

# SENSOR SUHU UNTUK MEDIUM BERSUHU RENDAH BERBASIS SUSEPTIBILITAS MAGNET

*By* M. TOIFUR

## SENSOR SUHU UNTUK MEDIUM BERSUHU RENDAH BERBASIS SUSEPTIBILITAS MAGNET

1 Moh. Toifur

Jurusan Fisika, Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta  
Jl. Kasas No. 9 Semaki, Yogyakarta 55166  
e-mail: mtoifur@yahoo.com

### ABSTRAK

**SENSOR SUHU UNTUK MEDIUM BERSUHU RENDAH BERBASIS SUSEPTIBILITAS MAGNET.** Telah dilakukan penelitian mengenai suseptibilitas udara pada berbagai suhu dari  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  hingga  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Penelitian bertujuan untuk mencermati kemungkinan dapat digunakannya konsep ini untuk mendesain sensor suhu rendah berbasis suseptibilitas magnet. Sebagai pembangkit medan magnet digunakan koil 12.000 lilitan berdiameter 0,2 mm yang dialiri arus 3 mA. Sebagai medium digunakan udara. Untuk mendinginkan suhu udara, koil dikelilingi oleh es bergaram, sedangkan untuk memanaskan es digunakan heater 600 Watt. Untuk mengukur medan induksi digunakan Gaussmeter dan untuk mendeteksi suhu digunakan termokopel digital. Pengukuran medan induksi dilakukan secara kontinyu untuk suhu naik dan suhu turun. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa untuk kenaikan maupun penurunan suhu medium, suhu berhubungan secara linier terhadap medan suseptibilitas magnet pada kisaran  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  hingga  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  menurut persamaan  $T = 66,67 \chi_m + 0,44$ . Alat ini memiliki tingkat kepekaan  $0,12\text{ gauss}/^{\circ}\text{C}$  dan waktu tanggap  $0,2$  detik. Prinsip kerja alat ini sangat layak dikembangkan sebagai piranti sensor suhu sangat rendah yang menggunakan medium selain udara.

**Kata kunci :** Sensor suhu rendah, Suseptibilitas magnet, Medan induksi

### ABSTRACT

**TEMPERATURE SENSOR FOR LOW TEMPERATURE MEDIUM BASED ON MAGNETIC SUSCEPTIBILITY.** The properties of vacuum susceptibility on the variation of vacuum temperature from  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  up to  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  had been studied, for investigating the probability the using of the concept for designing the low temperature sensor based on magnetic susceptibility. Coil of 12,000 turns, and 0.2 mm diameter which is flowed by current of 3 mA is used for generating the magnetic field. For designing the cold room up to  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , a container with the most part of it filled by salted ice is designed. For heating the vacuum, the salted ice is warmed by regulated heater of 600 watt. The gaussmeter is used for measuring the induction field and the digital thermocouple is used for measuring vacuum temperature. The induction field measurement is done continuously for the temperature increasing as well as temperature decreasing of vacuum. The result show that for increasing and decreasing temperature of vacuum, it is obtained that temperature is linearly proportional to magnetic susceptibility in the range of  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  up to  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  according to  $T = 66.67 \chi_m + 0.44$ . The equipment has sensitivity of  $0.12\text{ gauss}/^{\circ}\text{C}$  and response time of 0.2 second. The performance of the equipment is suitable to be developed as very low temperature sensor device which is use in non-vacuum medium.

**Key words :** Low temperature sensor, Magnetic susceptibility, Induction field

### PENDAHULUAN

Termometer konvensional berbasis pemuatan cairan pengisi termometer berupa air raksa dan alkohol memiliki jangkauan ukur yang terbatas, rata-rata  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  hingga  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tipe seperti ini tidak bisa digunakan untuk mengukur suhu yang sangat tinggi karena suhu cairan pengisi termometer dapat mencapai titik didihnya. Untuk itulah biasanya digunakan termokopel. Namun baik penggunaan cairan pengisi termometer maupun termokopel keduanya tidak mampu digunakan untuk mengukur suhu yang sangat rendah. Hal ini

