JIPFRI
https://journal.unuha.ac.id/index.php/JIPFRI

JIPFRI (Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika dan Riset Ilmiah)
Vol. 10 No. 2, November 2026, hlm. 178–187
p-ISSN 2549-905X | e-ISSN 2549-9076
https://doi.org/10.30599/jipfri.v10i2.5371

Perbandingan Redaman Sinyal *Wi-Fi* 2,4 GHz pada Daun Sukulen dan Non-Sukulen: Kajian Eksperimental dengan Aplikasi Wi-Fi Analyzer

Anggi Nurvitasari*, Jayanti Nafi' Kusuma, Carissa Eka Candrasmurti, Atin Nuryadin dan Lambang Subagiyo
Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia
***Penulis korespondensi:** nrvts31@gmail.com

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:
Diterima: 15/06/2026
Direvisi: 10/11/2026
Disetujui: 10/11/2026
Terbit: 29/11/2026

Kata kunci:
Daun Non-sukulen
Daun Sukulen
Redaman Sinyal
Wi-Fi Analyzer
Wi-Fi 2,4 GHz

Keywords:
Non-succulent Leaves
Signal Attenuation
Succulent Leaves
Wi-Fi Analyzer
Wi-Fi 2,4 GHz

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis redaman sinyal Wi-Fi 2,4 GHz pada daun sukulen dan non-sukulen berdasarkan ketebalan total susunan sampel serta menentukan koefisien redaman empirisnya. Eksperimen menggunakan daun lidah buaya dan siklok sebagai kelompok sukulen serta ketapang dan sengon sebagai kelompok non-sukulen. Sampel disusun setebal 1–7 cm dalam pipa berlapis aluminium foil. Kuat sinyal diukur menggunakan dua telepon seluler dan aplikasi Wi-Fi Analyzer dengan tiga pengulangan pada setiap ketebalan. Redaman dihitung dari selisih kuat sinyal sebelum dan sesudah penghalang, kemudian dianalisis menggunakan regresi linear. Koefisien redaman lidah buaya, siklok, ketapang, dan sengon berturut-turut adalah 7,536 ± 0,765; 7,607 ± 0,555; 3,548 ± 0,335; dan 2,357 ± 0,172 dB/cm; nilai setelah ± menunjukkan galat baku koefisien regresi. Daun sukulen menghasilkan redaman lebih tinggi dalam konfigurasi pengujian. Temuan ini menyediakan data empiris untuk pembelajaran propagasi gelombang elektromagnetik dan hubungan ketebalan bahan dengan redaman sinyal.

ABSTRACT

This study analyzed 2.4 GHz Wi-Fi signal attenuation through succulent and non-succulent leaves at different total sample thicknesses and determined empirical attenuation coefficients. Experiments used aloe vera and lion's tail as succulent samples and tropical almond and sengon as non-succulent samples. Leaves were arranged at thicknesses of 1–7 cm inside an aluminum foil-lined pipe. Signal strength was measured using two smartphones and Wi-Fi Analyzer, with three repetitions per thickness. Attenuation was calculated as the difference in signal strength before and after the barrier and analyzed using linear regression. Attenuation coefficients were 7,536 ± 0,765; 7,607 ± 0,555; 3,548 ± 0,335; *and* 2,357 ± 0,172 *dB/cm, respectively; values after ± denote regression coefficient standard errors. Succulent leaves produced greater attenuation under the experimental configuration. These findings provide empirical data for teaching electromagnetic wave propagation and the relationship between material thickness and signal attenuation.*

Cara mengutip: Nurvitasari, A., Kusuma, J. N., Candrasmurti, C. E., Nuryadin, A., & Subagiyo, L. (2026). Perbandingan redaman sinyal Wi-Fi 2,4 GHz pada daun sukulen dan non-sukulen: Kajian eksperimental dengan aplikasi Wi-Fi Analyzer. *JIPFRI (Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika dan Riset Ilmiah), 10*(2), 178–187. https://doi.org/10.30599/jipfri.v10i2.5371
Copyright © 2026 Penulis. Artikel akses terbuka di bawah lisensi Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0).

