



**PENGARUH *JOULE HEATING* PADA BAHAN FEROMAGNETIK
VITROVAC 6025Z TERHADAP EFEK *MAGNETO IMPEDANCE***

REPOSITORY



OLEH

CONITA FITRI YANI
NIM. 1903113368

**PROGRAM STUDI S-1 FISIKA
JURUSAN FISIKA
FALKUTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS RIAU
2023**

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan Universitas Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Riau.



PENGARUH *JOULE HEATING* PADA BAHAN FEROMAGNETIK VITROVAC 6025Z TERHADAP EFEK *MAGNETO IMPEDANCE*

Conita Fitri Yani, Rahmondia Nanda Setiadi*

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau,
Pekanbaru, Riau, 28293, Indonesia.

*rahmon@gmail.com

ABSTRACT

"Magneto Impedance, as a promising alternative in detecting magnetic fields, has undergone rapid development in altering the electrical impedance experienced by conductors when exposed to magnetic fields. This research involves the design and implementation of a magneto impedance sensor system utilizing the Joule heating method. The sensitivity of this magneto impedance sensor system reaches approximately picoTesla, generating magnetic fields of around 100 pT. The success of the sensor system's design is evaluated based on its response to magnetic fields approaching the Earth's magnetic field scale, approximately 50 μ T. This magneto impedance sensor is crafted using a core made of Vitrovac 6025Z, with a thickness of 0.04 mm and a width of 0.34 mm. The sensor's core experiences 6 varying Joule heating currents, ranging from 0 mA to 540 mA. The sensor system is subjected to testing at frequencies 100 kHz for each current variation. The magneto impedance sensor system generates output in the form of impedance and magnetic fields. The output values will be used to determine the magneto impedance ratio.

Keyword: *Magneto Impedance, Joule Heating, Vitrovac 6025Z, MI Ratio*

ABSTRAK

Magneto Impedance, sebagai alternatif yang menjanjikan dalam mendeteksi medan magnet, telah mengalami perkembangan pesat dalam mengubah impedansi listrik yang dialami oleh konduktor ketika terpapar medan magnet. Penelitian ini melibatkan perancangan dan implementasi sistem sensor *magneto impedance* yang memanfaatkan metode joule heating. Sensitivitas sistem sensor Magneto Impedance ini mencapai sekitar picoTesla, menghasilkan medan magnet hingga sekitar 100 pT. Keberhasilan desain sistem sensor ini dinilai dari responsnya terhadap medan magnet yang mendekati skala medan magnet bumi, sekitar 50 μ T. Sensor *Magneto Impedance* ini dibuat dengan menggunakan inti berbahan Vitrovac 6025Z yang memiliki ketebalan 0,04 mm dan lebar 0,34 mm. Inti sensor mengalami variasi arus *joule heating*, mulai dari 0 mA, 110 mA, 220 mA, 327 mA, hingga 540 mA. Pengujian sistem sensor ini dilakukan pada frekuensi 100 kHz untuk setiap variasi arus. Sistem sensor *Magneto Impedance* menghasilkan keluaran berupa impedansi dan medan magnet. Nilai keluaran akan digunakan untuk menentukan nilai rasio *magneto impedance*.

Kata Kunci: *Magneto Impedance, Joule Heating, Vitrovac 6025Z, Rasio MI*



1. PENDAHULUAN

Magneto Impedance merupakan salah satu instrumen yang ampuh untuk pengaplikasian biomedis, karena bersifat sangat sensitif, stabil, menampilkan respon yang cepat, berukuran kecil, memiliki histerisis, dan memiliki konsumsi daya yang rendah (Sayad et al., 2020).

Perubahan yang sangat besar dalam impedansi frekuensi tinggi telah diamati pada kabel amorf yang kaya Co, dengan magnetostriksi yang hampir menghilang di bawah penerapan medan magnet homogen dengan amplitudo kecil. Fenomena itu disebut efek *Giant Magneto Impedance* (GMI) (Usov et al., 1998). Efek GMI mengarah pada perubahan impedansi listrik pada bahan magnetik saat terkena medan magnet eksternal yang diperkenalkan tahun 1990-an guna mendeteksi perubahan impedansi pada kawat amorf karena kehilangan *skin depth effect*. *Skin depth effect* mengartikan penetrasi medan elektromagnetik terbatas dengan arus bolak balik yang mengalir pada bahan konduktif. Efek GMI dari suatu bahan magnetik dinyatakan sebagai perubahan impedansi relatif ketika arus AC mengalir dalam suatu konduktor yang ada di medan magnet (García-Arribas et al., 2017). Besar nilai MI dinyatakan dengan persamaan:

$$MI (\%) = \frac{Z - Z_{min}}{Z_{min}} \times 100 \quad (1.1)$$

Z_{min} merupakan parameter impedansi minimum secara magnetis bahan ketika kekuatan medan magnet jenuh. Ketika medan magnet mati, nilai impedansi juga dapat diukur dengan $Z_{min} = Z (H=0)$.

