SELF ARRANGEMENT OF ANECHOIC CHAMBER AND HELMHOLTZ COIL FOR EMC TEST

Teti Zubaidah[1,2], Bulkis Kanata[1], Paniran[1], Budi Irmawati[1]

[1] Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mataram
Jl. Majapahit 62, Mataram, INDONESIA
[2] tetizubaidah@yahoo.com

ABSTRAK

Sekalipun tema-tema penelitian mengenai elektromagnetik sangat menarik dan dapat diaplikasikan secara luas di berbagai bidang kehidupan, namun demikian di Indonesia masih sangat jarang dilakukan. Kendala yang umum adalah mahalnya biaya yang harus diinvestasikan untuk melakukan pengujian dan pengukuran elektromagnetik, khususnya penyediaan ruang pengujian dan perangkat pembangkitan medan/gelombang elektromagnetik yang memenuhi standar. Pembelian perangkat yang siap pakai, karena umumnya masih harus didatangkan dari negara lain, juga mengalami kendala dalam masalah prosedur importasi. Penyusunan sendiri sebuah ruang uji elektromagnetik dan pembangkit medan magnet diharapkan menjadi solusi masalah ini.

Ruang pengujian yang disusun adalah sebuah semi-anechoic chamber berukuran 3 x 3 x 3 m^3 yang terbuat dari bahan Alumunium dan kerangka besi yang terisolir rapat menggunakan Alumunium foil. Sepasang kumparan Helmholtz dibuat dengan diameter 2 m untuk membangkitkan medan magnet seragam di ruang antara kedua kumparan yang berjarak 1 m satu sama lain. Efektifitas shielding dari ruang uji dan besar serta arah medan magnet yang dibangkitkan oleh kumparan Helmholtz diukur menggunakan SPECTRAN NF-5030®, yang mampu merekam dan menampilkan pengukuran elektromagnetik dalam bentuk spektrum pada rentang frekuensi 0 – 30 MHz.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa ruang pengujian yang dirancang dapat meredam medan magnet statis dari luar dengan efektifitas shielding rata-rata sebesar 87,5%. Kumparan Helmholtz yang dirancang dapat menghasilkan medan magnet seragam sebesar 3778,88 nT melalui pemberian arus listrik searah (DC) sebesar 2A. Faktor koreksi dan pengujian lebih lanjut masih harus diterapkan pada kumparan tersebut untuk mengurangi besarnya penyimpangan dari harga teoritis.

Kata kunci: Elektromagnetik, medan magnet statis, anechoic chamber, kumparan Helmholtz, spektrum.

1. Pendahuluan

Pengujian-pengujian elektromagnetik untuk mengukur secara teliti besarnya induksi medan magnet maupun medan listrik memerlukan suatu lingkungan khusus yang harus sengaja diciptakan untuk meminimalisir sinyal yang tidak diinginkan (noise). Sekalipun pengadaan paket ruang pengujian dapat dipesan langsung ke beberapa perusahaan yang bergerak dalam bidang EMC (Electromagnetic Compatibility), namun masalah utama yang dihadapi umumnya adalah biaya yang tinggi untuk pengadaan sebuah ruang uji standar *built-in*.

Masalah lainnya adalah tidak terdapat ukuran ruang uji tunggal yang bisa memenuhi segala keperluan. Sebagai contoh, sebuah provider jasa wireless perlu mengadakan pengujian untuk telephone wireless, sehingga hanya perlu sebuah cell pengujian dengan antena terintegrasi untuk dapat mendiagnosa sinyal telephone secara cepat dan akurat. Sementara itu, sebuah industri automotive memerlukan sebuah ruang pengujian yang besar yang mampu menampung pengujian kendaraan dalam keadaan operasi penuh sampai dengan kecepatan 112 km/jam. Untuk itu ruang pengujian elektromagnetik biasanya dirancang secara khusus untuk memenuhi keperluan tertentu.

