

Microstrip Patch Rectangular Susunan Side By Side Multielement Pada Frekuensi 2,4 GHz Berbasis Silver Nanowires (Agnws)

M. Reza Hidayat ^{1*)}, Irfan Noor Muhammad ²⁾, Sofyan Basuki ³⁾,

^{1,2,3)}Program Studi Teknik Elektro

Universitas Jenderal Achmad Yani

Jalan Terusan Jend. Sudirman PO.BOX 148 Cimahi 40531

^{*)}Korespondensi : mreza@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Perkembangan penggunaan material dielektrik buatan termasuk dalam penggunaan *silver nanowires* pada perancangan antenna mikrostrip berkembang semakin pesat. Hal ini bertujuan agar mengoptimalkan parameter antenna sesuai kebutuhan tanpa mengubah ukuran dimensi antenna secara signifikan. Penelitian ini menerapkan salah satu teknik perancangan material dielektrik buatan menggunakan *silver nanowires* berukuran skala nano (*nanowires*) yang bertujuan mendapatkan nilai parameter antenna sesuai standar Wi-Fi 2,4 GHz dengan gain yang cukup tinggi ($> 3\text{dBi}$). Pada penelitian ini perancangan menggunakan tiga variasi untuk *silver nanowires* dan tiga variasi *patch*. Variasi *silver nanowires* berupa panjang, diameter dan jumlah *silver nanowires* sedangkan untuk *patch* digunakan variasi *single patch*, *double patch* dan *triple patch*. Antenna mikrostrip menggunakan spesifikasi *patch* dengan tebal 0,035 mm berbahan *copper*, dengan ketebalan 1,6 mm untuk substrat berbahan FR-4 epoxy. Berdasarkan hasil pengamatan parameter antenna dari karakteristik variasi *silver nanowires* didapatkan hasil yang diinginkan pada variasi diameter 300 nm, panjang 32 mm dan jumlah 342 *silver nanowires* pada *triple patch* dengan hasil *return loss* = -20,731 dB; *VSWR* = 1,202; *gain* = 5,338 dB dan *directivity* = 9,970 dBi. Hasil di atas mengalami peningkatan nilai yang diinginkan dibandingkan dengan antenna mikrostrip *triple patch* tanpa *nanowires* dengan nilai *return loss* = - 16,191 dB; *VSWR* = 1,366; *gain* = 5,142 dB dan *directivity* = 9,829 dBi. Dari hasil observasi tahap simulasi dapat disimpulkan bahwa antenna mikrostrip menggunakan *nanowires* berhasil dirancang menyesuaikan dengan standar antenna yang dibutuhkan serta diperolehnya gain yang lebih besar dari batas kebutuhan.

Kata kunci : antenna, gain, FR-4 Epoxy, mikrostrip, return loss, silver nanowires, VSWR

Abstract

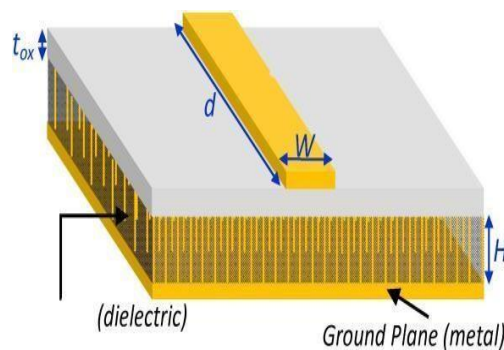
The development of the use of artificial dielectric materials, including the use of silver wire in the design of microstrip antennas, is growing rapidly. It aims to optimize the antenna parameters as needed without changing the antenna dimensions significantly. This study applies one of the artificial dielectric material design techniques using nano-scale silver wires (*nanowires*) which aims to get the antenna parameter values according to the 2.4 GHz Wi-Fi standard with a fairly high gain ($> 3\text{dBi}$). In this study, the design uses three variations for silver nanowires and three variations of patches. Variations of silver nanowires are in the form of length, diameter and number of silver nanowires, while for patches, variations of single patch, double patch and triple patch are used. The microstrip antenna uses a patch specification with a thickness of 0.035 mm made of copper, with a thickness of 1.6 mm for a substrate made of FR-4 epoxy. Based on the observations of the antenna parameters from the characteristics of the silver nanowires variation, the desired results were obtained at variations in diameter of 300 nm, length of 32 mm and the number of 342 silver nanowires in triple patch with *return loss* = -20.731 dB; *VSWR* = 1.202; *gain* = 5.338 dB and *directivity* = 9.970 dBi. The above results have increased the desired value compared to triple patch microstrip antennas without nanowires with a *return loss* value = - 16.191 dB; *VSWR* = 1.366; *gain* = 5.142 dB and *directivity* = 9.829 dBi. From the observation results of the simulation stage, it can be concluded that the microstrip antenna using nanowires has been successfully designed to match the required antenna standards and obtains a gain greater than the required limit.

