

ISSN : 2085-9872

# JURNAL SAINS DASAR

Jurnal Nasional memuat Kajian Teoritik, Review dan hasil Penelitian dari Semua Aspek Sains Dasar (Matematika, Kimia, Fisika, dan Biologi)

$$\frac{\pi r_1^2}{V H^2} \int_0^H$$

$$\frac{\pi r_1^2}{V H^2} \left[ \frac{z^4}{4} - \frac{2z^3}{3} \right]$$

250  
00

Jurnal Sains Dasar

Vol. 2

No. 2 Hal. 1 - 109 Oktober 2013

## Dewan Redaksi

- Pengarah** : Dr. Hartono  
Dr. Suyanta
- Ketua** : Dr. Ariswan  
E-mail: ariswan@uny.ac.id  
Jurdik Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta (UNY)  
Kampus Karangmalang, Sleman, DI Yogyakarta, 55281  
tel./fax. (0274) 548203
- Anggota** : Dr. Cahyorini K  
Dr. Tien Aminatun  
Atmini Dhoruri, M.Si  
Agus Purwanto, M.Sc  
Dr. Hari Sutrisno  
Wipar Sunu Brams Dwandaru, M.Sc, Ph.D  
Prof. Dr. IGP Surya Darma  
Dr. Agus Maman Abadi

## Tata Usaha dan Keuangan:

Galuh Titisari, S.Si  
Mega Yuniati P, S. Kom  
Fajar Dwi Wijayanto, S.E  
Drs. Abdulgani

---

### *Tujuan dan Ruang Lingkup*

Jurnal Sains Dasar (J. Sains Dasar) adalah jurnal nasional yang memuat kajian teoritik, review dan hasil penelitian dari semua aspek sains dasar yang meliputi Matematika, Kimia, Fisika dan Biologi dalam Bahasa Indonesia atau Bahasa Inggris. Jurnal Sains Dasar diterbitkan 2 kali pertahun di bulan April dan Oktober oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Negeri Yogyakarta (UNY).

---

### Alamat Redaksi:

Kantor Jurnal Sains Dasar, FMIPA, Universitas Negeri Yogyakarta (UNY)  
Kampus Karangmalang, Sleman, DI Yogyakarta, 55281 tel./fax. (0274) 548203  
e-mail: ariswan@uny.ac.id

### Penerbit:

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA),  
Universitas Negeri Yogyakarta (UNY)

## DAFTAR ISI

<b>Kajian efek Mpemba pada pendinginan air keran yang awalnya dipanaskan secara infinitesimal</b> (Elisabeth Pratidhina Founda Noviani, Arif Setiawan, dan Wipsar Sunu Brams Dwandaru)	1
<b>Pola adsorpsi pewarna azo oleh biosorben dari kulit pisang</b> (Endang Widjajanti LFX, Marfuatun, dan Dewi Yuanita)	8
<b>Pengaruh pemberian ekstrak herba meniran (<i>phyllanthus niruri</i>, l.) terhadap ukuran dan struktur histologik kelenjar prostat tikus jantan (<i>rattus norvegicus</i>, l.)</b> (Ciptono dan Tri Harjana)	17
<b>A study of frustrated system in 2 dimensional triangular lattice antiferromagnet using the Ising model</b> (Noor Rika Safitri, Aini Rahmatun Umami Fadlilah, Denny Darmawan and Yosi Aprian Sari)	26
<b>Bifurkasi <i>pitchfork</i> pada sistem <i>flutter</i> sayap pesawat terbang</b> (Hartono dan Kus Prihantoso Krisnawan)	31
<b>Finding the optimum curvature strains and elasticity constant <math>K_4</math> for nematic liquid crystals using minimization of the Frank-Oseen free energy density functional</b> (Supardi)	36
<b>Eksistensi dan ketunggalan solusi persamaan panas</b> (Eminugroho Ratna Sari, Dwi Lestari, dan Fitriana Yuli Saptaningtyas)	41
<b>Evaluasi kualitas semen pejantan sapi PO Kebumen di Kabupaten Kebumen Provinsi Jawa Tengah</b> (Lukman Affandhy, Yudi Adinata, dan Aryogi)	49
<b>Versi fuzzy teorema utama homomorfisma grup</b> (Karyati dan Dhoriva Urwatul Wutsqa)	56
✓ <b>Pengaruh jumlah lilitan dan diameter kawat terhadap suseptibilitas magnet udara bersuhu sangat rendah dari 157 K – 253 K</b> (M. Toifur)	65
<b>Pengaruh suhu dan waktu proses terhadap karakter biodiesel hasil sintesa dari minyak biji ketapang</b> (Endang Dwi Siswani, Susila Kristianingrum, Siti Marwati, Arief Noviantara dan Rosa Yuniastuti)	72
<b>Uji aktivitas antioksidan modifikasi senyawa khrisin dengan gugus alkoksi menggunakan metode RM1</b> (Fadhlina Khoirun Nisa, Kasmui dan Harjito)	80

