

KONSEP PENGUKURAN MEDAN MAGNET DENGAN METODE KOIL KEMBAR

Bambang Supardiyono

Puslitbang Teknologi Maju-BATAN

ABSTRAK

KONSEP PENGUKURAN MEDAN MAGNET DENGAN METODE KOIL KEMBAR. Metode Koil Kembar adalah metode baru yang dikembangkan dari metode pengukuran permeabilitas magnet berdasarkan prinsip induksi dan ditujukan untuk pengukuran medan magnet di lingkup akselerator. Medan magnet di lingkup akselerator sangat beragam meliputi bentuk maupun arah medan sehingga diperlukan metode dan alat ukur yang sesuai. Prinsip dasar metode koil kembar adalah koil pertama memberikan medan magnet berlawanan dengan medan magnet yang akan diukur sehingga resultan medan magnet menjadi nol. kemudian medan magnet dari koil pertama diturunkan menjadi nol dalam selang waktu tertentu. Perubahan medan magnet yang terjadi akan menimbulkan Gaya Gerak Listrik (GGL) pada koil kedua besarnya GGL yang terjadi akan sebanding dengan besar medan magnet yang diukur. Konsep perhitungan rancangan model koil kembar untuk pengukuran medan magnet sebesar 250 gauss pada tabung pengarah diperlukan koil dengan 100 lilitan, diameter koil 1 cm lebar koil 1 cm dengan arus 2 A yang berubah selama 0,1 detik akan menimbulkan GGL sebesar 2,5 mV kemudian diperkuat 100 x sehingga dengan mudah dapat diukur dengan voltmeter atau sistem pengukur tegangan lain.

ABSTRACT

MAGNETIC FIELD MEASUREMENT CONCEPT BY USING TWIN COILS METHOD. Magnetic field measurement concept by using twin coils is a new method which have been developed based on magnetic permeability measurement principle. This new method suppose to be used for magnetic field measurement in accelerator facilities. An appropriate measurement by using special equipment should be prepared in measuring difference quantities and performance of magnetic fields in accelerator facilities. The basic concept of magnetic field measurement by using twin coils as follow the first coil, the first coil have to produce the magnetic fields with approximately equal but opposite direction due to magnetic field to be measured, and than the result of the magnetic field equal to zero. Meanwhile the magnetic field produced form the first coil, should be reduced down to zero in certain time. The changing in magnetic field will generate an electromotive force(emf) on second coil where the values of emf approximately equal with the measured magnetic field. Calculation concept using twin coil method to measure in order of 250 gauss of magnetic field needs 100 turn, coils diameter 1cm, 1 cm width, with take current 2 A which change to 0.1 second will produce emf 2,5 mV on the second coil, and could be amplified 100 times, so that it can be measured using voltmeter or others system.

PENDAHULUAN

Metode pengukuran medan magnet pada lingkup akselerator sangat beragam tergantung dari sifat, geometri, dan intensitas dari medan magnet yang akan diukur. Sifat medan magnet dapat dinamis maupun statis, homogen atau bervariasi sebagai dasar menentukan metode pengukuran dengan koil tetap (*fixed coil*) atau koil bergerak (*moving coil*) baik translasi maupun rotasi. Geometri medan magnet dipole atau kuadripol sebagai dasar menentukan jenis transduser yang digunakan seperti *point coil*, *area coil*, *harmonics coil* atau *Hall transducer*. Intensitas medan magnet sebagai dasar menentukan transduser yang dipilih kaitannya dengan akurasi pengukuran dan sensitivitas yang diperlukan.

Dalam makalah ini akan disajikan beberapa metode pengukuran medan magnet yang lazim digunakan dalam lingkup akselerator, dan akan dibahas pengembangan konsep baru metode pengukuran medan magnet dengan koil kembar pada tahap awal direncanakan untuk mengukur medan magnet pada sistem penyearah berkas elektron.

Metode pengukuran medan magnet⁽¹⁾ diklasifikasikan dalam 6 metode diantaranya *metode fluxmeter*, *metode fluxgate magnetometer*, *metode Hall*, *metode MRT* dan *metode visual mapping*.

Prinsip dasar metode *fluxmeter* adalah mengukur GGL yang timbul pada koil karena induksi disebabkan perubahan fluks magnet, besarnya GGL yang timbul akan sebanding dengan besar medan magnet yang akan diukur perubahan fluks

magnet yang disebabkan oleh medan magnet dinamik pengukurnya menggunakan koil tetap sedangkan untuk medan magnet statis pengukurannya menggunakan *moving coil* dalam hal ini perubahan fluk magnet terjadi karena gerakan koil translasi ataupun rotasi.