Keywords : antenna, gain, FR-4 Epoxy, mikrostrip, return loss, silver nanowires, VSWR

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telekomunikasi saat ini telah mengalami perkembangan yang cukup signifikan, mulai dari komunikasi menggunakan kabel hingga komunikasi tanpa kabel. Salah satu media komunikasi tanpa kabel adalah antenna. Antena berfungsi sebagai media untuk memancarkan atau mengirimkan sinyal informasi yang dibawa oleh gelombang radio. Salah satu antena yang sering digunakan adalah antena mikrostrip. Antena mikrostrip merupakan antena kecil yang memiliki tiga bagian utama yaitu *patch*, substrat dan *ground* [1]. Antena dalam pengoptimalisasian kinerja saat ini dirancang dengan berbagai metoda salah satunya menggunakan material buatan berbasis bahan konduktor seperti kawat tembaga, perak, maupun logam konduktor PEC lainnya. Pentingnya penerapan penggunaan bahan konduktor dalam merancang material buatan karena sifat bahan konduktor yang meningkatkan intensitas medan listrik yang akan mempengaruhi penguatan dari suatu antena. Hal ini sangat berguna khususnya untuk antena mikrostrip yang memiliki sifat penguatan yang tergolong rendah. Pada penelitian ini akan dirancang antena mikrostrip menggunakan teknologi *silver nanowires* sebagai alternative peningkatan parameter antena. Antena dirancang dengan frekuensi kerja 2.4 GHz untuk aplikasi Wi-Fi.

Beberapa contoh penelitian sebelumnya telah dianalisa bahwa material nanowires memiliki tingkat fleksibilitas dan konduktivitas yang tinggi. Selain kelebihan material, *nanowires* juga terbukti memiliki keunggulan pada performa sebagai antena yang melindungi gelombang elektromagnetik dan memiliki penguatan redaman pada antena [2]. Sedangkan pada penelitian lain dijelaskan bahwa material nanowires telah diaplikasikan pada perangkat antena RF dan menunjukkan bahwa respon frekuensi pada antena dapat diatur dengan mengubah dimensi struktur nanowires. Di antara beberapa bahan logam yang digunakan, kawat nano perak memiliki keunggulan dibandingkan dengan bahan logam lainnya. Kawat nano perak memiliki tingkat konduktivitas yang tinggi sebagai antena dan memiliki kemudahan dalam pengaplikasian material substrat apapun dengan beberapa metode yang digunakan [3]. Dalam penelitian selanjutnya telah diamati bahwa sifat konduktif kawat nano dapat disimulasikan pada perangkat lunak dengan bentuk dua dimensi tongkat berbentuk tongkat. Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan adalah pendekatan komputasi dan eksplorasi mengenai pengaruh variabel kawat nano, seperti panjang, diameter dan jumlah kawat nano serta densitas sifat listrik kawat nano [4].



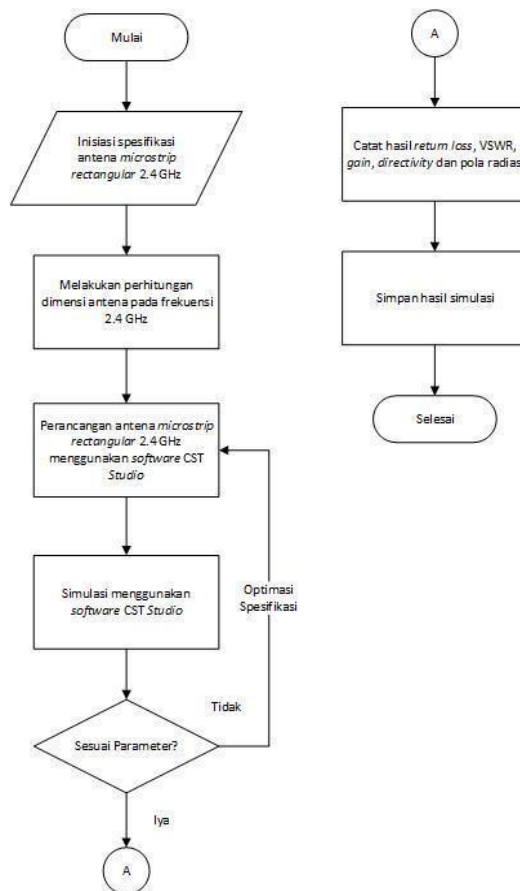
Gambar 1 Ilustrasi aplikasi kawat nano pada antena mikrostrip. [5]

Pada Gambar 1 merupakan ilustrasi antena mikrostrip yang disikat oleh kawat nano material logam antara substrat dan *Groundplane*. *Nanowires* adalah material kawat logam yang berbentuk tabung dengan diameter $10 \text{ nm} > 100 \text{ nm}$. Kawat nano memiliki potensi sebagai perangkat elektronik dalam skala nano [6]. Transmisi jaringan menggunakan kawat nano dapat beroperasi dari RF hingga milimeter. Substrat yang digabungkan dengan logam kawat nano menunjukkan konstanta dielektrik yang relatif tinggi [7]. Oleh karena itu menurut beberapa penelitian yang telah dilakukan membuktikan bahwa kawat nano merupakan bahan konduktif yang dapat diaplikasikan pada komponen elektronika khususnya pada aplikasi antena mikrostrip. Maka dari itu penelitian ini dilakukan untuk mengamati penggunaan teknologi *nanowires* menggunakan bahan perak sebagai konduktor pembentuk material buatan yang diterapkan pada antena mikrostrip berbasis kawat nano untuk aplikasi Wi-Fi 2.4 GHz [8]. Pemilihan bahan perak ini berdasarkan dari hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahan perak memiliki keunggulan dibandingkan bahan konduktor lain khususnya peningkatan penguatan antena.