## Pengaruh jumlah lilitan dan diameter kawat terhadap suseptibilitas magnet udara bersuhu sangat rendah dari 157 K – 253 K

(The effect of the number of coil and wire diameter towards very low temperature air magnetic susceptibility from 157 K to 253 K)

M. Toifur

Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta  
Jl. Prof. Soepomo Janturan Umbulharjo Yogyakarta dan e-mail: mtoifur@yahoo.com

### Abstrak

Pada penelitian ini dilakukan optimasi parameter koil sebagai kandidat bahan sensor suhu sangat rendah berbasis suseptibilitas magnet. Diameter koil divariasikan dari 0,1 mm sampai 0,20 mm, jumlah lilitan juga divariasikan dari 3.600 sampai 12.000 untuk memperoleh spesifikasi optimum sebagai sensor suhu berbasis suseptibilitas magnet. Bahan koil terbuat dari tembaga teknis. Sebagai medium digunakan udara yang didinginkan dengan nitrogen cair sehingga mencapai suhu 157K kemudian suhu dinaikkan hingga 253K melalui penguapan. Alat-alat karakterisasi yang digunakan terdiri dari pengukur suhu medium menggunakan termokopel, pengukur tegangan dan pengukur arus menggunakan multimaster serta pengukur medan induksi menggunakan gaussmeter. Kumpulan data suhu dan menggunakan multimaster serta pengukur medan induksi menggunakan gaussmeter. Kumpulan data suhu dan suseptibilitas magnet ( $T_h$ ,  $\chi_m$ ) diplot dalam bentuk grafik. Analisis data dilakukan dengan mengamati kecenderungan grafik sebagai hubungan antara kedua variabel.

Hasil penelitian menunjukkan pada semua tipe koil tidak ditemukan adanya hubungan yang sederhana, jelas dan konsisten antara suseptibilitas magnet terhadap suhu. Dengan keadaan ini disimpulkan bahwa medium bersifat diamagnetik sehingga tidak tepat jika diteliti nilai suseptibilitasnya. Hasil penelitian merekomendasikan untuk melanjutkan ke pengamatan mengenai hubungan antara suhu dengan tahanan sesuai dengan prinsip RTD (*Resistance Temperature Detector*).

Kata kunci: suseptibilitas magnet, nitrogen cair, diameter kawat, jumlah lilitan

### Abstract

Coil parameter optimization is done in this research as a candidate for very low temperature sensor material based on magnetic susceptibility. The coil diameter is varied from 0.1 mm to 0.2 mm. The number of coil is also varied from 3600 to 12000 to obtain the optimum specification for magnetic susceptibility based temperature sensor. The coil material is made from technical cooper. The medium used is air which is cooled using liquid nitrogen such that it reaches a temperature of 157 K, and then the temperature is increased to 253 K through evaporation. Characterization devices used consists of medium temperature measurement using a thermocouple, voltage and current measurement using a multimeter, and induction field measurement using a gaussmeter. The temperature and magnetic susceptibility ( $T_h$ ,  $\chi_m$ ) data gathered are plotted in a form of a graph. Data analysis is done by observing the trending of the graph as a relation between the two variables.