Sensitivitas MI mengacu pada kemampuan suatu bahan untuk mengalami perubahan dalam impedansi sebagai respon terhadap pengaruh medan magnet eksternal. Sensitivitas MI merupakan ukuran sejauh mana perubahan impedansi listrik yang terkena medan magnet eksternal dapat diperhatikan dalam berbagai aplikasi. Sensitivitas sensor berbasis MI dinyatakan dalam persamaan:

$$S (\%) = \frac{2 \left(\frac{\Delta Z}{Z_{max}} \right)}{\Delta B} \quad (1.2)$$

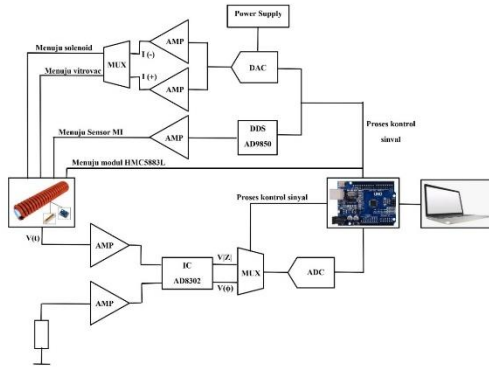
ΔB parameter yang menunjukkan wilayah cakupan lebar penuh pada kurva rasio MI. Sensitivitas yang tinggi merupakan indikator utama dari kualitas yang baik pada sensor yang digunakan untuk deteksi bahan feromagnetik (Maulana, 2020).

Joule heating diketahui sebagai pemanasan resistif atau ohmik, yaitu proses dimana energi suatu arus listrik diubah menjadi energi panas karena resistivitas. Arus yang relatif tinggi kepadatannya dan melalui konduktor berukuran mikro pada sistem elektromagnet akan menghasilkan medan magnet yang tinggi dan menyebabkan efek *Joule heating* (Abidin et al., 2016).

Penelitian ini dilakukan studi sistem sensor *Magneto Impedance* menggunakan lapisan inti berbahan Vitrovac 6025Z dengan variasi arus untuk metode *Joule Heating* dan memvariasikan nilai frekuensi sebagai upaya meningkatkan rasio dan sensitivitas *magneto impedance* agar dapat mengukur medan magnetik lemah dengan baik.

2. METODE PENELITIAN

Rancangan Rangkaian Elektronik Sistem Sensor



Gambar 2.1 Diagram blok rangkaian pengukuran sensor dan sumber medan magnetik

Secara umum Gambar 2.1 menunjukkan, sumber tegangan berasal dari catu daya yang dialirkan menuju modul *Digital Analog Converter* (DAC) menghasilkan sinyal berbentuk analog. Sinyal dialirkan ke solenoid generator melewati rangkaian Operasional Amplifier (Op-Amp) yang berfungsi sebagai penguat sinyal dan menjadi arus. Pada rangkaian *Joule heating* sinyal positif dan negatif akan dialiri ke solenoida generator dan inti sensor melalui multiplexer (MUX). Arus yang diterima oleh solenoid generator akan menghasilkan medan magnet. Terdapat dua komponen di dalam solenoid generator, yaitu modul HMC5883L yang berfungsi untuk mengukur medan magnetik yang dihasilkan solenoid. Komponen kedua yakni sensor MI. sensor MI diberi sinyal yang berasal dari modul DDS AD9850 dengan keluaran berupa tegangan dan arus.

Keluaran dari sensor ini kemudian dialirkan menuju modul penguat dan modul transimpedansi IC AD8302 dari *Analog Devices* yang merupakan komponen utama dalam pengukuran

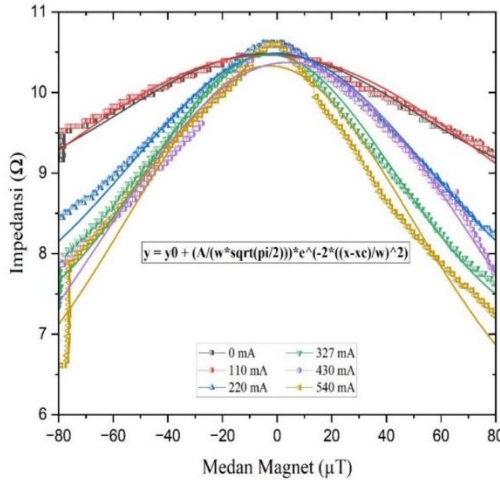
impedansi. Modul ini secara elektronika menghasilkan dua keluaran, yaitu perbandingan amplitudo dan beda fasa. Sinyal keluaran yang dihasilkan dari IC AD8302 selanjutnya akan menuju komponen ADC dan multiplexer (MUX) yang berfungsi sebagai komponen akusisi data dengan fungsi kerjanya dikontrol oleh arduino. Sinyal keluaran yang menuju arduino pada pin *analog input* kemudian menuju PC untuk diolah dan dianalisa.