II. METODE

Metode penelitian dalam perancangan antenna mikrostrip berbasis kawat nano perak ini diawali dengan studi literatur yang memaparkan sumber referensi dari penelitian ini. Perhitungan pada dimensi antenna membutuhkan perancangan yang sistematis, sehingga mendapatkan nilai pada setiap parameter antenna. Sebelum melakukan optimasi perlu dilakukan perhitungan untuk mencapai frekuensi yang diinginkan yaitu pada frekuensi 2,4 GHz sebagai acuan ukuran awal [9]. Setelah melakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai pada setiap parameter antenna barulah perancangan akan dilakukan, perancangan bertujuan dapat memvisualisasi dan mensimulasikan antenna dan mendapatkan parameter antenna yang ingin di amati pada frekuensi 2,4 GHz. Hasil dari simulasi menggunakan perangkat lunak berupa parameter-parameter antenna yang akan ditampilkan dalam bentuk grafik, selanjutnya dilakukan analisis untuk mengetahui karakteristik dan kinerja antenna. Dari tahap perancangan antenna *microstrip patch rectangular* di atas maka dibuat alur diagram seperti pada Gambar 2.

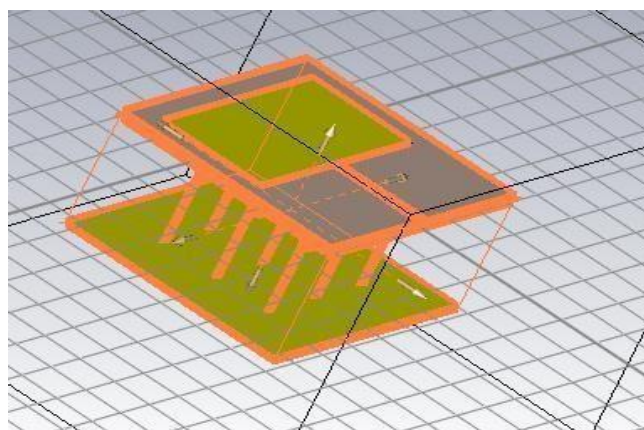
Setelah dilakukan perhitungan dimensi antenna dan mendapatkan parameter yang diinginkan, selanjutnya perancangan antenna diawali dengan membuat *patch*, substrat dan *ground* dengan parameter yang telah dibuat pada layer perangkat lunak. Pada komponen *patch* dan *ground* menggunakan material *copper* atau tembaga, sedangkan untuk substrat menggunakan material FR 4 *epoxy*. Langkah berikutnya merancang pencatutan dengan metode pencatutan langsung pada antenna mikrostrip. Setelah perancangan jalur catu daya kemudian dilanjutkan pada tahap simulasi rancangan awal. Dilakukan pengamatan parameter antenna dengan frekuensi yang diinginkan, yaitu pada frekuensi 2,4 GHz. Dilakukan pengamatan parameter antenna berupa pola radiasi, *return loss*, VSWR, *gain*, *directivity* dan *bandwidth*. Langkah selanjutnya ditambahkan *patch* susunan *side by side* dengan 3 variasi yaitu *single patch*, *double patch* dan *triple patch* serta variabel *nanowires*. Adapun variabel *nanowires* yang akan disimulasikan adalah diameter dengan ukuran 100 nm, 300 nm dan 1000 nm. Panjang *nanowires* dengan panjang 2 mm, 4 mm, 8 mm, 16 mm dan 32 mm dengan jumlah *silver nanowires* sebanyak 9, 36, dan 342. Jumlah *nanowires* dikalikan dengan jumlah *patch*. Rancang antenna *microstrip single patch* dengan menambahkan variabel *silver nanowires* dengan variasi yang telah ditentukan. Lakukan simulasi pada setiap variasi *silver nanowires* dan amati parameter antenna berupa pola radiasi, *return loss*, VSWR, *gain*, *directivity* dan *bandwidth*. Selanjutnya rancang antenna *microstrip* dengan *double patch* dan tambahkan variabel *silver nanowires* dengan variasi yang telah ditentukan. Lakukan simulasi pada setiap variasi *silver nanowires* dan amati parameter antenna berupa pola radiasi, *return loss*, VSWR, *gain*, *directivity* dan *bandwidth*. Selanjutnya rancang antenna *microstrip* dengan *triple patch* dan tambahkan variabel *silver nanowires* dengan variasi yang telah ditentukan. Lakukan simulasi pada setiap variasi *silver nanowires* dan amati parameter antenna berupa pola radiasi, *return loss*, VSWR, *gain*, *directivity* dan *bandwidth*. Berdasarkan hasil perhitungan ukuran *patch* mikrostrip rektanguler menggunakan frekuensi 2,4 GHz didapatkan ukuran lebar *patch* 54,25 mm, lebar substrat 63,85 mm, panjang *patch* 29,972 mm, panjang substrat 39,572 mm, permitivitas bahan 4,3 dan tebal substrat 1,6 mm. Standar parameter dari hasil simulasi menyesuaikan standar antenna Wi-Fi mengikuti protokol IEEE 802.1 [10]



Gambar 2 Flowchart perancangan antenna microstrip patch rectangular.