The results show that all coil type do not have a simple, clear, and consistent connection between the temperature and magnetic susceptibility. With this condition, it is concluded that the medium is diamagnetic such that it is not completely correct to investigate its susceptibility value. It is recommended to continue the research to

by observing the connection between the temperature and resistivity in accordance with the resistance temperature detector principle.

Key words: magnetic susceptibility, liquid nitrogen, wire diameter, number of coil

## Pendahuluan

Pada penelitian tahap pertama yaitu penelitian mengenai pengaruh diameter kawat serta jumlah lilitan terhadap kualitas sensor udara bersuhu rendah  $-2^{\circ}\text{C}$  sampai  $60^{\circ}\text{C}$  berbasis suseptibilitas magnet telah berhasil dilakukan. Pada penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa solenoida berbahan kawat tembaga berdiameter 0,15 mm dan jumlah lilitan 12.000 lilitan paling sesuai untuk sensor udara bersuhu rendah disekitar antara  $-1^{\circ}\text{C}$  sampai  $60^{\circ}\text{C}$ . Persamaan yang menyatakan hubungan antara suhu ( $x$ ) dan suseptibilitas magnet ( $y$ ) adalah  $y = -0.0028x + 0.1505$  [1]. Sensor ini telah memperlihatkan watak yang baik yaitu: memenuhi watak linearitas dengan indeks determinasi sebesar 98%. Selain itu diperoleh kejelasan bahwa suhu merupakan penyebab perubahan suseptibilitas udara. Kelebihan lainnya adalah sensor ini waktu tanggap pendek (hampir *real time*), memiliki resolusi yang cukup besar 1090,9 gauss/ $^{\circ}\text{C}$ , dapat bekerja secara akurat pada range suhu di atas, stabil dalam rentang waktu yang cukup lama sehingga pengukuran dapat dilaksanakan secara *repeatable*, tidak ada atau sangat minim gejala histerisis. Ini telah sesuai dengan kualifikasi sensor yang baik sebagaimana diungkapkan oleh [2]. Diduga sampel-sampel tersebut juga menampakkan hubungan yang konsisten antara  $T$  dan  $\chi_m$  pada suhu sangat rendah sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh [3] yang meneliti watak paramagnetik batuan dengan metode anisotropi suseptibilitas magnet pada suhu sangat rendah. Suhu yang dipasang mulai 50K–300K.

Sampel yang sama dengan yang digunakan pada eksperimen sebelumnya digunakan pada suhu sangat rendah antara 157K sampai 253K. Penelitian ini merupakan sebagian dari upaya menemukan sensor suhu sangat

rendah yang baru yang sesuai untuk memantau suhu semen sapi yang tersimpan dalam nitrogen cair. Telah disadari bahwa memantau secara terus menerus suhu semen sapi sangat penting agar kenaikan suhu dapat diketahui sejak dini. Jika suhu tidak terpantau maka suhu semen di dalam termos akan naik sehingga menyebabkan sperma pada semen mati [4]. Kegiatan penelitian lainnya adalah pembuatan interface yang sesuai dan pembuatan rangkaian mikrokontroler dan terakhir adalah pengemasan perangkat sensor.

Sebagai informasi awal bahwa nitrogen tidak bersifat magnetik dan uap nitrogen tidak akan bereaksi secara kimia dengan udara. Nitrogen cair dapat mempengaruhi suhu udara di dalam solenoida sehingga menjadi sangat rendah tanpa harus terjadi reaksi antara udara dengan uap nitrogen. Dengan demikian maka suseptibilitas magnet murni disumbang oleh udara bersuhu sangat rendah.