Ada beberapa tipe koil induksi yaitu *differential flux meter* yang terdiri dari sepasang koil yang dipasang secara berlawanan, satu koil bergerak dan koil yang lain tetap. *Differential flux meter* biasanya digunakan untuk pengukuran fluk magnet yang memerlukan akurasi tinggi. *Harmonic coil* juga terdiri dari sepasang koil tetapi kedua koil bergerak, dan biasanya digunakan untuk pengukuran fluk magnet bentuk silinder yang secara serentak dapat mengukur kuat medan, kualitas, dan bentuk medan magnet. Model koil induksi yang lain adalah jenis *a stretched wire* yang bergerak dalam medan magnet statis, atau untuk mengukur medan dinamis dengan posisi kawat tetap. Keuntungan menggunakan koil induksi adalah sifat fleksibilitas perancangan bentuk koil yang dapat disesuaikan dengan geometri medan, stabilitas, dan linear tinggi dan mempunyai jangkauan ukur lebar, sedangkan kekurangannya adalah pada sistem mekanik yang kompleks.

Metode *fluxgate magnetometer* menggunakan koil dengan inti feromagnetik sehingga dapat digunakan untuk pengukuran medan magnet dalam orde mT (milli Tesla), mempunyai linear tinggi, dan sensitif tinggi dalam orde nT.

Metode Hall adalah metode yang cukup populer dan banyak digunakan bersifat *portable* dan praktis. Metode tersebut berdasarkan prinsip Hall yaitu terbentuknya GGL pada konduktor yang ditempatkan dalam medan magnet, kekurangannya adalah akurasi yang rendah, koefisien temperatur tinggi, linear rendah, dan sensitif rendah (20 mikro T) sedangkan kelebihanannya adalah pengukuran dapat seketika, sistem elektronik sederhana *probe* yang kompak dan dapat digunakan sebagai pengukur titik (*point measurement*).

Metode *magnetic resonance technic* (MRT), adalah metode berdasarkan prinsip pengukuran frekuensi Larmor dari inti (partikel) yang beresonansi dengan gelombang RF yang dikenakan pada medan magnet yang akan diukur. Besarnya frekuensi Larmor yang terukur menunjukkan besarnya medan magnet yang ingin diketahui. Kelebihan metode RMT antara lain presisi tinggi sehingga sangat baik apabila digunakan untuk pemetaan medan magnet, tidak tergantung temperatur, mempunyai rentang ukur lebar antara 0,0045 T sampai 13 T, mempunyai akurasi tinggi lebih kecil dari 10 ppm dan linear tinggi. Kelebihan-kelebihan

tersebut menjadikan metode RMT sebagai kalibrator metode pengukuran lain, kekurangannya adalah medan magnet yang diukur sebaiknya mempunyai homogenitas tinggi.

Metode *visual mapping* adalah metode sederhana dan banyak dikenal oleh umum karena tidak memerlukan pemahaman lanjut mengenai metode tersebut, cara mengukur medan magnet adalah dengan menaburkan serbuk besi pada permukaan dasar horizontal dari bahan non magnetik yang diletakkan pada daerah medan magnet yang akan diukur. Metode tersebut hanya memberikan gambaran secara visual bentuk garis-garis distribusi arah medan magnet pada permukaan pengukur. Metode yang lain adalah dengan meletakkan jarum kompas, secara visual dapat dilihat arah dari medan magnet, cara lain adalah dengan meletakkan kawat berarus pada medan magnet, dengan mengamati kelengkungan kawat dapat diketahui besar medan magnet yang dapat diukur.

