

Perancangan dan implementasi antenna mikrostrip hardware komunikasi wireless MISO 2x1 dengan frekuensi kerja 2,4 GHz Dan 5 GHz untuk access point

Hadiwiyatno¹, Septriandi Wirayoga², Azam Muzakhim Imamuddin³, Arinalhaq Fatachul Aziiz⁴
e-mail: hadiwiyatno@polinema.ac.id¹, yoga.septriandi@polinema.ac.id², azam@polinema.ac.id³,
arinal@polinema.ac.id⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 24 Agustus 2023

Direvisi 23 Oktober 2023

Diterbitkan 30 April 2024

Kata kunci:

Access Point

Amplifier

Mikrostrip

WiFi

Wireless

ABSTRAK

WiFi adalah teknologi nirkabel yang sering digunakan dalam jaringan komunikasi modern seperti antara perangkat telepon atau perangkat komputer. Namun, salah satu kelemahan dari teknologi ini adalah kualitas kekuatan sinyal dari komunikasi WiFi yang dapat mengurangi kualitas pengiriman data. Oleh karena itu, diperlukan pemanfaatan sistem komunikasi antenna untuk meningkatkan daya pancara. *Mutiple Input Multiple Output* (MISO) adalah model pemasangan pemancar sinyal untuk meningkatkan kekuatan sinyal, memperluas jangkauan jaringan, dan meningkatkan daya transmisi melalui antenna. Penelitian ini bertujuan menciptakan hardware komunikasi MISO yang terhubung access point yang meningkatkan sinyal untuk pengiriman dan penerimaan data. Fokusnya adalah membandingkan pengaruh antenna mikrostrip dan amplifier pada sistem access point serta menilai performansinya. Antenna mikrostrip mampu bekerja pada frekuensi dual band: 2,4 GHz (2415.215 MHz) dan 5 GHz (5781.78 MHz). Untuk band 2,4 GHz memiliki gain sebesar 16,48 dB. Sedangkan untuk band 5 GHz memiliki gain sebesar 12,39 dB. Amplifier memiliki rata-rata gain 4,36 dB untuk 2,4 GHz dan 19,93 dB untuk 5 GHz.

ABSTRACT

WiFi is a wireless technology that is often used in modern communication networks such as between telephone or computer devices. However, one of the disadvantages of this technology is the quality of the signal strength of WiFi communication which can reduce the quality of data transmission. Therefore, it is necessary to utilise an antenna communication system to increase the beam power. *Mutiple Input Multiple Output* (MISO) is a model of installing signal transmitters to increase signal strength, expand network coverage, and increase transmission power through antennas. This research aims to create a MISO communication hardware connected access point that enhances the signal for sending and receiving data. The focus is on comparing the effect of microstrip antennas and amplifiers on the access point system and assessing their performance. The microstrip antenna is capable of working at dual band frequencies: 2.4 GHz (2415.215 MHz) and 5 GHz (5781.78 MHz). The 2.4 GHz band has a gain of 16.48 dB. The 5 GHz band has a gain of 12.39 dB. The amplifier has an average gain of 4.36 dB for 2.4 GHz and 19.93 dB for 5 GHz.

Keywords:

Access Point

Amplifier

Microstrip

WiFi

Wireless

Penulis Korespondensi:

Septriandi Wirayoga,

Jurusan Teknik Elektro,

Politeknik Negeri Malang,

Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Jawa Timur, Indonesia.

Email: yoga.septriandi@polinema.ac.id

1. PENDAHULUAN

Telekomunikasi, sebagai suatu sistem yang memfasilitasi pengiriman dan penerimaan informasi dalam beragam bentuk seperti tanda, sinyal, tulisan, gambar, dan suara, melibatkan penggunaan media seperti kawat, optik, radio, atau bahkan sistem elektromagnetik lainnya. Dalam ranah teknologi telekomunikasi, Wi-Fi muncul sebagai salah satu terobosan terkemuka; sebuah bentuk komunikasi jarak jauh tanpa kabel yang dikenal luas sebagai Wireless Local Area Network (WLAN), beroperasi secara khusus pada area tertentu. Teknologi ini mengadopsi alokasi pita frekuensi 2,4 GHz sejalan dengan standar protokol IEEE 802.11b, 802.11g, 802.11n, dan 802.11ad untuk Wireless Fidelity (Wi-Fi), sesuai dengan ketentuan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia No. 1 Tahun 2019.