Pada penelitian lanjutan ini akan dibuat solenoida dengan variasi diameter kawat mulai dari 0,1 sampai 2,0 mm dan jumlah lilitan mulai 3.000 sampai 12.000. Solenoida dipaparkan diatas nitrogen cair yang menghasilkan suhu bervariasi dari 157K sampai 253K. Suhu yang sangat rendah diperkirakan akan mempengaruhi nilai suseptibilitas medium (sebagai parameter sifat magnet) sebagaimana dikemukakan oleh [5,6]. Dengan menaikkan suhu uap sangat rendah maka dapat dipantau perubahan sifat magnetnya. Selanjutnya ditentukan pola hubungan antara suhu dengan suseptibilitas magnet.

## Metode Penelitian

### Alat dan Bahan

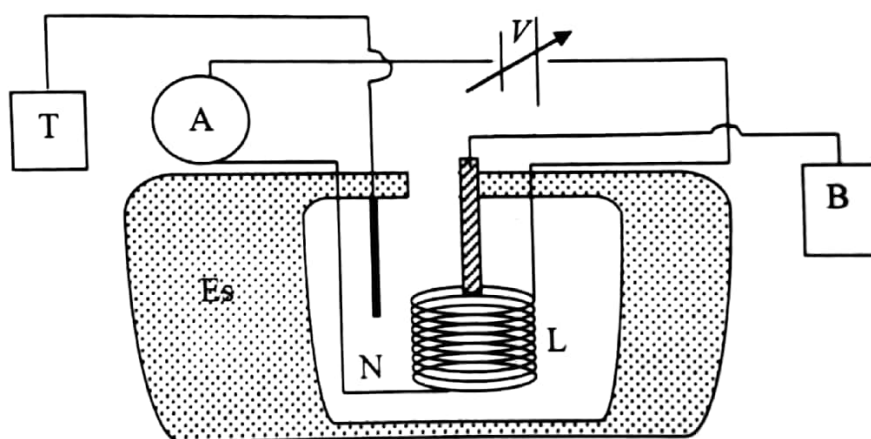
Peralatan yang dibutuhkan meliputi:

- a. Adaptor merk Super Anzon model SS500. Adaptor ini akan digunakan sebagai pemasok arus listrik pada koil yang besarnya dapat divariasikan mulai 1,5 - 12 volt.
- b. Kumputan, dipilih dari bahan tembaga dengan panjang lilitan 0,035 m sehingga menghasilkan jumlah lilitan 12.000.
- c. Gaussmeter, alat ini digunakan untuk mengukur intensitas medan magnet. Gaussmeter yang digunakan adalah merk Hirst tipe GM 04.
- d. Multimeter, difungsikan sebagai amperemeter untuk mengukur arus yang mengalir pada rangkaian. Multimeter digital merk Sunwa tipe YX-830 B dengan batas ukur arus maksimal 10 ampere.
- e. Termokopel tersambung multimeter digital untuk mengukur suhu medium didalam kumputan. Dalam eksperimen ini

digunakan termometer digital karena lebih sederhana dan memudahkan dalam pembacaan skala. Seri Termometer digital adalah Winner M-890 C.

- f. Nitrogen cair 0,1 liter digunakan sebagai pendingin udara disekitar kumputan.
- g. Kabel penghubung. Kabel penghubung terbuat dari kawat tembaga yang terbungkus lapisan karet, yang digunakan sebagai penghubung antar alat ukur
- h. Gelas Kimia Merk Iwaki TE-32 Pyrex digunakan untuk menampung suhu udara bersuhudisekitar kumputan agar tidak mudah terlepas oleh udara bersuhuluar.
- i. Heater digunakan untuk memanasi suhu udara bersuhudisekitar kumputan.

Skema desain eksperimen sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Skema rangkaian pada penentuan hubungan antara suseptibilitas magnet  $\chi_m$  terhadap suhu  $T$ . Pada gambar A amperemeter, T termometer, dan B gaussmeter, L lilitan, N uap nitrogen.