TEORI

Metode koil kembar adalah suatu metode pengukuran medan magnet berdasarkan prinsip induksi sehingga termasuk metode *flux meter* yang dikembangkan dari metode pengukuran struktur bahan berdasarkan prinsip arus Edy⁽²⁾ dan metode *non intercepting* pengukuran berkas elektron pada akselerator⁽³⁾. Istilah koil kembar didasarkan pada sistem koil yang terdiri dari sepasang koil dengan jumlah lilitan kawat, diameter kawat, lebar koil, dan diameter koil sama dan dipasang berdampingan dengan sumbu yang berimpitan. Variasi model lain adalah dengan memasang koil 2 berimpitan (bertumpukan) dengan koil 1 membentuk satu bidang dengan sumbu koil sama. Tidak ada hubungan langsung antara kedua koil tersebut, koil pertama berfungsi menimbulkan medan magnet yang berlawanan dengan medan magnet yang diukur, koil kedua berfungsi mengukur GGL yang terjadi karena perubahan medan magnet. Pada metode *fluxmeter* yang terdiri dari berbagai jenis koil (sesuai dengan keperluan) pengukuran medan magnet sebanding dengan GGL induksi yang terbentuk pada koil. Pada metode koil kembar GGL yang terbentuk pada koil kedua disebabkan oleh resultan perubahan medan magnet yang diukur dengan medan magnet yang terbentuk oleh koil pertama. Gambar 1 menunjukkan diagram waktu terbentuknya medan magnet resultan (B_r) sebagai resultan dari medan magnet yang akan diukur (B_+) dan medan magnet yang terbentuk oleh koil pertama (B_-). Medan magnet B_- dibuat bentuk trapesium terbalik agar medan magnet B_r berbentuk trapesium yang akan menimbulkan GGL pada koil dua.

Timbulnya GGL pada koil dua disebabkan perubahan medan magnet (kemiringan trapesium), berdasarkan hukum Faraday⁴⁾ mengatakan koil yang diletakkan pada medan magnet berubah dalam waktu tertentu akan terbentuk GGL pada koil tersebut seperti yang dinyatakan pada persamaan 1.

$$\varepsilon = -d\Psi / dt \quad (1)$$

ε = GGL yang terjadi pada koil

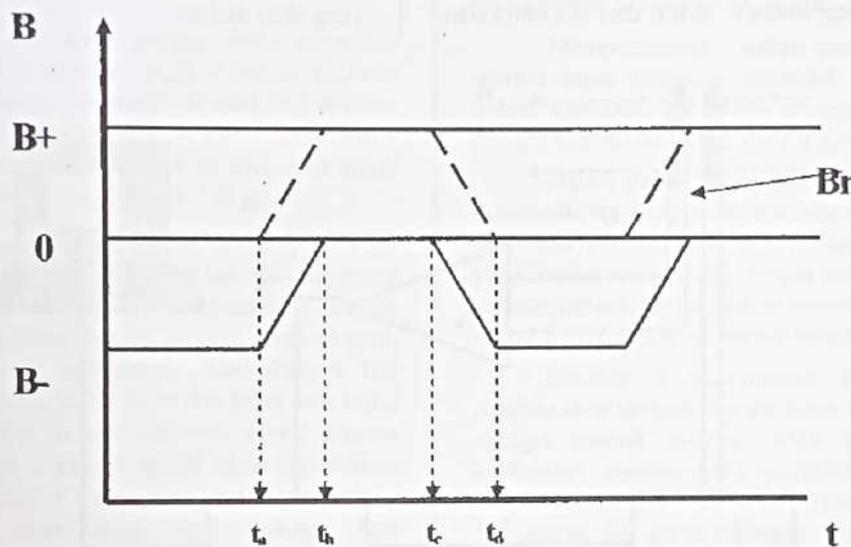
Ψ = flux magnet yang mengenai koil, bila luas tampang koil adalah A , dan kuat medan magnet B maka flux magnet adalah AB .

dt = terjadinya perubahan flux magnet

Apabila jumlah lilitan koil N dan luas tampang koil adalah A maka persamaan 1 dapat ditulis menjadi :

$$\varepsilon = N A dB / dt \quad (2)$$

Persamaan 2 adalah dasar perhitungan untuk mengetahui medan B yang diukur, permasalahannya adalah bagaimana mengukur medan B yang tetap (statis) seperti pada medan B sistem pengarah atau fokus dari sistem optik MBE. Salah satu teknik adalah dengan menimbulkan medan magnet yang berlawanan sehingga resultannya merupakan medan magnet yang berubah terhadap waktu seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram waktu terbentuknya B_r .