Sebuah jaringan Wi-Fi memerlukan Access Point yang terhubung dengan antena bawaan, yaitu sebuah perangkat nirkabel yang beroperasi pada frekuensi 2,4 GHz dan 5 GHz [1]. Antena bawaan pada access point biasanya merujuk pada antena yang sudah terpasang secara default pada perangkat dan dirancang oleh produsen untuk memaksimalkan jangkauan dan cakupan sinyal Wi-Fi tanpa memerlukan pengaturan tambahan. Antena bawaan ini biasanya sederhana dalam desain dan terintegrasi langsung ke dalam perangkat access point. Walaupun antena bawaan dapat memenuhi kebutuhan umum, terkadang pengguna atau peneliti tertarik untuk meningkatkan kualitas jaringan Wi-Fi dengan menggunakan antena eksternal, seperti antena mikrostrip yang disebutkan sebelumnya. Oleh karena itu, beberapa penelitian mencoba menggantikan antena bawaan dengan antena alternatif, seperti antena mikrostrip, untuk melihat apa yang dihasilkan oleh pemilihan antena.

Antena mikrostrip telah muncul sebagai alternatif yang menarik dengan banyak keunggulan dalam konteks penerapan sistem telekomunikasi [2]. Desainnya yang kecil, tipis, dan mudah dimasukkan ke dalam berbagai perangkat membuat antena mikrostrip menjadi pilihan yang menarik. Ini juga memberikan fleksibilitas tambahan untuk mengatur berbagai parameter penting, seperti frekuensi resonansi, polarisasi, pola radiasi, dan impedansi. Kemampuannya untuk beroperasi pada frekuensi tinggi menawarkan kinerja optimal dalam mengatasi tantangan telekomunikasi modern. Antena mikrostrip dapat digunakan dalam lebih dari satu pita frekuensi dan memaksimalkan penggunaan frekuensi [3]. Dengan kata lain, antena mikrostrip menawarkan kemampuan yang sangat diperlukan untuk menyesuaikan dan optimalisasi jaringan telekomunikasi. Selain itu, karena kemampuan mereka untuk menyesuaikan diri dengan berbagai situasi dan kebutuhan komunikasi, antena mikrostrip menjadi pilihan yang sangat fleksibel dan dapat diandalkan dalam menghadapi tuntutan terus berubah dari perkembangan teknologi telekomunikasi. Akibatnya, antena mikrostrip muncul di dunia implementasi sistem telekomunikasi sebagai solusi untuk tuntutan yang terus meningkat dari perkembangan teknologi telekomunikasi.

Salah satu metode yang dapat diterapkan pada pemasangan antena mikrostrip adalah melalui penggunaan model Multiple Input Single Output (MISO) [4], di mana konfigurasi ini memungkinkan penggunaan lebih dari satu input sinyal untuk ditransmisikan melalui satu output pada antena mikrostrip. Dalam hal ini, keunggulan model MISO terletak pada kemampuannya untuk meningkatkan kapasitas dan kinerja transmisi data dengan memanfaatkan beberapa input, sehingga memungkinkan transfer data yang lebih efisien dan handal. Dengan demikian, penerapan model MISO pada instalasi antena mikrostrip tidak hanya memberikan solusi teknis yang canggih, tetapi juga mendukung optimalisasi sistem komunikasi dalam menghadapi tuntutan jaringan yang semakin kompleks dan berkembang.

