

KARAKTERISTIK *MAGNETIC LOOP PROBE* POLIGONAL SEBAGAI APLIKASI PENGUKURAN *NEAR FIELD*

Haryo Dwi Prananto

Pusat Penelitian Teknologi Pengujian
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Email: hary009@lipi.go.id ; haryo.prananto@gmail.com

Priyo Wibowo

Pusat Penelitian Teknologi Pengujian
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Email: priyotenan@gmail.com

Tyas Ari Wahyu Wijanarko

Pusat Penelitian Teknologi Pengujian
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Email: tyasariwahyu@gmail.com

Wuwus Ardiatna

Pusat Penelitian Teknologi Pengujian
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Email: ardiatna@gmail.com

R. Harry Arjadi

Pusat Penelitian Teknologi Pengujian
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
Email: harry_arjadi@yahoo.com

ABSTRAK

Pada pengujian kompatibilitas elektromagnetik khususnya pada pengukuran *near field*, pengukuran medan magnet sangat diperlukan. Salah satu alat pengukuran yang digunakan adalah *magnetic loop probe*. Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan *loop probe* pada jumlah sisi geometrinya, dan belum ada referensi yang membahas tentang topik ini. *Magnetic loop probe* didesain dalam tujuh bentuk geometri yaitu bentuk segi 3 (ada dua model), segi 4, segi 6, segi 8, segi 10, dan segi tak hingga (lingkaran) dimana parameter keliling geometrinya sama. *Magnetic loop probe* didesain dengan menggunakan perhitungan sebagai *small loop antenna*. Karakteristik kelima desain *probe* dianalisis dengan mengukur S_{21} sebagai sensitivitas menggunakan *Vector Network Analyzer*. Karakteristik bentuk *probe* maupun gain dan sensitivitasnya dibahas dalam makalah ini.

Kata kunci: *magnetic loop probe*; keliling geometri; sensitivitas.

ABSTRACT

In electromagnetic compatibility testing especially in near field measurement, magnetic field measurements are needed. One measurement tool used is a magnetic loop probe. This research was carried out in order to compare the loop probe on the number of sides, and there were any references found of this topic. Magnetic loop probes are designed in seven geometric shapes, which are triangles (there are two models), rectangles, hexagons, octagons, decagons, and infinite rectangles (circles) where the geometrical circumference parameters are the same. Magnetic loop probes are designed using calculations as small loop antennas. Characteristics of the five probe designs are analyzed by measuring S_{21} as sensitivity using the Vector Network Analyzer. The characteristics of the probe shape as well as the gain and sensitivity are discussed in this paper.

Keywords: *magnetic loop probe*; geometrical circumference; sensitivity.

1. PENDAHULUAN

Dalam teknologi pengujian kompatibilitas elektromagnetik, pengukuran radiasi maupun *noise* medan elektromagnetik yang dihasilkan oleh rangkaian terintegrasi (IC) maupun elektronik umumnya dilakukan dengan

metode pemindaian secara *near field* [1]. Instrumentasi yang digunakan untuk melakukan pengukuran tersebut salah satunya adalah *plannar magnetic loop probe*. Dalam perkembangannya, beberapa tipe dan bentuk *plannar magnetic loop probe* sudah dilakukan pada beberapa penelitian sebelumnya. Seperti pada penelitian [2], probe yang digunakan berbentuk *loop* persegi yang dilapisi dengan *shielding* dengan tujuan untuk mengurangi induksi tegangan yang disebabkan oleh medan listrik.

Sementara itu Kobayashi menggunakan bentuk kupu-kupu (dua *loop* segi 3) pada *probe* yang dibuat dengan tujuan dapat mendeteksi *noise current* yang mengalir di arah yang tak pasti [3]. Kemudian Shinde dkk [4] membuat *rectangular probe* dan menambahkan *varactor diode* untuk menyediakan kapasitansi yang dibutuhkan. Zhaowen Yan [5] merancang *loop* persegi empat sederhana menggunakan 4 layer dan *conductor backed coplanar waveguide* serta *via fence* (untuk menekan resonansi frekuensi).

