

DOI: doi.org/10.21009/03.SNF2019.02.PA.19

DESAIN DAN PENGEMBANGAN ELEKTROMAGNET PORTABEL BERBASIS PELAT TEMBAGA

Sony Wardoyo^{1,2, a)}, Mitra Djamal^{1, b)}, Maman Budiman^{1, c)}

¹*Institut Teknologi Bandung, Jalan. Ganesha 10 Bandung, Jawa Barat.*

²*Universitas Cenderawasih, Jalan. Kamwolker Uncen Baru Waena, Jayapura, Papua.*

Email: ^{a)}sonywardoyo@students.itb.ac.id, ^{b)}mitra@fi.itb.ac.id, ^{c)}maman@fi.itb.ac.id

Abstrak

Penemuan elektromagnet telah banyak memberikan pengaruh yang besar terhadap perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, yang mana oleh karena sifat kemagnetan yang bisa diatur sehingga dapat memberikan manfaat praktis diantaranya motor listrik, relai, generator pembangkit listrik, dan saklar pintu otomatis. Pada penelitian ini dilakukan suatu desain dan rancangan elektromagnet berupa pelat tembaga yang di cetak berbentuk kepingan koin yang terdapat lubang ditengah untuk inti besi. Setiap pelat terdapat isolator yang memisahkan antar tiap pelat yang disusun berulir sehingga terbentuk heliks lilitan pelat tembaga. Hasil eksperimen didapat bahwa rancangan elektromagnet dengan menggunakan pelat tembaga, dapat menghasilkan medan magnet, 0 hingga 4 mTesla, dengan pengukuran menggunakan Gaussmeter. Implikasi pada penelitian ini akan berdampak pada riset fisika maupun ilmu rekayasa yang berkaitan pada penggunaan elektromagnet yang bersifat portabel dan ringkas, selain itu berpotensi untuk dikembangkan agar dapat menghasilkan medan magnet tinggi.

Kata-kata kunci: elektromagnet, tesla, pelat, tembaga, magnetik, medan.

Abstract

The discovery of electromagnets has had a great influence on the development of science and technology, which is due to the magnetic nature that can be regulated so that it can provide practical benefits including electric motors, relays, generator power plants, and automatic door switches. In this study a design and design of an electromagnet in the form of a printed copper plate was formed in the form of a coin with a hole in the middle for an iron core. Each plate has an insulator that separates between each plate that is arranged in a thread so that a helical coil of copper plate is formed. The experimental results obtained that the electromagnetic design using a copper plate, can produce a magnetic field, 0 to 4 mTesla, with measurements using Gaussmeter. The implications of this study will have an impact on physics research and engineering science related to the use of electromagnets that are portable and compact, besides that they have the potential to be developed in order to produce high magnetic fields.

Keywords: electromagnet, tesla, plate, copper, magnetic, field.

PENDAHULUAN

Pengembangan elektromagnet tipe pelat tembaga pertama kali dikembangkan oleh Francis Bitter di MIT, pada tahun 1936, sehingga dinamakan elektromagnet tipe Bitter. Magnet yang dikembangkan adalah koil berbentuk heliks yang dibentuk oleh tumpuan pelat tembaga yang didesain berbentuk cakram, yang

