

Miniaturisasi Antena Planar dengan Teknologi Metamaterial MNG Struktur Spiral Resonator

Mochamad Yunus
Program Studi Teknik Elektro Fakultas
Teknik, Universitas Pakuan Bogor,
Indonesia mochyunus@unpak.ac.id

Yamato Tan
Program Studi Teknik Elektro Fakultas
Teknik, Universitas Pakuan Bogor,
Indonesia ymt010@yahoo.co.id

Evyta Wismiana
Program Studi Teknik Elektro Fakultas
Teknik, Universitas Pakuan Bogor,
Indonesia evytawismiana@unpak.ac.id

Achmad Munir
Laboratorium Telekomunikasi Radio
dan Gelombang Mikro Sekolah Teknik
Elektro dan Informatika, ITB
Bandung, Indonesia munir@ieee.org

Abstrak—Perkembangan teknologi komunikasi bergerak demikian cepatnya dan menghendaki dimensi perangkat khususnya antena yang kecil, ringan dan kompak. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, berbagai riset miniaturisasi dimensi telah banyak dilakukan. Miniaturisasi dimensi antena dapat dilakukan dengan menggunakan substrat dielektrik dengan permitivitas yang tinggi, tetapi berdampak pada penurunan kinerja antena dan sudah ditinggalkan. Miniaturisasi dengan menggunakan teknologi metamaterial MNG struktur spiral resonator (SR) mampu mereduksi dimensi antena antara 30%–60% dengan perbaikan kinerja yang cukup signifikan.

Kata Kunci—antena planar, karakteristik radiasi, metamaterial MNG, reduksi dimensi, struktur spiral persegi

I. PENDAHULUAN

Teknologi komunikasi bergerak mengalami perkembangan yang sangat cepat dan membutuhkan perangkat yang kecil, ringan dan kompak. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, berbagai penelitian memperkecil dimensi perangkat khususnya antena telah banyak dilakukan [1]–[4]. Miniaturisasi dimensi antena dapat dilakukan dengan dengan dua cara yaitu menggunakan material dielektrik substrat permitivitas tinggi dan teknologi metamaterial. Penggunaan dielektrik substrat permitivitas tinggi meningkatkan intensitas gelombang permukaan pada material dan tidak direkomendasikan serta ditinggalkan karena menurunkan kinerja antena. Oleh karena itu, memperkecil dimensi antena menggunakan teknologi metamaterial mulai menjadi topik penelitian yang menarik dilakukan.

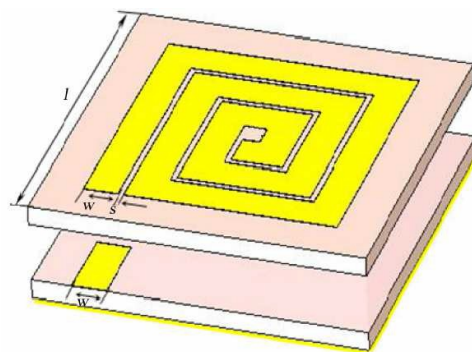
Metamaterial mempunyai karakter double negative (DNG) yaitu mempunyai permitivitas dan permeabilitas keduanya negatif; atau single negative (SNG) yaitu mempunyai permitivitas negatif dan permeabilitas positif (ENG) atau permitivitas positif dan permeabilitas negatif (MNG) [5]. Material dengan karakter MNG dan ENG tidak menyerap gelombang, sehingga dapat mencegah timbulnya gelombang permukaan [6]. Material MNG memiliki struktur *multiple split ring resonator* (MSRR) dan *spiral resonator* (SR) dan banyak digunakan pada desain antena planar [7]. MNG struktur SR mempunyai faktor reduksi lebih besar dibanding dengan MSRR. Struktur MSRR dan SR mampu mereduksi dimensi secara linier masing-masing hingga $\lambda_0/30$ – $\lambda_0/40$ dan $\lambda_0/65$ – $\lambda_0/250$.

