

RANCANG BANGUN *RECTENNA* UNTUK ENERGY HARVESTING PADA FREKUENSI JARINGAN 4G 2,3 GHZ DAN PENGUJIAN PADA LINGKUNGAN KAMPUS TELKOM UNIVERSITAS SURABAYA

1st Mohammad Rachmadani
 Departemen of Computer Engineering
 Telkom University
 Surabaya, Indonesia
rachmaddani@student.telkomucersity.ac.id

2nd Dwi Edi Setyawan
 Departemen of Computer Engineering
 Telkom University
 Surabaya, Indonesia
dwiedi@telkomuniversity.ac.id

3rd Mohammad Yanuar Hariyawan
 Departemen of Computer Engineering
 Telkom University
 Surabaya, Indonesia
myanuarh@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Perkembangan perangkat IoT dan sensor kedepan akan sangat luas. Dimasa depan diharapkan tidak bergantung pada baterai. Pemanfaatan gelombang elektromagnetik yang ada di lingkungan untuk dikonversi menjadi energi merupakan salah satu cara untuk menghilangkan ketergantungan terhadap baterai. Di lingkungan perkotaan, ketersediaan jaringan WiFi sangat melimpah. Jaringan WiFi tersebut memancarkan gelombang elektromagnetik pada frekuensi 2,4 Ghz. Gelombang elektromagnetik tersebut dapat dimanfaatkan untuk menghidupkan perangkat IoT berdaya rendah. Dalam perkembangannya, upaya ini disebut sebagai teknik RF energi harvesting. Untuk merealisasikan Teknik RF energi harvesting dibutuhkan perangkat hardware yang disebut sebagai *rectenna*. Untuk itu, pada tugas akhir ini dilakukan rancang bangun *rectenna* untuk Energy Harvesting pada frekuensi WiFi 2,4 GHz. Hasil *rectenna* yang dibangun berhasil mengkonversi energi elektromagnetik menjadi listrik DC dengan tegangan 470 mV pada jarak 10 cm dan tegangan 11,7 mV pada jarak 1000 cm dari sumber RF dengan daya 5 Watt.

Kata kunci— RF Energy Harvesting, *Rectenna* dan WiFi

I. PENDAHULUAN

Perkembangan perangkat Internet of Things (IoT) dan sensor mendorong kebutuhan akan sistem catu daya yang berkelanjutan, efisien, dan tidak bergantung pada baterai. Keterbatasan kapasitas, biaya perawatan, dan potensi pencemaran lingkungan akibat limbah bahan kimia baterai menjadikan solusi alternatif sebagai kebutuhan mendesak. Salah satu pendekatan yang banyak dikembangkan adalah pemanfaatan gelombang elektromagnetik di lingkungan untuk dikonversi menjadi energi listrik, atau dikenal dengan energy harvesting. Teknologi RF Energy Harvesting memanfaatkan sinyal frekuensi radio (RF) yang melimpah di sekitar manusia, seperti dari telekomunikasi nirkabel, militer, radio amatir, dan jaringan WiFi, untuk menghasilkan daya berukuran kecil yang dapat dimanfaatkan perangkat berdaya rendah [1][2][3].

Penelitian sebelumnya telah mengkaji berbagai metode untuk meningkatkan efisiensi RF Energy Harvesting, di antaranya penggunaan antena mikrostrip, konfigurasi dual-band, serta rangkaian pengganda tegangan berbasis dioda Schottky [4][5][6]. Namun, sebagian besar studi masih terfokus pada frekuensi selain WiFi 2,4 GHz atau belum mengoptimalkan rancangan untuk kondisi lingkungan nyata yang kompleks. Permasalahan yang dihadapi adalah bagaimana merancang sistem *rectenna* yang mampu bekerja

secara efisien pada frekuensi 2,4 GHz untuk memanen energi RF dari jaringan WiFi dan mengkonversinya menjadi arus searah (DC) dengan kerugian minimal. Fokus penelitian ini adalah perancangan dan pembuatan *rectenna* yang dioptimalkan untuk frekuensi WiFi 2,4 GHz, sehingga dapat menjadi alternatif sumber daya bagi perangkat IoT dan mengurangi ketergantungan pada baterai.