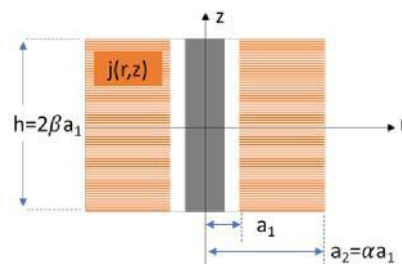
disatukan dengan lembaran pemisah antar pelat yaitu isolator yang terintegrasi dengan sistem pendingin menggunakan air untuk menghindari panas yang dihasilkan dari arus listrik yang besar,[1][4]. Jika dibandingkan dengan elektromagnet konvensional yang menggunakan gulungan kawat, elektromagnet berbasis pelat tembaga relatif lebih mudah dimodifikasi, oleh karena dengan mudah ditambahkan ataupun dikurangi jumlah lilitan,[5] dalam hal ini pelat tembaga. Capaian oleh lembaga riset magnet NHMFL, di AS mampu menghasilkan 41,5T elektromagnet tipe Bitter dengan sistem pendingin,[7][11]. Selain itu, lembaga penelitian medan magnet HFML Universitas Radboud di Nijmegen juga memiliki elektromagnet tipe pelat dengan sumber arus DC yang digunakan untuk layanan kepada pengguna eksternal dan penelitian internal di bidang magnet tinggi, dengan beberapa penelitian yang telah dilakukan di bidang ilmu rekayasa,[6][8][9]. Beberapa penelitian telah dilakukan dengan menggunakan elektromagnet tipe pelat diantaranya riset fisika kuantum,[8]. Masalahnya adalah Elektromagnet berbasis pelat tembaga yang telah dikembangkan fokus pada skala ukuran yang besar dengan daya listrik yang besar dan tidak portabel karena bersifat tetap dan tidak bisa dipindahkan, sehingga dalam aplikasi yang bersifat praktis sangat sulit untuk diterapkan. Perlu dikembangkan sebuah elektromagnet tipe pelat yang bersifat portabel. Fokus pada penelitian ini digunakan sumber arus DC sebesar 0,5 hingga 2 Ampere dengan jumlah pelat sebanyak 30 pelat tembaga, dengan diameter lingkaran luar sebesar 50mm dan dalam 20mm. Pada proses awal desain dan pengembangan digunakan simulasi ANSYS dan kemudian dilakukan percobaan tanpa sistem pendingin, hal ini dilakukan untuk mengetahui tahapan dan proses awal dari pelat tembaga yang terhubung secara heliks.

METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental. Proses desain dan optimasi analisis struktur fisik pelat elektromagnet dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS 19.2 versi akademik,[13][14]. Berdasarkan pada persamaan geometri pelat dan juga gambar penampang digunakan rumus Fabry.

$$G = \frac{1}{\sqrt{4\pi\beta \ln \alpha}} \ln \frac{\alpha(\beta + \sqrt{1 + \beta^2})}{\beta + \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}}, \text{ dimana } \alpha = \frac{a_2}{a_1} \text{ dan } \beta = \frac{h}{2a_1} \quad (1)$$

Pada persamaan (1) disebut sebagai faktor Fabry, suatu ekspresi untuk menghasilkan bidang pusat solenoida sebagai fungsi dari dimensi geometri, sebagai fungsi dari nilai α dan β ,[5]. Dimana a_1 merupakan radius dalam dan a_2 radius luar pada pelat tembaga. Sedangkan h merupakan tinggi elektromagnet. Faktor Fabry tertuang pada ilustrasi GAMBAR 1.



GAMBAR 1. Faktor geometri pada desain elektromagnet,[5].

Faktor Fabry mempunyai nilai tak berdimensi yang berkaitan erat dengan desain sebuah elektromagnet. Hal ini menjadi acuan dalam aspek kajian teoritik mengenai prediksi besar medan magnet B yang dihasilkan desain yang telah dirancang.

$$B_0 = \sqrt{\frac{\mu_0 W_m}{\alpha_1^2}} G \quad (2)$$

Persamaan (2) merupakan besar medan magnet yang dikaitkan dengan faktor geometri, dimana B_0 adalah besar medan magnet ditengah solenoida, W_m adalah energi medan magnet. Sehingga faktor besar radius dalam, luar maupun tinggi solenoida berperan dalam besar medan magnet yang dihasilkan. Pada gambar 2, secara ringkas merupakan proses atau tahapan dalam eksperimen.

