diaduk hingga seluruh bahan terlarut. Pembuatan multi lapisan pada penelitian ini dilakukan dengan variasi penambahan jumlah massa sakarin pada larutan elektrolit. Konsentrasi bahan yang digunakan untuk larutan elektrolit ditunjukkan oleh Tabel 3.1.

Table 3.1 Komposisi larutan elektrolit untuk proses elektrodeposisi

Elektrolit	Bahan	Konsentrasi
NiFe	$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0,099 M
	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0,012 M
	H_3BO_3	0,149 M
	$\text{C}_7\text{H}_5\text{NO}_3\text{S}$	1 - 4 g/L
	$\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{NaO}_4\text{S}$	0,01 g/L
Cu	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,065 M
	$\text{C}_7\text{H}_5\text{NO}_3\text{S}$	1 - 4 g/L
	$\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{NaO}_4\text{S}$	0,01 g/L

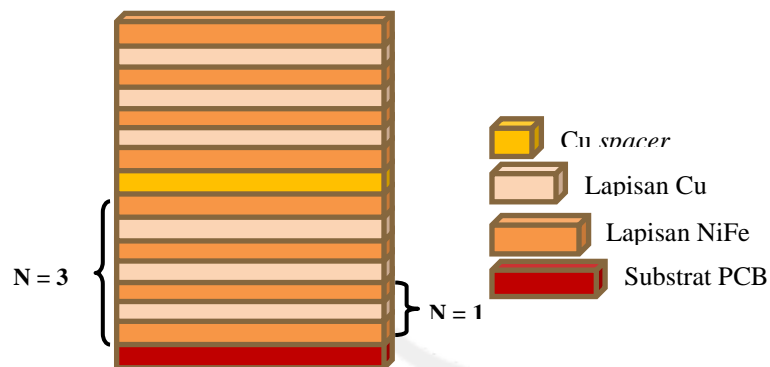
3.3.3 Proses Elektrodeposisi

Proses elektrodeposisi dilaksanakan dengan melewatkan arus pada PCB Cu dan platina yang masing-masing berperan sebagai katoda dan anoda dalam larutan elektrolit. Elektroda diposisikan dengan jarak sekitar 3 cm sampai 4 cm. Proses deposisi pada larutan NiFe dilakukan dengan rapat arus sebesar 15,5 mA/s selama 200 detik. Sedangkan deposisi pada larutan Cu dilakukan dengan rapat arus sebesar 8 mA/s selama 25 detik. Skema deposisi sampel dengan larutan elektrolit NiFe dan Cu ditampilkan oleh Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Proses Elektrodeposisi NiFe dan Cu (Wicaksono *et al.*, 2016).

Deposisi pada substrat diawali menggunakan larutan elektrolit NiFe, dilanjutkan dengan larutan elektrolit Cu, dan terakhir menggunakan larutan NiFe kembali. Lapisan hasil deposisi tersebut kemudian dikatakan sebagai satu multi lapisan NiFe/Cu dan dapat dilanjutkan begitu seterusnya sampai mendapatkan jumlah lapisan yang diinginkan. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan multi lapisan simetri dengan $N = 3$. Cu *spacer* dibuat di antara dua jumlah multi lapisan yang diinginkan dan dideposisi selama 50 detik. Skema ilustrasi multi lapisan NiFe/Cu simetri dengan $N = 3$ hasil elektrodeposisi ditunjukkan oleh Gambar 3.4.