II. KAJIAN TEORI

A. *Rectenna*

Rectenna adalah perangkat yang mengubah energi frekuensi radio (RF) menjadi tegangan DC, terdiri dari antena sebagai penerima sinyal RF dan penyearah yang mengkonversinya dari arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC) [7]. Perangkat ini berpotensi besar digunakan untuk mengisi daya perangkat elektronik berdaya rendah tanpa kabel. Agar daya yang diterima optimal, diperlukan pencocokan impedansi antara antena dan beban penyearah sebelum proses konversi AC-DC dilakukan.

B. Power Energy Harvesting

Power harvesting adalah metode pemanfaatan gelombang elektromagnetik dari lingkungan untuk diubah menjadi energi listrik yang dapat menyalakan perangkat berdaya rendah. Sistem ini terdiri dari antena penerima sinyal RF dan rangkaian penyearah yang mengkonversinya menjadi arus searah (DC), yang secara umum disebut *rectenna* [8]. Teknologi ini memungkinkan pengumpulan energi RF yang melimpah di lingkungan untuk dimanfaatkan sebagai sumber listrik alternatif.

C. Antena Dipole

Antena *dipole* merupakan salah satu jenis antena yang biasa digunakan dalam sistem telekomunikasi yang berfungsi memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik di ruang bebas. Antena ini bersifat *omnidirectional*, memiliki keuntungan rendah, tidak memerlukan *ground plane*, dan berdesain sederhana hanya dengan dua konduktor [9]. Kapasitansi parasit pada ujung konduktor dapat menyebabkan radiasi tambahan yang memengaruhi karakteristik antena..

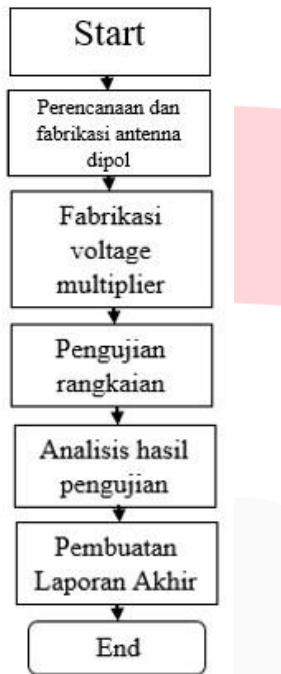
D. S-Parameter

Besaran yang dikenal sebagai S-Parameter menunjukkan bagaimana terminal masukan dan keluaran suatu saluran transmisi berinteraksi dengan kekuatan sinyal yang dikirim atau dipantulkan. [10].

III. METODE

A. Alur Penelitian

Tahapan penggerjaan tugas akhir diawali dengan perencanaan dan fabrikasi antena *dipole* berdasarkan Gambar 1. Hasil survei digunakan sebagai masukan untuk desain sistem RFEH. Selanjutnya dilakukan pencocokan antara implementasi dan desain. Apabila terdapat ketidaksesuaian, dilakukan optimasi untuk menyelaraskan perhitungan dan simulasi. Sistem RFEH kemudian diuji dengan mengukur tegangan keluaran dan efisiensinya. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan Power Harvesting secara nirkabel atau langsung ke Microstrip Multiband, yang berperan sebagai pemancar maupun penerima, di bawah kondisi berbeban sesuai skenario pada Gambar 1.



GAMBAR 1
(ALUR Pengerjaan PROYEK AKHIR)

Pada antena *dipole*, aliran arus dipengaruhi oleh panjang elemen antena, tetapi antena berfungsi sebagai transduser yang mengubah gelombang di saluran transmisi menjadi gelombang elektromagnetik di ruang bebas., di mana panjang elemen l harus lebih kecil dari panjang gelombang (λ). Ukuran dimensi antena mempengaruhi karakteristik yang dihasilkan. Perhitungan dimensi antena *dipole* meliputi penentuan panjang gelombang dan panjang antena, di mana penentuan panjang gelombang dilakukan terlebih dahulu karena berkaitan langsung dengan panjang antena *dipole*. Panjang gelombang dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\lambda = \frac{C}{F} \quad (1)$$

Dimana :

λ = panjang gelombang (mm)
 c = kecepatan cahaya (m/s)
 f = frekuensi kerja (Hz)