Pengukuran dan pengujian medan magnet dilakukan untuk mengamati pengaruh medan eksternal terhadap *output* sensor MI. Metode *Joule heating* diberikan selama 10 menit terhadap inti sensor dengan memvariasikan nilai arus sebesar 0 mA, 110 mA, 220 mA, 327 mA, 430 mA dan 540 mA sebelum dilakukannya pengukuran medan magnet dan impedansi untuk mendapatkan respon sensor pada inti sensor.

Inti sensor yang telah diberi metode *Joule heating* selanjutnya dilakukan pengukuran medan magnet dan impedansi dengan memberikan frekuensi sinyal senilai 100 kHz. Pengukuran secara otomatis diperoleh dan disimpan melalui modul HMC5883L yang dikontrol oleh Arduino dan Visual Studio. Keluaran yang dihasilkan dari pengujian berupa grafik hubungan antara medan magnet terhadap impedansi. Nilai impedansi dan medan magnet yang didapatkan, selanjutnya akan digunakan untuk menentukan nilai rasio MI dan sensitivitas dari sistem sensor MI.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kurva Hasil Nilai Impedansi Terhadap Medan Magnetik pada Frekuensi 1 MHz



Gambar 3.1 Kurva sebaran nilai impedansi terhadap medan magnet pada frekuensi 100 kHz

Berdasarkan **Gambar 3.1**, hasil pengolahan setiap variasi arus pada inti sensor Vitrovac 6025Z dengan metode *Joule heating* mengalami peningkatan impedansi dengan terbentuknya puncak tunggal, namun masih belum menunjukkan sifat yang sensitif. Berdasarkan **Gambar 3.1** nilai impedansi dari pengukuran mengalami penurunan setelah mencapai puncak atau nilai 0. Penggunaan frekuensi 100 kHz masih belum memberikan efek yang begitu besar pada sistem sensor. Hal ini disebabkan oleh frekuensi yang rendah, sehingga mengakibatkan pembentukan *skin depth* yang besar dan mencapai kedalaman yang lebih atau sama dengan ketebalan bahan Vitrovac 6025Z. ini mengakibatkan hampir tidak adanya pengaruh *skin depth* terhadap luas penampang konduktor pada bahan Vitrovac 6025Z. *Skin depth* yang bernilai besar mengakibatkan luas penampang bahan bernilai besar,

resistansi yang terbentuk akan relatif kecil, karena resistansi berbanding lurus dengan impedansi. Besar nilai minimum dan maksimum impedansi ditunjukkan pada **Tabel 3.1**

Joule Heating variasi arus (mA)	Frekuensi (100 kHz)	
	Z _{min} (Ω)	Z _{max} (Ω)
0	8.974	10.578
110	8.608	10.586
220	7.776	10.611
327	7.328	10.6
430	6.842	10.588
540	6.442	10.599

Berdasarkan **Tabel 3.1** nilai impedansi minimum dan maksimum dalam respon sistem sensor meningkat namun tidak konstan pada setiap variasi arus yang diberikan. Semakin besar nilai arus dari variasi *Joule heating*, semakin kecil nilai impedansi yang dihasilkan. Nilai minimum yang didapatkan secara berturut-turut adalah 8.974 Ω, 8.608 Ω, 7.776 Ω, 7.328 Ω, 6.842 Ω, dan 6.442 Ω. Sedangkan nilai maksimumnya secara berturut-turut adalah 10.578 Ω, 10.586 Ω, 10.611 Ω, 10.6 Ω, 10.588 Ω, dan 10.599 Ω. Berdasarkan **Tabel 3.1** nilai impedansi dari setiap variasi arus *Joule heating* mengalami penurunan setelah mencapai puncak (Z_{max}), yang disebabkan penggunaan frekuensi yang cukup kecil pada pengukuran.

Hubungan Rasio MI dan Sensitivitas

Rasio MI terhadap aplikasi medan magnet luar pada variasi frekuensi 100 kHz dalam pengukuran menggunakan variasi arus pada metode *Joule heating* ditunjukkan Tabel 3.2

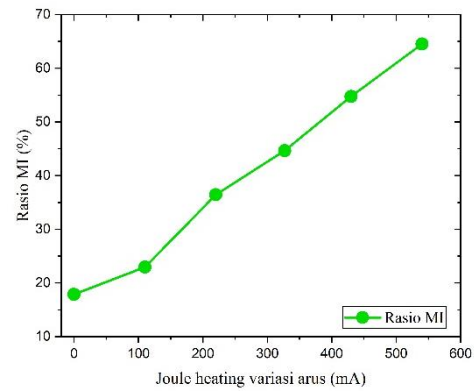
<i>Joule heating</i> variasi arus (mA)	Rasio MI (%)
0	17.874
110	22.979
220	36.458
327	44.651
430	54.750
540	64.530

Berdasarkan **Tabel 3.2** nilai Rasio MI didapatkan menggunakan Pers (1.1) menggunakan nilai impedansi minimum dan impedansi maksimum yang didapatkan dari pengukuran sistem sensor. Terlihat dari masing-masing variasi arus *Joule heating* nilai rasio MI mengalami peningkatan.