Selain ruang pengujian, dalam studi elektromagnetik diperlukan pula alat pembangkit sinyal atau penginduksi medan. Penginduksian medan magnet dapat dilakukan dengan sebuah kumparan uji, berupa kumparan Helmholtz. Kumparan ini pertama kali dirancang oleh seorang fisikawan Jerman, Hermann von Helmholtz, pada sekitar satu abad yang lalu. Sebenarnya susunannya cukup sederhana dan sangat mudah dipahami, serta tersedia dalam berbagai bentuk rancangan yang

dijual secara komersial untuk berbagai aplikasi. Namun demikian, untuk sebuah studi yang akan dilakukan, diperlukan sebuah kumparan Helmholtz dengan luasan yang cukup besar, yang di pasaran harganya sangat mahal.

Perancangan ruang uji dan kumparan uji dalam studi kali ini adalah untuk memenuhi kebutuhan simulasi medan magnet statis dalam rangka keperluan penunjang studi geomagnetik di pulau Lombok, yakni pembuatan sistem konsentrator geomagnetik untuk pembangkit listrik tenaga magnet Bumi. Riset ini dibiayai oleh Kementerian Riset dan Teknologi, melalui hibah penelitian Sistem Inovasi Nasional (SiNas) 2012.

2. Ruang Pengujian (*Anechoic chamber*)

Sebutan *anechoic chamber* berasal dari kata "*an-echoic*" yang berarti tanpa gema atau bebas gema, yakni bermakna sebuah ruangan yang dirancang khusus untuk menghalangi terjadinya pantulan suara ataupun gelombang elektromagnetik. Ruang ini juga terisolasi dari sumber *noise* dari luar ruangan. Istilah ini pertama kali dikenalkan oleh ahli akustik Amerika, Leo Beranek, yang pada awalnya menggunakan istilah ini dalam hal gelombang bunyi. Namun selanjutnya istilah ini juga dipakai dalam bidang elektromagnetik.

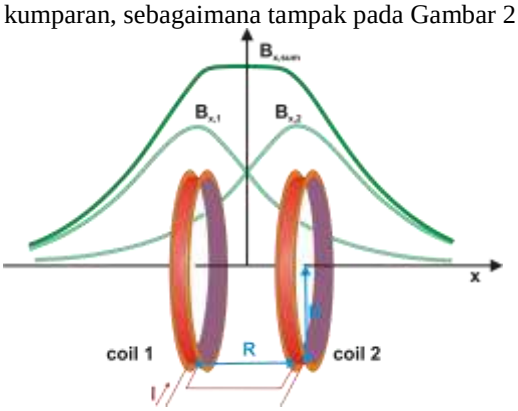
Ruang pengujian yang dirancang dalam studi ini terbuat dari bahan shielding berupa pelat Alumunium dan kerangka besi, serta dilengkapi grounding yang terbuat dari pelat besi. Dimensinya 3 x 3 x 3 m^3, yang disesuaikan dengan kebutuhan penempatan benda uji. Ruangan ini dimaksudkan untuk melakukan pengujian dengan medan magnet statis sampai dengan frekuensi 30 MHz.

Gambar 1. Rancangan ruang pengujian (*anechoic chamber*)

Hal yang paling penting dalam perancangan ruang ini adalah jaminan kontinuitas bahan shielding, dengan tidak adanya celah atau lubang yang mungkin dapat dilewati gelombang elektromagnetik. Hal ini dilakukan dengan merapatkan secara sempurna pelat-pelat aluminium ke kerangka besi, serta menambahkan isolasi aluminium di sepanjang sambungan/ pertemuan dua pelat. Selain itu, resistansi grounding harus memenuhi kriteria R < 10 ohm. Kabel-kabel sumber daya dan sumber cahaya yang digunakan di dalam ruangan juga tidak diperkenankan menimbulkan induksi tambahan.