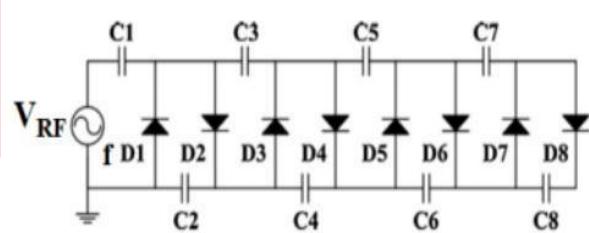
Perancangan antena dilakukan menggunakan perangkat lunak CST Microwave Studio dengan dimensi yang diperoleh dari hasil perhitungan sebelumnya. Tahap awal perancangan dimulai dengan pembuatan antena *dipole*. Tujuan perancangan ini adalah untuk mengevaluasi performa antena

serta memastikan kesesuaianya dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Parameter antena *dipole* ditunjukkan pada Tabel 1.

PARAMETER	UKURAN (mm)
L	46
R	2.5
Gain	2

B. Perancangan Voltage Multiplier

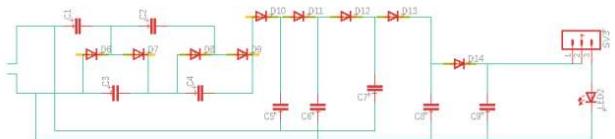
Desain dimulai dengan menentukan kinerja perangkat elektronik. Ia bekerja menggunakan sumber sistem XPS. Simulasi software multisim selanjutnya digunakan untuk menentukan jumlah langkah, jenis komponen dari jumlah input hingga diperoleh tegangan output yang diharapkan dapat digunakan untuk sensor suhu TMP102.



GAMBAR 2
(RANGKAIAN STAGES VILLARD-DICKSON)

C. Perancangan Rangkaian Rectenna

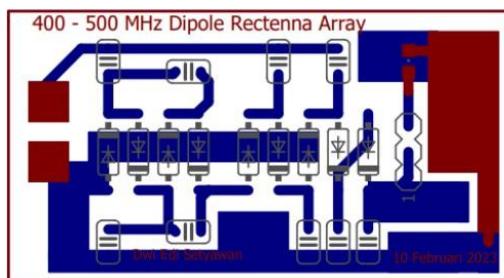
Rangkaian rectenna atau penyearah gelombang biasanya terdiri dari dioda 1N5711. Desain rangkaian yang dijelaskan di bawah ini ditujukan untuk digunakan dengan antena *dipole* yang memiliki pola radiasi omnidirectional.



GAMBAR 3
(RANCANGAN RANGKAIAN RECTENNA)

Rangkaian penyearah dilengkapi dengan *low pass filter* (LPF), *rectenna*, pengali tegangan (*voltage doubler*), dan beban. LPF berfungsi sebagai pengukur frekuensi untuk menyesuaikan sinyal masukan dengan frekuensi resonansi 2,4 GHz, *low pass filter* pada rangkaian penyearah berperan sekaligus sebagai penyesuai impedansi antena.. LPF menggunakan komponen dioda 1N5711, kapasitor keramik 100 pF, dan header hitam antena *dipole* yang disusun seri-paralel. Tahap akhir penelitian adalah perakitan *rectenna* dengan menambahkan beberapa komponen, kemudian

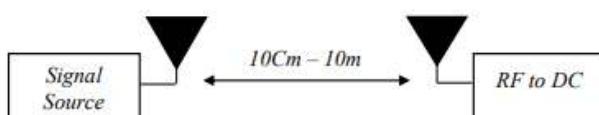
dihubungkan ke antena *dipole* hasil fabrikasi menggunakan kabel. Gambar 3 menampilkan rancangan *rectenna*, sedangkan Gambar 4 memperlihatkan skema rangkaianya.



GAMBAR 4
(SCHEMATIC RANGKAIAN RECTENNA)

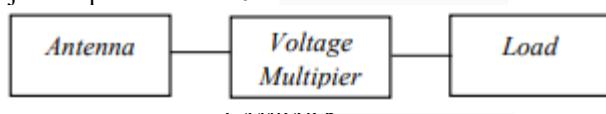
D. Pengujian Rangkaian

Sistem perangkat ini memiliki dua fase pengujian (Gambar 3–4). Pertama, antena berfungsi menangkap gelombang elektromagnetik di sekitar sistem. Kedua, gelombang elektromagnetik tersebut dikonversi menjadi arus searah (DC) melalui proses pemanenan daya, sekaligus diperkuat. Energi listrik DC yang dihasilkan dapat disimpan atau digunakan untuk mengisi daya perangkat berdaya rendah.