Perubahan medan magnet dapat dilakukan dengan memberikan arus bentuk trapesium (atau bentuk lain yang mempunyai perubahan arus linear) pada koil pertama, pengukuran GGL dapat dilakukan saat B_r berubah dari 0 menjadi maksimum dalam selang waktu t_a sampai t_b atau pada saat B_r berubah dari maksimum menjadi 0 pada selang waktu t_c sampai t_d . Besarnya arus yang diberikan didasarkan perandaian bahwa koil merupakan bentuk solenoid dan besarnya medan magnet ditengah koil dinyatakan dengan persamaan 3.

$$B = \mu N I / l \quad (3)$$

μ = permeabilitas inti koil, N = jumlah lilitan koil, I = arus koil, l = lebar koil.

Medan magnet B pada persamaan 3 adalah medan magnet B yang melawan medan magnet yang

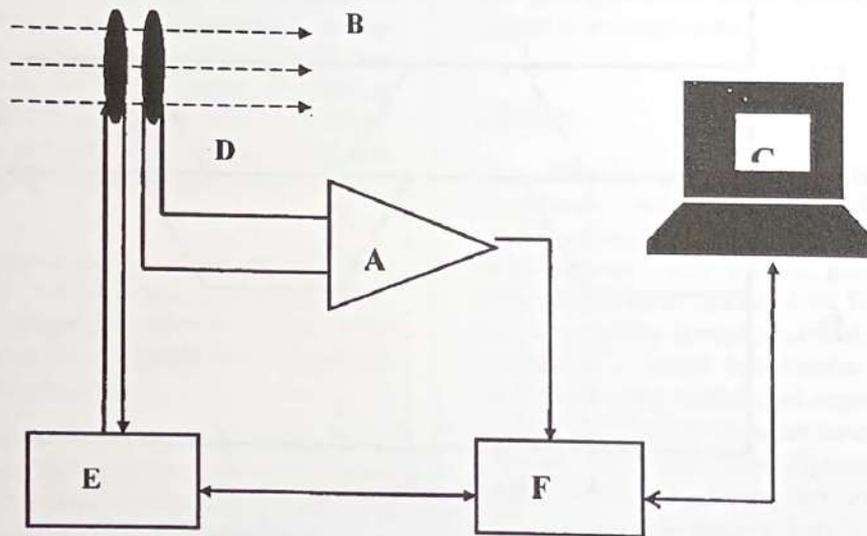
akan diukur B_1 . Untuk memperoleh resultan B_r sama dengan 0 adalah dengan mengatur kuat arus I pada kondisi B_r sama dengan 0 berarti $B_1 = B_2$ yang sebanding dengan arus I (maksimum) yang dialirkan pada koil satu. Kondisi arus maksimum dapat diamati dengan mengukur GGL maksimum yang terjadi pada koil dua, teknik memperoleh GGL maksimum adalah dengan melakukan penyapuan arus dari rendah sampai maksimum setelah diperoleh GGL maksimum penyapuan dihentikan dan dilakukan pengukuran GGL secara cermat, nilai GGL yang diperoleh akan sebanding dengan B_1 yang diukur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsep sistem pengukuran medan magnet dengan koil kembar, secara skematik seperti pada

Gambar 2, yang terdiri dari unit penguat linier(A), medan magnet yang akan diukur B, unit pengolah data dan pengendali (C), unit koil kembar (D) yang terdiri dari koil 1 (merah) dan koil 2 (biru) dan unit sumber arus (E) dan unit antar muka (F). Unit penguat linear A dengan penguatan sekitar 100x tidak memerlukan penguat awal karena impedansi keluaran koil 2 cukup rendah sehingga bisa disambung langsung. Komputer C adalah unit pengendali dan pengolah data menerima masukan dari A dan E dan pengendalian E melalui rangkaian antar muka F. Unit sumber arus E terdiri dari generator fungsi gigi gergaji yang berfungsi melakukan penyapuan arus sehingga diperoleh resultan medan magnet nol dan fungsi trapesium untuk membangkitkan GGL pada koil 2 yang pengendaliannya dengan pulsa logik dilakukan oleh unit C. Unit antar muka F terdiri dari dua rangkaian,

rangkainan antarmuka pertama berfungsi untuk komunikasi antar unit A dengan komputer C yang menampilkan hasil pengukuran koil 2, sedangkan rangkaian antarmuka 2 sebagai sarana komunikasi antar unit F dengan komputer C untuk pengendalian penyapuan maupun pembentukan fungsi trapesium. Pada makalah ini konsep sistem pengukuran baru dibahas pada konsep dimensi koil kembar untuk mengkaji realitas tidaknya konsep tersebut untuk dikembangkan lebih lanjut. Sebagai dasar perhitungan perancangan model koil kembar adalah diandaikan untuk mengukur medan magnet sebesar 250 gauss pada unit pengarah dari sistem optik MBE⁽⁵⁾. Langkah awal perancangan adalah dengan menghitung berapa arus yang diperlukan untuk untuk membuat medan magnet sebesar 250 gauss yang arahnya berlawanan dengan medan magnet yang akan diukur.