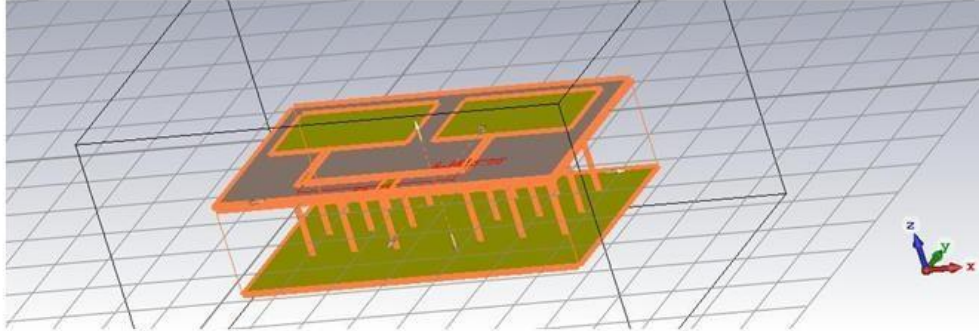
III. HASIL DAN DISKUSI

Desain yang diinginkan pada antenna *microstrip single patch* menggunakan *silvernanowires* adalah variasi dengan panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 3x3 *nanowires*. Pada antenna *microstrip single patch* menggunakan *nanowires*, variasi yang akan diamati adalah variasi *nanowires* dengan panjang 32 mm; diameter 100 nm, 300 nm dan 1000 nm; dan jumlah *nanowires* yang akan diamati yaitu pada 342 *nanowires*, 36 *nanowires* dan 9 *nanowires*. Adapun parameter yang akan diamati adalah *return loss*, *VSWR*, *directivity*, *bandwidth*, *gain*, dan pola radiasi. Hasil terbaik pada tahap simulasi ini diperoleh dengan spesifikasi rancangan menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 3x3 *nanowire*.



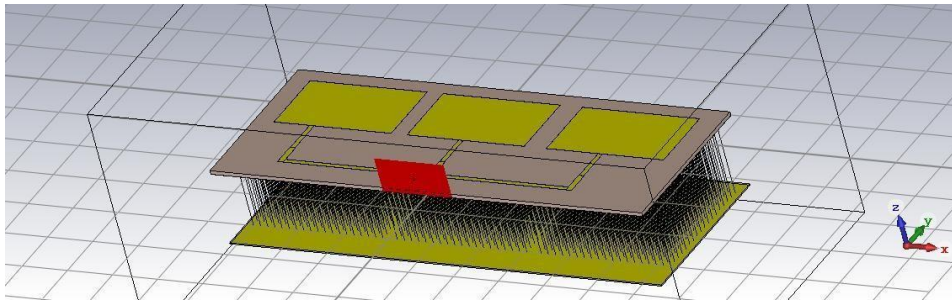
Gambar 3 Desain antenna mikrostrip dengan nanowires *single patch*

Desain yang diinginkan pada antenna *microstrip double patch* menggunakan *silver nanowires* adalah variasi dengan panjang 32 mm, diameter 100 nm dan jumlah 3x3 *nanowire*. Pada antenna *microstrip double patch* menggunakan *nanowires*, variasi yang akan diamati adalah variasi *nanowires* dengan panjang 32 mm; diameter 100 nm, 300 nm dan 1000 nm; dan jumlah *nanowires* yang akan diamati yaitu pada 342 *nanowires*, 36 *nanowires* dan 9 *nanowires*. Adapun parameter yang akan diamati adalah *return loss*, *VSWR*, *directivity*, *bandwidth*, *gain*, dan pola radiasi