GAMBAR 5
(SKENARIO PENGUJIAN 1)

Pada pengujian sistem *Rectenna*, pengujian sistem dilakukan dengan menggunakan sumber *Signal Source* (*access point*) yang dilakukan di sekitar Kampus ITTelkom Surabaya. Daya radiasi diukur pada jarak yang sama dengan *Rectenna*. Hasil konversi dari akuisisi *rectenna* RF kemudian diukur menggunakan *Spectrum Analyzer*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



GAMBAR 6
(SKENARIO PENGUJIAN 2)

Antena seperti pemanjar yang menangkap sistem gelombang

elektromagnetik, mengalikannya dengan tegangan dan kemudian penyearah mengubahnya menjadi arus DC. Setelah sistem dilakukan pengujian, kemudian dianalisis dan membuat laporan hasil dari pengujian sistem tersebut.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Mengacu pada diagram alur sebelumnya, diperoleh hasil simulasi dan pengukuran antena dipole $\lambda/2$ sebagai berikut.

A. Realisasi Pembuatan Antena

Pada rangkaian ini Dioda Schottky 1N5711 digunakan sebagai penyearah sekaligus kapasitor *bypass*. Dioda tersebut sangat sesuai untuk frekuensi tinggi dan mampu mendeteksi sinyal AC yang memiliki daya rendah. Rangkaian ini terhubung ke filter lolos rendah (LPF) melalui kapasitor keramik 100 pF. Pengali tegangan digunakan untuk menaikkan tegangan DC yang dihasilkan oleh penyearah. Pada rangkaian terakhir digunakan kapasitor keramik 100 pF yang dihubungkan secara paralel dengan beban RL. Kapasitor *bypass* menghilangkan sinyal *ripple* yang tersisa, sehingga seluruh sinyal DC dapat diarahkan secara maksimal

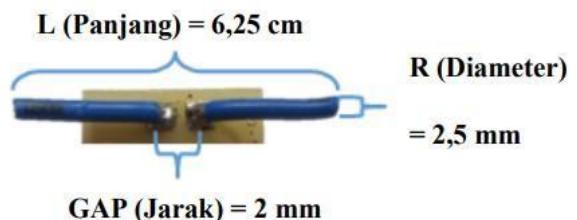
ke beban RL. Nilai beban RL akan diubah untuk melihat bagaimana perubahan beban memengaruhi tegangan DC yang dihasilkan.



GAMBAR 7
(REALISASI PEMBUATAN ANTENA)

B. Perancangan Antenna Dipole

Gambar 7 menunjukkan desain antena dipole yang digunakan untuk tugas akhir ini. Ini memiliki panjang lengan 6,25 cm, diameter lengan 2,5 cm, dan jarak antar lengan 2 cm.



GAMBAR 8
(DIMENSI RECTENNA ANTENA DIPOLE)

$$\text{Pada penelitian ini, } \lambda = \frac{c}{f}$$

Dimana

λ = panjang gelombang (m)

c = kecepatan cahaya (m/s)

f = frekuensi kerja (Hz)

$$\text{Pada penelitian ini, } \lambda = \frac{3 \times 10^8}{2,4 \times 10^8} \quad \lambda = \frac{300.000.000}{2.400.000.000} = \frac{3}{24} \text{ m}$$

$$\lambda = 0,125 \text{ m} = 12,5 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{12,5}{2}$$

$$\lambda = 6,25 \text{ cm} \text{ (Panjang)}$$

C. Perancangan Antenna Dipole menggunakan CST

Berdasarkan diagram alir yang dijelaskan sebelumnya, berikut ini disajikan hasil simulasi dan pengukuran antena dipole $\lambda/2$.

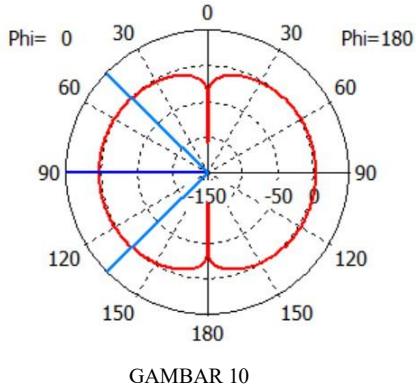


GAMBAR 9 (ANTENA DIPOLE)

Berdasarkan Gambar 8, antena *dipole* $\lambda/2$ memancarkan radiasi ke berbagai arah, bukan hanya satu arah. Pola radiasinya berbentuk seperti *donut*, yang menunjukkan bahwa antena ini hampir memancarkan sinyal ke seluruh arah. Hasil simulasi tersebut mengindikasikan bahwa antena dipole $\lambda/2$ bersifat *omnidirectional*.

