

B30

by Rahadi Wirawan

Submission date: 25-Mar-2022 07:55PM (UTC+0700)

Submission ID: 1792672748

File name: Lamp._B30.PDF (644.84K)

Word count: 4772

Character count: 29920

Sensor, Teknologi dan Aplikasinya

Mitra Djamal*, Edi Sanjaya, Rahadi Wirawan, Ambran Hartono

Abstrak

Kemajuan teknologi memungkinkan pengembangan instrumen yang murah, berkualitas dan handal. Dalam pengembangannya harus dipilih kombinasi yang tepat antara struktur, teknologi, dan sistem pengolah sinyal yang digunakan. Dalam tulisan ini akan dipaparkan teknologi dan aplikasi sensor-sensor yang telah kami kembangkan, antara lain berbasis elemen koil datar, elemen fluxgate dan material GMR. Aplikasi sensor berbasis koil datar, fluxgate dan GMR sangat menjanjikan untuk dikembangkan lebih lanjut.

Kata-kata kunci: sensor, sensor magnetik, elemen koil datar, elemen fluxgate, magnetoresistance, GMR.

Pendahuluan

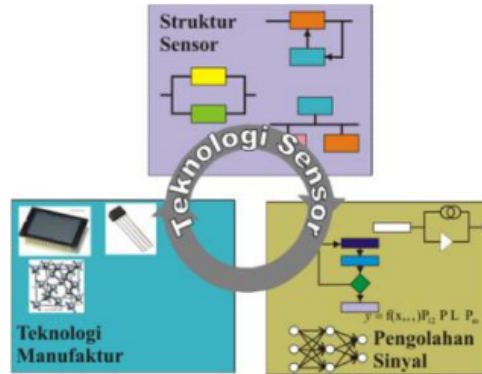
Pengembangan instrumen secara terus-menerus baik dari sisi kualitas, harga maupun keandalannya menjadi keharusan dalam menghadapi kemajuan teknologi dan persaingan global [1]. Kebutuhan sensor dan sistem sensor tidak hanya pada bidang industri, tapi juga merambah pada bidang lain, seperti; bidang otomotif, teknologi pengolahan, bangunan, medis, komunikasi, teknologi informasi dan bidang lainnya. Para peneliti di lembaga riset maupun perguruan tinggi berlomba-lomba untuk mengembangkan sensor dan sistem sensor baru dengan prinsip dan metoda yang berbeda-beda untuk memenuhi kebutuhan akan otomatisasi, keamanan dan kenyamanan. Saat ini teknologi sensor telah memasuki bidang aplikasi baru dan pasar yang semakin meluas seperti otomotif [2] dan rumah cerdas (*smart home*) [3]. Pada waktu yang bersamaan sensor atau sistem sensor juga dituntut untuk dapat mengatasi fenomena alam, seperti; peringatan dini gempa bumi, tsunami, pemanasan global dan gunung berapi.

Besaran-besaran yang selama ini sulit diukur menjadi tantangan utama bagi para peneliti dalam mengembangkan sensor dan sistem sensor. Tantangan lain adalah meningkatkan nilai informasi sensor dengan menggunakan metoda-metoda pengukuran yang sudah dikenal [4]. Oleh karena itu dalam pengembangan sensor dan sistem sensor perlu dipilih prinsip-prinsip pengukuran yang cocok, pengukuran-pengukuran khusus perlu dikembangkan untuk meningkatkan kemampuan sensor [5]. Oleh karena itu untuk mendapatkan kemampuan sensor atau sistem sensor yang optimal perlu dipilih kombinasi yang tepat antara teknologi dengan sistem pengolah sinyal yang digunakan.

Dalam paper ini akan dipaparkan tentang tiga topik riset kami yang telah dikembangkan dan masih berjalan sampai saat ini, yakni sensor berbasis koil datar, sensor berbasis fluxgate, dan pengembangan material sensor berbasis bahan *Giant Magnetoresistance* (GMR).

Teknologi Sensor

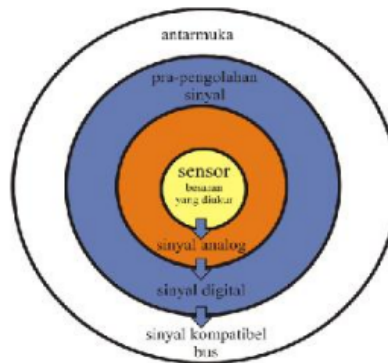
Secara umum sensor didefinisikan sebagai piranti yang mengubah besaran-besaran fisis (seperti magnetik, radiasi, mekanik, dan termal) atau kimia menjadi besaran listrik [6]. Kualitas suatu sensor atau sistem sensor dipengaruhi tiga komponen utama pembentuknya, yaitu; struktur sensor, teknologi manufaktur dan algoritma pengolah sinyalnya[1].



Gambar 1. Tiga komponen utama pembentuk teknologi sensor [1].

Struktur Sensor

1 Elemen sensor merupakan bagian inti suatu sistem sensor. Bagian inti mengubah besaran fisika atau kimia yang diukur menjadi sinyal analog elektronik. Sinyal analog ini oleh unit pra pengolahan sinyal diubah menjadi sinyal digital, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur dasar suatu sistem sensor [1].

Dengan semakin murahnya harga piranti pengubah sinyal analog ke digital maka sistem pengolah sinyal juga semakin bergeser dari sistem level tinggi ke level sensor. Keberadaan fasilitas pengolahan sinyal digital pada sensor berpengaruh pada peningkatan kemampuan sensor. Dalam mengintegrasikan sistem sensor dengan sistem level yang lebih tinggi diperlukan suatu sistem antarmuka, yaitu bus sensor.

Dalam perkembangannya, sistem sensor dilengkapi dengan sistem tes mandiri (*self test*) dan sistem kalibrasi mandiri (*self calibration*) yang terintegrasi dalam proses

desain. Desain sensor semacam ini memberikan banyak keuntungan, antara lain peningkatan kehandalan dan mereduksi biaya instalasi dan biaya pemeliharaan.

Teknologi Manufaktur Sensor

Perkembangan teknologi sensor yang pesat dimungkinkan dengan adanya teknologi mikro. Teknologi ini menjanjikan biaya produksi yang lebih murah, ukuran yang lebih kecil, konsumsi daya yang lebih rendah, dan kehandalan yang lebih tinggi dibandingkan dengan teknologi sebelumnya.

Teknologi mikro yang banyak dikembangkan adalah *silicon micromachining* [7,8]. Hal ini dikarenakan bahan silikon mempunyai sifat-sifat yang baik, seperti; bebas dari kesalahan histeresis dan memiliki sifat mekanik yang baik.

Pengolahan Sinyal

Selama proses fabrikasi sebuah sensor terjadi fluktuasi beberapa parameter, seperti; temperatur, tekanan, dan kelembaban. Efek penuaan dan faktor parameter-parameter tersebut dapat mempengaruhi karakteristik sensor, seperti perubahan sensitivitas atau pergeseran titik nol.