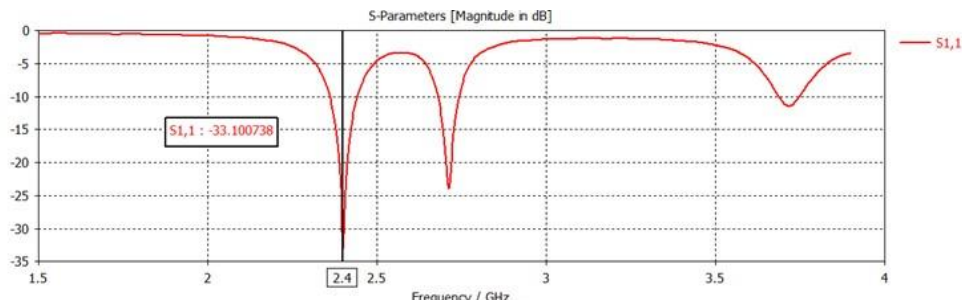


Gambar 4 Desain antenna mikrostrip dengan nanowires *double patch*

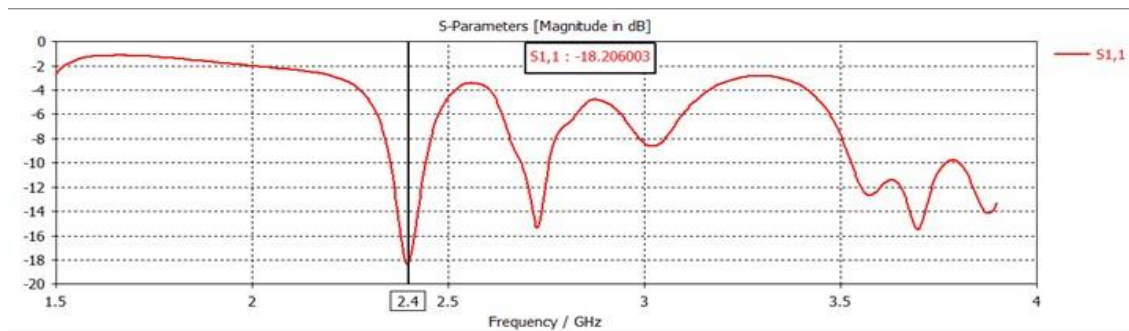
Desain yang diinginkan pada antenna *microstrip triple patch* menggunakan *silver nanowires* adalah variasi dengan panjang 32 mm, diameter 100 nm dan jumlah 19x18 *nanowires*. Pada antenna *microstrip triple patch* menggunakan *nanowires*, variasi yang akan diamati adalah variasi *nanowires* dengan panjang 32 mm; diameter 100 nm, 300 nm dan 1000 nm; dan jumlah *nanowires* yang akan diamati yaitu pada 342 *nanowires*, 36 *nanowires* dan 9 *nanowires*. Adapun parameter yang akan diamati adalah *return loss*, *VSWR*, *directivity*, *bandwidth*, *gain*, dan pola radiasi. Dari hasil pengamatan yang diperoleh dari setiap tahap desain patch diperoleh hasil terbaik yang terlihat pada Gambar 6.



Gambar 5 Desain antenna mikrostrip dengan nanowires *triple patch*

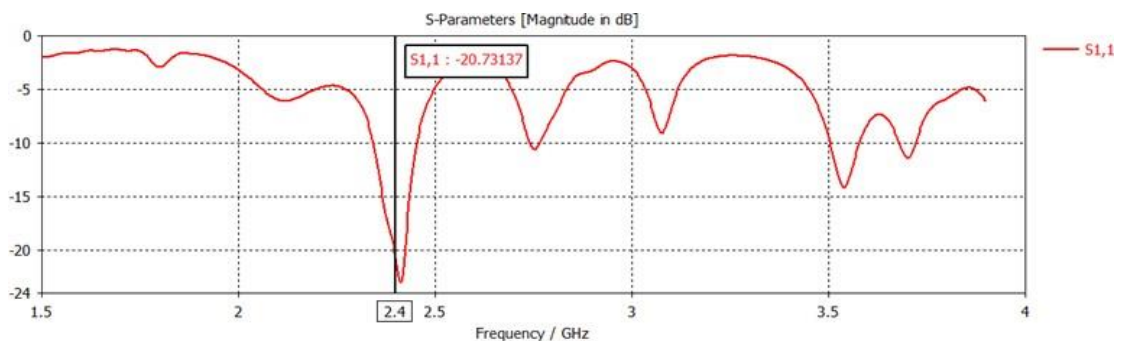


Gambar 6 Hasil *Return Loss* antenna *single patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 3x3 *nanowires*

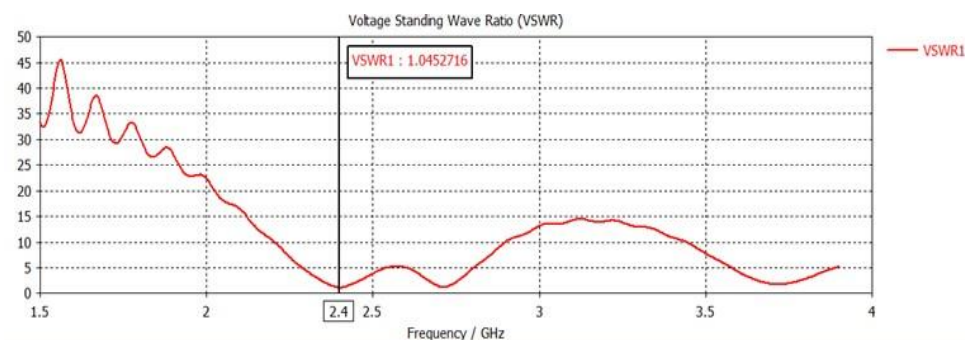


Gambar 7 Hasil *Return Loss* antenna *microstrip double patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 100 nm dan jumlah 3x3 *nanowires*