Fokus penelitian ini tertuju pada pengukuran dan pemantauan nilai parameter RSSI pada access point. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pemanfaatan amplifier pada router Wi-Fi secara signifikan meningkatkan nilai parameter RSSI [5]. Peningkatan ini dipicu oleh penguatan sinyal Wi-Fi yang dihasilkan oleh amplifier, meningkatkan daya tangkap sinyal oleh perangkat penerima. Selain itu, penelitian ini juga mengevaluasi faktor-faktor yang memengaruhi kinerja amplifier, seperti jarak antara router dan perangkat penerima, adanya penghalang fisik, dan interferensi atau tumpang tindih sinyal. Hasil evaluasi ini memberikan wawasan yang berharga terkait pemilihan dan penempatan amplifier yang optimal untuk meningkatkan kualitas jaringan Wi-Fi.

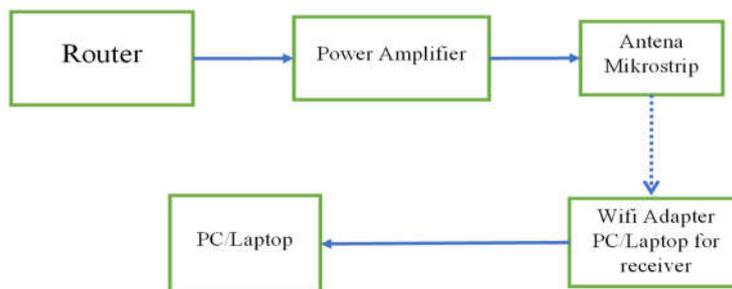
2. METODE PENELITIAN

Tahap penelitian ini terdapat langkah-langkah atau suatu proses yang memuat pengujian access point untuk antena mikrostrip MISO 2x1. access point akan dikembangkan dengan cara memodifikasi antena bawaan access point dengan antena mikrostrip yang telah teruji dengan penambahan amplifier atau penguat sinyal. Prosedur dan perencanaan ini, peneliti akan menguraikan tentang langkah langkah alir sistem dan

parameter setiap aspek dalam pengujian komunikasi Wireless untuk Access Point. Berikut ini merupakan diagram alir sistem yang akan dibuat dalam penelitian yang terlihat pada Gambar 1. Pengujian access point beserta parameter-parameter antenna seperti VSWR, Return Loss beserta Pola Radiasi, Antena akan diujikan sesuai dengan kinerja yang hanya dibutuhkan access point, sehingga seolah-olah access point akan berperan sebagai signal generator bagi antenna mikrostrip. pengujian paramter antenna akan dilakukan melalui Virtual Network Analyzer untuk mengukur VSWR [6] dan Return Loss [7], sedangkan Spectrum Analyzer akan menguji pola radiasi antenna. Pada Gambar 2 Router/Access Point adalah komponen krusial pada penelitian ini dikarenakan access point diharuskan mampu bekerja di dual band yakni 2,4 GHz dan 5 GHz. setiap konektor mewakili kerja frekuensi. Implementasi akan dilaksanakan dengan pemasangan amplififier dan mempunyai output berupa antenna mikrostrip. Laptop akan menerima sinyal dari access point secara nirkabel. perlu diketahui PC Desktop/Laptop diharuskan sudah terinstal Wifi Analyzer agar dapat mengetahui level daya sinyal yang diterima. Pada Gambar 3 menunjukkan alur pengujian dari penelitian yang dilakukan.