Pengolahan sinyal sensor ditujukan untuk mengatasi efek-efek pengaruh (*influence factors*), sehingga didapat nilai yang terbaik dari hasil pengukuran, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Dengan teknik pengolahan sinyal yang sesuai maka karakteristik sistem sensor dan ketelitiannya dapat ditingkatkan secara signifikan.



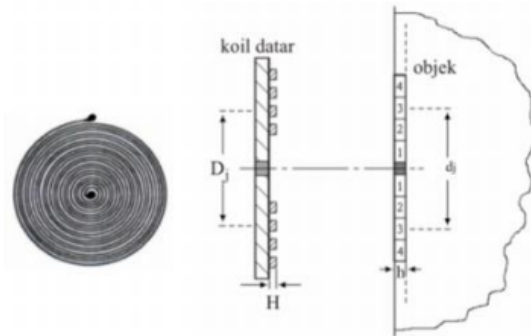
Gambar 3. Pengolahan sinyal sensor [1].

Pengembangan Sensor Koil Datar, Fluxgate, GMR dan Aplikasinya

A. Sensor Berbasis Koil Datar

Prinsip Kerja

Prinsip fisis sebuah sensor koil datar adalah berdasarkan arus eddy [9]. Jika pada koil datar dialiri arus ac dan di depannya diletakkan suatu bahan konduktor, maka pada bahan konduktor akan terjadi arus eddy, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Arus eddy ini akan menghasilkan induksi magnetik. Induktansi total antara koil datar dengan bahan konduktor merupakan fungsi dari jarak antara ke duanya [10, 11, 12].



Gambar 4. Sensor koil datar: (a) elemen koil datar dan (b) elemen koil datar di depan suatu bahan konduktor.

Elemen sensor digunakan sebagai bagian dari osilator LC. Frekuensi resonansi osilator adalah fungsi dari jarak. Dengan menggunakan rangkaian PLL (*Phase Locked Loop*) maka dilakukan perubahan dari frekuensi resonansi menjadi tegangan.

Teknologi Pembuatan Elemen Koil Datar

Elemen koil datar yang digunakan terbuat dari epoxy tipis dan perak campuran. Perak campuran ini dibentuk seperti spiral dengan jumlah lilitan diameter tertentu. Kedua parameter tersebut berkaitan erat terhadap sensitivitas koil datar yang dihasilkan. Elemen koil datar yang telah dibuat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



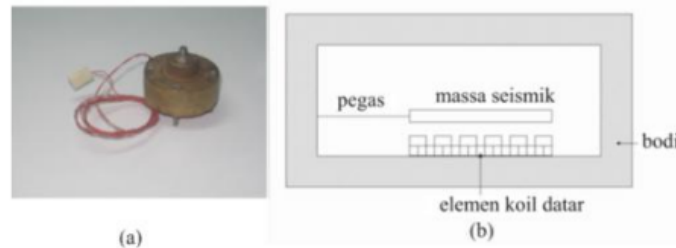
Gambar 5. Elemen koil datar.

Aplikasi Sensor Berbasis Koil Datar

Sensor Getaran

Sensor getaran ini terdiri dari elemen koil datar, massa seismik, pegas dan kerangka. Massa seismik yang digunakan terbuat dari bahan CuBe. Bahan ini memiliki kelentingan yang baik. Sistem sensor getaran ditunjukkan pada Gambar 6.

Karakteristik sensor dilakukan dengan menempelkan sensor pada objek yang akan diukur. Getaran objek akan menggetarkan kerangka sensor dan selanjutnya akan menggetarkan massa seismik. Elemen koil datar yang diletakkan di depan massa seismik, berfungsi untuk mengukur posisi massa seismik setiap saat. Dengan mengetahui posisi massa seismik setiap saat maka dapat ditentukan frekuensi dan amplitudo getaran yang diukur.



Gambar 6. Sensor getaran yang dikembangkan: (a) prototip sensor dan (b) diagram blok sensor.

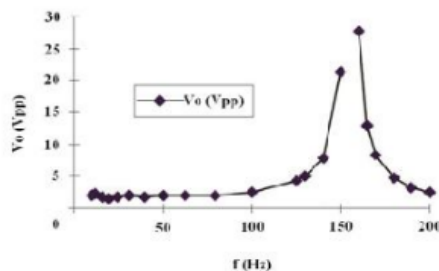
Hubungan antara massa seismik, tetapan pegas, frekuensi dan amplitudo getaran dapat ditentukan dengan model getaran harmonik sederhana. Dari hukum Hooke diperoleh hubungan:

$$ma = -ky \quad (1)$$

dengan m , a , k , y berturut-turut adalah massa seismik, percepatan, tetapan pegas dan perpindahan pegas. Frekuensi resonansi dari massa seismik adalah :

$$f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2)$$

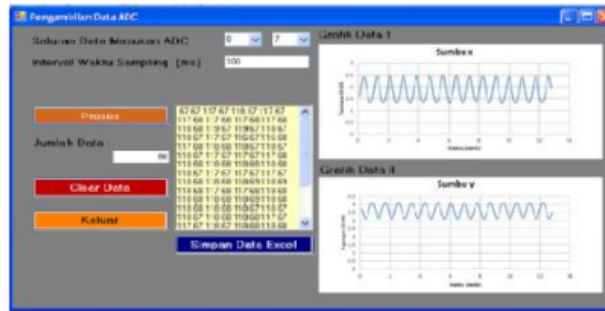
Dengan memilih nilai k dan m yang tepat dari bahan sensor, dapat ditentukan f_o yang sesuai dengan frekuensi kerja sensor. Gambar 7 menunjukkan karakteristik dari sistem pegas sensor getaran yang dikembangkan pada percepatan 0,2 g. Tegangan keluaran diukur sebagai fungsi dari frekuensi. Frekuensi resonansi sistem pegas dicapai pada frekuensi 155 Hz.



Gambar 7. Karakteristik sistem pegas sensor getaran yang dikembangkan.

Sensor Getaran Frekuensi Rendah 2D

Pada pengukuran frekuensi getaran dalam dua dimensi, karakteristik dinamis sensor dilakukan dengan cara menggetarkan sistem sensor membentuk arah getaran dari 0^0 sampai dengan 180^0 . Sensor getaran mendeteksi getaran dalam arah sumbu x dan sumbu y secara bersamaan. Tampilan hasil perekaman data tegangan keluaran sensor getaran frekuensi rendah 2D ditunjukkan pada Gambar 8.

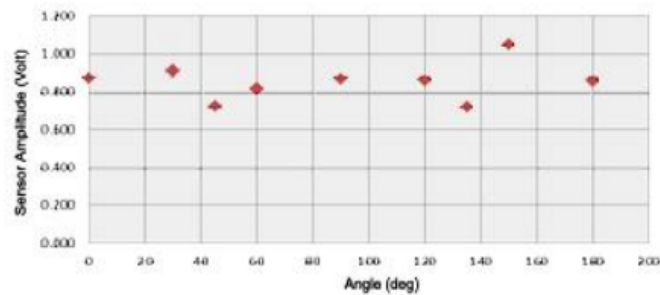


Gambar 8. Tampilan perekaman data untuk karakteristik dinamik 2D getaran frekuensi rendah pada sudut of 60° [13].