3. Kumparan Uji (Helmholtz coil)

Gyawali (2008) mendeskripsikan kumparan Helmholtz sebagai sepasang kumparan dengan lilitan berbentuk lingkaran simetris yang disusun secara berhadapan. Kedua kumparan dipisahkan dengan jarak tertentu, dan masing-masing dilalui arus dengan besar dan dalam arah yang sama. Prinsip dasar kumparan ini adalah untuk menghasilkan medan magnet seragam di pusat lingkaran **(Trout, 1988)**. Intensitas medan magnet yang dihasilkan adalah setara dengan jumlah lilitan dan arus yang melalui kumparan. Komponen utama medan adalah sejajar dengan sumbu utama kumparan. Medan yang seragam di ruang antara kedua kumparan itu merupakan jumlah dari medan-medan yang paralel terhadap sumbu utama kumparan, sebagaimana tampak pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema kumparan Helmholtz dan medan magnet yang dibangkitkan masing-masing kumparan, serta medan magnet total (Sumber: http://www.emf-portal.de/)

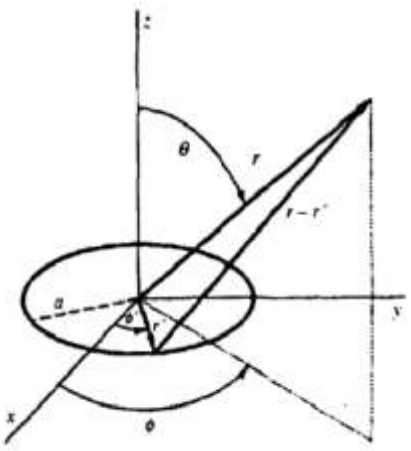
Kumparan Helmholtz biasa digunakan dalam beberapa penerapan, antara lain:

1. Pengukuran, seperti pengukuran momen dari sebuah magnet permanen
2. Pengujian kompatibilitas elektromagnetik/EMC **(Anderson, 1999)**
3. Penetralan induksi statik dari medan magnet Bumi
4. Studi biomagnetik

Besarnya medan magnet yang dihasilkan suatu kumparan Helmholtz dapat diturunkan secara matematis dari persamaan-persamaan Maxwell. Medan magnet yang dihasilkan suatu kumparan dapat ditentukan berdasarkan teori rangkaian listrik dan menggunakan arus listrik seragam sebagai sumber vektor potensial **(EMC Test Systems, 2001)**. Besarnya medan magnet dapat diturunkan dari vektor potensial yang dihasilkan, yaitu:

$$\mathbf{A}(r) = \frac{\mu}{4\pi}\int \frac{I\,\overline{dl}}{\bar{r}-\bar{r}'} \qquad (1)$$

dimana **A** adalah vektor potensial dan *I* adalah arus listrik yang melalui kumparan.



Gambar 3. Geometri untuk menurunkan persamaan kumparan Helmholtz.

Persamaan-persamaan berikut ini dapat diturunkan dari geometri pada Gambar 3:

$$\overline{dl} = (\sin\phi, r\cos\phi, 0)d\phi$$

$$r = (r\sin\theta, 0, r\cos\theta)$$

$$r' = (a\cos\phi, a\sin\phi, 0)$$

$$\left|\bar{r}-\bar{r}'\right| = \sqrt{r^2 + a^2 - 2ra\sin\theta\cos\phi} \qquad (2)$$

$$\mathbf{A}_\phi(r,\theta) = \frac{\mu_0 Ia}{2\pi}\int_0^{\pi} \frac{\cos\phi d\phi}{\sqrt{r^2+a^2-2ra\sin\theta\cos\phi}} \qquad (3)$$

Jika persamaan-persamaan di atas dinyatakan dalam koordinat silinder, maka diperoleh:

$r^2 = \rho^2 + a^2$ dan $\sin\theta = \rho/\sqrt{\rho^2+z^2}$, maka

$$\mathbf{A}_\phi(\rho,z) = \frac{\mu_0 Ia}{2\pi}\int_0^{\pi} \frac{\cos\phi d\phi}{\sqrt{\rho^2+a^2+z^2-2a\rho\cos\phi}} \qquad (4)$$