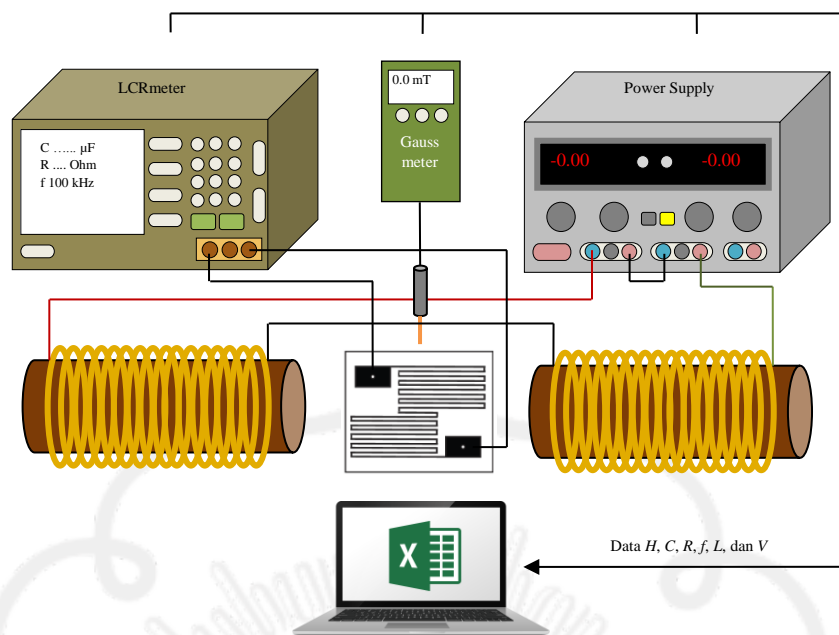
Gambar 3.4 Skematik multi lapisan $[\text{NiFe/Cu}]_3/\text{Cu}/[\text{NiFe/Cu}]_3$

3.3.4 Karakterisasi Sampel

Karakterisasi pada sampel dilakukan dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *X-Ray Fluorescence* (XRF). Karakterisasi dengan XRD digunakan untuk mengonfirmasi lapisan pada substrat yang terdeposisi oleh NiFe dan Cu. Sedangkan karakterisasi dengan XRF dilakukan untuk menganalisis komposisi unsur yang terkandung dalam lapisan.

3.3.5 Pengukuran Magnetoimpedansi

Pengukuran magnetoimpedansi dilakukan menggunakan LCR meter yang mengalirkan arus AC pada sampel dan kemudian dapat mengukur nilai resistansi (R), kapasitansi (C), induktansi (L), dan frekuensi (f). Selanjutnya solenoida juga diberikan arus listrik sehingga menghasilkan medan magnet. Pengukuran magnetoimpedansi ini dilaksanakan pada keadaan frekuensi rendah dengan variasi besar antara 20-100 kHz. Sampel diletakkan di tengah antara dua kumparan yang menghasilkan medan magnet sehingga sejajar dengan medan luar yang dihasilkan kumparan. Variasi tegangan *output* pada *power supply* dilakukan untuk mendapatkan nilai medan magnet. Besar nilai medan magnet kemudian terukur dalam gaussmeter. Skema pengukuran magnetoimpedansi ditunjukkan oleh Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Diagram skematik pengukuran magnetoimpedansi

Medan magnet eksternal (H) pada proses ini dihasilkan oleh kumparan. Besar medan magnet dapat divariasikan dengan mengubah nilai tegangan dari 0 volt sampai 31,4 volt. Saat nilai medan magnet telah mencapai maksimum, pengukuran dilanjutkan dengan menurunkan besar medan magnet melalui tegangan *output* hingga bernilai 0 volt. Setelah itu, probe kutub positif dengan probe kutub negatif ditukar untuk membalik polaritas medan magnet. Nilai medan magnet diukur menggunakan gauss meter dan kapasitansi (C) diukur menggunakan LCR meter dan dicatat setiap variasi perubahan tegangan. Nilai induktansi (L) dan resistansi (R) juga dicatat setiap terjadi perubahan pada frekuensi.

3.4 Teknik Analisis Data

Nilai induktansi, resistansi, dan kapasitansi diperoleh dari proses pengukuran magneto-impedansi. Ketiga data tersebut digunakan untuk memperoleh nilai impedansi pada substrat. Selanjutnya data diolah menggunakan *Microsoft Excel*. Variable bebas dalam pengukuran magnetoimpedansi ini adalah medan magnet (H) sedangkan variabel terikatnya adalah nilai impedansi (Z) dari sampel.

Nilai rasio magnetoimpedansi didapat dengan menggunakan perhitungan pada *Microsoft excel*. Selanjutnya nilai pengukuran tersebut ditampilkan menggunakan aplikasi *sma4win* dalam bentuk grafik hubungan antara medan magnet eksternal dengan rasio impedansi. Nilai rasio tertinggi yang didapatkan diharapkan dapat digunakan dalam aplikasi sensor lanjutan.