Resultan amplitudo getaran untuk sistem koordinat kartesian dalam arah x dan arah y dapat ditentukan dengan persamaan (3):

$$R = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (3)$$

dimana diperoleh nilai resultan amplitudo yang cenderung konstan. Gambar 9 menunjukkan hubungan antara amplitudo sensor terhadap perubahan sudut getar.



Gambar 9. Respon amplitudo sensor dua dimensi terhadap arah perubahan sudut getaran [13].

Pada Gambar 9 tampak bahwa resultan amplitudo sensor relatif konstan meskipun arah getaran berubah dari $(0 - 180^{\circ})$. Hal ini menunjukkan pengaruh sudut arah getaran akan merubah komponen nilai amplitudo arah x dan y, tetapi nilai resultan amplitudo getaran akan cenderung konstan.

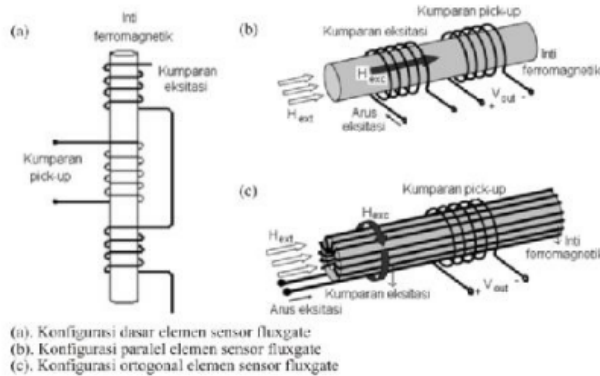
Pengembangan sensor elemen coil datar yang saat ini kami lakukan adalah untuk aplikasi sensor tekanan udara dimana sensor coil datar dilengkapi dengan sistem pengolahan sinyal dan rangkaian antarmuka (*interface*) untuk sistem kalibrasi dan akuisisi data.

B. Sensor Berbasis Fluxgate

Prinsip Kerja

Sensor fluxgate adalah sensor magnetik yang bekerja berdasarkan perubahan flux magnetik disekitar elemen sensor [14]. Elemen sensor fluxgate terdiri dari kumparan

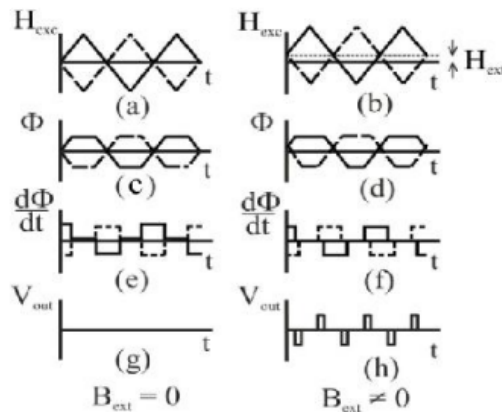
primer (*excitation coil*), kumparan sekunder (*pick-up coil*) dan inti ferromagnetik (*core*), seperti ditunjukkan Gambar (10a).



Gambar 10. Konfigurasi dasar kumparan elemen sensor fluxgate [15].

Berdasarkan arah medan eksitasi yang dihasilkan kumparan eksitasi, elemen sensor fluxgate terdiri dari dua jenis, yaitu: sensor fluxgate orthogonal dengan arah medan eksitasi tegak lurus arah medan eksternal yang diukur, dan sensor fluxgate paralel dengan arah medan eksitasi sejajar dengan arah medan eksternal yang diukur, seperti ditunjukkan Gambar (10b) dan (10c).

Pada metoda fluxgate, pengukuran kuat medan magnet didasarkan pada hubungan antara kuat medan magnet H yang diberikan dengan fluks medan magnet induksi B . Jika B yang dihasilkan berasal dari masukan H berupa gelombang pulsa bolak-balik, maka dalam keadaan saturasi pada keluaran B akan timbul gelombang harmonik genap, gelombang harmonik ke dua, yang besarnya sebanding dengan medan magnet luar yang mempengaruhi inti dan arahnya sebanding dengan arah medan magnet luar. Prinsip pengukuran ini ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Prinsip kerja sensor fluxgate [16].

Prinsip kerja sensor fluxgate ketika mengukur perubahan medan magnet luar ditunjukkan pada Gambar 11. Pada Gambar 11. (a) Medan eksitasi tanpa medan magnet luar $B_{ext}=0$; (b) Medan eksitasi dengan medan magnet luar $B_{ext} \neq 0$; (c) kurva magnetisasi dalam keadaan saturasi pada $B_{ext}=0$; (d) kurva magnetisasi dalam keadaan saturasi pada $B_{ext} \neq 0$; (e) perubahan fluks terhadap waktu pada $B_{ext}=0$; (f)

perubahan fluks terhadap waktu pada $B_{ext} \neq 0$; g) tegangan keluaran sensor pada $B_{ext} = 0$; h) tegangan keluaran sensor pada $B_{ext} \neq 0$.

Teknologi Pembuatan Elemen Fluxgate Teknologi Konvensional

Teknologi konvensional adalah teknologi manual dimana kawat yang menjadi kumparan eksitasi (*excitation core*) dan kumparan sekunder (*pick-up coil*) dililitkan secara manual. Inti ferromagnetik menggunakan material buatan industri seperti *Vitrovac* dan *Metglas*.

Teknologi PCBs

Teknik PCBs memiliki tiga tahapan proses, yaitu: (1) desain teknik, (2) desain fisik PCBs, (3) pencetakan ke PCBs. Semua tahapan proses mempunyai keterkaitan yang sangat erat dan tidak dapat dipisahkan. Pembuatan elemen sensor fluxgate dengan teknik PCBs yang sangat menentukan adalah: *footprint* dan *track* (jalur).

Teknologi Mikro (Microfabrication)

Kawat sebagai bahan kumparan eksitasi dan pick-up serta inti ferromagnetik sebagai inti dibuat dengan menggunakan berbagai proses teknologi mikro. Adapun yang termasuk teknologi mikro antara lain: *electroplated/electroplating*, *chemical etching*, *flex-foil*, *photolithography*, *photoresist* dan evaporasi.

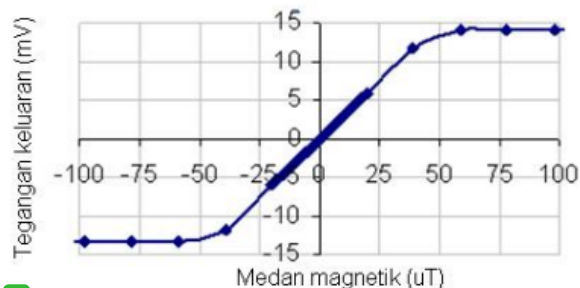
Teknologi Hybrid

Kombinasi dari teknologi di atas disebut *hybrid technology* (Dezuari, dkk., 1999). Teknologi ini mengkombinasikan proses pembuatan elemen sensor diantara teknologi di atas.