Pada pustaka [8] telah dilakukan penelitian antena slot berbentuk spiral. Ukuran antena slot dapat direduksi pada frekuensi resonansi tanpa mengalami kesulitan dalam memperoleh impedance matching. Demikian juga pada [9], sebuah antena planar dirancang dengan menggunakan struktur SR untuk merekayasa dielektrik substrat dan radiatornya berbentuk *patch* biasa. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa faktor reduksi yang didapat 40%–70% dengan efisiensi 20%–30%. Berdasarkan penelaahan di atas, dalam makalah ini disajikan miniaturisasi dimensi antena planar dengan teknologi metamaterial struktur SR.

II. ANTENA PLANAR TUNGGAL

A. Antena Planar dengan Struktur SR Patch Tunggal

Pada pustaka [10] telah diteliti penggunaan struktur SR *patch* tunggal sebagai *radiator* dengan sistem pencatutan *proximity*. Antena dirancang pada dielektrik substrat FR4 epoxy ketebalan 1.6 mm dan permitivitas relatif 4.3 seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Untuk menentukan dimensi antena, digunakan rangkaian ekuivalen struktur SR *patch* [7]. Dari formulasi impedansi struktur SR, diperoleh impedansi efektif struktur SR *patch* sebagai fungsi lebar strip w .

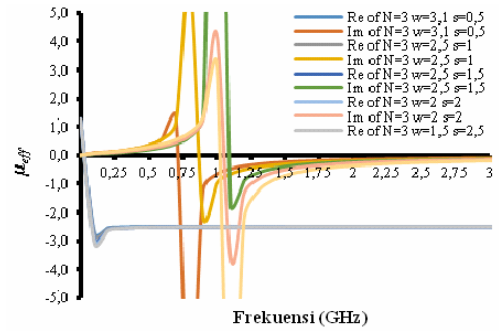


Gambar 1. Konfigurasi antena planar dengan struktur SR *patch* tunggal dan pencatutan *proximity*.

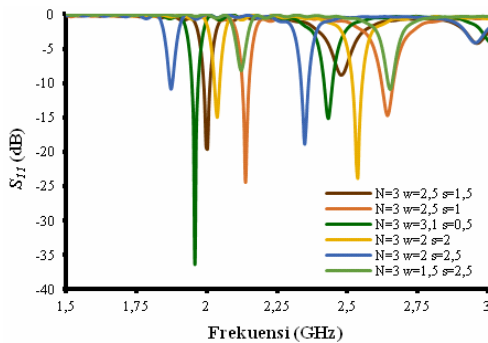
Dengan menggunakan lebar gap s sebagai parameter dengan dimensi substrat 30 mm × 30 mm dan daerah frekuensi 2,0 GHz – 2,5 GHz, dilakukan simulasi dengan variasi jumlah putaran spiral $N = 3, 5, 7, \text{ dan } 10$; dan beberapa kombinasi w dan s . Hasil simulasi dari koefisien refleksi (S_{11}) ditunjukkan dalam Gambar 2. Terlihat bahwa struktur SR *patch* tunggal dengan jumlah putaran spiral N

= 3 dan 5 mempunyai S_{11} lebih rendah pada daerah frekuensi 2.0 GHz–2.5 GHz dibandingkan dengan struktur SR *patch* tunggal dengan jumlah putaran spiral $N = 7$ dan 10. Pada daerah frekuensi 2,4 GHz–2,5 GHz, hanya $N = 3$ dengan pasangan $w = 3,1$ mm dan $s = 0,5$ mm dan pasangan $w = 2,5$ mm dan $s = 1,5$ mm yang memenuhi kriteria tersebut. Sedangkan kombinasi pasangan yang lain mempunyai $S_{11} < -10$ dB pada rentang frekuensi 2,4 GHz–2,5 GHz, sehingga tidak diamati. Hasil simulasi untuk parameter dimensi $N = 3$ dengan pasangan $w = 3,1$ mm dan $s = 0,5$ mm memberikan *gain* sebesar $-0,5$ dB dan *bandwidth* sebesar 30 MHz ($S_{11} < -10$ dB) pada frekuensi 2,43 GHz. Perolehan ini dapat diperbaiki dengan menyisipkan rangkaian penyesuai impedansi [10], dan hasil simulasi yang diperoleh adalah *gain* sebesar 2,3 dBi dan *bandwidth* sebesar 42 MHz ($S_{11} < -10$ dB) pada frekuensi 2,47 GHz.