### Prosedur Penelitian

Tahapan kegiatan eksperimen dilaksanakan dengan mengikuti diagram alur sebagaimana ditampilkan pada gambar 3. Adapun aktivitas teknis eksperimen dan pengambilan data untuk setiap tahapan dilakukan sebagai berikut:

- a. Merangkai peralatan sebagaimana skema gambar 1 dengan memasang solenoida

dengan diameter kawat 0,10 mm, jumlah lilitan 3.600.

- b. Menuangkan nitrogen cair kedalam beker gelas 0,1 liter
- c. Mengukur arus dengan amperemeter, tegangan dengan voltmeter, suhu dengan termometer digital, dan induksi magnet dengan gaussmeter.



- d. Menjalankan heater mulai suhu  $-198^{\circ}\text{C}$  sampai suhu  $10^{\circ}\text{C}$  dan mengulangi langkah 3.
- e. Mengulangi langkah 1 sampai 4 untuk solenoida jumlah lilitan 6.000, dan 12.000.
- f. Mengulangi langkah 1 sampai 5 untuk solenoida dengan diameter 0,15 mm, 0,20 mm, dan jumlah lilitan masing-masing 3.600, 6.000, dan 12.000.

### Metode Analisis Data

Dari persamaan medan magnet

$$H = niL,$$

dengan  $n$  jumlah lilitan,  $i$  arus listrik dan  $L$  panjang solenoid, maka dengan memvariasikan suhu medium  $T$  di dalam solenoid akan diperoleh induksi magnet  $B$  yang bersesuaian dengan suhu ini karena suseptibilitas  $\chi_m = \chi_m(T)$ . Selanjutnya dari hubungan,

$$B = \mu H = \mu_0(1 + \chi_m)H$$

maka diperoleh  $\chi_m$  yang besarnya sama dengan:

$$\chi_m(T) = \frac{B}{\mu_0 H} - 1.$$

dengan  $\chi_m$  = suseptibilitas magnet,  $B$  = induksi medan magnet,  $H$  = medan magnet, dan  $\mu_0$  = permeabilitas ruang hampa. Selanjutnya diplot kurva  $\chi_m$  pada berbagai  $T$ . Dari kurva ini jika diberlakukan untuk berbagai sampel solenoida maka dapat diketahui mana kurva yang bersifat diamagnetik, mana yang paramagnetik, bagian mana yang membentuk kurva yang baik yang memenuhi syarat sebagai sensor, bagian mana yang tidak.

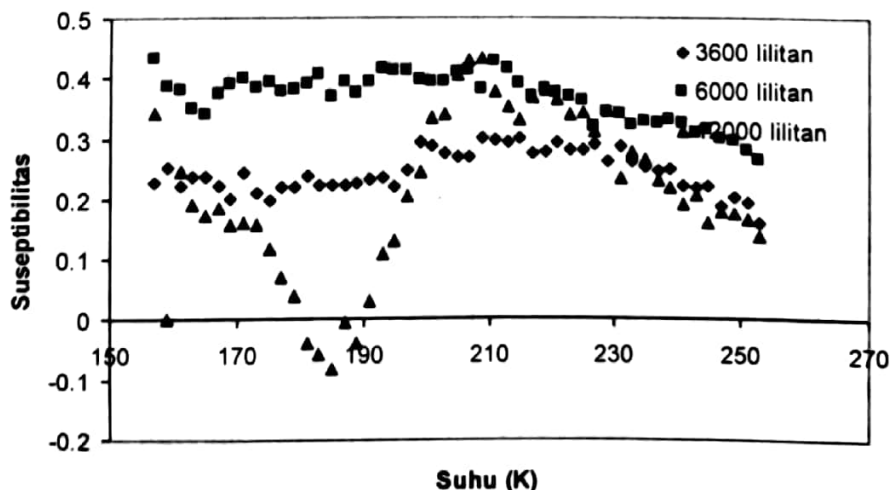
### Hasil dan Diskusi

(1)

Hubungan perubahan suhu terhadap suseptibilitas magnet ( $\chi_m$ ) udara bersuhu sangat rendah di dalam solenoida pada berbagai diameter kawat

- a. Untuk kawat solenoida berdiameter 0,10 mm

Pengaruh suhu terhadap besarnya suseptibilitas magnet udara bersuhu sangat rendah dalam solenoida diameter kawat 0,10 mm dapat dilihat pada Gambar 4.