5

Aplikasi Sensor Berbasis Fluxgate Sensor Medan Magnet Lemah DC

Karakteristik keluaran sensor magnetik ditunjukkan pada Gambar 12. Tampak pada Gambar 12 daerah linier terdapat pada daerah medan magnet antara $-40 \mu\text{T}$ hingga $40 \mu\text{T}$. Pada daerah ini terdapat hubungan linier antara tegangan keluaran sensor dengan kuat medan magnet yang diukur.



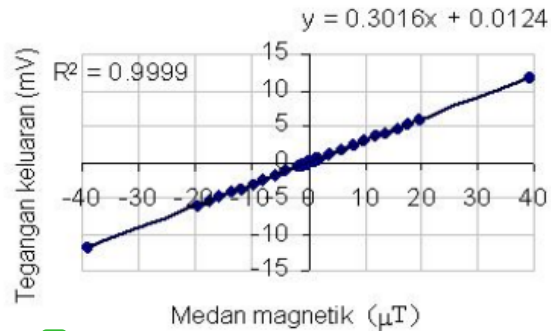
5

Gambar 12. Karakteristik keluaran sensor magnetik fluxgate yang dibuat.

Daerah linier merupakan daerah kerjanya sensor magnetik, seperti yang ditunjukkan Gambar 13. Pada Gambar 13 tampak bahwa kurva linierisasi sensor masih kurang linier, ini disebabkan oleh lilitan pada kumparan primer yang kurang simetris. Lilitan

5

kurang simetris dikarenakan ukuran inti yang cukup kecil (panjang 30 mm, lebar 1mm dan ketebalan 0,1 mm) sehingga sangat sulit untuk melilitkan kawat email dengan diameter 0.1 mm pada inti tersebut secara manual.



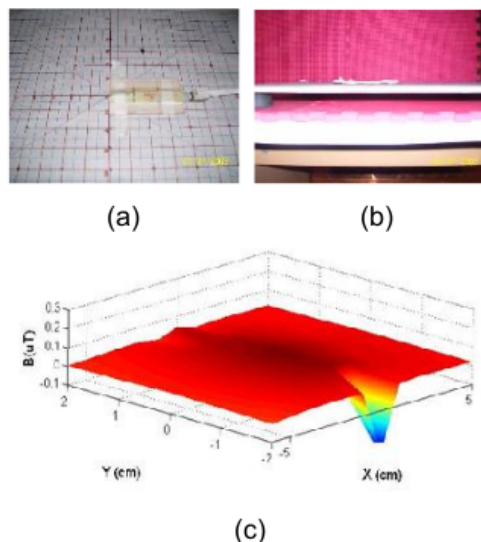
5

Gambar 13. Keluaran medan magnet pada daerah kerja $\pm 40\mu\text{T}$.

Namun sensor yang dihasilkan memiliki sensitivitas $301,46 \text{ mV}/\mu\text{T}$, dengan kesalahan absolut 0.0135 uT dan kesalahan relatif 0.017% [17].

Pengukuran respon bahan magnetik dilakukan dengan cara menggerakkan sensor pada permukaan yang sudah diberi koordinat x dan y, sedangkan bahan magnetik yang diukur berupa potongan batang besi dengan panjang dan diameter 1 cm diletakkan dibawah permukaan tersebut pada jarak 1.5 cm. Prototip sensor untuk pengukuran mineral magnetik ditunjukkan pada Gambar 14a dan 14b.

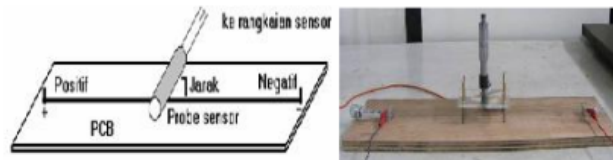
Berdasarkan Gambar 14c dapat diketahui bahwa sensor fluxgate dapat mendeteksi keberadaan bahan magnetik yang disembunyikan di bawah permukaan. Hasil ini akan dikembangkan lebih jauh untuk mendeteksi bahan-bahan mineral magnetik yang berada di bawah permukaan bumi.



Gambar 14. Set-up pengukuran bahan magnet: (a) posisi sensor, (b) posisi bahan magnet, (c) hasil pengukuran.

Sensor Kuat arus

Pengukuran kuat arus dilakukan dengan cara menghitung arus yang mengalir pada kawat lurus dengan mendeteksi medan magnet yang dipancarkan. Pada garis (*Printed Circuit Board*) PCB dengan panjang 20 cm dibuat untuk aliran arus. Sensor magnetik dimasukkan tegak lurus stripe. Arus dilewatkan mulai dari 0,1 mA - 1900 mA pada PCB-garis, dengan interval tertentu. Sistem pengukuran arus ditunjukkan Gambar 15.

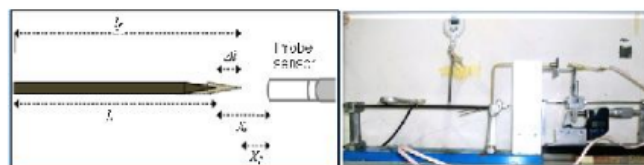


Gambar. 15. Pengukuran arus pada kawat [18].

Dalam penelitian dilakukan pengukuran untuk jarak 4 mm, 8 mm, dan 18 mm. Hasil pengukuran arus bahwa keluaran sensor bersifat linier dan kuadratis. Pendekatan kuadratis diaplikasikan untuk daerah pengukuran arus 0-1900mA, dan pendekatan linier dilakukan untuk daerah pengukuran arus 0-100mA. Dari kedua cara pendekatan tersebut diperoleh kesalahan maksimum yang relatif kecil, untuk daerah 0-1900mA kesalahan maksimumnya adalah 4.6 % untuk jarak pengukuran 4 mm, 2.3 % untuk jarak pengukuran 8 mm, dan 1.4 % untuk jarak pengukuran 18 mm. Untuk daerah pengukuran arus yang kecil kesalahan dapat lebih dihindari, hal ini terbukti ketika dilakukan pengukuran pada daerah arus 0-100mA, kesalahan maksimum pengukuran pada daerah ini adalah 1.64% (18mm), 0.62 % (8mm) dan 0.9 % (4mm) [19].

Sensor Muai Panjang

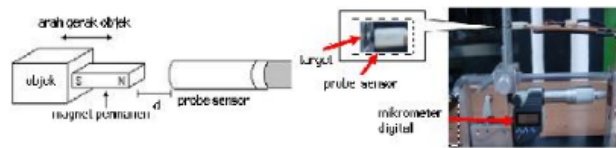
Pengukuran muai panjang dilakukan dengan susunan peralatan seperti ditunjukkan pada Gambar 16. Sensor fluxgate sebagai alat ukur muai menggunakan desain kumparan *pick-up* tunggal [20]. Hasil pengukuran diperoleh bahwa sensor muai panjang dapat mengukur panjang pemuaian sampai 3.68 mm, dengan sensitivitas 250 mV/mm. Dengan kesalahan absolut dan kesalahan relatif dari pengukuran berturut-turut adalah 0.037 mm dan 0.68%.