PENDAHULUAN

Gelombang radio yang merambat melalui vegetasi dapat mengalami redaman akibat interaksi gelombang elektromagnetik dengan jaringan tumbuhan, yang meliputi absorpsi, hamburan, dan difraksi (Meng & Lee, 2010; Peden et al., 2021). Besarnya redaman dipengaruhi oleh karakteristik vegetasi, frekuensi gelombang, serta panjang lintasan propagasi melalui vegetasi (Balachander et al., 2013; International Telecommunication Union, 2021). Untuk memperkirakan fenomena tersebut, beberapa model propagasi telah dikembangkan, di antaranya rekomendasi ITU-R P.833, model Weissberger, dan COST-235. Rekomendasi ITU-R P.833-10 menyediakan pendekatan untuk memperkirakan redaman akibat vegetasi dengan mempertimbangkan jenis vegetasi dan geometri lintasan propagasi (International Telecommunication Union, 2021). Sementara itu, model Weissberger

memperkirakan redaman berdasarkan frekuensi dan kedalaman lintasan vegetasi, sedangkan model COST-235 menggunakan kedua parameter tersebut dengan membedakan kondisi vegetasi berdaun (*in-leaf*) dan tidak berdaun (*out-of-leaf*) (Balachander et al., 2013). Penggunaan model prediksi redaman vegetasi pada frekuensi 2,4 GHz telah dikaji oleh Balachander et al. (2013) melalui eksperimen pengukuran *path loss* pada lingkungan pertanian dan taman. Penelitian tersebut menggunakan perangkat pengukuran frekuensi radio (RF) dan modul transceiver XBee-Pro untuk mengukur kekuatan sinyal yang diterima (*Received Signal Strength*/RSS), kemudian mengonversinya menjadi nilai *path loss*. Hasil pengukuran selanjutnya dibandingkan dengan tiga model prediksi redaman vegetasi, yaitu Early ITU Vegetation, Weissberger, dan COST-235. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa redaman sinyal pada lingkungan vegetasi dipengaruhi oleh kedalaman vegetasi serta karakteristik lingkungan pengukuran (Balachander et al., 2013).

Sifat dielektrik merupakan karakteristik material dalam merespons medan listrik elektromagnetik yang dinyatakan melalui permitivitas kompleks (*complex permittivity*). Permitivitas kompleks terdiri atas dua komponen, yaitu bagian real (ε′) dan bagian imajiner (ε″). Bagian real (ε′) menggambarkan kemampuan material dalam menyimpan energi listrik melalui proses polarisasi, sedangkan bagian imajiner (ε″) menggambarkan kehilangan energi elektromagnetik akibat proses disipasi dalam material (La Gioia et al., 2018). Pada jaringan tumbuhan, sifat dielektrik berkaitan erat dengan struktur jaringan dan kandungan air karena air merupakan salah satu komponen utama yang memengaruhi respons dielektrik tanaman (Margherita et al., 2026). Chauhan et al. (2024) mengukur permitivitas kompleks daun jagung, jowar, ashoka, dan pisang menggunakan *Vector Network Analyzer* pada rentang frekuensi 500 MHz–15 GHz dengan variasi kadar air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai konstanta dielektrik (ε′) dan kehilangan dielektrik (ε″) cenderung meningkat seiring meningkatnya kadar air daun. Penelitian tersebut juga mengidentifikasi *Critical Moisture Level* (CML) yang berbeda pada setiap jenis daun, yaitu tingkat kadar air yang berkaitan dengan perubahan respons kehilangan dielektrik terhadap frekuensi. Selain itu, Atanasov et al. (2025) mengukur karakteristik permitivitas kompleks daun gandum, jagung, dan bunga matahari pada frekuensi 2.565 MHz, yang berdekatan dengan pita frekuensi Wi-Fi 2,4 GHz. Hasilnya menunjukkan adanya variasi nilai permitivitas relatif antarjenis daun, serta pengaruh posisi daun terhadap karakteristik permitivitas pada beberapa jenis tanaman. Kedua penelitian tersebut memperlihatkan bahwa karakteristik dielektrik daun dapat berbeda berdasarkan jenis tumbuhan dan kondisi kandungan airnya. Dengan demikian, sifat dielektrik dan kandungan air menjadi dasar penting untuk memahami kemungkinan perbedaan respons redaman gelombang elektromagnetik pada berbagai jenis daun.