disebabkan karena cairan menjadi beku, sehingga termokopel tidak menunjukkan perbedaan tegangan diantara ujung-ujungnya. Oleh karena itu dibutuhkan metode baru untuk mengukur suhu rendah. Pada kenyataannya pengukuran suhu yang rendah sudah nyata dibutuhkan seperti nitrogen cair bersuhu  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  digunakan sebagai media penyimpan semen sapi, pengawetan makanan dengan pendinginan pada suhu  $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$  [1]. Sebenarnya sudah banyak perusahaan yang memproduksi sensor suhu rendah jenis non

termostat seperti *Smarthome*, *Techmal* dengan kemampuan ukur dari -40 °C hingga 100 °C, namun harganya masih sangat mahal.

Ada peluang untuk membuat sensor suhu rendah yang memiliki beberapa keunggulan diantaranya kesederhanaanya, murah dan praktis yaitu dengan memanfaatkan sifat magnetik medium dalam lingkungan suhu yang bervariasi. Karena adanya perlakuan suhu maka kelembaban dan massa jenis medium akan berubah. Dengan perubahan pada kedua sifat ini jika medium dimagnetisasi maka kuat medan induksi yang dihasilkan juga berbeda.

Atas dasar inilah maka pada kegiatan ini diteliti kemungkinan pemanfaatan sifat paramagnetik-diamagnetik udara sebagai sensor suhu rendah. Karakteristik paramagnetik-diamagnetik (atau para-dia) diperoleh melalui pengetahuan tentang suseptibilitas medium. Pengetahuan tentang suseptibilitas medium banyak digunakan untuk eksplorasi tambang, peralatan gradiometri agar kontaminasi bahan magnetik dapat diminimalkan [2].

## TEORI

Air merupakan bahan diamagnetik dengan suseptibilitas -0,91. Jika air ini dipanaskan maka akan berubah menjadi uap sehingga suseptibilitasnya akan menjadi naik. Sebagai gambaran gas oksigen memiliki suseptibilitas 0,19 yang termasuk jenis paramagnetik. Oksigen merupakan salah satu partikel penyusun air (H<sub>2</sub>O), oleh karena itu ada dugaan sekaligus harapan jika air dipanaskan dan berubah menjadi uap maka sifat magnetik air berubah dari diamagnetik menjadi paramagnetik. Bahan diamagnetik memiliki suseptibilitas  $\chi_m$  negatif sedangkan bahan paramagnetik memiliki suseptibilitas positif kecil. Adanya ketergantungan  $\chi_m$  terhadap suhu  $T$  memungkinkan medium dapat dijadikan sebagai salah satu piranti sensor suhu jika memenuhi persyaratan sensor, yaitu watak linear, sensitif, dan responsif.

Jika suatu bahan dimagnetisasi, maka hubungan antara medan induksi  $B$  terhadap magnetisasi  $M$  dinyatakan dengan :

$$B = \mu_0 (H + M) \quad \dots\dots\dots (1)$$

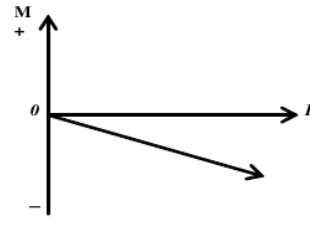
Dengan memasang  $M$  dengan  $\chi_m H$ , maka diperoleh :

$$B = \mu_0 H + \mu_0 \chi_m H \quad \dots\dots\dots (2)$$

Dari Persamaan 2 dapat diperoleh nilai  $\chi_m$  yang dinyatakan sebagai :

$$\chi_m = \frac{1}{\mu_0 H} B - 1 \quad \dots\dots\dots (3)$$

Untuk bahan paramagnetik nilai  $\chi_m$  berhubungan dengan suhu bahan dalam bentuk [3,4] :



Gambar 1. Diamagnetisme [5]

$$\chi_m = \frac{C}{T - \theta} \quad \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

$C$  = Konstanta Curie

$T$  = Suhu absolut (K)

$\theta$  = Suhu Curie

Persamaan 4 disebut hukum Curie-Weiss yang menggambarkan ketergantungan  $\chi_m$  pada  $T$  sedangkan Persamaan 3 menggambarkan ketergantungan  $\chi_m$  pada medan induksi  $B$  dan medan  $H$ . Oleh karena itu terdapat kaitan antara suhu medium terhadap induksi magnetik yang disebabkan oleh medan  $H$ .