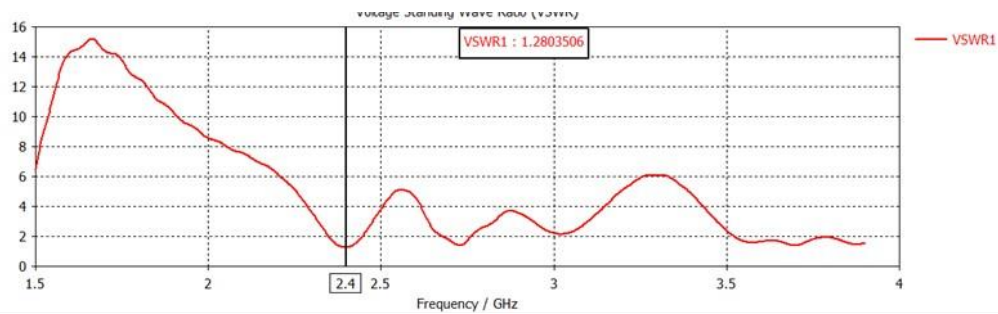
Hasil grafik *return loss* pada antenna *microstrip single patch* dengan *silver nanowires* pada variasi panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 3x3 *nanowires* terlihat pada gambar 6. Berdasarkan dari hasil simulasi, didapatkan nilai *return loss* sebesar -33,100 dB. Hal ini sudah memenuhi standar dari antenna yang diinginkan yaitu maksimal di -10 dB. Hasil grafik *return loss* pada antenna *microstrip double patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 100 nm dan jumlah 3x3 *nanowires* terlihat pada Gambar 7. Berdasarkan dari hasil simulasi, didapatkan nilai *return loss* sebesar -18,206 dB. Pengurangan ukuran diameter dari *silver nanowires* menyebabkan kopling antar kawat semakin lemah sehingga menyebabkan nilai *return loss* yang semakin meningkat. Hasil grafik *return loss* pada antenna *microstrip triple patch* dengan *silver nanowires* pada variasi panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 19x18 *nanowires* terlihat pada Gambar 8. Berdasarkan dari hasil simulasi, didapatkan nilai *return loss* sebesar -20,731 dB.



Gambar 8 Hasil *Return Loss* antenna *microstrip triple patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 19x18 *nanowires*

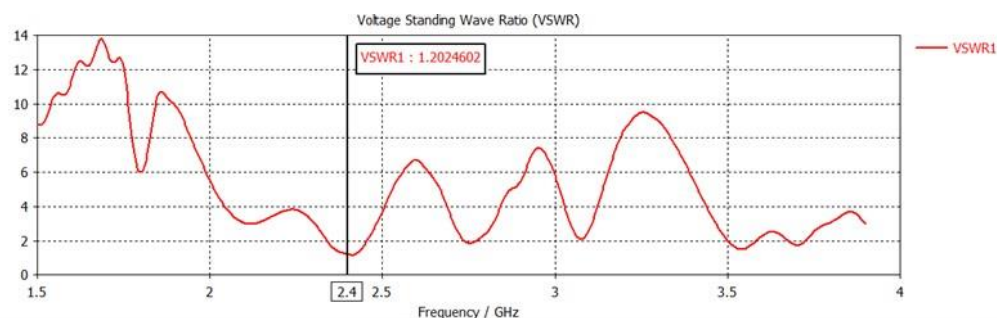


Gambar 9 Hasil *VSWR* antenna *single patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 3x3 *nanowires*

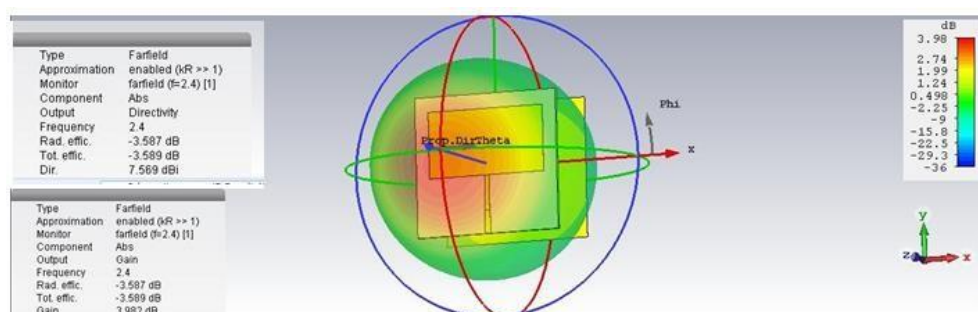


Gambar 10 Hasil VSWR antenna *microstrip double patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 100 nm dan jumlah 3x3 *nanowires*

Pada Gambar 9 adalah hasil VSWR dari simulasi antenna *microstrip singlepatch* dengan panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 3x3 *nanowires* dan nilai yang didapatkan sebesar 1,045. Pada Gambar 10 adalah hasil VSWR dari simulasi antenna *microstrip double patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 100 nm dan jumlah 3x3 *nanowires* dan nilai yang didapatkan sebesar 1,280. Pada gambar 11. adalah hasil VSWR dari simulasi antenna *microstrip triple patch* dengan panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 19x18 *nanowires* dan nilai yang didapatkan sebesar 1,202. Dari hasil pengamatan parameter VSWR diamati bahwa penambahan diameter angkat memperkecil nilai VSWR serta penambahan jumlah kawat akan memperkecil nilai VSWR. Hal ini seperti yang terjadi pada saat pengamatan parameter *return loss* yakni kopling yang terjadi antar kawat semakin besar mengakibatkan peningkatan dari intensitas medan listrik dan berkurangnya redaman pantul.