Tumbuhan sukulen memiliki jaringan penyimpan air yang didominasi oleh sel-sel parenkim dengan vakuola berukuran besar. Pada beberapa spesies, vakuola dapat menempati lebih dari 95% volume sel dan menjadi lokasi utama penyimpanan air (Grace, 2019), Sejalan dengan hal tersebut Males (2017) menyatakan bahwa vakuola pada sel tumbuhan sukulen dapat merepresentasikan lebih dari 90% volume sel. Perbedaan karakteristik penyimpanan air tersebut menjadi salah satu dasar pemilihan tumbuhan sukulen sebagai objek penelitian. Penelitian ini menggunakan empat jenis tumbuhan, yaitu siklok (*Agave attenuata*), lidah buaya (*Aloe vera*), ketapang (*Terminalia catappa*), dan sengon (*Albizia chinensis*). Siklok dan lidah buaya digunakan sebagai perwakilan tumbuhan sukulen, sedangkan ketapang dan sengon digunakan sebagai pembanding dari kelompok non-sukulen. Pemilihan kedua tumbuhan non-sukulen tersebut juga memberikan variasi karakteristik susunan sampel. Berdasarkan pengamatan terhadap sampel yang digunakan, ketapang memiliki helaian daun tunggal yang relatif lebar, sedangkan sengon memiliki daun majemuk dengan anak daun berukuran kecil. Perbedaan tersebut perlu diperhatikan dalam proses penyusunan sampel karena ketebalan pengujian tidak ditentukan berdasarkan ketebalan alami satu helai daun, melainkan berdasarkan tinggi lapisan sampel dalam kompartemen. Setiap kompartemen memiliki ketebalan operasional 1 cm dan ditambahkan secara bertahap hingga mencapai ketebalan total 7 cm. Informasi kandungan air dari penelitian terdahulu juga digunakan sebagai dasar pendukung pemilihan objek. Raya et al. (2023)

melaporkan bahwa kandungan air daun pada berbagai aksesi *Agave* berada di atas 85%, dengan nilai tertinggi sebesar 96% pada *Agave desmettiana*. Pada lidah buaya, Añibarro-Ortega et al. (2019) melaporkan kandungan air sebesar 98 ± 1 g/100 g pada jaringan gel dan 87 ± 1 g/100 g pada kulit daun. Sementara itu, Leite et al. (2015) melaporkan kadar air daun ketapang sebesar 77,31 ± 0,28%. Pada daun sengon, Vandana et al. (2016) melaporkan kadar air berkisar antara 63,87–69,15% pada daun pertama hingga kesembilan, kemudian menurun pada daun kesepuluh hingga kedua belas. Nilai-nilai tersebut merupakan hasil penelitian terdahulu dengan kondisi sampel dan metode pengukuran yang berbeda, sehingga tidak dapat dianggap sebagai kadar air aktual sampel yang digunakan dalam penelitian ini. Meskipun demikian, informasi tersebut memberikan gambaran mengenai variasi kandungan air pada keempat jenis tumbuhan yang relevan untuk dikaji dalam kaitannya dengan karakteristik redaman sinyal.