Jika batas atas integral kita ambil π/2, maka

$$\mathbf{A}_\phi(\rho,z) = \frac{\mu_0 Ia}{2\pi}\int_0^{\pi/2} \frac{(2\sin^2\phi - 1)d\phi}{\sqrt{(a+\rho)^2+z^2-4a\rho\sin^2\phi}} \qquad (5)$$

Dengan mengingat bahwa $k^2 = \frac{4a\rho}{(a+\rho)^2+z^2}$, maka

$$\mathbf{A}_\phi(\rho,z) = \frac{\mu_0 I}{\pi k}\sqrt{\frac{a}{\rho}}\left[\left(1-\tfrac{1}{2}k^2\right)K(k) - E(k)\right] \qquad (6)$$

Dimana $K(k) = \int_0^{\pi/2} \frac{d\phi}{\sqrt{1-k^2\sin^2\phi}}$

dan $E(k) = \int_0^{\pi/2}\sqrt{1-k^2\sin^2\phi}\,d\phi$

Medan magnet merupakan curl dari vektor potensial, maka

$$\mathbf{B} = \nabla\times\mathbf{A} \qquad (7)$$

$$\mathbf{B}_\rho(\rho,z) = -\frac{dA_\phi}{dz} \text{ dan } \mathbf{B}_z(\rho,z) = \frac{1}{\rho}\frac{d(\rho A_\phi)}{dz}$$

$$\mathbf{B}_\rho(\rho,z) = \frac{\mu_0 I}{2\pi}\frac{z}{\rho\sqrt{(\rho+a)^2+z^2}}\left[\frac{a^2+\rho^2+z^2}{(a-\rho)^2+z^2}E(k) - K(k)\right] \qquad (8)$$

$$\mathbf{B}_z(\rho,z) = \frac{\mu_0 I}{2\pi}\frac{1}{\rho\sqrt{(\rho+a)^2+z^2}}\left[\frac{a^2-\rho^2-z^2}{(a-\rho)^2+z^2}E(k) - K(k)\right] \qquad (9)$$

Persamaan (8) dan (9) memberikan harga medan magnet komponen ρ dan z dalam sebuah kumparan. Pada kumparan Helmholtz, besarnya medan magnet yang dibangkitkan adalah merupakan penjumlahan dari medan yang dibangkitkan masing-masing kumparan. Jika kedua kumparan dipisahkan sejauh jarak 2d, maka persamaan berikut memberikan besarnya medan magnet total untuk komponen ρ dan z.

$$\text{Total } \mathbf{B}_\rho(\rho,z) = \mathbf{B}_\rho(\rho,z+d) + \mathbf{B}_\rho(\rho,z-d) \qquad (10)$$

$$\text{Total } \mathbf{B}_z(\rho,z) = \mathbf{B}_z(\rho,z+d) + \mathbf{B}_z(\rho,z-d) \qquad (11)$$

Pada sumbu-x, ρ = 0 dan hal ini menyebabkan k = 0, sehingga K(0) = E(0) = π/2, sementara penerapan dalil l'Hopital's memberikan B_ρ = 0. Dengan demikian pernyataan medan magnet total akan menjadi,

$$\mathbf{B}_z = \frac{\mu_0 a^2 I}{2(a^2+z^2)^{3/2}} \qquad (12)$$

Adapun medan magnet yang dibangkitkan kedua kumparan sepanjang sumbu kumparan adalah

$$\mathbf{B}_z = \frac{\mu_0 a^2 I}{2}\left[\frac{1}{(a^2+(d-z)^2)^{3/2}} + \frac{1}{(a^2+(d+z)^2)^{3/2}}\right] \qquad (13)$$