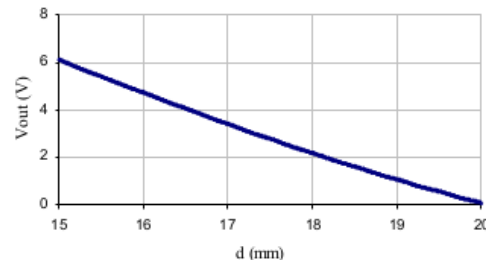
Gambar 16. Pengukuran muai panjang.

Sensor Jarak (*proximity sensor*)

Sistem pengukuran jarak dengan menggunakan magnet permanen seperti yang ditunjukkan Gambar 17. Dalam penelitian, pengukuran jarak dilakukan dengan menggunakan mikrometer. Mula-mula target diletakan pada jarak 15 mm dari detektor, dimana tegangan keluaran sensor sekitar 6 V pada posisi ini. Target kemudian digerakan menjauhi detektor dengan interval 10 μ T. Pengukuran dilakukan dengan interval tersebut sampai jarak target dengan detektor sekitar 20 mm. Gambar 18 menunjukkan hubungan tegangan keluaran terhadap jarak.



Gambar 17. Sistem pengukuran jarak menggunakan sensor fluxgate

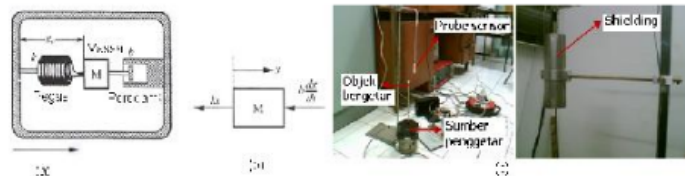


Gambar 18. Respon tegangan keluaran terhadap jarak target.

Tampak pada Gambar 18 bahwa perubahan jarak yang terjadi antara target dengan sensor berbanding terbalik dengan karakteristik keluaran sensor, semakin jauh dari target karakteristik tegangan keluaran makin kecil dan sebaliknya. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi perubahan jarak dengan resolusi 10 μm , kesalahan absolut 0.12 μm dan kesalahan relatif 2.5% [21].

Sensor Getaran

Untuk aplikasi sensor getaran, pengukuran getaran dilakukan dengan cara menempatkan sensor fluxgate dekat dengan objek yang bergetar. Posisi sensor ini tidak bersentuhan dengan objek yang bergetar. Set-up pengukuran ditunjukkan Gambar 19.



Gambar 19. Aplikasi fluxgate untuk mengukur getaran [22].

Karakteristik statik sensor diukur pada jarak 15 sampai 50 mm, parameter amplitudo dan frekuensi diukur dengan multimeter digital HP34401A dan display frekuensi yang terukur diamati dengan labview 8. Sensor Fluxgate yang dikembangkan dapat mendeteksi getaran objek pada rentangan 55 Hz sampai 360 Hz, rentangan frekuensi ini diperoleh pada jarak statik 30 mm. Kesalahan absolut dan relatif getaran masing-masing adalah 2 Hz dan 0.75% [18].

Pengukuran getaran frekuensi rendah juga telah dilakukan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 20. Optimasi statik terhadap jarak maksimum (amplitudo maksimum) antara probe sensor dengan objek bergetar diperoleh ketika jarak 2 cm. Sensor getaran frekuensi rendah mampu mendeteksi frekuensi sumber 0.14 sampai 1.15 Hz dengan kesalahan absolut 0.017 Hz dan kesalahan relatif 1.3%. Kemampuan

sensor fluxgate dalam mengukur getaran dalam frekuensi rendah dapat dikembangkan sebagai alat ukur getaran gempa.



Gambar 20. Photo pengukuran frekuensi rendah [18].

6 Sensor Berbasis Material GMR

Prinsip Kerja

Prinsip dasar dari magnetoresistance (MR) adalah perubahan resistivitas material sebagai akibat dari respon terhadap keberadaan medan magnet luar [23]. Perubahan resistansi GMR sebagai akibat keberadaan magnet luar secara umum dapat dituliskan dengan persamaan:

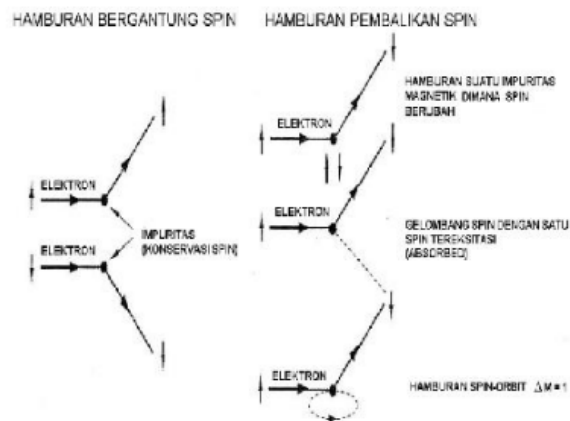
$$R = f(B) \quad (5)$$

dengan R adalah resistansi, B adalah medan magnet.

Efek GMR merupakan efek mekanika kuantum yang diamati dalam struktur lapisan tipis yang terdiri dari lapisan-lapisan feromagnetik yang dipisahkan oleh lapisan nonmagnetik. Efek GMR ini berhubungan dengan kenyataan bahwa spin elektron memiliki dua nilai yang berbeda (*spin up* dan *spin down*). Ketika spin-spin ini melintasi material yang telah dimagnetisasi, salah satu jenis spin mungkin mengalami hambatan (*resistance*) yang berbeda daripada jenis spin lainnya. Sifat ini menunjukkan adanya hamburan bergantung spin (*spin-dependent scattering*). Dalam multilayer magnetik terjadi dua jenis hamburan yaitu: hamburan bergantung spin (*spin-dependent scattering*) dan hamburan pembalikan spin (*spin flip scattering*) seperti tampak pada Gambar 21.

Hamburan bergantung spin menyebabkan timbulnya GMR, sedangkan hamburan pembalikan spin merusak timbulnya GMR. Kedua jenis hamburan ini dibedakan berdasarkan perubahan arah perambatan elektron.

Kajian fisika dari GMR berdasarkan pada pengaruh spin terhadap sifat konduksi dan sifat penerobosan (*tunneling*) elektron-elektron dalam logam feromagnetik. Perbedaan sifat konduksi mayoritas dan minoritas dari spin elektron dalam logam feromagnetik pertama kali diamati oleh Mott [25]. Secara kualitatif, GMR dapat dijelaskan dengan menggunakan model Mott ini. Ada dua hal yang diusulkan oleh Mott, yakni: (1) konduktivitas listrik dalam logam dapat diuraikan dalam hubungannya dengan dua saluran konduksi bebas; yang pertama berhubungan dengan elektron dengan *spin up* dan yang lain berhubungan dengan elektron dengan *spin down* dan (2) di dalam logam feromagnetik, laju hamburan dari *spin up* dan *spin down* elektron-elektron sangat berbeda.