Gambar 1. Perancangan Sistem



Gambar 2. Diagram blok sistem



Gambar 3. Diagram alur proses pengujian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum melakukan pengujian sistem hendaknya dilakukan pengujian performansi Antena. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui tingkat performansi dari VSWR, Return Loss, Pola Radiasi dan mengetahui respon frekuensi antenna ketika diimplementasikan ke access point, pengukuran menggunakan alat uji spectrum analyzer untuk mengukur tingkat sinyal level pada antenna dan VNA [8] untuk menguji tingkat VSWR dan Return Loss dari antenna. Pengujian antenna ini dikatakan penting dikarenakan antenna sangat mempengaruhi keluaran sinyal dari access point. Setiap channel frekuensi mampu memiliki performansi secara berbeda-beda tergantung dari kemampuan antenna itu sendiri. Gambar 4 menunjukkan antenna mikrostrip MISO 2x1 dengan 2-patch dimana terdapat patch berbentuk lingkaran dan persegi. Patch melingkar digunakan untuk menutupi frekuensi 2 GHz, sedangkan patch persegi panjang digunakan untuk menutupi frekuensi 5 GHz. Berikut adalah prosedur dan hasil pengukuran dari menggunakan virtual network analyzer.

Tabel 1 Hasil pengukuran Antena Mikrostrip 2,4 GHz

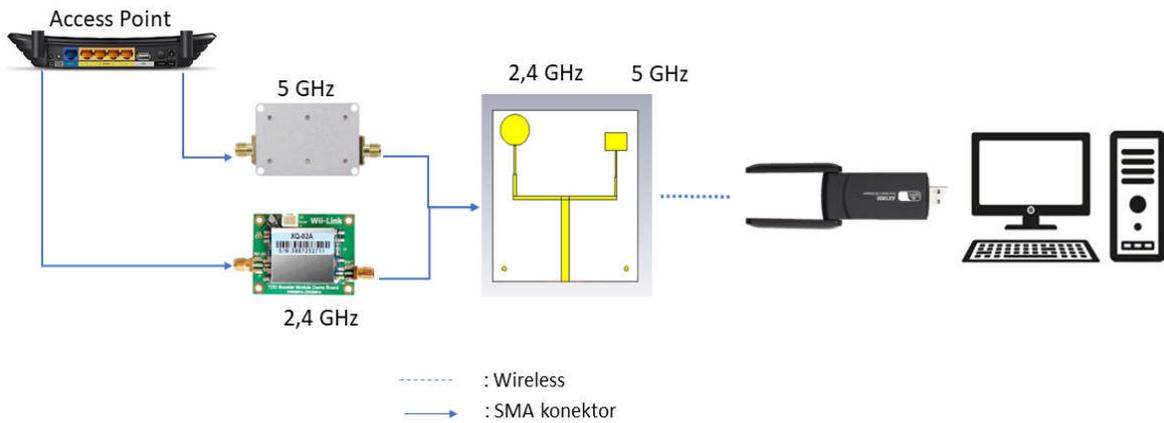
No	Channel Frekuensi (MHz)	Γ	Return Loss (dB)	VSWR	Gain (dB)
1	2415.21	0.149842831	-16.4872806	1.356253094	16.4872806
2	2417.01	0.175609799	-15.1090251	1.213017814	15.1090251
3	2422.02	0.304371767	-10.3319127	1.437549473	10.3319127
4	2427.02	0.43592374	-7.211789581	1.772809939	7.211789581
5	2432.03	0.556075872	-5.097318968	2.25263719	5.097318968

No	Channel Frekuensi (MHz)	Γ	Return Loss (dB)	VSWR	Gain (dB)
6	2437.03	0.664446686	-3.550797209	2.980152357	3.550797209
7	2442.04	0.760044862	-2.383215454	4.167445662	2.383215454
8	2447.04	0.842931789	-1.484151346	6.36666068	1.484151346
9	2452.05	0.919511328	-0.728858323	12.42410855	0.728858323
10	2457.05	0.990422774	-0.083587642	104.4143645	0.083587642
11	2462.06	1.073265634	0.614144473	13.64896391	0.614144473

Tabel 2 Hasil pengukuran Antena Mikrostrip 5 GHz

No	Channel Frekuensi (MHz)	Γ	Return Loss (dB)	VSWR	Gain (dB)
1	5180.18	0.431537	-7.29964	1.75913	7.299638
2	5200.20	0.804178	-1.89295	5.106689	1.892952
3	5220.22	1.118555	0.973144	-8.43493	-0.97314
4	5240.24	1.324495	2.441004	-3.08172	-2.441
5	5745.74	1.100177	0.829252	-9.98233	-0.82925
6	5765.76	0.560588	-5.02712	2.275769	5.027121
7	5781.78	0.239928	-14.26	1.485664	12.39839
8	5805.80	0.772875	-2.23781	4.402868	2.237811
9	5825.82	1.204754	1.617967	-4.88391	-1.61797