Ming-Shing li melakukan penelitian *loop* persegi empat dengan variasi jenis *feedline* yang digunakan [6]. Bentuk lingkaran *plannar loop magnetic probe* di desain pada [7] dengan pengembangan pada *feedline* yang digunakan yaitu menggunakan *notch filter* untuk menekan ketidak koherensinya frekuensi resonansi pada *loop* lingkaran. Beberapa tahun terakhir telah dilakukan pula penelitian tentang desain *plannar magnetic loop probe* dan dianalisis variasi *feedline* mikrostrip dengan *coplanar waveguide*, *shielding*, serta probe 3 sumbu [8].

Namun penelitian-penelitian tersebut belum mengulas lebih jauh tentang *plannar loop magnetic probe* terkait efek bentuk geometri yang digunakan pada *loop*. Bentuk geometri pada *loop* yang merupakan konduktor berarus mempengaruhi medan magnet yang dihasilkan dikarenakan superposisi dan jumlah kontribusi medan magnet masing-masing segmen konduktor tersebut [9]. Sehingga bentuk *loop* yang berbeda tentu akan berpengaruh terhadap kemampuan *loop magnetic probe* menangkap sinyal maupun sensitivitasnya meskipun sumber medan magnet yang diukur sama. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan merancang dan menganalisis berbagai bentuk *loop magnetic probe* dengan variasi jumlah sisi yakni segi 3, 4, 6, 8, 10, dan tak terhingga (lingkaran).

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang dilakukan antara lain perancangan dan pembuatan *loop probe* dengan berbagai bentuk geometri, pengukuran sensitivitas *loop*, dan analisis pengaruh bentuk geometri dari *loop probe*.

2.1 Perancangan dan Pembuatan Loop Probe

Plannar magnetic loop probe yang didesain adalah probe berjenis small loop. Dimensi keliling/panjang (P) dihitung dengan persamaan [10]:

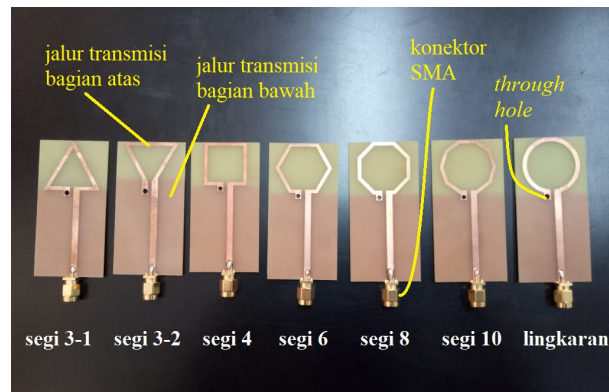
$$P < \frac{\lambda}{10} \quad (1)$$

Dengan λ adalah panjang gelombang sinyal yang dihitung dengan persamaan [10] [11]:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2)$$

Planar loop probe didesain dalam bentuk poligonal sama sisi yaitu segi 3, segi 4, segi 6, segi 8, segi 10, dan lingkaran. Parameter dimensi masing-masing *loop* adalah P/4, P/6, P/8, P/10, dengan P adalah keliling *loop* lingkaran atau geometri *loop* tersebut [10]. *Planar loop probe* didesain menggunakan *microstrip line* sebagai jalur transmisi pada *probe* dengan ukuran P = 87.12 mm. *Microstrip line* didesain dengan impedansi sebesar 50 ohm.

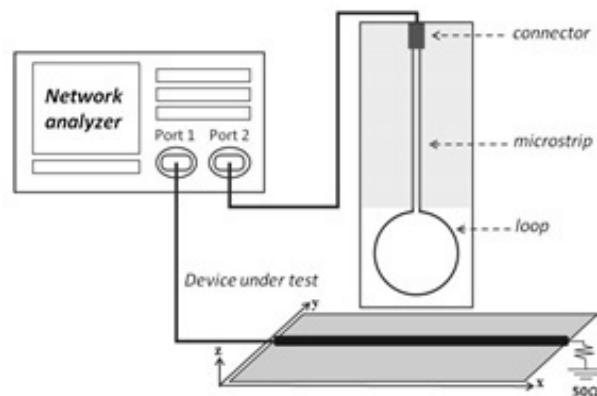
Substrat yang digunakan dalam mendesain *probe* tersebut adalah FR4 dengan ukuran ketebalan 1.6 mm. Dikarenakan jalur transmisi yang digunakan adalah *microstrip* maka setiap desain dibuat *through hole* [8] [6] sebesar 2.5 mm. *Trough hole* ini berfungsi untuk menghubungkan jalur transmisi bagian atas yang berbentuk poligonal dengan jalur transmisi bagian bawah sehingga ujung probe dapat dipasang konektor SMA. Desain *loop probe* segi 3 (model 1 dan model 2), 4, 6, 8, 10 dan lingkaran dapat dilihat pada Gambar 1:



Gambar 1. Loop Probe Berbagai Bentuk

2.2. Pengukuran Sensitivitas Loop Probe

Setelah *probe* yang didesain dicetak, untuk mengetahui koefisien atau sensitivitas dari keempat desain tersebut dilakukanlah pengukuran S_{21} menggunakan *Vector Network Analyzer*, dimana desain probe dihubungkan dengan port 1 dan *microstrip line* (*device under test*) dihubungkan pada port 2 [12] [13] [6] [14] [8]. Berdasarkan [5] *microstrip line* yang digunakan harus sangat lebih panjang daripada ukuran *probe* sehingga dimensi *microstrip line* yang dipilih adalah 25 cm x 15 cm. Jarak antara *probe* dengan *microstrip line* adalah sebesar 1 mm. Pengukuran dilakukan dengan posisi *probe* sejajar terhadap *microstrip line* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengukuran S_{21} Loop Probe dengan *Vector Network Analyzer*

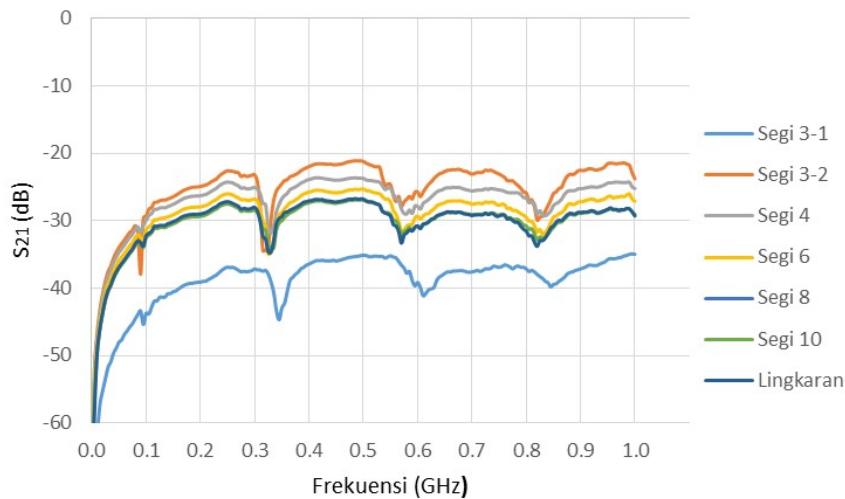
2.3. Analisis Pengaruh Nilai Keliling Probe dengan Sensitivitas

Nilai sensitivitas dari S_{21} yang didapatkan dari masing-masing probe dibandingkan menjadi satu grafik dan lihat karakteristik masing-masing *probe* tersebut. Selain dilihat dari sisi sensitivitasnya, untuk mendukung analisis hasil pengukuran, dan dikarenakan aplikasi *loop probe* ini digunakan sebagai sensor medan magnet, maka pendekatan teori hukum Biot Savart dapat dilakukan. Geometri bentuk *loop probe* diasumsikan sebagai *loop* kawat konduktor berdimensi panjang P yang dialiri arus i yang sama. Bentuk yang berbeda dari kawat konduktor mengakibatkan kuat medan magnet yang berbeda pula. Begitu pula bila berada pada medan magnet yang sama tentu akan mengasilkan besar arus yang berbeda. Menggunakan persamaan Biot-Savart untuk kawat lurus berarus dengan panjang berhingga, kuat medan magnet yang dihasilkan ditengah *loop* berbentuk *polygon* n sisi yang sama berdimensi panjang P dapat dihitung dengan persamaan [15] :