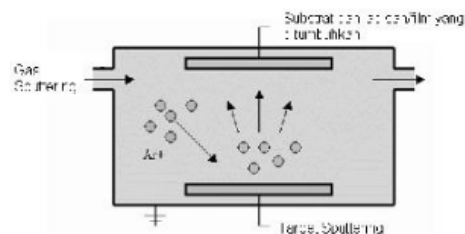
Gambar 21. Jenis hamburan spin dalam multilayer magnetik [24].

Menurut Mott arus listrik semata-mata dibawa oleh elektron-elektron dari pita valensi *sp* dengan massa efektif rendah dan mobilitas tinggi. Pita valensi *d* memainkan peran penting dalam menyediakan keadaan akhir untuk hamburan elektron-elektron dalam pita *sp*. Dalam feromagnetik pita *d* adalah bertukar-pisah (*exchange-split*), sehingga rapat keadaan elektron-elektron pada tingkat energi Fermi tidak sama untuk *spin up* dan *spin down*. Peluang hamburan dalam keadaan ini sebanding dengan kerapatannya, sehingga laju hamburan bergantung spin, atau dengan kata lain hamburan berbeda untuk kedua saluran konduksi di atas.

Teknologi Penumbuhan GMR

Teknik penumbuhan lapisan tipis GMR⁴ dapat dilakukan dengan metode *Opposed Target Magnetron Sputtering* (OTMS). Ketika permukaan benda padat (target *sputtering*) ditembak dengan partikel-partikel berenergi, seperti ion-ion Ar⁺ yang dipercepat, maka atom-atom permukaan dari target itu akan terpecah ke arah berlawanan dengan arah partikel datang, yang disebabkan oleh tumbukan antara atom-atom permukaan target dengan ion-ion Ar⁺ tersebut. Peristiwa ini disebut dengan *sputtering*. Dengan energi termal yang cukup, atom-atom permukaan yang terlepas ini akan menempel pada substrat dan membentuk lapisan tipis di substrat. Gambar 22 menunjukkan proses *sputtering*.

Beberapa sistem *sputtering* yang dapat digunakan untuk deposisi lapisan tipis, yaitu; dioda dc *sputtering*, dioda rf *sputtering*, magnetron *sputtering*, dan *ion-beam sputtering* [26].



Gambar 22. Ilustrasi proses *sputtering*.

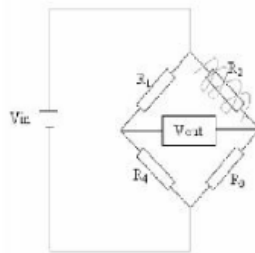
4

Keuntungan metode OTS adalah mampu men-*sputter* hampir semua jenis material termasuk material ferromagnetik dengan laju yang tinggi tanpa menaikkan temperatur substrat. Untuk meningkatkan laju deposisi dapat dilakukan dengan penurunan tekanan gas *sputtering* serendah mungkin, dan membuat jarak substrat dan sumber *sputtering* sedekat mungkin.

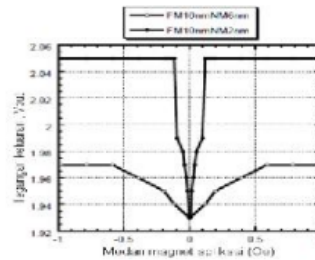
Aplikasi Sensor Berbasis GMR

Sensor Medan Magnetik

Dalam aplikasi sensor medan magnetik, sensor yang sudah terintegrasi dalam jembatan *Wheatstone* dimasukkan kedalam kumparan solenoida. Perubahan medan magnet solenoida akan menyebabkan perubahan keluaran tegangan jembatan *Wheatstone*.



Gambar 23. Konfigurasi Jembatan Wheatstone.



Gambar 24. Hasil pengukuran dalam konfigurasi jembatan Wheatstone

Kumparan solenoida dililitkan pada sebuah tabung silinder yang terbuat dari tembaga. Panjang solenoida 240 mm, diameter sekitar 41.6 mm. Jumlah lilitan kawat sekitar 200 lilitan, dengan diameter kawat sekitar 0.4mm. Dari hasil kalibrasi diperoleh hubungan medan magnet aplikasi yang dialami sample terhadap arus induksi I sebagai fungsi linier berikut: $H(I) = 1.9568I - 0.043$, dimana induksi magnetik H dalam μT dan arus induksi I dalam mA. Konfigurasi Jembatan Wheatstone ditunjukkan Gambar 23. Hasil pengukuran karakteristik sensor dengan ketebalan lapisan magnetik 10 nm dengan ketebalan lapisan non magnetik 2 nm dan 6 nm ditunjukkan pada Gambar 24.

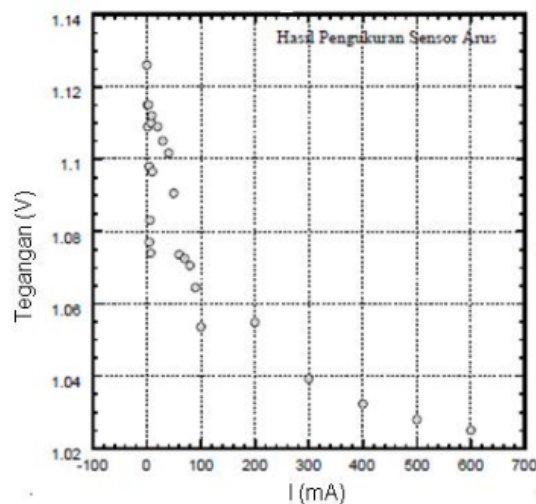
Sensor Arus

Pengukuran arus dilakukan dengan cara meletakkan film tipis sandwich GMR di atas saluran yang dialiri arus, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 25.

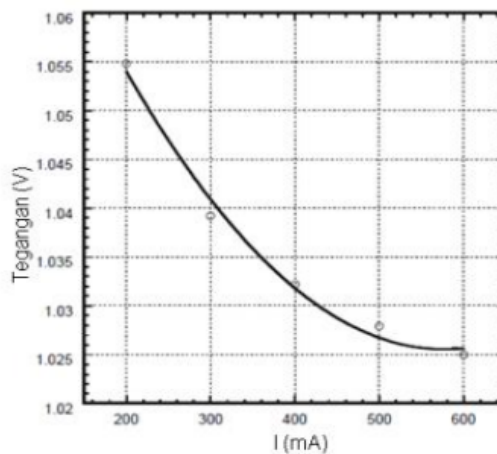


Gambar 25. Foto seting peralatan sensor arus sandwich GMR.

Hasil pengukuran ditunjukkan pada Gambar 26, tampak bahwa medan yang dapat dideteksi oleh sandwich GMR pada arus dibawah 200 mA cukup kecil (akibat adanya perbedaan jarak antara arus dan permukaan sandwich). Oleh karena itu rentang kerja sensor diambil di atas 200 mA. Grafik keluaran sensor terhadap arus yang dilewatkan pada kawat untuk daerah kerja di atas 200 mA ditunjukkan pada Gambar 27. Kesalahan absolut maksimum dan kesalahan relatif maksimum pengukuran adalah masing-masing 1.65 mV dan 5.77 % pada arus 300 mA.