Jika kumparan memiliki sejumlah N lilitan, maka medan magnet yang dibangkitkan adalah

$$\mathbf{B}_z = \frac{\mu_0 a^2 IN}{2}\left[\frac{1}{(a^2+(d-z)^2)^{3/2}} + \frac{1}{(a^2+(d+z)^2)^{3/2}}\right] \quad (14)$$

Jika persamaan tersebut diselesaikan untuk z = 0, yakni tepat pada titik tengah antara kedua kumparan, maka

$$\mathbf{B}_z = \frac{8\mu_0 IN}{5^{3/2} a} \quad (15)$$

Kumparan yang dirancang dalam studi ini akan dialiri arus searah (DC) untuk membangkitkan medan magnet statis yang dapat menirukan medan magnet Bumi. Kumparan tersebut memiliki spesifikasi sebagai berikut

Tipe	: Monoaxial
Jumlah lilitan per kumparan	: 20
Kawat untuk lilitan	: NYA 1,5 mm^2
Resistansi total per kumparan	: 2,5 - 2,9 ΩDC
Diameter kumparan	: 200 cm
Lebar kumparan	: 230 cm
Jarak antar kumparan	: 100 cm
Tinggi kumparan	: 245 cm
Bahan konstruksi	: Kayu dan Plywood

4. Pengukuran Efektifitas Shielding Ruang Pengujian

Pengukuran ini dilakukan untuk menguji seberapa efektif ruang pengujian dapat meredam medan magnet statis eksternal (yang berasal dari luar ruangan). Rancangan pengujian dilakukan dengan peralatan sumber DC (accumulator 100 Ah), resistor geser, kawat lurus (NYA 1,5 mm^2), multitester, dan SPECTRAN NF5035®.

Gambar 4. Set-up pengujian efektifitas shielding, ketika pengukuran di luar chamber.

Medan magnet yang diukur tepat di tengah-tengah antara kedua kawat lurus, dalam arah sumbu-z (diambil arah positif ke atas). Pengukuran dilakukan dengan membuat variasi arus DC dari 1,5 – 4,0 A menggunakan resistor geser, kemudian mencatat besarnya medan magnet terukur. Dua seri pengukuran dilakukan, yakni di luar chamber dan di dalam chamber, untuk dapat melihat perbandingan hasil pengukurannya.

5. Pengukuran Induksi Magnetik Kumparan Uji

Medan magnet dibangkitkan dengan jalan menghubungkan sumber tegangan DC (accumulator 100 Ah) pada masing-masing kumparan. Rangkaian pengujian untuk setiap kumparan dirangkai secara seri, yang terdiri dari sumber tegangan, resistor geser, multimeter digital dan kumparan Helmholtz. Besar arus yang melalui kumparan diatur dengan menggunakan resistor geser.

Pengukuran medan magnet dilakukan dengan bantuan SPECTRAN NF 5035®, yang mampu mengukur medan statis dalam semua orientasi sumbu (x, y, z) dengan resolusi 1 nT, dan dapat menampung hasil pembacaan dalam logger. Pengukuran dilakukan beberapa jam secara kontinyu pada sore sampai malam hari (16:15 – 20:15 waktu setempat) untuk menghindari kondisi pembacaan pada siang hari yang banyak terpengaruh badai magnetik, serta untuk mendapatkan hasil pembacaan yang optimum.

Data diambil dalam selang waktu 1 menit, dengan setting frekuensi tengah = 0,005 Hz, dalam rentang frekuensi = 0 – 0,010 Hz, menggunakan filter 3 Hz. Tripod standard digunakan untuk menopang alat ukur dan mendapatkan pembacaan yang stabil. Medan magnet diukur pada posisi tepat di titik tengah kumparan dalam arah pusat sumbu kumparan Helmholtz.

Gambar 5 Set-up pengujian kumparan Helmholtz.