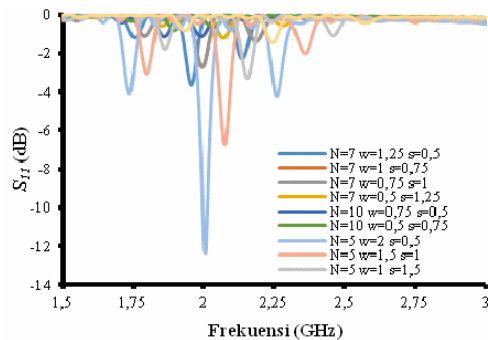
tunggal bersifat MNG, khususnya pada rentang frekuensi 2,4 GHz–2,5 GHz.



Gambar 3. Permeabilitas efektif (μ_{eff}) dari antenna planar dengan struktur SR *patch* tunggal.



(a) dengan $N = 3$ dan variasi nilai w dan s

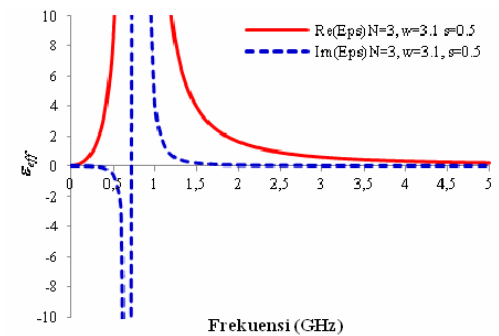


(b) dengan $N = 3, 7, 10$ dan variasi nilai w dan s [10] – [11]

Gambar 2. Perilaku koefisien refleksi dari antenna planar dengan struktur SR *patch* tunggal.

B. Studi Sifat MNG Struktur SR sebagai Radiator Antena

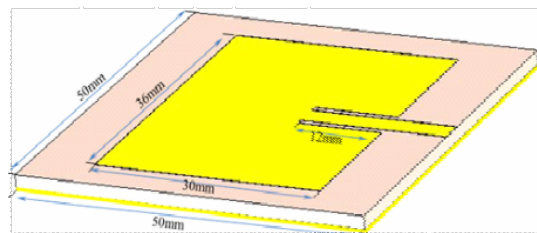
Sifat μ negative (MNG) metamaterial struktur SR yang diperlakukan sebagai radiator antena planar dengan variasi jumlah putaran spiral N , lebar strip w , dan lebar gap s terpilih diperoleh dengan menggunakan rangkaian ekuivalen [7], [7] dan hasilnya seperti ditunjukkan dalam Gambar 3 [10]–[11]. Terlihat bahwa nilai permeabilitas efektif (μ_{eff}) antena yang distudi mempunyai bagian nyata negatif sebesar 2,5 pada frekuensi paling rendah 0,1 GHz. Sedangkan bagian imajiner negatif dicapai pada frekuensi di atas 1 GHz. Nilai permitivitas efektif (ϵ_{eff}) ditunjukkan dalam Gambar 4 dimana nilai epsilon efektif (ϵ_{eff}) yang terdiri dari bagian riil $Re(Eps)$ dan bagian imajiner $Im(Eps)$ mempunyai nilai lebih positif untuk semua rentang frekuensi, kecuali rentang frekuensi 0,1 GHz–0,7 GHz yang bernilai negatif. Dari Gambar 3 dan 4, dapat dibuktikan bahwa struktur SR *patch*



Gambar 4. Permitivitas efektif (ϵ_{eff}) dari antenna planar dengan struktur SR *patch* tunggal.

C. Antena Planar dengan Struktur Patch Persegi

Untuk memperoleh nilai reduksi antena planar dengan struktur SR *patch* tunggal, maka didesain antena planar konvensional dengan struktur *patch* persegi yang dicatu dengan metoda *inset feed* seperti ditunjukkan pada Gambar 5 [10]. Adapun perbandingan hasil simulasi antena planar dengan struktur SR *patch* tunggal terhadap antena planar konvensional dengan struktur *patch* persegi ditunjukkan dalam Tabel I.