Gambar 26. Hasil keluaran sensor terhadap pengukuran arus.

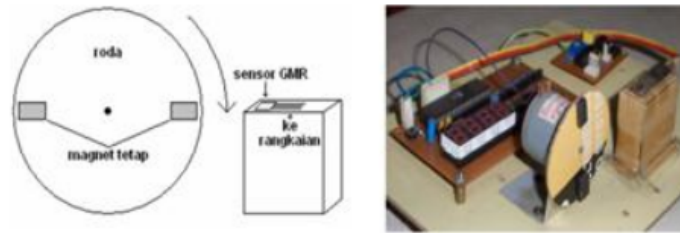


Gambar 27. Keluaran sensor terhadap arus yang dilewatkan pada kawat.

Sensor Putaran

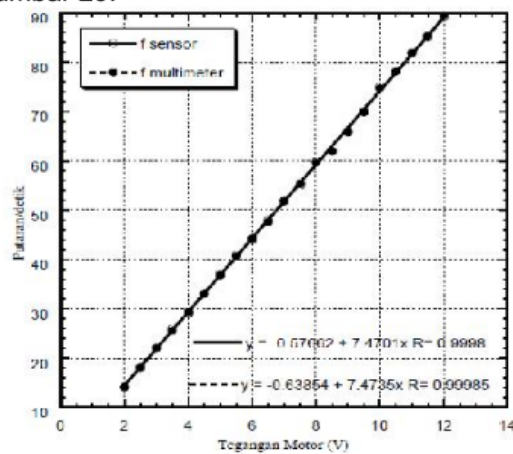
Pengukuran putaran dilakukan dengan cara menempelkan sensor GMR pada roda atau motor yang akan dihitung putarannya. Sensor GMR akan mendeteksi putaran ketika magnet tetap yang melekat pada piringan roda bergerak menjauh dan mendekat, akibatnya akan timbul pulsa-pulsa dari rangkaian sensor. Selanjutnya pulsa-pulsa ini dihitung dengan menggunakan pencacah mikrokontroler, kemudian langsung

ditampilkan pada displai. Gambar 28 menunjukkan sistem roda yang dipasang magnet tetap.



Gambar 28. Setting peralatan sensor putaran.

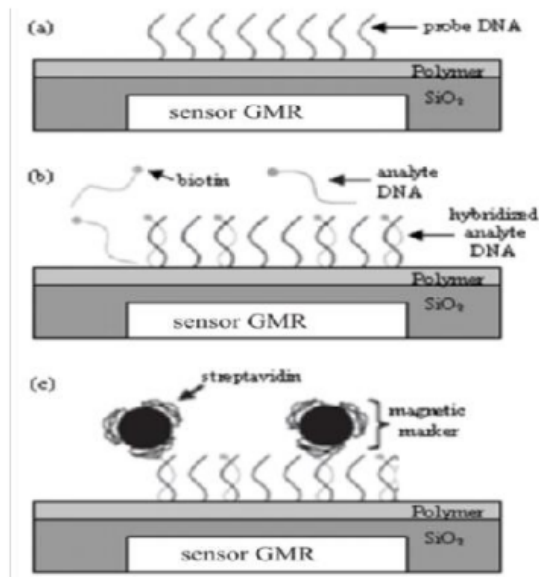
Hasil pengukuran sensor putaran menunjukkan hubungan yang linear antara tegangan motor dengan banyaknya putaran perdetik motor yang tercacah, seperti ditunjukkan pada Gambar 29.



Gambar 29. Tegangan keluaran motor terhadap putaran/detik.

Biosensor

Dalam beberapa tahun terakhir ini, divais sensor *giant magnetoresistive* (GMR) telah menunjukkan potensi yang besar sebagai elemen untuk mendeteksi biomolekul [27,28,29,30]. Hambatan sensor GMR berubah bila medan magnet dikenakan pada sensor, sehingga biomolekul yang dilabeli secara magnetis dapat menimbulkan sinyal. Dibandingkan dengan pendeteksi optik tradisional yang banyak digunakan dalam biomedis, sensor GMR, lebih sensitif, portabel dan memberikan pembacaan elektronik sepenuhnya[31]. Disamping itu, sensor GMR murah dan fabrikasinya saat ini kompatibel dengan teknologi VLSI (*Very Large Scale Integration*), sehingga sensor GMR dapat dengan mudah diintegrasikan dengan elektronik dan mikrofluida untuk mendeteksi banyak analit yang berbeda pada sebuah chip tunggal. Salah satu contoh penerapan biosensor GMR adalah pada pendeteksian DNA. Gambar 30 menunjukkan langkah-langkah pendeteksian DNA oleh biosensor.



Gambar 30. Prinsip biosensor GMR: (a) imobilisasi probe DNA; (b) hibridisasi DNA dari analit (c) pengikatan penanda magnetik dan deteksi medan mereka oleh biosensor GMR [30].

Kesimpulan

Pengembangan elemen koil datar, elemen fluxgate dan GMR memiliki keuntungan baik dari segi biaya pembuatan yang murah, relatif mudah pembuatannya, dan memiliki sifat magnetik dan listrik yang baik. Sensor berbasis koil datar, fluxgate dan GMR dapat diaplikasikan untuk mengukur jarak, getaran, medan lemah, arus, muai panjang, putaran dan juga biosensor. Teknologi mikro memungkinkan untuk dikembangkan dalam ukuran kecil bahkan untuk GMR sangat dimungkinkan untuk teknologi nano.

Referensi

- [1] Traenkler, H.-R.: "Core Technologies for Sensor Systems", Proc. Indonesian German Conference, Juli 2001, hal. 1-9.
- [2] Marek, J.: "Microsystems for Automotive Applications", Proc. Eurosensors XIII, The Hague, Niederlande, 12-15 September 1999, hal. 1-8.
- [3] Traenkler, H.-R.: "Zukunftsmark Intelligente Hausinstrumentierung", Laporan penelitian: "Verteilte intelligente Mikrosysteme fuer den privaten Lebensbereich (VIMP)", Neubiberg, 4 Des. 1998, hal. 10-15
- [4] Traenkler, H.-R., Kanoun, O., Pawelczak, D.: "Evolution of Sensor Elements towards Smart Sensor Systems", Proc. Internasional Conference on Instrumentation, Communication and Information Technology (ICICI) 2007, 8-9 Agustus 2009, hal. 1-7.
- [5] H.-R. Traenkler, E. Obermeier, Sensortechnik, Handbuch fuer Praxis und Wissenschaft, Springer, 1998.
- [6] Gerard C.M. Meijer (ed.), Smart Sensor System, John Willey & Sons, 2008.