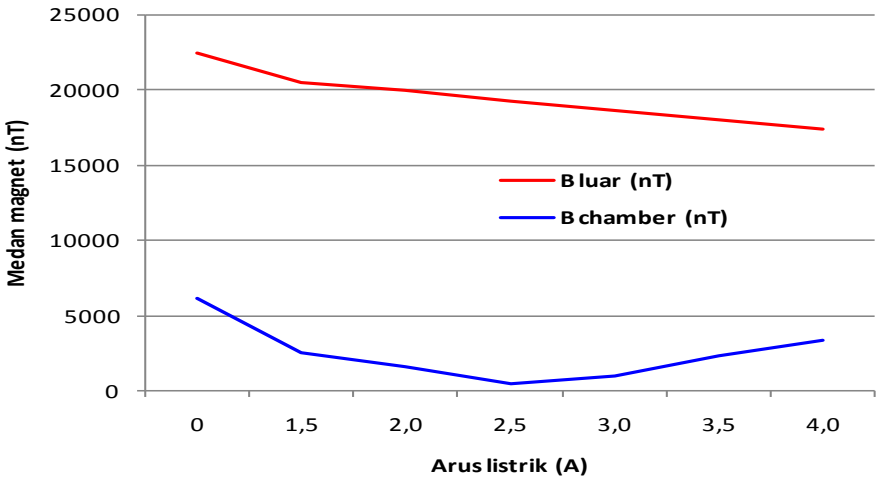
6. Analisa Hasil dan Diskusi

Tabel 1 menunjukkan data hasil pengukuran medan magnet di luar (kolom 2) dan di dalam chamber (kolom 3), untuk penerapan arus listrik 1,5 – 4,0 A. Hasil pengujian menunjukkan bahwa

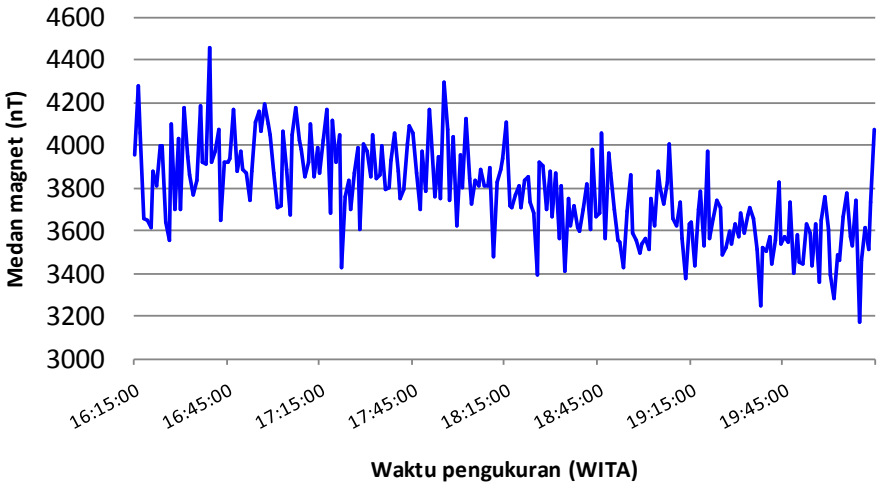
dengan peningkatan arus listrik yang diberikan akan terjadi penurunan medan magnet terukur, sebagaimana tampak dalam grafik pada Gambar 6. Hal ini tidak bertentangan dengan Hukum Biot-Savart, yang menyatakan bahwa medan magnet yang diinduksikan sebuah kawat lurus akan meningkat sebanding dengan bertambahnya arus yang diberikan. Penurunan hasil pengukuran ini terjadi karena adanya pengaruh medan magnet Bumi yang ikut terukur, dimana terdapat perbedaan orientasi antara medan magnet yang dihasilkan kawat (arah ke bawah) dengan arah vektor medan magnet Bumi di tempat pengukuran (arah ke atas). Hal ini ditunjukkan dengan nilai inklinasi geomagnetik di pulau Lombok saat ini, yakni sebesar -33,75° (Zubaidah, 2010).