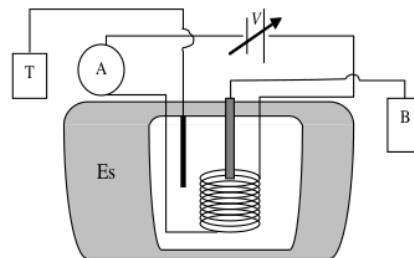
Sifat bahan diamagnetik dapat dilihat dari hubungan antara magnetisasi terhadap medan luar seperti pada Gambar 1.

## METODE PERCOBAAN

Eksperimen ini dilaksanakan melalui 2 tahap, yaitu eksperimen untuk menentukan kurva karakteristik intensitas magnetisasi terhadap medan  $H$ , dan eksperimen untuk menentukan hubungan antara  $B$  terhadap  $T$ .

### Penentuan Kurva Karakteristik Magnetisasi $M$ Terhadap Medan $H$

Penentuan kurva karakteristik intensitas magnetisasi  $M$  terhadap medan  $H$  dilakukan dengan rangkaian sistem perangkat penelitian seperti pada diagram Gambar 2. Sumber tegangan yang digunakan adalah sebesar 12 volt dengan arus



Gambar 2. Skema rangkaian pada penentuan hubungan antara suseptibilitas magnet  $\chi_m$  terhadap suhu  $T$ . A = amperemeter, V = voltmeter, T = termometer dan B = gaussmeter

sebesar 3,24 mA. Besarnya medan magnet diukur menggunakan *gaussmeter* untuk setiap perubahan arus yang mengalir melalui *amperemeter*. Perubahan arus ini dilakukan secara bertahap hingga mencapai nilai arus maksimal 3,24 mA. Data pengukuran *gaussmeter*,  $M$  selanjutnya diplot terhadap medan,  $H$ .

### Penentuan Kurva Suseptibilitas Magnet $\chi_m$ Terhadap Suhu T

Pengukuran suseptibilitas magnet dilakukan pada tegangan input 12 volt. Pada awal pengukuran, suhu diset pada udara di dalam solenoida sebesar  $-10\text{ }^\circ\text{C}$  melalui termokopel digital. Selanjutnya besarnya medan magnet dan arus masing-masing diukur dengan *gaussmeter* dan *amperemeter* untuk setiap perubahan suhu. Pengukuran dilakukan baik untuk kenaikan suhu dari  $-10\text{ }^\circ\text{C}$  hingga  $50\text{ }^\circ\text{C}$  maupun untuk penurunan suhu dari  $50\text{ }^\circ\text{C}$  hingga  $-10\text{ }^\circ\text{C}$ .

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kurva Karakteristik Magnetisasi $M$ Terhadap Medan $H$

Pada Gambar 3 ditampilkan kurva hubungan antara  $M$  terhadap  $H$  untuk udara dengan  $H$  divariasikan dari 535 A/m sampai 624 A/m.

Dari gambar tersebut tampak bahwa semakin besar medan  $H$  semakin kecil nilai  $M$  sesuai dengan persamaan:

$$M = -7,0 \times 10^{-6} H + 0,0039 \quad \dots\dots\dots (5)$$

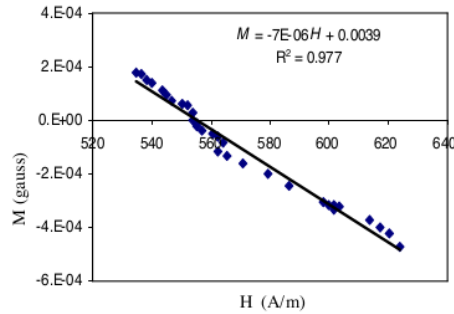
Medium yang memiliki kurva  $M-H$  dengan gradien negatif merupakan jenis diamagnetik, maka medium pengisi koiil untuk medan  $H$  dari 555 A/m hingga 624 A/m bersifat diamagnetik, sedangkan pada medan  $H$  dari 535 A/m hingga 555 A/m medium bersifat paramagnetik [5].