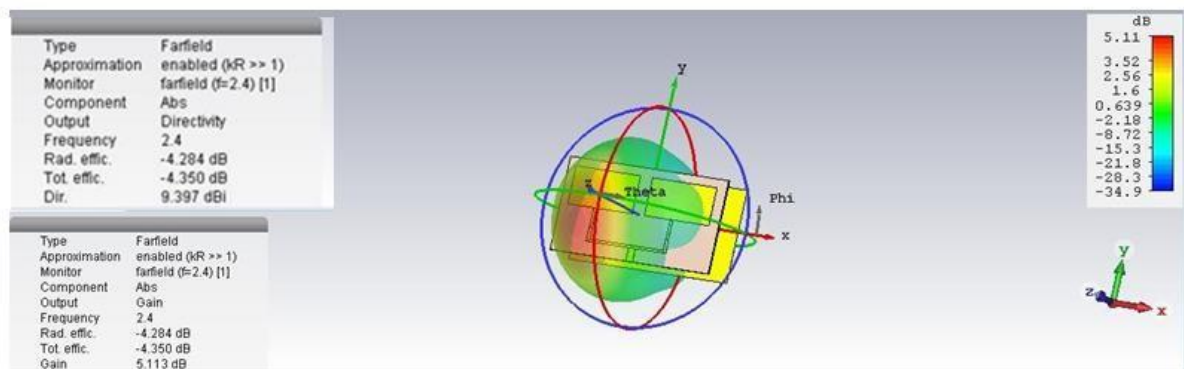


Gambar 11 Hasil VSWR antenna *microstrip triple patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 19x18 *nanowires*

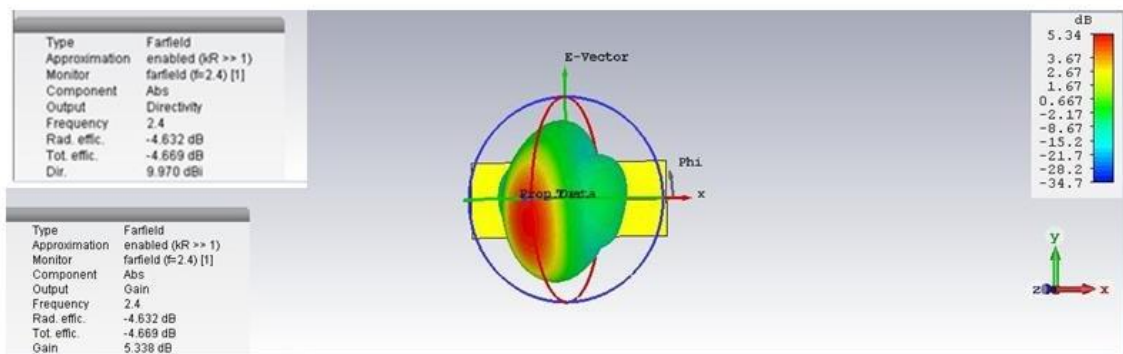


Gambar 12 Pola radiasi antenna *microstrip single patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 3x3 *nanowires* pada plot pola radiasi di *software CST*

Pada Gambar 12 adalah hasil pola radiasi dari simulasi antenna *microstrip single patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 3x3 *nanowires* yang terlihat dari plot pola radiasi pada *software* dan nilai *gain* yang didapatkan sebesar 3,982 dB. Directivity yang didapatkan sebesar 7,569 dBi. Pada Gambar 13 adalah hasil *gain* dari simulasi antenna *microstrip double patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 3x3 *nanowires* yang terlihat dari plot pola radiasi pada *software* dan nilai *gain* yang didapatkan sebesar 5,113 dB. Directivity yang didapatkan sebesar 5,113 dBi. Pada gambar 14 adalah hasil *gain* dari simulasi antenna *microstrip single patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 19x18 *nanowires* yang terlihat dari plot pola radiasi pada *software* dan nilai *gain* yang didapatkan sebesar 5,338 dB. Directivity yang didapatkan sebesar 9,970 dBi.