- [7] Gessner.T., Dotzel W., Hiller K., Kufmuann C., Kurth S.: ' Mikromechanische Sensoren und Aktoren – Funktionsprint-zipein, Technologien und applikationen" P.211-220, VDI Barichte Nr. 1530,200.
- [8] Delapierre G., Danel J.S., Michel F., Bost J.L., Boura A., Aujay O.,.: "A quart micromachined close loop accelerometer", P. 223-224, Proc. of Eurosensors 87, September 1987, Cambridge.
- [9] Benson, H., University Physics, John Wiley & Sons, 1991.
- [10] Mitra Djamal., A study of Flat Coil Sensor for Measuring Displacements, KFI, Vol. 7, No. 2, Juli 1996.
- [11] Mitra Djamal., Indonesian paten pending, "Sistem Sensor Getaran Menggunakan Koil Datar", No. Paten ID 0 021 804.
- [12] Yulkifli, Desain dan Pembuatan alat Ukur Tekanan Udara Berbasis Sensor Koil Datar, Laporan Tesis S2, ITB, 2002.
- [13] Islahudin, Pengembangan Sensor Getaran Dua Dimensi Berbasis Koil Datar, Laporan Tesis S2, ITB, 2011.
- [14] Zorlu, O., P. Kejik, R.S. Popovic, 2007: An Orthogonal Fluxgate-type Magnetic Microsensor with Electroplated Permalloy Core, J. Sensor and Actuator, 135, pp. 43-49.
- [15] Mitra Djamal, 2007: Sensor Magnetik Fluxgate dan Aplkasinya untuk Pengukuran Kuat Arus , J. Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia, III, pp. 51-69.
- [16] Yulkifli,, Mitra Djamal, Khairurrijal, Deddy Kurniadi, Pavel Ripka: Demagnetization Factor of a Fluxgate Sensor Using Double Pick-up Coils Configurations. Proc. of The 3rd Asian Physics Symposium (APS) July 22 – 23, 2009, Bandung, Indonesia.
- [17] Djamal, M., R. N. Setiadi,: Pengukuran Medan Magnet Lemah Menggunakan Sensor Magnetik Fluxgate dengan Satu Kumparan Pick-Up, Jurnal Proceedings ITB, 2006.
- [18] Mitra Djamal, Design and Development Fluxgate Magnetometer and Its Applications, Indonesian Journal of Physics Vol 17 No. 1, January 2006, Hal. 7-14.
- [19] SELC, 2008: Penuntun Layanan PCB Purwarupa, SELC Sumber elektronik, Bandung.
- [20] Ismu Wahyudi, Prototip Sensor Muai Berbasis Fluxgate Magnetometer, Laporan Thesis S2, ITB, 2009.
- [21] Yulkifli, Rahmondia Nanda S., Suyatno, Mitra Djamal: Designing and Making of Fluxgate Sensor with Multi-Core Structure for Measuring of Proximity, Proc. CSSI 2007, Serpong Tangerang- Indonesia.
- [22] Mitra Djamal, Rahmondia N. Setiadi, Yulkifli: Preliminary Study of Vibration Sensor Based on fluxgate Magnetic Sensor, Proc. ICMNS, Indonesian, 2008.
- [23] M. N. Baibich, et. al, "Giant Magnetoresistance of (001) Fe/(001) Cr Magnetic Superlattices", J, Phys. Rev. Lett. 68 pp. 2472 – 2475, 1998.
- [24] J. Mathon, "Phenomenology Theory of Giant Magnetoresistance", dalam Spin Electronics, ed. By M. Ziese and Thornton, M.J., Springer-Verlag, Berlin, 2001.
- [25] A. Fert, A. Barthelemy, and F. Petroff, "Spin Transport in Magnetic Multilayers and Tunnel Junctions", dalam Contemporary Concepts of Condensed Matter Science, Nanomagnetism: Ultrathin films, multilayers and nanostructures, Elsevier B.V., Amsterdam, 2006.
- [26] K. Wasa, M. Kitabatake, H. Adachi, "Thin Film Materials Technology, Sputtering of Compound Materials", William Andrew. Inc, NY, 2004.

- [27] Baselt, D.R., Lee, G.U., Natesan, M., Metzger, S.W., Sheehan, P.E., Colton, R.J., 1998. *Biosens. Bioelectron.* 13, 731–739.
- [28] Li, G., Sun, S., Wilson, R.J., White, R.L., Pourmand, N., Wang, S.X., 2006. *Sensor and Actuators A*, 126, 98–106.
- [29] Ferreira, H.A., Graham, D.L., Feliciano, N., Clarke, L.A., Amaral, M.D., Freitas, P.P., 2005. *IEEE Trans. Magn.* 41 (10), 4140–4142.
- [30] Schotter, P.B. Kamp, A. Becker, A. Puhler, G. Reiss and H. Brückl, "Comparison of a prototype magnetoresistive biosensor to standard fluorescent DNA detection", *Biosensors and Bioelectronics* 19 (10), 1149 -1156 (2004).
- [31] T. Saragi, M. Djamal, Khairurrijal and M. Barmawi, *KFI*, Vol. 14, No. 3, p. 83-86, 2003.

Mitra Djamal*

Kelompok Keahlian Fisika Teoretik Energi Tinggi dan Instrumentasi, FMIPA, ITB, Jl. Ganesa 10, Bandung 40132, Indonesia
mitra@f.itb.ac.id

Edi Sanjaya

Kelompok Keahlian Fisika Teoretik Energi Tinggi dan Instrumentasi, FMIPA, ITB, Jl. Ganesa 10, Bandung 40132, Indonesia
Prodi Fisika, FST UIN Jakarta, Jl. Ir. H. Juanda 49 Jakarta, Indonesia

Rahadi Wirawan

Kelompok Keahlian Fisika Teoretik Energi Tinggi dan Instrumentasi, FMIPA, ITB, Jl. Ganesa 10, Bandung 40132, Indonesia
Prodi Fisika, FMIPA Universitas Mataram, Jl. Majapahit 62 Mataram 83125, Indonesia

Ambran Hartono

Kelompok Keahlian Fisika Teoretik Energi Tinggi dan Instrumentasi, FMIPA, ITB, Jl. Ganesa 10, Bandung 40132, Indonesia
Prodi Fisika, FST UIN Jakarta, Jl. Ir. H. Juanda 49 Jakarta, Indonesia

*Corresponding author

ORIGINALITY REPORT

15%

SIMILARITY INDEX

13%

INTERNET SOURCES

4%

PUBLICATIONS

4%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	repository.usu.ac.id Internet Source	4%
2	ejournal.uinib.ac.id Internet Source	3%
3	Irfan Abbas. "Penerapan Metode Moving Average (MA) Berbasis Algoritma Support Vector Machine (SVM) untuk Membandingkan Pola Kurva dengan Trend Kurva pada Trading Forex Online", ILKOM Jurnal Ilmiah, 2016 Publication	3%
4	Submitted to Universitas Negeri Padang Student Paper	2%
5	journals.itb.ac.id Internet Source	2%
6	carolinawidya.blogspot.com Internet Source	2%

Exclude quotes Off

Exclude matches < 2%

Exclude bibliography Off