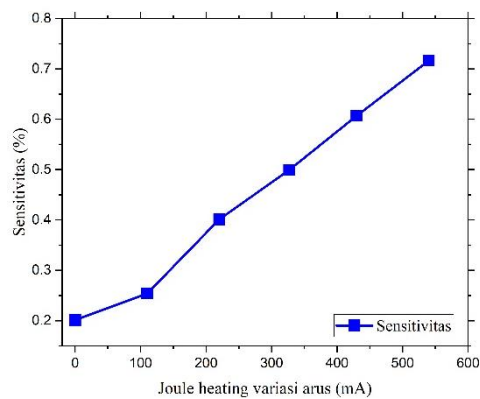
Nilai sensitivitas pada pengukuran sistem sensor terhadap aplikasi medan magnet luar pada frekuensi 100 kHz menggunakan metode variasi arus *Joule heating* ditunjukkan pada Tabel 3.3

<i>Joule heating</i> variasi arus (mA)	Sensitivitas (%)
0	0.201
110	0.254
220	0.401
327	0.500
430	0.607
540	0.717

Nilai sensitivitas pada **Tabel 3.3** didapatkan dari Pers (1.2) menggunakan nilai rasio MI dan nilai medan magnet yang diberikan oleh solenoid pada sistem pengukuran sensor. Nilai sensitivitas yang terlihat dari variasi arus *Joule heating* pada **Tabel 3.3** mengalami peningkatan. Hubungan rasio dan sensitivitas MI terlihat pada **Gambar 3.2**



(a)



(b)

Gambar 3.2 Hubungan (a) rasio MI dan (b) sensitivitas MI

Berdasarkan **Gambar 3.2** nilai rasio MI dan sensitivitas setiap variasi arus *Joule heating* cenderung mengalami peningkatan. Peningkatan nilai sensitivitas sensor berbanding lurus dengan peningkatan rasio MI. Efek MI yang rendah dapat menghasilkan tingkat sensitivitas yang juga rendah dalam mendeteksi medan magnet lemah.

4. KESIMPULAN

Sistem sensor MI berbahan Vitrovac 6025Z dengan metode *Joule heating* berfungsi dengan baik dan dapat digunakan untuk mendeteksi medan magnet yang lemah.



Penggunaan metode *Joule heating* pada sistem sensor MI dengan memvariasikan arus pada *Joule heating* menggunakan frekuensi 100 kHz menunjukkan nilai sensitivitas yang meningkat. Peningkatan sensitivitas berbanding lurus dengan penambahan variasi arus pada metode *Joule heating* dan peningkatan sensitivitas juga berbanding lurus dengan nilai rasio MI. Peningkatan sensitivitas ini terlihat dari nilai impedansi maksimum yang selalu meningkat seiring dengan peningkatan variasi arus pada metode *Joule heating*.

5. REFERENSI

Abidin, U., Yunas, J., & Majlis, B. Y. (2016). *JOULE HEATING EFFECT REDUCTION OF AN ELECTROMAGNET SYSTEM UTILIZING ON-CHIP MAGNETIC CORE*. 10, 105–112.

García-Arribas, A., Fernández, E., & Cos, D. de. (2017). Thin-Film Magneto-Impedance Sensors. *Magnetic Sensors - Development Trends and Applications*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.70084>

Maulana, F. (2020). Sensitifitas Sensor Magnetoimpedansi Pada Sistem Multilapisan [Ni80Fe20/Cu]N Hasil Elektrodeposisi Substrat Cu-Printed Circuit Board. *Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta*, 6, 93–98. <https://doi.org/10.28989/senatik.v6i0.411>

Sayad, A., Skafidas, E., & Kwan, P. (2020). *Magneto-Impedance Biosensor Sensitivity: Effect and Enhancement* 1 2.

Usov, N. A., Antonov, A. S., & Lagar'kov, A. N. (1998). Theory of giant magneto-impedance effect in amorphous wires with different types of magnetic anisotropy. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 185(2), 159–173.

[https://doi.org/10.1016/S0304-8853\(97\)01148-7](https://doi.org/10.1016/S0304-8853(97)01148-7)