$$B_n = \frac{\mu_0 i}{4\pi P} 4n^2 \tan\left(\frac{\pi}{n}\right) \sin\left(\frac{\pi}{n}\right) \quad (3)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3 menunjukkan hasil pengukuran S_{21} (sensitivitas) dari frekuensi 100 kHz – 1 GHz. Pada Gambar 3 juga menunjukkan bahwa *loop* segi 3-2 memiliki S_{21} terbesar yang menunjukkan sensitivitasnya lebih tinggi dibandingkan model *probe* lainnya. Sensitivitas tertinggi dimulai dari *probe* segi 3-2, segi 4, segi 6, segi 8, segi 10, segi tak hingga (lingkaran), dan yang terendah adalah segi 3-1. Pada *probe* segi 3-2, ukuran elemen panjang yang dekat dengan pusat *probe* maupun sumber (*device under test*) lebih besar dibandingkan yang lain.



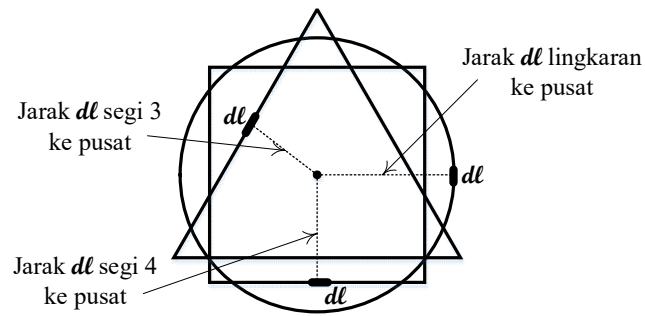
Gambar 3. Hasil Pengukuran S_{21} Pada Tujuh Model Loop Probe

Hal tersebut dapat dijelaskan menggunakan pendekatan hukum Biot Savart pada kawat lurus dengan panjang tertentu. Kuat medan magnet yang dihasilkan beberapa *loop* segi n dengan $P = 0,081$ m yang dialiri arus 1 Ampere dapat dihitung dengan persamaan (3) sedang hasil perhitungannya seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Besar medan magnet pada *loop* segi n dengan $P = 0,081$ m dan arus 1A

Nama Poligon	N	Medan Magnet (μT)
Trigon (segi 3)	3	6.667
Tetragon (segi 4)	4	5.587
Pentagon (segi 5)	5	5.272
Heksagon (segi 6)	6	5.132
Heptagon (segi 7)	7	5.056
Oktagon (segi 8)	8	5.010
Nanogon (segi 9)	9	4.979
Decagon (segi 10)	10	4.958
Pentakotagon (segi 50)	50	4.877
Sentagon (segi 100)	100	4.875
Lingkaran	∞	4.874

Loop segi 3 menghasilkan kuat medan magnet terbesar (sebesar $6.667 \mu T$) dibandingkan dengan segi 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 50 100 dan lingkaran. Kuat medan menurun seiring dengan peningkatan jumlah n . Kuat medan pada *loop* segi 3 lebih besar sebab lebih banyak elemen panjang dl yang lebih dekat dengan pusat *loop* dari pada *loop* jenis lain seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Semakin dekat elemen panjang terhadap pusat *loop* maka semakin besar pula kontribusinya terhadap nilai besar medan magnet di pusat *loop*. Dengan demikian, bila *loop* segi 3 diposisikan sebagai *probe* untuk mendeteksi medan magnet maka semakin besar arus atau tegangan yang dihasilkan *probe*. Semakin besar arus atau tegangan *probe* maka semakin besar pula sensitivitas *probe* untuk mendeteksi medan magnet.



Gambar 4. Elemen Panjang dl pada Probe Loop Segi 3, Segi 4 dan Lingkaran Dengan Besar P (Keliling Geometri) yang Sama

Dalam hal ini loop segi 3 yang diposisikan sebagai trigon (segi 3) pada Tabel 1 adalah loop segi 3-2. Hal tersebut dikarenakan sesuai dengan modelnya dan pada saat pengukuran sesuai dengan posisi pengukuran pada Gambar 2, elemen panjang yang dimiliki loop tersebut lebih besar dibanding loop lain dan elemen panjang besar tersebut posisinya paling dekat dengan *microstrip line*. Berbeda dengan loop segi 3-1 yang elemen panjang pada terdekatan dengan *microstrip line* memiliki elemen panjang yang terkecil dibandingkan loop lainnya.