Gambar. Diagram blok sistem pengukuran dengan koil kembar.

Spesifikasi perancangan koil kembar adalah sebagai berikut

Jumlah lilitan masing masing koil	$N = 100$
Lebar koil	$l = 1 \text{ cm} = 1 \times 10^{-2} \text{ m}$
Luas tampang koil	$A = 1 \text{ cm}^2 = 1 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
Permeabilitas udara	$\mu = 12,57 \times 10^{-7} \text{ W/A m}$

Berdasarkan persamaan (3) diperoleh hubungan

$$i = BI / N \mu \quad (4)$$

Dengan memasukan nilai parameter dari spesifikasi pada persamaan 4, dan medan magnet

yang akan diukur sebesar 250 gauss atau $250 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2$ diperoleh

$$i = 250 \times 10^{-4} \times 10^{-2} / 100 \times 12,57 \times 10^{-7} = 2 \text{ A}$$

Arus sebesar 2A pada koil 1 akan menimbulkan medan magnet (B_1) sebesar 250 gauss yang arahnya berlawanan dengan medan magnet yang akan diukur yaitu medan magnet unit pengarah (B_2) sehingga resultannya sama dengan nol. Kondisi arus pada koil 1 sebesar 2 A adalah kondisi maksimum arus pada koil 1, dengan menurunkan arus dari kondisi maksimum ke kondisi nol dalam selang waktu tertentu akan terbentuk GGL pada koil 2.

Pola penurunan/penaikkan arus dipergunakan pola bentuk trapesium, dengan waktu turun $t_a - t_b$ dan waktu naik $t_c - t_d$ (lihat Gambar 1). GGL yang terbentuk pada koil 2 karena induksi perubahan medan magnet yang disebabkan perubahan arus pada koil 1 dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.

$$\varepsilon = N A dB / dt$$

dengan memasukkan nilai parameter koil kembar, dan medan magnet pada koil 1 berubah dari 250 gauss menjadi nol dalam selang waktu $dt = t_a - t_b = 0,1$ detik pada persamaan tersebut diatas diperoleh GGL pada koil 2 sebesar

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 100 \times 10^{-4} \times 250 \times 10^{-4} / 10^{-1} \text{ m}^2 \text{ weber} / \text{dt m}^2 \\ &= 2,5 \text{ mV.} \end{aligned}$$

Dengan penguatan sekitar 100x diperoleh GGL pada koil 2 sebesar 0,25 V cukup realities untuk diukur dengan voltmeter. Model koil kembar dengan luas tampang koil sebesar 1 cm^2 , lebar koil 1 cm dan jumlah lilitan 100, cukup memadai untuk mengukur medan magnet sebesar 250 gauss.

Perhitungan tersebut diatas adalah perhitungan teoritis berdasarkan perandaian luas tampang koil 1 cm^2 , pada kenyataannya membuat koil dengan tampang lintang 1 cm^2 bentuk lingkaran cukup sulit. Dari segi mekanik pembuatan koil dengan 100 lilitan dan diameter kawat 1mm dan lebar koil 1cm, memerlukan koker dengan diameter 1 cm, putaran lilitan kawat $10 \times$ kearah aksial akan menjadikan lebar koil menjadi 1 cm, sedangkan putaran $10 \times$ kearah radial akan menjadikan diameter koil menjadi 2 cm. Perhitungan tampang lintang koil tidak didasarkan pada diameter terluar dari koil tetapi diambil nilai tengah tebal koil sehingga berdiameter 1,5 cm. Dengan menggunakan rumus luasan bentuk lingkaran diperoleh luas tampang lintang (luas koil) sebesar $1,75 \text{ cm}^2$, sehingga hasil perhitungan GGL tersebut diatas dikalikan dengan faktor 1,75. sehingga GGL terkoreksi 0.44 V.

Berdasarkan persamaan 2 dan 3 untuk meningkatkan jangkau ukur dapat dilakukan berupa modifikasi yaitu:

1. Meningkatkan arus pada koil 1.
2. Menambah jumlah lilitan
3. Memperbesar luas tampang koil
4. Memperpendek waktu perubahan arus (dt).