Berbagai penelitian telah mengkaji redaman gelombang elektromagnetik pada vegetasi dan pengembangan model propagasinya (Barrios-Ulloa et al., 2022; Meng & Lee, 2010; Peden et al., 2021). Secara lebih spesifik, Lestari et al. (2023) meneliti pengaruh beberapa tanaman hias terhadap intensitas radiasi elektromagnetik dengan menggunakan laptop sebagai sumber radiasi dan alat pendeteksi radiasi. Penelitian tersebut membandingkan penurunan intensitas radiasi pada beberapa jenis tanaman, termasuk tanaman sukulen dan lidah mertua, serta menunjukkan adanya perbedaan kemampuan penurunan intensitas antartanaman. Namun, penelitian tersebut berfokus pada perubahan intensitas radiasi di sekitar sumber laptop dan tidak secara khusus mengukur redaman sinyal Wi-Fi 2,4 GHz berdasarkan variasi ketebalan total susunan daun dalam satuan desibel. Di sisi lain, Peden et al. (2021) telah mengkaji kehilangan sinyal RF pada frekuensi 2,4 GHz berdasarkan kandungan air daun eukaliptus, sedangkan Chauhan et al. (2024) mengkaji karakteristik permitivitas kompleks beberapa jenis daun pada rentang frekuensi gelombang mikro 500 MHz–15 GHz dengan variasi kandungan air. Sementara itu, Atanasov et al. (2025) mengukur karakteristik elektromagnetik daun gandum, jagung, dan bunga matahari pada frekuensi 2.565 MHz. Kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa karakteristik dielektrik daun dapat dikaji pada frekuensi gelombang mikro, tetapi belum secara khusus mengukur redaman sinyal Wi-Fi 2,4 GHz berdasarkan variasi ketebalan total susunan daun sukulen dan non-sukulen. Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada pengukuran dan perbandingan koefisien redaman empiris (dB/cm) pada empat jenis daun yang mewakili kelompok sukulen dan non-sukulen melalui variasi ketebalan total susunan sampel dari 1 hingga 7 cm. Koefisien tersebut diperoleh dari kemiringan persamaan regresi linear antara ketebalan total susunan sampel dan redaman sinyal, sehingga menghasilkan parameter kuantitatif yang menggambarkan perubahan redaman untuk setiap penambahan ketebalan 1 cm pada konfigurasi pengujian. Penelitian ini bertujuan untuk (1) mengukur nilai redaman sinyal Wi-Fi 2,4 GHz pada daun sukulen dan non-sukulen berdasarkan variasi ketebalan total susunan sampel; (2) membandingkan nilai redaman sinyal pada keempat jenis daun.

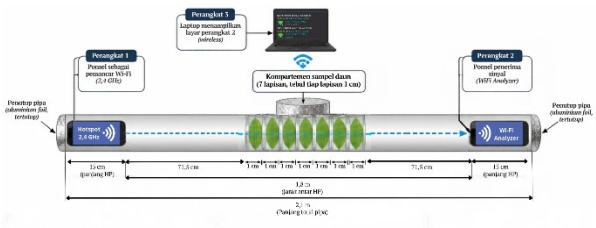
METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental dengan desain komparatif untuk menganalisis pengaruh ketebalan daun terhadap redaman sinyal *Wi-Fi* 2,4 GHz pada kelompok daun sukulen dan non-sukulen. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jenis daun dan ketebalan sampel daun, dengan variasi ketebalan mulai dari 1 cm hingga 7 cm dengan interval 1 cm. Variabel terikat berupa nilai redaman sinyal *Wi-Fi* yang dinyatakan dalam satuan desibel (dB), yang diperoleh dari selisih daya sinyal sebelum dan sesudah melewati sampel daun. Variabel kontrol meliputi frekuensi sinyal Wi-Fi sebesar 2,4 GHz, jarak antara pemancar dan penerima sebesar 1,8 m, jenis perangkat yang digunakan, serta posisi pemancar, penerima, dan sampel daun selama pengukuran. Seluruh pengukuran dilakukan di ruangan yang sama dengan posisi perangkat yang tetap. Pipa juga dilengkapi dengan lapisan aluminium foil sebagai pelindung untuk meminimalkan masuknya sinyal Wi-Fi dari jaringan lain di sekitar lokasi pengukuran.