Gambar 5. Konfigurasi antena planar konvensional dengan struktur *patch* persegi dan pencatutan *inset feed*

Tabel I menunjukkan bahwa antena planar dengan struktur SR *patch* tunggal yang mempunyai sifat metamaterial MNG mampu mereduksi dimensi cukup signifikan sebesar 53% atau lebih dari separuh luasan *patch* dibanding antena planar konvensional dengan struktur *patch* persegi dengan efisiensi yang lebih tinggi, meskipun *gain* yang diperoleh lebih rendah sebesar 0,8 dB.

TABLE I. PERBANDINGAN PARAMETER ANTARA ANTENA PLANAR DENGAN STRUKTUR SR PATCH TUNGGAL DENGAN ANTENA PLANAR KONVENSIONAL DENGAN STRUKTUR PATCH PERSEGI [10].

Parameter	Antena planar SR patch tunggal	Antena planar konvensional
Dimensi <i>groundplane</i> (mm)	36 × 36	50 × 50
Dimensi <i>patch</i> (mm)	22,6 × 22,6	36 × 30
Frekuensi tengah (GHz)	2,47	2,45
Nilai S_{11} (dB)	-23	-23
Bandwidth (MHz) ($S_{11} < -10$ dB)	42	61
f_1 (GHz)	2,45	2,413
f_2 (GHz)	2,492	2,474
Gain (dBi)	2,3	3,1
Efisiensi (%)	51,8	48,1
Reduksi dimensi antenna (%)	53	

III. ANTENA PLANAR SUSUN

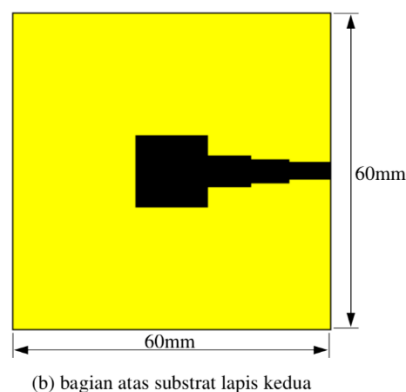
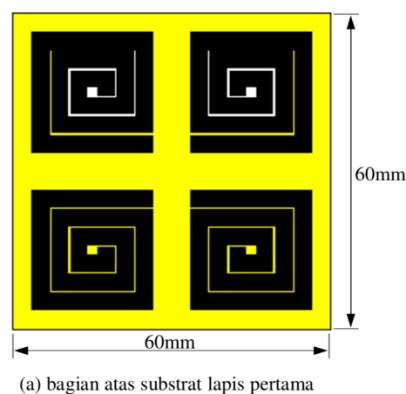
A. Antena Planar Susun dengan Struktur SR Patch 2×2

Untuk mengamati karakteristik radiasi dan faktor reduksi dimensi dari antena planar dengan struktur SR *patch*, dikembangkan pula antena planar susun dengan struktur SR *patch* 2×2 yang mempunyai sistem pencatutan *proximity* seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Antena planar susun dengan struktur SR *patch* 2×2 tersebut didesain menggunakan dua lapis dielektrik substrat FR4 epoxy dengan ketebalan masing-masing 1.6 mm. Struktur SR *patch* 2×2 sebagai radiator ditempatkan pada bagian atas substrat dielektrik lapis pertama, dan sistem pencatut *proximity* ditempatkan pada bagian atas substrat dielektrik lapis kedua. Dari studi yang dilakukan, antena planar susun dengan struktur SR *patch* 2×2 yang dirancang dengan parameter jumlah putaran spiral $N = 3$, lebar strip $w = 3,1$, lebar *gap* = 0,5, panjang SR *patch* $l = 22,6$ mm, tebal substrat dielektrik $h = 1,6$ mm, ketebalan *patch* $t = 0,035$ mm mempunyai sifat MNG seperti ditunjukkan pada Gambar 7.