Meningkatkan arus menjadi 4 ampere pada model koil tersebut diatas akan mampu mengukur medan magnet sebesar 500 gauss, peningkatan arus akan meningkatkan dissipasi panas pada sumber arus, mengenai hal ini akan menyebabkan penurunan

kestabilan sistem sumber arus, sehingga memerlukan penambahan sistem pendingin.

Menambah jumlah lilitan menjadi dua kali jumlah lilitan semula akan meningkatkan kemampuan pengukuran menjadi $2 \times$. Lilitan dapat ditambahkan kearah radial atau aksial, penambahan kearah radial akan menambah luas tampang sehingga dimensi luas akan bertambah besar, maka sifat pengukuran titik (*point measurement*) akan berkurang. Sedangkan penambahan lilitan kearah aksial akan menyebabkan dimensi lebar menjadi besar sehingga mengurangi sifat pengukuran titik.

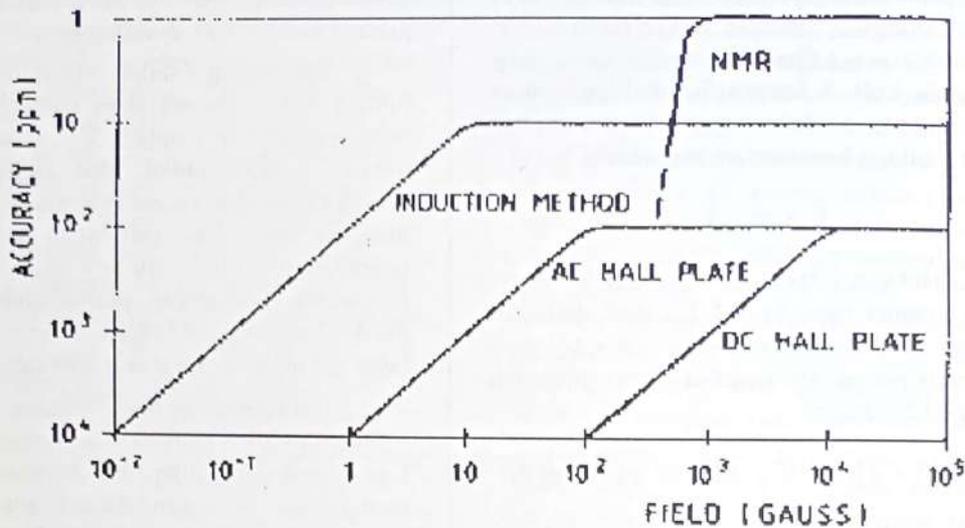
Memperbesar luas tampang koil hanya bisa pada arah radial, dengan cara memperbesar diameter kore (*core*) dari lilitan, kekurangannya adalah akan mengurangi sifat pengukuran titik seperti pada penambahan lilitan kearah radial.

Memperpendek waktu perubahan arus (dt) teoritis dapat dilakukan sependek mungkin, tetapi dalam kenyataannya perlu diperhatikan kaitannya dengan sistem elektronik yang digunakan.

Dalam perancangan sistem pengukuran perlu diperhatikan paling tidak dua kriteria yaitu jangkau ukur dan akurasi yang disesuaikan dengan obyek yang akan diukur. Suatu sistem pengukuran dengan metode tertentu jarang sekali memenuhi keunggulan kedua kriteria tersebut secara simultan.

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara jangkau ukur dengan akurasi untuk berbagai metode, sebagai contoh metode NMR (sebagai metode kalibrator) mempunyai keunggulan akurasi (1ppm) tetapi mempunyai kekurangan dalam jangkau ukur 10^3 sampai 10^5 gauss sehingga tidak dapat digunakan untuk pengukuran medan magnet dibawah 1 k gauss. Sedangkan untuk metode *AC Hall Plate* yang banyak dipergunakan karena mempunyai sifat *portable* dan pengukur titik, mempunyai akurasi cukup tinggi sekitar 100 ppm dan jangkau ukur cukup lebar dari 10^2 sampai 10^5 gauss.