### Kurva Karakteristik Suseptibilitas Udara Terhadap Suhu

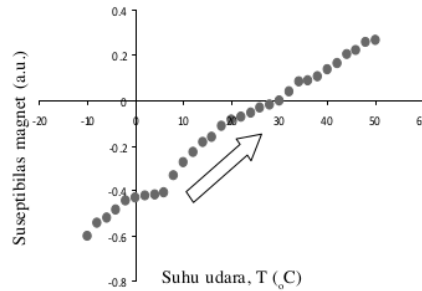
Pada Gambar 4 ditampilkan kurva karakteristik suseptibilitas magnet dari medium udara terhadap perubahan suhu untuk suhu naik dari  $-10\text{ }^\circ\text{C}$  hingga  $50\text{ }^\circ\text{C}$ .

Dari gambar diatas tampak adanya hubungan linier antara  $\chi_m$  dengan  $T$ . Pada nilai  $\chi_m$  negatif yaitu mulai dari suhu udara  $-10\text{ }^\circ\text{C}$  hingga  $30\text{ }^\circ\text{C}$  menunjukkan bahwa udara pada suhu tersebut bersifat diamagnetik. Sedangkan pada suhu  $30\text{ }^\circ\text{C}$  hingga  $50\text{ }^\circ\text{C}$   $\chi_m$  bernilai positif lebih kecil dari 1 yang menunjukkan bahwa udara memiliki sifat paramagnetik.

Pada Gambar 5 ditampilkan kurva karakteristik kerentanan magnet udara terhadap perubahan suhu untuk suhu medium turun dari  $50\text{ }^\circ\text{C}$  hingga  $-10\text{ }^\circ\text{C}$ .



Gambar 3. Kurva karakteristik magnetisasi,  $M$  terhadap medan  $H$

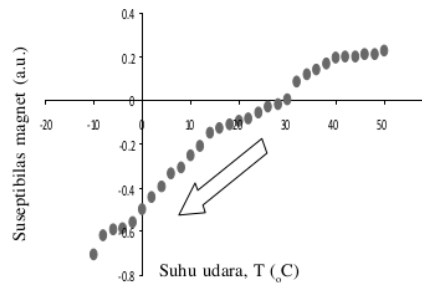


Gambar 4. Kurva karakteristik kerentanan magnet dari udara pada variasi suhu untuk suhu naik dari  $-10\text{ }^\circ\text{C}$  sampai dengan  $50\text{ }^\circ\text{C}$ .

Gambar yang diperoleh mirip dengan Gambar 4 yaitu pada suhu  $-10\text{ }^\circ\text{C}$  hingga  $30\text{ }^\circ\text{C}$  udara bersifat diamagnetik sementara dari suhu  $30\text{ }^\circ\text{C}$  hingga  $50\text{ }^\circ\text{C}$  udara bersifat paramagnetik.

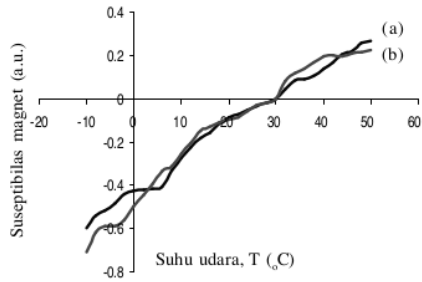
Selanjutnya untuk melihat adanya histeresis pada kurva  $\chi_m-H$  untuk suhu naik dan suhu turun maka pada Gambar 6 ditampilkan kurva gabungan dari Gambar 4 dan Gambar 5.