1. Pola Radiasi

Hasil simulasi menggunakan perangkat lunak *CST Microwave Studio* pada antena *dipole* $\lambda/2$ menunjukkan pola radiasi yang dapat dilihat pada Gambar 10.

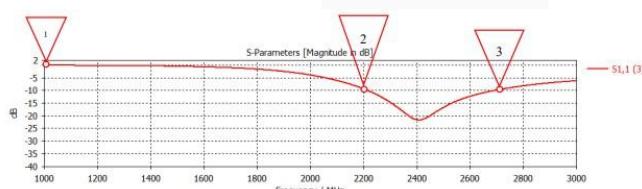


GAMBAR 10

(HASIL POLA RADIASI FREKUENSI 2,4 GHZ)

Berdasarkan pada hasil simulasi ini, dapat disimpulkan bahwa antena *dipole* $\lambda/2$ bersifat *omnidirectional* karena pola berbentuk *donut* yang ditunjukkan pada Gambar 9 menunjukkan bahwa sinyalnya hampir tersebar ke seluruh arah.

2. RETURN LOSS



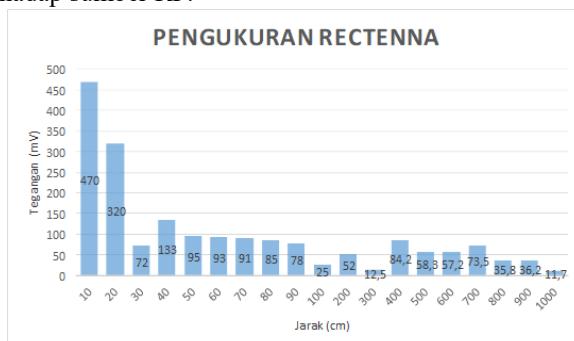
GAMBAR 11

(HASIL S-PARAMETER FREKUENSI 2,4 Ghz)

Berdasarkan Gambar 11, antena *dipole* $\lambda/2$ memiliki *bandwidth* pada rentang 2.200 hingga 2.700 MHz. Rentang ini ditentukan dari nilai *return loss* yang berada di bawah -10 dB, yang merupakan kriteria agar antena dapat beroperasi dengan baik..

D. Pengukuran Tegangan Output pada Rectenna

Subbab ini menampilkan hasil pengukuran rectenna dalam bentuk grafik dan Tabel 2, berdasarkan variasi jarak terhadap sumber RF.



GAMBAR 12

(GRAFIK HASIL PENGUKURAN RECTENNA)

TABEL 2
(HASIL PENGUKURAN RECTENNA PADA VARIASI JARAK CM)

Jarak (cm)	Tegangan (mV)
10 cm	470 mV
20 cm	320 mV
30 cm	72 mV
40 cm	133 mV
50 cm	95 mV
60 cm	93 mV
70 cm	91 mV
80 cm	85 mV
90 cm	78 mV
100 cm	25 mV
200 cm	52 mV
300 cm	125 mV
400 cm	84,2 mV
500 cm	58,3 mV
600 cm	57,2 mV
700 cm	73,5 mV
800 cm	35,8 mV
900 cm	36,2 mV
1000 cm	11,7 mV

Dalam pengujian, jarak antara rectenna dan sumber RF berkisar antara 10 cm dan 1000 cm. Secara teoritis, tegangan keluaran rectenna akan menurun seiring berjalannya waktu, tetapi dalam kasus ini, kondisi lingkungan yang tidak ideal dengan banyak objek logam di sekitar lokasi uji menyebabkan variasi nilai tegangan. Hasil pengukuran, yang ditampilkan pada grafik dan Tabel 2, menunjukkan bahwa antena dipole beroperasi pada frekuensi 2,4 GHz dengan nilai return loss di bawah -10 dB. Gambar 10, Gambar 12, dan Tabel 2 menunjukkan frekuensi kerja minimum dan maksimum pada 2200 MHz dan 2700 MHz, masing-masing.