Dari pengukuran antenna dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 mampu beroperasi pada frekuensi yang diinginkan yaitu 2 GHz dan 5 GHz dimana untuk frekuensi 2 GHz memiliki return loss sebesar -16.49 dB sedangkan pada frekuensi 5 GHz memiliki return loss sebesar -14.26 dB. Nilai VSWR yang didapat untuk frekuensi kerja 2415.22 MHz adalah 1.35 sedangkan pada frekuensi kerja 5781.78 MHz adalah 1.48. Langkah berikutnya adalah pemilihan channel frekuensi secara statis sangat penting dalam pengujian sistem dikarenakan apabila opsi dynamic channel pada access point diaktifkan maka channel frekuensi akan terkonfigurasi secara acak sehingga membuat sulit penulis dalam mengambil data hasil pengujian. Pemilihan channel frekuensi tentunya berdasarkan rekomendasi aplikasi wifi analyzer atau frekuensi yang bekerja pada antenna. Adapun software yang digunakan sebagai wifi analyzer yaitu Wi-Fi Scanner. Wi-Fi Scanner memungkinkan untuk dengan mudah menemukan jaringan nirkabel yang terlihat dan informasi yang sesuai. Alat ini memperoleh nama jaringan *Service Set Identifier* (SSID), kekuatan sinyal *Received Signal Strength Indication* (RSSI) dan kualitas, alamat MAC berdasarkan *Basic Service Set Identifier* (BSSID). Dalam hal ini, kita membandingkan nilai kekuatan sinyal (RSSI) yakni sebelum dan sesudah dipasang antenna yang dibuat. Proses pembacaan nilai kuat sinyal bisa dilihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Bentuk antenna dan pemasangannya

Graph	Name (SSID)	Strength	Quality	Vendor	Band
✓	Polinema_Lab_BING	-81 dBm	50%	Ubiquiti Networks Inc.	5 GHz
✓	Ruang Dosen Lantai 3 5G	-82 dBm	38%	Tenda Technology Co.,Ltd.Dongguan branch	5 GHz
✓	TP-LINK_597B_5G	-86 dBm	40%	TP-LINK TECHNOLOGIES CO.,LTD.	5 GHz
✓	OPPD	-79 dBm	21%		2.4 GHz
✓	<hidden network>	-83 dBm	0%		2.4 GHz
✓	Polinema_Lab_BING	-64 dBm	70%	Ubiquiti Networks Inc.	5 GHz
✓	<hidden network>	-51 dBm	100%		2.4 GHz
✓	Ruang Dosen Lantai 3 5G	-66 dBm	68%	Tenda Technology Co.,Ltd.Dongguan branch	5 GHz
✓	TP-LINK_597B_5G	-49 dBm	100%	TP-LINK TECHNOLOGIES CO.,LTD.	5 GHz
✓	Polinema_Lab_BING	-63 dBm	76%	Ubiquiti Networks Inc.	2.4 GHz
✓	<hidden network>	-70 dBm	65%		2.4 GHz

Gambar 5. Tampilan pembacaan kuat sinyal pada aplikasi

Tabel 3 Hasil Pengukuran Kekuatan Sinyal dari Akses Poin secara wireless

Band	Pengukuran Antena Bawaan (dBm)		Pengukuran Antena MISO (dBm)		Gain(dB)
	sebelum	Sesudah	Sebelum	sesudah	
2.4 GHz	-81	-65	50%	76%	16
5 GHz	-86	-49	40%	100%	37

Dari hasil yang tercantum pada Tabel 3, dapat disimpulkan bahwa implementasi sistem ini memberikan performa yang memuaskan. Hasil pengujian dengan sampel uji pada frekuensi 2,4 GHz menunjukkan gain sebesar 16 dB, sedangkan pada frekuensi 5 GHz mencapai 37 dB. Kehadiran gain sebesar ini pada jarak 50 meter dari pengirim sinyal menegaskan bahwa implementasi sistem ini berfungsi dengan baik dan dapat diandalkan, terutama pada aplikasi access point.