Metode koil kembar termasuk metode induksi, berdasarkan Gambar 3 terlihat bahwa metode induksi mempunyai akurasi tinggi sekitar 10 ppm dan jangkau ukur lebar sekitar 10 sampai 10^5 gauss. Berdasarkan pembahasan terdahulu yaitu untuk meningkatkan jangkau ukur dapat dilakukan dengan berbagai cara antara lain dengan menaikkan arus koil 1, memperbesar luas tampang koil atau menambah lilitan koil yang masing masing cara mempunyai keterbatasan dan kekurangan. Berdasarkan hal tersebut perancangan koil kembar dengan luas tampang 1 cm^2 dan lebar koil 1 cm dengan 100 lilitan dan arus maksimum 2 A mempunyai jangkau 10 sampai 250 gauss untuk mengukur medan magnet pengarah, pemfokus, pemayar dari sistem optik MBE.



Gambar 3. Grafik akurasi dan jangkau metode pengukuran medan magnet⁽¹⁾.

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan tersebut diatas, perancangan pengukuran medan magnet dengan metode koil kembar dengan spesifikasi jumlah lilitan masing masing koil N 100, lebar koil 1 cm, luas tampang koil 1 cm², akurasi 10 ppm, jangkau ukur 250 gauss realitis untuk dikembangkan, sebagai salah satu sarana pengukuran medan magnet khususnya pada sistim optik MBE dan tidak menutup kemungkinan dikembangkan dalam bidang pendidikan dan medis. Dalam bidang medis dimungkinkan mengembangkan detektor koil kembar bentuk keping dengan teknologi sputtering sehingga dapat untuk mengukur medan magnet yang ditimbulkan oleh tubuh manusia atau untuk pengukuran medan magnet berorde 10⁻³ gauss.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih saya sampaikan pada ibu Dewita, Bpk Sunardi, Bpk Suparjan, Bpk Juwarno dan rekan rekan di Balai Elektromekanik yang telah membantu terwujudnya makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. HENIRCHEN K.N., *Classification of Magnetic Measurement Methods*, Proceedings Magnetic Measurement And Alignment, CERN Accelerator School, Switzerland, September, 1992.

2. RODIGIN N.M. et al., *Testing of Objects by the Method of Eddy Current*, Proceeding Magnetic Method Of Flaw Detection (Non Destructive Testing) Analysis and Measurement, Translation Series. USAEC, Washington, 1959.
3. WEBBER R. C., *Charged Particle Beam Current Monitoring Tutorial*, Beam Instrumentation Workshop. AIP Conference Proceedings 333, Canada, October 1994.
4. SEARS F.W. et al., *College Physics*, Addison-Wesly Publishing Company, Inc, London, 1960.
5. DJOKO S.P. dkk., *Pengukuran Distribusi Medan Magnet Sistem Optik MBE Pada Tahap Pra-Konstruksi*, Prosiding PPI, P3TM-BATAN, Yogyakarta, 2001.

TANYA JAWAB

Prajitno

- Koil kembar itu ide orisinil dari penulis atau pengembangan dari ide orang lain.
- Mengapa harus digunakan komputer dalam penampilan datanya.

Bambang Supardiyono

- Ide koil kembar dikembangkan dari metode pengukuran bahan dengan mengukur permeabilitasnya (Rodigin N.M., dkk.) dan metode

pengukuran berkas elektron non intercepting pada akselerator (Webber RC).

- *Guna komputer sebagai pengendali fungsi generator dan pengolahan data.*

Darsono

- *Aplikasinya di bidang apa? Dan yang akan diukur apa?*

Bambang Supardiyono

- *Aplikasi direncanakan pada sistem optik MBE, seperti medan magnet pengarah, medan magnet pemfokus dan medan magnet pemayar, tidak menutup kemungkinan dikembangkan pada bidang pendidikan sebagai sarana praktikum.*

Budi Santosa

- *Apakah pengaruh histerisis tidak mempengaruhi hasil pengukuran?*

Bambang Supardiyono

- *Pada metode koil kembar tidak ada pengaruh histerisis karena inti (core) dari koil adalah udara dengan permeabilitas $\mu_0 = 12,57 \times 10^{-7}$ W/Am.*

Yunanto

- *Medan magnetnya DC apa AC, kalau DC apa bisa menginduksi.*
- *Untuk keperluan akselerator kemungkinan memerlukan medan magnet yang lebih besar 250 Gauss.*

Bambang Supardiyono

- *Medan magnet yang diukur medan DC (statis).*
- *Untuk medan magnet yang lebih besar dari 250 Gauss, bentuk koil dan lebar koil disesuaikan sehingga jangkau ukurnya menjadi besar.*