Tabel 1. Hasil pengukuran medan magnet di luar dan di dalam chamber

I (A)	B luar (nT)	B chamber (nT)	Reduksi B (nT)	% reduksi
0	22490	6152	16338	72,6
1,5	20580	2559	18021	87,6
2,0	19970	1620	18350	91,9
2,5	19290	454	18836	97,6
3,0	18704	1005	17699	94,6
3,5	18104	2297	15807	87,3
4,0	17440	3398	14042	80,5



Gambar 6. Perbandingan besarnya medan magnet yang ditimbulkan oleh kawat lurus berarus (DC), yang terukur di luar (garis merah) dan di dalam chamber (garis biru).



Gambar 7. Hasil pengukuran medan magnet yang dibangkitkan kumparan Helmholtz.

Efektifitas shielding dapat ditentukan dengan menghitung selisih medan magnet yang terukur di luar dan di dalam chamber (kolom 4), yang dinyatakan dalam prosentase terhadap nilai awal. Dari hasil pada Tabel 1, diperoleh rata-rata reduksi medan magnet sebesar 87,5 %. Hasil ini menunjukkan bahwa ruang pengujian yang dirancang sudah cukup efektif meredam medan magnet statis eksternal.

Gambar 7 menunjukkan hasil pengukuran medan magnet yang dibangkitkan kumparan Helmholtz, yang memiliki harga rata-rata sebesar 3778,88 nT. Variasi nilai yang terukur (mencapai kurang lebih 1000 nT) diakibatkan karena masih adanya pengaruh medan magnet Bumi yang tidak dapat sepenuhnya teredam oleh chamber. Hal ini dapat ditunjukkan oleh adanya nilai medan awal (keadaan tanpa arus) yang terukur dalam chamber pada arah sumbu-z, sebagaimana baris pertama pada Tabel 1, yakni sebesar 6152 nT.

Harga medan magnet yang terbangkitkan ini masih sangat kecil dan cukup jauh dari nilai teoritis berdasarkan persamaan (15), yakni sebesar 35949,91 nT, dengan kesalahan sebesar 89,5 %. Hal ini dimungkinkan karena kawat yang digunakan adalah kawat berisolasi.

Untuk penerapan pengujian yang lebih akurat, perlu diterapkan faktor koreksi agar besarnya penyimpangan dari harga teoritis dapat dieliminasi. Faktor koreksi dapat ditentukan jika dilakukan pengukuran dengan memberikan variasi pada nilai arus yang melalui kumparan.

7. Kesimpulan

Ruang pengujian elektromagnetik berdimensi 3 x 3 x 3 m^3 telah dapat dirancang dengan efektifitas shielding untuk medan magnet statis mencapai 87,5 %. Sebuah kumparan uji telah dirancang dan dapat membangkitkan medan magnet statis. Harga medan magnet yang terbangkitkan masih kecil dan cukup jauh jika dibandingkan dengan nilai teoritis, sehingga perlu penerapan faktor koreksi.

Daftar Pustaka

Anderson T. (1999): *Design of a Helmholtz coil for susceptibility testing using variational calculus and experimental verification*, Electromagnetic Compability 1999 IEEE Symposium , page(s): 601-604 vol.2

EMC Test Systems (2001): *Helmholtz Coil Manual*.

Gyawali S.R. (2008): *Design and Construction of Helmholtz Coil for Biomagnetic Studies on Soybean*. Thesis, The Faculty Of The Graduate School At The University Of Missouri-Columbia.

Trout S.R. (1988): *Use of Helmholtz Coils for Magnetic Measurements*, IEEE Trans Magnetics, V.24, No.4, Jul 88 pp.2108.

Zubaidah T. (2010): *Spatio-temporal characteristics of the geomagnetic field over the Lombok Island, the Lesser Sunda Islands region: new geological, tectonic, and seismo-electromagnetic insights along the Sunda-Banda Arcs transition*. Scientific Technical Report of GFZ. doi: 10.2312/ GFZ.b103-10079; URN: urn:nbn:de:kobv: b103-10079.