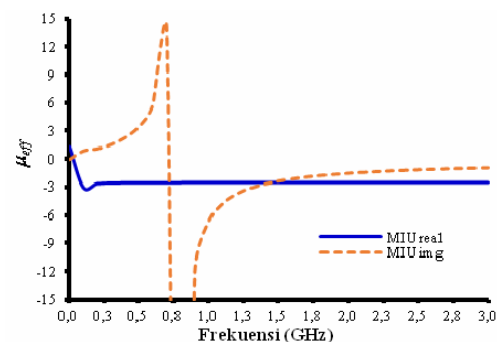
B. Antena Planar Susun Konvensional dengan Struktur Patch Persegi 2×2

Untuk memperoleh nilai reduksi antena planar susun dengan struktur SR *patch* 2×2, maka dirancang pula antena planar susun konvensional dengan struktur *patch* persegi 2×2 sebagai pembanding seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Sama halnya dengan rancangan sebelumnya, antena planar susun konvensional dengan struktur *patch* persegi 2×2 dirancang menggunakan dua lapis substrat dielektrik FR4 epoxy dengan ketebalan masing-masing 1.6 mm. Pada perancangan antena ini, struktur *patch* persegi 2×2 sebagai radiator ditempatkan pada bagian atas substrat dielektrik lapis pertama, dan sistem pencatut *proximity* ditempatkan pada bagian atas substrat dielektrik lapis kedua.

Dari hasil simulasi terlihat bahwa karakteristik radiasi dari antena planar susun dengan struktur SR *patch* 2×2 menghasilkan *bandwidth* 95 MHz yang menunjukkan adanya perbaikan *bandwidth* sebesar 3 MHz dan *gain* antena sebesar 7 dBi pada frekuensi 2,4 GHz dengan efisiensi sekitar 74%. Selain itu, antena planar susun dengan struktur SR *patch* 2×2 yang mempunyai sifat metamaterial MNG mampu mereduksi dimensi antena planar susun konvensional dengan struktur *patch* persegi 2×2 hingga 27%.



Gambar 6. Konfigurasi antena planar susun dengan struktur SR *patch* 2×2 dan pencatutan *proximity*.

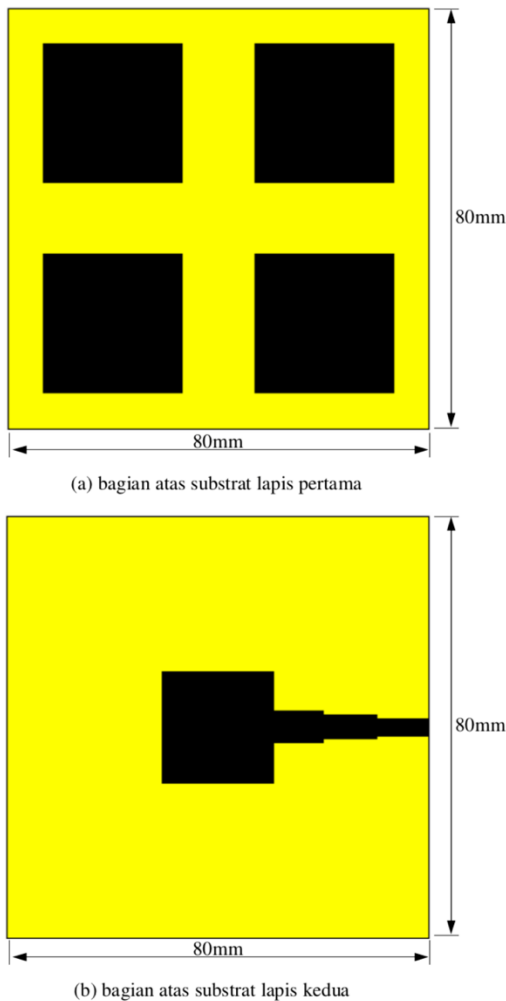


Gambar 7. Permeabilitas efektif (μ_{eff}) dari antena planar susun dengan struktur SR *patch* 2×2.