Gambar 13 Pola radiasi antenna *microstrip double patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 100 nm dan jumlah 3x3 *nanowires* pada plot pola radiasi di *software* CST



Gambar 14 Pola radiasi antenna *microstrip triple patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 19x18 *nanowires* pada plot pola radiasi di *software* CST

Dari hasil tahap simulasi dibandingkan juga hasil perbandingan simulasi terbaik antara antenna mikrostrip tanpa dan dengan *nanowires* yang diperoleh hasil dengan uraian sebagai berikut yaitu hasil simulasi parameter antenna *microstrip single patch* tanpa *nanowires* adalah dimana return loss sebesar -35,031, VSWR sebesar 1,036, gain sebesar 3,105 dB, dan directivity sebesar 6,786 dBi. Sedangkan pada antenna *microstrip single patch* menggunakan *nanowires* yang diinginkan menghasilkan parameter antenna return loss sebesar -33,100, VSWR sebesar 1,045, gain sebesar 3,982 dB, dan directivity sebesar 7,569 dBi. Hasil simulasi parameter antenna *microstrip double patch* tanpa *nanowires* adalah dimana return loss sebesar -17,334, VSWR sebesar 1,314, gain sebesar 4,732 dB, dan directivity sebesar 8,905 dBi. Sedangkan pada antenna *microstrip double patch* menggunakan *nanowires* yang diinginkan menghasilkan parameter antenna return loss sebesar -18,206, VSWR sebesar

1,280, gain sebesar 5,113 dB, dan directivity sebesar 9,397 dBi Hasil simulasi parameter antenna *microstrip triple patch* tanpa *nanowires* adalah dimana *return loss* sebesar -16,191 dB, VSWR sebesar 1,366, *gain* sebesar 5,142 dB, dan *directivity* sebesar 9,829 dBi. Sedangkan pada antenna *microstrip triple patch* menggunakan *nanowires* yang diinginkan menghasilkan parameter antenna *return loss* sebesar -20,731 dB, VSWR sebesar 1,202, *gain* sebesar 5,338 dB, dan *directivity* sebesar 9,970dBi.

IV. KESIMPULAN

Hasil pengamatan karakteristik *nanowires* dengan mengubah variasi panjang, diameter dan jumlah *nanowires* didapatkan hasil yang diinginkan pada rancangan dengan variasi diameter dengan ukuran 300 nm, panjang dengan ukuran 32 mm dan jumlah *nanowires* 342 pada antenna *microstrip triple patch* dengan frekuensi 2,4 GHz. Pada rancangan tersebut menghasilkan nilai *return loss* sebesar -23,397; nilai VSWR sebesar 1,145; nilai *gain* sebesar 5,559 dan *directivity* dengan nilai 10,140. Hasil ini sudah sesuai dengan standar parameter antenna yang ditargetkan untuk aplikasi Wi-Fi 2.4 GHz. Penambahan patch pada antenna *nanowires* terbukti signifikan dalam meningkatkan gain antenna. Dari hasil pengamatan perbandingan antara penggunaan *nanowires* pada antenna mikrostrip juga diperoleh kesimpulan bahwa elemen *nanowires* dapat meningkatkan gain antenna mikrostrip sehingga penggunaan *nanowires* dapat dirujuk sebagai salah satu metoda untuk peningkatan *gain* antenna mikrostrip, meskipun dari sisi fabrikasi elemen ini masih sulit untuk realisasinya. Hal ini dikarenakan ukuran kawat dalam skala nano yang utk proses realisasinya yang masih belum ada di lingkungan tempat tinggal penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.J. Zozaya, *A formal approach for calculating the radiation fields of a linear wire antenna*. Progress In Electromagnetics Research M, 6, pp.1-8. 2009.
- [2] T. Rai, P. Dantes, B. Bahreyni "A Stretchable RF Antenna With Silver Nanowires" 2013
- [3] L. D. Gael, G. Giusti, C. Mayousse, C Celle, D Bellet and J. Simonato "Flexible transparent conductive materials based on silver nanowire networks: a review" 2013
- [4] M. S. Riani, Y. Rahayu, "Perancangan Simulasi Antena Mikrostrip Dengan Slot Butterfly Untuk Aplikasi WiFi Pada Frekuensi Kerja 5,8 GHz menggunakan CST Microwave Studio," 2016
- [5] Debora, S., Analisis perbandingan antenna mikrostrip pencatu feedline dan proximity coupled pada frekuensi 2, 4-2, 5, 2017.
- [6] T. T. Estu, V. Fauzia, Y. Wahyu, "Design 4-Element Flexible Microstrip Patch Array Antenna Using Silver Nanowires and Polydimethylsiloxane for WLAN Application" 2018
- [7] Rai, T., Dantes, P., Bahreyni, B. and Kim, W.S., 2013. A stretchable RF antenna with silver nanowires. *IEEE Electron Device Letters*, 34(4), pp.544-546.
- [8] Li, W., Yarali, E., Bakytbekov, A., Anthopoulos, T.D. and Shamim, A., 2020. Highly transparent and conductive electrodes enabled by scalable printing-and-sintering of silver nanowires. *Nanotechnology*, 31(39), p.395201.
- [9] Kirtania, S.G., Elger, A.W., Hasan, M.R., Wisniewska, A., Sekhar, K., Karacolak, T. and Sekhar, P.K., 2020. Flexible antennas: a review. *Micromachines*, 11(9), p.847.
- [10] Baird, M., Ng, B. and Seah, W., 2017, June. WiFi network access control for IoT connectivity with software defined networking. In *Proceedings of the 8th ACM on Multimedia Systems Conference* (pp. 343-348).