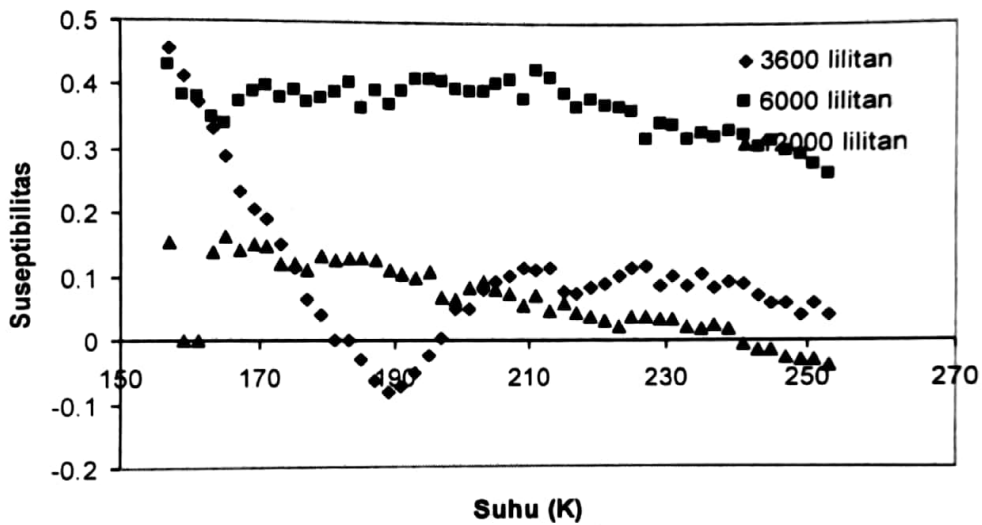
**Gambar 2.** Grafik hubungan Suhu terhadap Suseptibilitas magnet udara bersuhu sangat rendah pada Solenoida diameter 0,10 mm.

Dari Gb. 2 tampak antara suseptibilitas dengan suhu medium sulit dicari hubungannya. Dari gambar yang dapat diperoleh adalah informasi mengenai fase medium, yaitu untuk solenoida 3600 dan 6.000 lilitan berada pada fase paramagnetik sementara untuk medium yang berada pada solenoida 12.000 lilitan sebagian berada pada fase diamagnetik yaitu antara suhu 180K sampai 190K. Penentuan persamaan hubungan antara  $\chi_m$  dan  $T$  menjadi kurang

bermakna suhu medium tidak mempengaruhi suseptibilitas.

b. Untuk kawat solenoida berdiameter 0,15 mm

Pengaruh suhu terhadap besarnya suseptibilitas magnet udara bersuhusangat rendah dalam solenoida diameter kawat 0,15 mm dapat dilihat pada Gb. 3.



Gambar 3. Grafik hubungan suhu terhadap suseptibilitas magnet udara bersuhusangat rendah pada solenoida diameter 0,15 mm

Tabel 1. Persamaan garis lurus hubungan suseptibilitas magnet terhadap suhu pada solenoida dengan diameter 0,15 mm berbagai jumlah lilitan

No	Jumlah lilitan (N)	Persamaan	R <sup>2</sup>
1	3.600	$y = -0,0018x + 0,4673$	0,19
2	6.000	$y = -0,001x + 0,5617$	0,47
3	12.000	$y = -0,002x + 0,4914$	0,96