4. KESIMPULAN

Tujuh bentuk *Magnetic loop probe* untuk pengukuran *near field* dalam pengujian kompatibilitas elektromagnetik telah dirancang dan dibuat dengan parameter P (keliling geometri) yang sama. Karakteristik sensitivitas dari ketujuh bentuk tersebut yang memiliki sensitivitas tertinggi adalah probe bentuk segi 3 model kedua, diikuti dengan probe bentuk segi 4, segi 6, segi 8, segi 10, segi tak hingga (lingkaran), dan yang terendah adalah segi 3 model pertama. Sensitivitas yang tinggi berkaitan dengan ukuran maupun jarak elemen panjang yang dekat dengan pusat loop.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. W. OTT, *Electromagnetic Compatibility Engineering*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2009.
- [2] N. Sivaraman, F. Ndagijimana, M. Kadi, and Z. Riah, "Broad band PCB probes for near field measurements," in *Proc. of the 2017 International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC EUROPE 2017*, 2017, pp. 4–8.
- [3] R. Kobayashi, T. Kobayashi, C. Miyazaki, N. Oka, and H. Oh-hashii, "Near Magnetic Field Probe for Detection of Noise Current Flowing to Uncertain Directions," in *Proc. of the 2017 International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC EUROPE 2017*, 2017, pp. 6–10.
- [4] S. Shinde, S. Marathe, G. Li, and D. Pommerenke, "A Frequency Tunable High Sensitivity H-Field Probe Using Varactor Diodes and Parasitic Inductance," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 58, no. February, 2015.
- [5] Z. Yan, J. Wang, W. Zhang, Y. Wang, and J. Fan, "A Simple Miniature Ultra-wideband Magnetic Field Probe Design for Magnetic Near-field Measurements," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 64, no. 12, 2016.
- [6] M. Lin, C. He, C. G. Hsu, and A. P. Structure, "Study of Magnetic Probes Used in EMI Measurements," in *2015 Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility*, 2015, pp. 399–401.
- [7] S. Lin, S. Yen, W. Chen, and P. Cheng, "Printed Magnetic Field Probe with Enhanced Performances," in *2009 Asia Pacific Microwave Conference*, 2009, no. 840, pp. 649–652.
- [8] N. Sivaraman, "Design of magnetic probes for near-field measurements and the development of algorithms for the prediction of EMC," Université Grenoble Alpes, 2017.
- [9] Z. You, C. Xiao, H. Wang, and Z. Yaozhong, "The Calculation of the Magnetic Field Produced by an Arbitrary Shaped Current-carrying Wire in Its Plane," in *Proceedings of the 2012 2nd International Conference on Computer and Information Application (ICCIA 2012)*, 2012.
- [10] H. J. Visser, *Antenna Theory and Applications*. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd, 2012.
- [11] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, 3rd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2005.
- [12] T. Harada, H. Sasaki, and E. Hankui, "Time-Domain Magnetic Field Waveform Measurement Near Printed Circuit Boards," *Electr. Eng. Jpn.*, vol. 125, no. 4, pp. 9–18, 1998.

- [13] Y. Chou, S. Member, and H. Lu, "Magnetic Near-Field Probes With High-Pass and Notch Filters for Electric Field Suppression," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 61, no. 6, pp. 2460–2470, 2013.
- [14] E. Suzuki, S. Arakawa, H. Ota, K. I. Arai, and R. Sato, "Optical Magnetic Field Probe Working up to 15 GHz Using CdTe Electrooptic Crystals," *IEEE Trans. Electromagn. Compat.*, vol. 47, no. 2, pp. 344–351, 2005.
- [15] J. P. Silva and A. J. Silvestre, "Comparing a current-carrying circular wire with polygons of equal perimeter: Magnetic field versus magnetic flux," *Eur. J. Phys.*, vol. 26, no. 5, pp. p783-790.