Penulis menyampaikan terima kasih atas dukungan yang diberikan oleh Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pakuan sehingga dapat mengikuti seminar nasional dalam FORTEI 2018 yang diselenggarakan di Batu, Malang, Jawa Timur dari tanggal 11–13 Oktober 2018.

REFERENSI

- [1] M. Yunus, F. Y. Zulkifli, dan E. T. Rahardjo, "Pengaruh perubahan permitivitas dielektrik terhadap gain dan frekuensi antena mikrostrip struktur spiral resonator (SR) patch tunggal," pada Prosiding Seminar Nasional Microwave Antena dan Propagasi (SMAP), Depok, Indonesia, Okt., 2013.
- [2] R. Azadegan dan K. Sarabandi, "A novel approach for miniaturization of slot antennas," IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 51, no. 3, hal. 421–429, Mar. 2003.
- [3] A. A. Fashi, M. Kamyab, dan M. Barati, "A novel small resonant antenna using the meta-materials array," pada Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS), Moscow, Russia, Ags. 2009, hal.670–674.
- [4] F. Bilotti, A. Toscano, dan L. Vegni, "Design of spiral and multiple split-ring resonators for the realization of miniaturized metamaterial samples," IEEE Trans. on Antennas Propag., vol. 55, no. 8, hal 2258–2267, Ags. 2007.
- [5] N. Engheta dan R. W. Ziolkowski, Metamaterial : Physics and Engineering Explorations, IEEE Press, John Wiley & Sons, 2006
- [6] K. Y. Kim, Guided and Leaky Modes of Circular Open Electromagnetic Waveguides: Dielectric, Plasma, and Metamaterial Columns, PhD Thesis, Department of Electronics, Kyungpook National University, Des. 2004
- [7] F. Bilotti, A. Toscano, L. Vegni, K. Aydin, K. B. Alici, dan E. Ozbay, "Equivalent-circuit models for the design of metamaterials based on artificial magnetic inclusions," IEEE Trans. Microw. Theory Techn., vol. 55, no. 12, pp. 2865–2873, Des. 2007.
- [8] Y. Lee, S. Tse, Y. Hao, dan C. G. Parini, "A compact microstrip antenna with improved bandwidth using complementary split-ring resonator (CSRR) loading," pada IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (AP-S), Honolulu, USA, Jun. 2007.
- [9] K. Buell, H. Mosallaei, dan K. Sarabandi, "A substrate for small patch antennas providing tunable miniaturization factors," IEEE Trans. Microw. Theory Techn., vol. 54, no. 1, hal. 135–146, Jan. 2006.
- [10] M. Yunus, F. Y. Zulkifli, dan E. T. Rahardjo, "Radiation characteristics of a novel μ negative metamaterial spiral resonator antenna at the 2.4 GHz," Open Journal of Antennas and Propagation, vol. 4, no. 1–11, 2016.
- [11] M. Yunus, F. Y. Zulkifli, dan E. T. Rahardjo, "Dimensional parametric study of the spiral resonator as a metamaterial planar-antenna," pada International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), Kaohsiung, Taiwan, Des. 2014, hal. 343–344.



Gambar 8. Konfigurasi antena planar susun konvensional dengan struktur *patch* persegi 2×2 dan pencatuan *proximity*.

IV. KESIMPULAN

Miniaturisasi dimensi antena planar dengan menerapkan struktur SR *patch* berbasis teknologi metamaterial MNG telah dipresentasikan. Hasil simulasi antena planar dengan struktur SR *patch* tunggal yang mempunyai sifat metamaterial MNG memberikan perbaikan efisiensi dan mereduksi dimensi antena sebesar masing-masing 3,7% dan 53% terhadap antena planar dengan struktur *patch* persegi. Demikian juga antena planar susun dengan struktur SR *patch* 2×2 yang mempunyai sifat metamaterial MNG memberikan perbaikan *bandwidth* sebesar 3 MHz dan mampu mereduksi dimensi hingga sebesar 27% terhadap antena planar susun konvensional dengan struktur *patch* persegi 2×2.