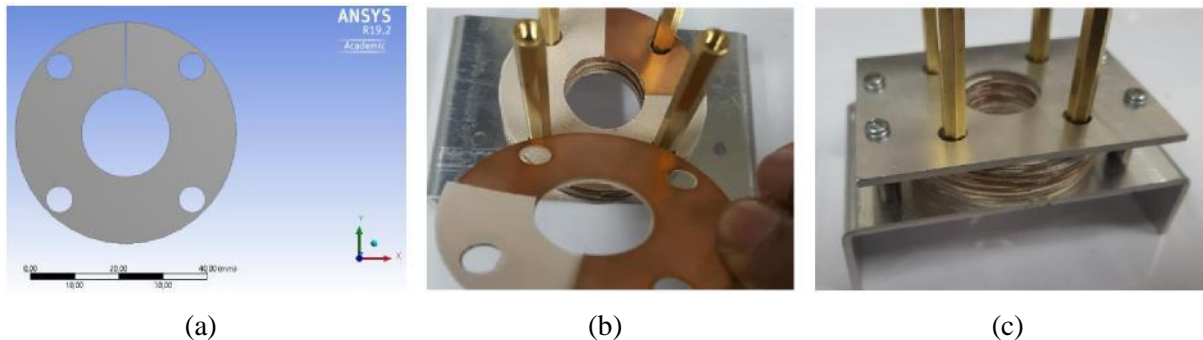


GAMBAR 2. Proses desain pada elektromagnet, eksperimen dan olah data hasil pengukuran.

Dasar dari prinsip elektromagnet berbasis pelat terdapat faktor geometri yang mendasari persamaan fisisnya. Pada GAMBAR 3a, merupakan hasil desain dengan menggunakan ANSYS, yang mana telah diuji simulasi struktur pelatnya.

Item	Jenis Bahan	Keterangan
Platform	Alumunium	Sebagai sasis atau kerangka untuk membentuk satu rangkaian elektromagnet
Isolator	Kertas teflon tahan panas	Fungsinya sebagai spacer atau pemisah antar pelat tembaga
Konduktor	Pelat tembaga	Tebal 0.3mm, diameter dalam 20mm, diameter luar 50mm. Jumlah pelat 30 (ekivalen 30 lilitan)

Spesifikasi pelat tembaga, pada tabel 1, tebal 0,3mm dengan diameter dalam 20mm dan luar 50mm, terdapat 4 lubang kecil yang terbagi pada posisi yang sama, berfungsi sebagai tempat pengatur posisi pelat konduktor dan isolator yang terbuat dari kertas teflon tahan panas, dirangkai menjadi lilitan heliks.



GAMBAR 3. Proses desain hingga perakitan elektromagnet berbasis pelat tembaga, (a) Desain dan simulasi menggunakan software ANSYS 19.2 versi akademik, (b) Pelat tembaga dan isolator dalam 1 lilitan, (c) Rangkaian elektromagnet berbasis pelat tembaga.

Pada GAMBAR 3b, proses perakitan pelat tembaga dan isolator menjadi salah satu bagian dari lilitan heliks yang mana posisi isolator di geser 90° kebawah pelat tembaga, sehingga pada saat disusun dengan rangkaian pelat lain akan membentuk heliks. Platform seperti terlihat pada GAMBAR 3c merupakan kerangka atau sasis yang menyatukan semua komponen pelat heliks menjadi elektromagnet.