Lebih lanjut, efek positif dari penggunaan antena yang dibuat terlihat pada peningkatan kualitas sinyal. Sebelum pemasangan antena, kualitas sinyal berada pada sekitar 40%, namun setelah antena diaplikasikan, kualitas sinyal meningkat signifikan menjadi berkisar antara 70 hingga 100%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa antena yang dibuat berhasil meningkatkan efisiensi dan daya tangkap sinyal, sehingga dapat meningkatkan kualitas konektivitas jaringan secara keseluruhan.

Penting untuk dicatat bahwa peningkatan kualitas sinyal pada frekuensi 5 GHz lebih mencolok dibandingkan dengan frekuensi 2,4 GHz. Hal ini mengindikasikan bahwa antena yang diterapkan memiliki kinerja yang lebih optimal pada frekuensi yang lebih tinggi, menawarkan kemampuan peningkatan yang lebih besar. Kesimpulan ini memberikan pandangan yang berharga terkait keberhasilan implementasi sistem, sambil memberikan dasar untuk pertimbangan lebih lanjut terkait penggunaan antena dan optimalisasi kinerja pada frekuensi tertentu.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan data pembahasan dapat ditarik kesimpulan bahwa pemasangan pada router dapat meningkatkan kinerja router dan antena mikrostrip kompatibel dengan sistem untuk access point. Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang dilakukan dapat diketahui bahwa antena mikrostrip yang diimplementasikan mampu beroperasi pada frekuensi 2,4GHz dan 5GHz, dimana frekuensi untuk 2G adalah 2415.215 MHz dan untuk frekuensi 5G adalah 5781.78 MHz. Lebar Pita frekuensi 2,4 GHz sama dengan 14,41 MHz dan lebar pita frekuensi 5GHz sama dengan 14,02 MHz. Antena mikrostrip yang telah difabrikasi telah memenuhi standar parameter antena dan kompatibel dengan sistem atau perangkat lainnya. Nilai VSWR untuk band 2,4 GHz sama dengan 1,35; gain sebesar 16,48 dB; nilai return sama dengan -16,49 dB. Untuk band 5 GHz, nilai VSWR sama dengan 1,48; gain sebesar 12,39 dB; nilai return loss -14,26 dB. Antena tersebut sudah memenuhi standar dalam pengaplikasiannya akses poin. Dimana, nilai $1 \leq \text{VSWR} < 2$ dan nilai return loss dibawah -10 dB. router dapat secara signifikan meningkatkan parameter RSSI dan kualitas sinyal dalam jaringan Wi-Fi. Terjadi penguatan sebesar 16 dB untuk band 2,4 GHz dan 37 dB untuk band 5 GHz. Selain itu, terjadi peningkatan persentase kualitas sinyal yang semula 50% menjadi 76% pada band 2,4 GHz dan 40% menjadi 100% pada band 5 GHz.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hadiwiyatno, M. Junus and S. W. Yoga, 2021 "Design and Implementation of Dual Band Microstrip Antenna in 2G and 5G Frequency on Archer C2 Router," IEEE 5th International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE), Purwokerto, Indonesia, 2021, pp. 46-49, doi: 10.1109/ICITISEE53823.2021.9655855.
- [2] W. Hussain and S. Sah, "High Gain 2×2 MIMO Antenna for 5g Applications," 2021 4th International Conference on Recent Developments in Control, Automation & Power Engineering (RDCAPE), Noida, India, 2021, pp. 410-412, doi: 10.1109/RDCAPE52977.2021.9633606.
- [3] S. W. Yoga, T. Suryani and Suwadi, "Application PTS technique for PAPR reduction in MIMO OFDM using WARP," 2016 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), Lombok, Indonesia, 2016, pp. 317-322, doi: 10.1109/ISITIA.2016.7828679.