Sebagaimana pada Gb. 2, Gb. 3 mulai menampakkan hubungan antara  $\chi_m$  dengan  $T$ . Hampir seluruh medium berada pada fase paramagnetik kecuali untuk medium udara bersuhudi dalam solenoida 3.600 lilitan, pada suhu sekitar 180K sampai 200K berada pada fase diamagnetik. Untuk medium di dalam solenoida

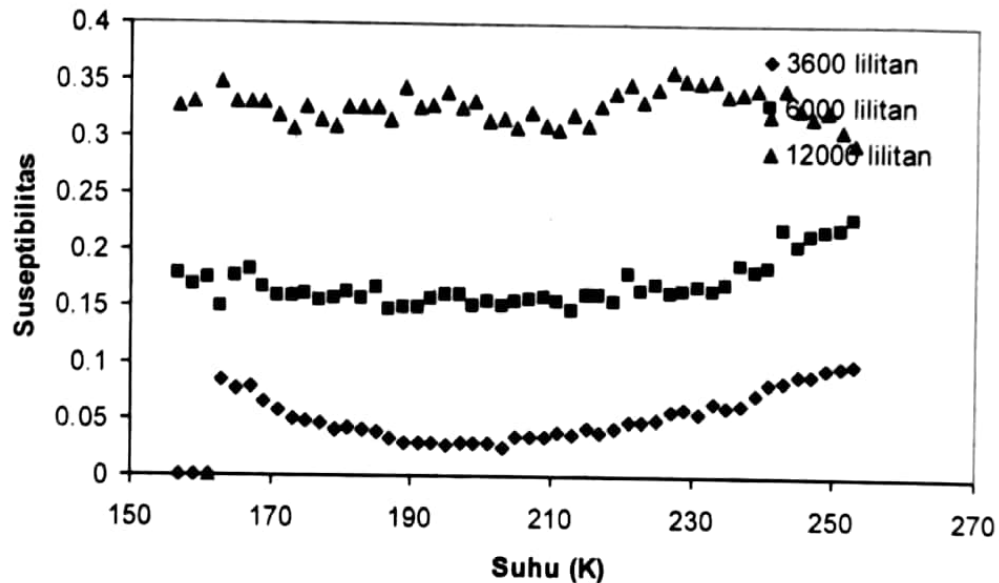
6.000 lilitan dan 12.000 lilitan menampakkan hubungan yang agak linier antara suhu dan suseptibilitas medium. Persamaan kurva hasil fitting data ( $T_i, \chi_{mi}$ ) diperlihatkan pada Tabel 1.

Untuk medium di dalam solenoida 3.600 lilitan dan 6.000 lilitan hubungan antara suhu dan suseptibilitas yang cenderung jelek yaitu R<sup>2</sup>



kurang dari 0,50 sehingga antara suhu dan suseptibilitas tidak menampilkan hubungan kesebandingan. Untuk medium didalam solenoida 12.000 lilitan memiliki indek determinasi sekitar 0,96, sehingga medium ini menghasilkan hubungan yang linier antara suhu dan suseptibilitas magnet.

c. Untuk kawat solenoida berdiameter 0,20 mm Pengaruh suhu terhadap magnet suseptibilitas udara bersuhusangat rendah di dalam solenoida berdiameter kawat 0,20 mm dengan jumlah lilitan bervariasi dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Kurva hubungan suhu terhadap suseptibilitas magnet udara bersuhusangat rendah pada solenoida diameter 0,20 mm