E. Analisa Data

Berdasarkan hasil dari analisis dan pembahasan secara terperinci atas hasil pengolahan data pada hasil pengukuran ditemukan bahwa frekuensi *rectenna* 2.4 GHz dapat bekerja dengan baik. Namun pada proses pengukuran ditemukan bahwa jarak mempengaruhi besar tegangan yang dihasilkan.

V. KESIMPULAN

Dari hasil pengumpulan data dan analisis yang dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

CST Microwave Studio digunakan untuk mendapatkan parameter karakteristik antena *dipole* $\lambda/2$. Pengukuran dari jarak 10 cm hingga 1000 cm. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa dengan pola radiasi *omnidirectional*, jarak antara sumber antena dengan rangkaian penyebar dengan voltmeter berpengaruh signifikan terhadap tegangan keluaran DC. Pada penelitian yang telah dilakukan, perancangan dan realisasi *rectenna* untuk frekuensi 2,4 GHz hasil simulasi menggunakan *CST Microwave Studio* menunjukkan bahwa *rectenna* bekerja pada frekuensi 2,4 GHz, dengan *bandwidth* 500 MHz dari 2200 MHz hingga 2700 MHz dengan *return loss* dibawah -10 dB. Hasil uji coba pengukuran tegangan

menunjukkan kinerja *rectenna* mampu mengkonversi gelombang elektromagnetik menjadi listrik *DC*.

REFERENSI

- [1] Sampe, J. (2019). Architecture of an efficient dual band 1.8/2.5 GHz *rectenna* for *RF Energy Harvesting* (p.5).
- [2] Rajab, M. , Koesmarijanto , and Rachmad, S. , Perancangan Rangkaian Rectifier Pada Sistem *RF Energy Harvesting* Dengan Antena Televisi Pada Frekuensi UHFpp.464–469, 2019.
- [3] Praja, M. P. (2021). Bumbung Gelombang Lingkaran Susun Untuk Aplikasi *RF Energy Harvesting* pada GSM 1800 MHz. *Jurnal Fokus Elektroda : Energi Listrik, Telekomunikasi, Komputer, Elektronika Dan Kendali*, 6(2), 135. <https://doi.org/10.33772/jfe.v6i2.18212>
- [4] (Shawalil et al., 2019) Shawalil, S., Abdul Rani, K. N., & Rahim, H. A. (2019). 2.45 GHZ wearable *rectenna* array design for microwave *Energy Harvesting*. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 14(2), 677–687. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v14.i2.pp677-687>
- [5] Candra, K., & Pratomo, L. H. (2020). Pengendalian Tegangan Keluaran *DC-DC Boost* Converter Tipe Voltage Doubler Menggunakan Mikrokontroler STM32F1038CT. *Jurnal Teknik Elektro*, 12(2), 40–46. <https://doi.org/10.15294/jte.v12i2.25662>
- [6] Fadilah, I., & Budayawan, K. (2022). Desain dan Karakteristik Antena Microstrip Sebagai Sensor Non Destructive *mikrostrip* dengan menggunakan CST suite studio - ISSN : 2302-3295. 10(2).
- [7] Rajab, M. , Koesmarijanto , and Rachmad, S. , Perancangan Rangkaian Rectifier Pada Sistem *RF Energy Harvesting* Dengan Antena Televisi Pada Frekuensi UHFpp.464–469, 2019.
- [8] Praja, M. P. (2021). Bumbung Gelombang Lingkaran Susun Untuk Aplikasi *RF Energy Harvesting* pada GSM 1800 MHz. *Jurnal Fokus Elektroda : Energi Listrik, Telekomunikasi, Komputer, Elektronika Dan Kendali*, 6(2), 135. <https://doi.org/10.33772/jfe.v6i2.18212>
- [9] Yuliana, H., Yusniar, R., & ... (2020). Rancang Bangun Sistem *Energy Harvesting* di Ruang Bising Menggunakan Piezoelektrik Array. *Jurnal Teknik:Media*, 19(01), 6978. <http://jurnalteknik.unjani.ac.id/index.php/jt/article/view/136>
- [10] Ampas03. (2019,24 September). Materi s-parameter. Diakses pada 25 September 2019, dari <https://dokumen.tips/embed/v1/materi-s-parameter>