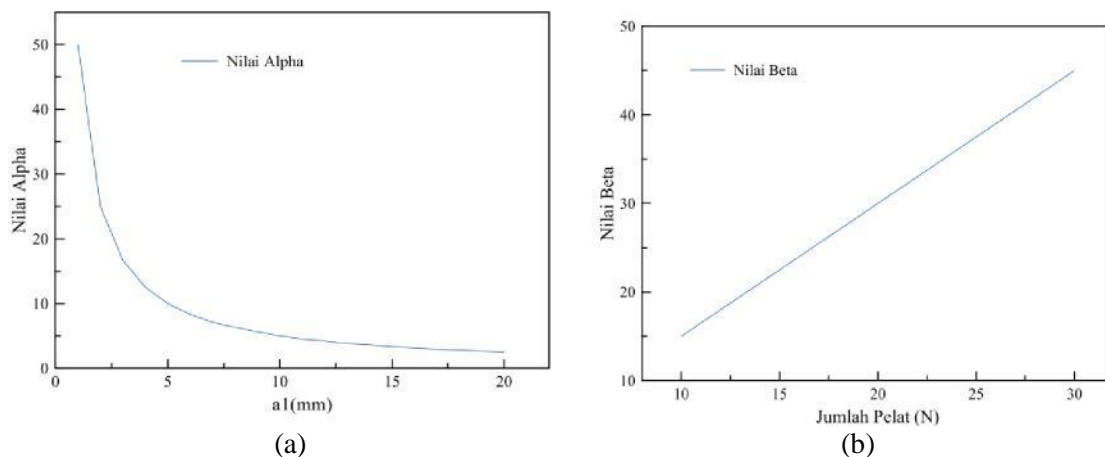
TABEL 2. Alat yang digunakan dalam eksperimen dan spesifikasi

Nama Instrumen/Alat Ukur	Merek dan Seri	Spesifikasi
Multimeter	SANWA, Seri	Menguji konektivitas antar pelat tembaga
Gaussmeter	WEITE, Seri WT10A	0 – 2 Tesla, NST 0,1 mT
Power Supply DC	GW INSTEK, Seri GPS-1850D	0 – 5 Ampere

Proses pengujian elektromagnet dan pengambilan data eksperimen menggunakan instrumen dan alat ukur, pada tabel 2, multimeter digunakan untuk cek dan tes antar pelat agar tetap terhubung satu dengan yang lain. Pengukuran yang dilakukan besar medan magnet menggunakan Gaussmeter, yang mana pengukuran dilakukan dari pelat ke 30 hingga 10, sumber tegangan DC 4,5 volt dengan variasi arus listrik 0,5 hingga 2 Ampere.

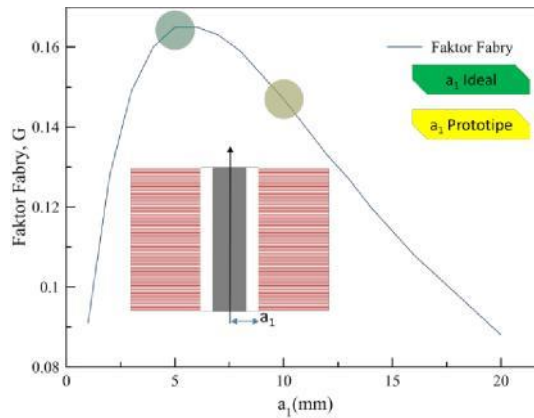
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini secara simulasi dan fisik dalam membangun elektromagnet portabel berbasis pelat tembaga,[2][3] berdasarkan pada metode penelitian didapat nilai α dan 1. Pada gambar 4a merupakan simulasi grafik untuk nilai α berdasarkan geometri pelat tembaga, nilai ini bermakna bahwa ukuran diameter dalam sangat berpengaruh terhadap besar medan m yang dihasilkan oleh elektromagnet, sedangkan pada gambar 4b yang merupakan nilai 1 bermakna jumlah pelat yang dalam hal ini juga merupakan tinggi elektromagnet mempunyai peranan terhadap medan magnet yang dihasilkan sesuai dengan makna fisis pada persamaan (1) dan (2).