Dari Gambar 4 tampak antara suseptibilitas magnet dengan suhu untuk jumlah lilitan 3.600 dan 6.000 menampilkan hubungan yang konsisten yaitu kuadratik. Pembahasan secara umum memperoleh hubungan suseptibilitas magnet udara bersuhuterhadap suhu untuk suhu-suhu yang sangat rendah (sangat rendah) sangat sulit. Memang menurut [7] pada suhu rendah dibawah  $0^{\circ}\text{C}$  udara bersuhubersifat diamagnetik. Hal ini disebabkan oleh ikatan atom hidrogen mendominasi pada bahan sedangkan hidrogen merupakan bahan diamagnetik. Jika suhu dinaikkan diatas  $0^{\circ}\text{C}$  maka ikatan atom hidrogen menjadi terpecah sehingga sifat magnetik bahan didominasi oleh oksigen. Maka udara bersuhubersifat paramagnetik. Dengan adanya informasi ini pada suhu sangat rendah memang tidak bisa memperoleh kaitan antara suseptibilitas magnet udara bersuhudengan suhu. Oleh karena

itu peneliti kemudian beralih untuk meneliti pengaruh suhu terhadap arus listrik yang mengalir pada kumparan. Dugaan mengenai adanya hubungan arus listrik terhadap suhu ini semakin menguat setelah peran magnetik medium di dalam kumparan menjadi tidak ada. Selain itu nitrogen telah diketahui memiliki sifat tidak bereaksi dengan medium, termasuk medium didalam solenoida. Dengan demikian murni medium udara bersuhudi dalam solenoida tidak bersifat magnet.

Dengan membandingkan hasil analisis data hubungan suhu terhadap suseptibilitas magnet udara bersuhusangat rendah maka antara kedua variabel tersebut tidak ditemukan hubungan yang konsisten. Dengan demikian maka usaha untuk mengeksplorasi sensor suhu udara bersuhu sangat rendah berbasis suseptibilitas magnet

tidak ditemukan. Namun dari pengalaman penelitian ini diperoleh rekomendasi yaitu melanjutkan penelitian pada penentuan hubungan antara suhu udara bersuhu sangat rendah dengan tahanan listrik. Teori mengenai hal ini sudah cukup dikenal di kalangan peneliti yaitu RTD (*Resistance Temperature Detector*) [7] karena naik turunnya suhu akan berpengaruh pada kondisi internal susunan atom-atom bahan sehingga akan mempengaruhi pada aliran arus listrik pada bahan tersebut.

### Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan ada beberapa hal penting yang dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Telah berhasil didesain eksperimen untuk menentukan hubungan antara suseptibilitas magnet dengan suhu pada medium sangat rendah.
2. Pada suhu udara bersuhu sangat rendah, nilai suseptibilitas tidak dipengaruhi banyaknya lilitan serta variasi diameter kawat lilitan karena medium di dalam solenoida berfasa diamagnetik.

### Rekomendasi

Penelitian ini perlu dilanjutkan penelitian pada penentuan hubungan antara suhu udara bersuhu sangat rendah dengan tahanan listrik.

### Ucapan Terimakasih

Saya mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Halleyna Widyasari dan Nova Amalia Latief yang telah membantu pada proses pengambilan data sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.

### Pustaka

- [1] M. Toifur, Optimization of Coil Parameters As a Candidate of Temperature Sensor Device Based on Magnetic Susceptibility, Paper of the International Seminar on Magnetic Materials, 2013, Batam Indonesia, 24-25 October 2013.
- [2] R. Yang, Pengertian Sensor, <http://gubukimulgratis.blogspot.com/2009-12/pengertian-sensor.html>, 2009, diakses pada tanggal 10 Desember 2012.
- [3] J. M. Pare's dan Ben A. Van der Pluijm, *Geophysical Research Letters*, 29 (24) (2002).
- [4] P. Shanon dan B. Curson, *NZJ. Agric. Res.*, 27 (1984) pp. 173-177.
- [5] C. Richter dan Ben A. Van der Pluijm, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 82, (1994), pp. 113-123.
- [6] J. A. Acero, J. Alonso, C. R. Sagues, and D. Paesa, *Sensor Journal, IEEE*, 12, 5, (2012) pp. 996 - 1003.
- [7] M. J. Madsen, *American Journal of Physics*, Volume 77, No. 6 (2009).