- [4] Q. -U. -A. Nadeem, H. Alwazani, A. Kammoun, A. Chaaban, M. Debbah and M. -S. Alouini, "Intelligent Reflecting Surface-Assisted Multi-User MISO Communication: Channel Estimation and Beamforming Design," in IEEE Open Journal of the Communications Society, vol. 1, pp. 661-680, 2020, doi: 10.1109/OJCOMS.2020.2992791.
- [5] T. Suryani, Suwadi, Hasan and S. W. Yoga, "Implementation and performance evaluation of orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) using WARP," 2015 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), Surabaya, Indonesia, 2015, pp. 451-456, doi: 10.1109/ISITIA.2015.7220024.
- [6] J. Colaco and R. Lohani, "Design and Implementation of Microstrip Patch Antenna for 5G applications," 2020 5th International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES), Coimbatore, India, 2020, pp. 682-685, doi: 10.1109/ICCES48766.2020.9137921..
- [7] Gautam AK, Bisht A, Kanaujia BK. A wideband antenna with defected ground plane for WLAN/WiMAX applications. AEU-Int J Electron Commun 2016;70(3):354–8. <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2015.12.013>.
- [8] C. Dong et al., "A Portable Very Low Frequency (VLF) Communication System Based on Acoustically Actuated Magnetolectric Antennas," in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 19, no. 3, pp. 398-402, March 2020, doi: 10.1109/LAWP.2020.2968604.
- [9] Q. Wu and R. Zhang, "Towards Smart and Reconfigurable Environment: Intelligent Reflecting Surface Aided Wireless Network," in IEEE Communications Magazine, vol. 58, no. 1, pp. 106-112, January 2020, doi: 10.1109/MCOM.001.1900107.
- [10] M. Di Renzo et al., "Smart Radio Environments Empowered by Reconfigurable Intelligent Surfaces: How It Works, State of Research, and The Road Ahead," in IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 38, no. 11, pp. 2450-2525, Nov. 2020, doi: 10.1109/JSAC.2020.3007211.
- [11] E. Basar, M. Di Renzo, J. De Rosny, M. Debbah, M. -S. Alouini and R. Zhang, "Wireless Communications Through Reconfigurable Intelligent Surfaces," in IEEE Access, vol. 7, pp. 116753-116773, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2935192.
- [12] C. Liaskos, S. Nie, A. Tsioliaridou, A. Pitsillides, S. Ioannidis and I. Akyildiz, "A New Wireless Communication Paradigm through Software-Controlled Metasurfaces," in IEEE Communications Magazine, vol. 56, no. 9, pp. 162-169, Sept. 2018, doi: 10.1109/MCOM.2018.1700659.
- [13] C. Huang, R. Mo and C. Yuen, "Reconfigurable Intelligent Surface Assisted Multiuser MISO Systems Exploiting Deep Reinforcement Learning," in IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 38, no. 8, pp. 1839-1850, Aug. 2020, doi: 10.1109/JSAC.2020.3000835.
- [14] J. Chen, Y. -C. Liang, H. V. Cheng and W. Yu, "Channel Estimation for Reconfigurable Intelligent Surface Aided Multi-User mmWave MIMO Systems," in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 22, no. 10, pp. 6853-6869, Oct. 2023, doi: 10.1109/TWC.2023.3246264.
- [15] Hadiwiyatno, Moh. Abdullah Anshori, and Septriandi Wirayoga, "PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP MIMO 2X1 UNTUK FREKUENSI KERJA 2G DAN 5G PADA ACCESS POINT Archer C2", JTIA, vol. 3, no. 2, pp. 80-84, Oct. 2022.