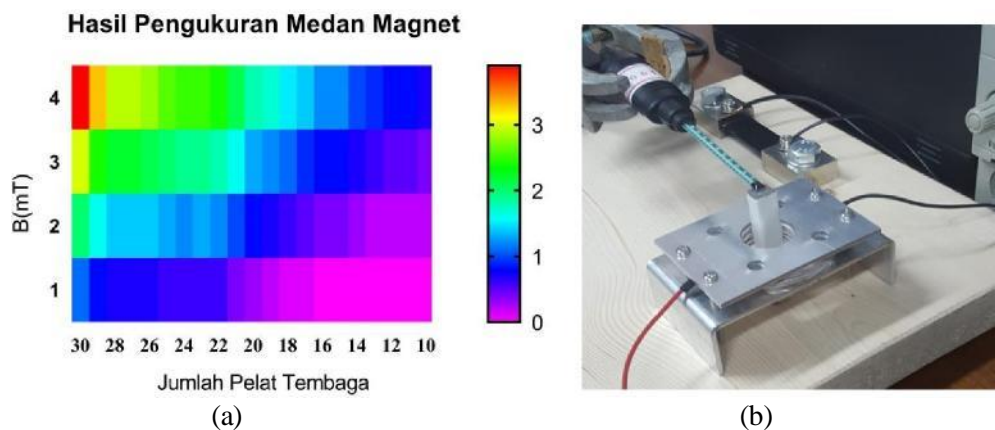
GAMBAR 4. Hasil eksperimen elektromagnet berbasis pelat tembaga, (a) pemetaan medan magnet berdasarkan jumlah pelat, (b) rangkaian eksperimen elektromagnet berbasis pelat tembaga dengan alat ukur gaussmeter.

Nilai α dan 1 sangat berpengaruh terhadap faktor Fabry seperti pada gambar 5, hasil simulasi untuk hubungan faktor Fabry dan radius dalam pelat tembaga. Pada prototipe pelat $a_1 = 10$ mm nilai faktor Fabry tidak sebesar nilai a_1 ideal yang nilainya antara 3 dan 5 mm, yang artinya pada penelitian berikutnya akan dilakukan rancangan untuk nilai < 10 mm. Prototipe elektromagnet berbasis pelat tembaga ini merupakan tahap awal dari penelitian ini, yang mana fokus pada pengujian teori, simulasi dan eksperimen serta di jadikan landasan awal pada desain dan rancangan prototipe berikutnya.



GAMBAR 5. Hubungan antara Faktor Fabry dan radius dalam pada pelat tembaga.

Hasil pengukuran besar medan magnet pada prototipe terlihat pada gambar 5a, dimana rentang medan magnet ukur pada 0 hingga 4 mili Tesla, untuk jumlah 10 hingga 30 pelat tembaga yang diasumsikan sebagai 30 lilitan solenoida.



GAMBAR 6. Hasil eksperimen elektromagnet berbasis pelat tembaga, (a) pemetaan medan magnet berdasarkan jumlah pelat, (b) rangkaian eksperimen elektromagnet berbasis pelat tembaga dengan alat ukur Gaussmeter.

Faktor geometri sangat mempengaruhi besar medan magnet pada elektromagnet berbasis pelat, hal ini karena ada faktor ketebalan yang mempengaruhi. Pada gambar 5b, merupakan gambar eksperimen pengukuran, prototipe inti besi menggunakan pelat besi yang digabung menjadi balok, desain ini mengadopsi desain transformator, yang fungsinya mengurangi efek arus Eddy yang mengakibatkan panas berlebih.

SIMPULAN

Pada penelitian ini telah didapat hasil eksperimen berupa elektromagnet portabel berbasis pelat tembaga yang telah diukur menghasilkan medan magnet pada rentang 0 hingga 4 mT, dengan jumlah pengukuran pada rentang 10 hingga 30 pelat tembaga pada rentang arus 0,5 hingga 2 A. Selain itu tiap pelat mampu menghantarkan listrik, walaupun terhubung secara partisi, tidak kontinyu seperti pada elektromagnet jenis kawat tembaga. Jika dibandingkan dengan penelitian elektromagnet tipe pelat yang berukuran besar dan tetap, maka elektromagnet ini dapat dikembangkan lebih bersifat portabel dengan kebutuhan praktis. Hasil eksperimen juga membuktikan kelebihan dari elektromagnet tipe pelat dibandingkan dengan tipe kawat tembaga adalah, mudah untuk ditambahkan

atau dikurangkan jumlah lilitan. Pada penelitian berikutnya akan ditingkatkan capaian besar medan magnet hingga rentang orde Tesla.