Dari Gambar 6 tampak bahwa kedua kurva relatif berhimpit sehingga histeresisnya minimum atau dengan kata lain tidak bersifat histeresis. Jadi sifat histeresis pada bahan paramagnetik kecil. Demikian pula pada bahan diamagnetik. Hal ini tidak seperti pada bahan feromagnetik dimana

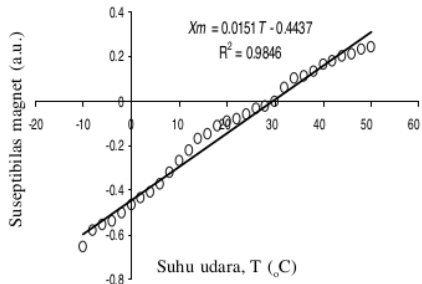


Gambar 5. Kurva karakteristik kerentanan magnet dari udara pada variasi suhu untuk suhu turun dari  $50\text{ }^\circ\text{C}$  sampai dengan  $-10\text{ }^\circ\text{C}$ .

Sensor Suhu untuk Medium Bersuhu Rendah Berbasis Suseptibilitas Magnet (Moh. Toifur)



Gambar 6. Kurva karakteristik suseptibilitas udara terhadap berbagai perubahan suhu : a). suhu naik dan b). suhu turun



Gambar 7. Kurva karakteristik kerentanan magnet terhadap suhu.

perubahan suhu pada bahan tersebut akan menghasilkan histeresis yang cukup besar. Selanjutnya dari kurva naik dan turun pada Gambar 6, untuk memperoleh  $\chi_m$  terbaik maka diambil nilai rata-rata pada berbagai perubahan suhu. Hasilnya ditampilkan pada Gambar 7.

Kurva pada Gambar 7 menunjukkan hubungan linear antara kerentanan magnet terhadap suhu menurut persamaan :

$$\chi_m = 0,015T - 0,44 \dots\dots\dots (6)$$

Jika kurva ini akan dijadikan kurva karakteristik suhu-kerentanan magnet maka Persamaan 6 diungkapkan dalam bentuk :

$$T = 66,67\chi_m + 0,44 \dots\dots\dots (7)$$

**KESIMPULAN**

Dari penelitian dan pembahasan diatas, telah berhasil dibahas pemanfaatan watak suseptibilitas médium untuk mendesain sensor suhu rendah. Untuk médium udara pada jangkau suhu dari -10 °C sampai dengan 50 °C diperoleh hubungan antara suseptibilitas dan suhu menurut persamaan  $T = 66,67\chi_m + 0,44$

**DAFTAR ACUAN**

- [1]. DWIJOSEPUTRO, *Dasar-Dasar Mikrobiologi*, Jakarta, Djambatan (1994)
- [2]. L.J. SUNDERLAND, *et al.*, *Smart Mater. Struct.*, **18** (2009) 095038 (8pp)
- [3]. KITTEL, *Solid State Physics 5<sup>th</sup> Ed.*, Wiley Eastern Limited, New Delhi
- [4]. K.K. TEWARI, *Electricity and Magnetism with Electronic*, S. Chand and Company LTD., Ram Nagar, New Delhi
- [5]. S. CHIKAZUMI and S.H. CHARAP, *Physics of Magnetism*, John Wiley and Sons, Inc., New York (1964)

# SENSOR SUHU UNTUK MEDIUM BERSUHU RENDAH BERBASIS SUSEPTIBILITAS MAGNET

ORIGINALITY REPORT

# 2%

SIMILARITY INDEX

## PRIMARY SOURCES

1	<a href="http://ejournal.radenintan.ac.id">ejournal.radenintan.ac.id</a> Internet	10 words — 1%
2	<a href="http://docplayer.info">docplayer.info</a> Internet	10 words — 1%
3	<a href="http://pt.scribd.com">pt.scribd.com</a> Internet	9 words — < 1%
4	J. Peng, R. Victora. "Micromagnetic recording process simulation", IEEE Transactions on Magnetics, 1987 Crossref	8 words — < 1%

EXCLUDE QUOTES ON

EXCLUDE MATCHES OFF

EXCLUDE BIBLIOGRAPHY ON