REFERENSI

- [1] Bates, E.M., Birmingham W.J. and Talamas, C.R., "Design Optimization of Nested Bitter Magnets", IEEE Trans. On Magnetics, 2017, 53(3), pp. 1-8.
- [2] Bird, M.D., Dixon, I.R. and Toth, J., "Design of the Next Generation of Florida-Bitter Magnets at the NHMFL", IEEE Trans. On Applied Superconductivity, 2004, 14(2), pp. 1253-1254.
- [3] Furlani, E.P., "Permanent Magnet and Electromechanical Devices", Academic Press, 2001, 1-3.
- [4] Kolm, H.H., "Advances in the Generation and use of Very High Continuous Magnetic Fields", Nature, 1961. 192, pp. 299-300.
- [5] Kratz, R. and Wyder, P., "Principles of Pulsed Magnet Design", Springer-Verlag, 2002, 1-53.
- [6] Motokawa, M., Awaji, S., Miura, S., Hamai, H., Mogi, I. and Watanabe, K., "Construction of Large Scale Bitter Magnet and its Application to Crystal Growth in Levitating Water", IEEE Trans. On Applied Superconductivity, 2000, 10(1), pp. 905-906.
- [7] Ouden, A., Wulffers, C.A., Hussey, N.E., Laureijs, G., Wijnen, F.J.P., Wulterkens, G.F.A.J., Bird, M.D., Dixon, I.R. and Perenboom, J.A.A., "Progress in the Development of the HFML 45 T Hybrid Magnet", IEEE Trans. On Applied Superconductivity, 2016, 26(4), pp. 1-3.
- [8] Ozerov, M., Bernáth, B., Kamenskyi, D., Meer, A.F.G., Christianen, P.C.M., Engelkamp, H. and Maan, J.C., "A THz Spectrometer Combining the Free Electron Laser FLARE with 33 T Magnetics Fields", Applied Physics Letter, 110(094106), 2017, pp. 2-5.
- [9] Perenboom, J.A.A.J., Maan, J.C., Breukelen, M.R., Wiegers, S.A.J., Ouden, A., Wulffers, C.A., Zande, W.J., Jongma, R.T., Meer, A.F.G. and Redlich, B., "Developments at the High Field Magnet Laboratory in Nijmegen", Journal of Low Temperature Physics, 2012, 170, pp. 520-522.
- [10] Sabulsky, D.O., Parker, C.V., Gemelke, N.D. and Chin, C., "Efficient Continuous-Duty Bitter-Type Electromagnets for Cold Atom Experiments", Review of Scientific Instruments, 2013, 84(104706), pp. 1-5.
- [11] Toth, J. and Bole, S.T., "Design, Construction, and First Testing of a 41.5 T All-Resistive Magnet at the NHMFL in Tallahassee", IEEE Trans. On Applied Superconductivity, 28(3), pp. 14, 2018.
- [12] Wang, Z., Wu, J., Yang, W., Bera, A.K., Kamensky, D., Islam, A.T.M.N., Xu, S., Law, J.M., Lake, B., Wu, C. and Loidl, A., "Experimental Observation of Bethe Strings", Nature, 2018, 554, pp. 221-222.
- [13] Wiegers, S.A.J., Rook, J., Ouden, A., Perenboom, J.A.A.J. and Maan, J.C., "Design and Construction of a 38 T Resistive Magnet at the Nijmegen High Field Magnet Laboratory", IEEE Trans. On Applied Superconductivity, 2012, 22(3), pp. 2-3.
- [14] Wijnen, F.J.P., Wiegers, S.A.J., Velsen, J.M.H., Rook, J., Ouden, A., Perenboom, J.A.A.J. and Hussey, N.E., "Construction and Performance of a 38-T Resistive Magnet at the Nijmegen High Field Magnet Laboratory", IEEE Trans. On Applied Superconductivity, 2016, 26(4), pp. 1-2.