Sampel daun terdiri atas daun lidah buaya (*Aloe vera*) dan siklok (*Agave attenuata*) sebagai kelompok sukulen, serta daun ketapang (*Terminalia catappa*) dan sengon (*Albizia chinensis*) sebagai kelompok non-sukulen. Pemilihan jenis daun didasarkan pada perbedaan karakteristik fisik

dan struktur jaringan yang berkaitan dengan kandungan air serta sifat dielektriknya. Sebelum pengujian, setiap jenis daun dipotong menjadi bagian-bagian kecil, kemudian ditimbang untuk setiap variasi ketebalan, yaitu 1–7 cm dengan interval 1 cm. Potongan daun selanjutnya disusun secara bertumpuk hingga memenuhi kompartemen sesuai dengan ketebalan yang ditentukan.

Perangkat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas dua unit telepon seluler Android yang ditempatkan di dalam pipa, satu unit laptop, pipa PVC berdiameter dalam 8,9 cm dan panjang 2,1 m, aluminium foil, timbangan digital, tujuh kompartemen silinder berketebalan masing-masing 1 cm, serta aplikasi *Wi-Fi Analyzer*. Pipa PVC digunakan sebagai wadah utama pengukuran, sedangkan seluruh permukaan luarnya dilapisi aluminium foil secara rapat untuk membentuk ruang pengukuran semi-tertutup yang meminimalkan interferensi sinyal dari lingkungan sekitar. Penggunaan aluminium foil sebagai material pelindung elektromagnetik mengacu pada teori *electromagnetic shielding* yang dikemukakan oleh Schelkunoff dan dijelaskan lebih lanjut oleh Keller (2023). Teori ini menjelaskan bahwa kemampuan suatu material dalam mereduksi transmisi gelombang elektromagnetik dipengaruhi oleh mekanisme refleksi dan absorpsi. Kedua mekanisme tersebut merupakan bagian penting dalam menentukan efektivitas perisai elektromagnetik (*shielding effectiveness*) (Hwang et al., 2022; Keller, 2023). Salah satu telepon seluler difungsikan sebagai pemancar sinyal melalui fitur hotspot *Wi-Fi* 2,4 GHz, sedangkan telepon seluler lainnya difungsikan sebagai penerima sinyal. Kedua perangkat ditempatkan pada bagian dalam pipa, masing-masing di dekat ujung pipa yang berlawanan, sementara sampel daun ditempatkan di bagian tengah pipa. Laptop digunakan untuk memantau dan mencatat nilai kekuatan sinyal yang terdeteksi secara *real-time* melalui aplikasi *Wi-Fi Analyzer*. Skema alat penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema alat penelitian pengukuran redaman sinyal *Wi-Fi* 2,4 GHz.

Sebelum pengambilan data, dilakukan pengujian awal tanpa penghalang untuk memastikan kestabilan sinyal dasar sebagai nilai acuan. Prosedur pengambilan data diawali dengan penimbangan massa masing-masing sampel daun menggunakan timbangan digital. Sampel kemudian dimasukkan ke dalam kompartemen silinder yang berdiameter sama dengan diameter dalam pipa PVC. Variasi ketebalan dibuat secara kumulatif dengan menambahkan satu kompartemen setebal 1 cm pada setiap tahap pengukuran hingga mencapai ketebalan maksimum 7 cm.

Pada setiap variasi ketebalan, pengukuran kuat sinyal dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan, baik sebelum maupun sesudah melewati penghalang daun. Nilai kuat sinyal diukur sebelum melewati penghalang daun, yang dinyatakan sebagai PR_1 (dBm), dan setelah melewati penghalang daun, yang dinyatakan sebagai PR_2 (dBm). Ketiga nilai pengulangan pada setiap kondisi dirata-ratakan sebelum digunakan dalam perhitungan selanjutnya.

Nilai redaman sisip (*insertion loss*, IL) diperoleh dari selisih antara rata-rata kuat sinyal sebelum penghalang (PR_1) dan rata-rata kuat sinyal setelah melewati penghalang daun (PR_2) pada setiap variasi ketebalan, sebagaimana dinyatakan dalam Persamaan (1).

$$IL = PR_1 - PR_2 \quad (1)$$

dengan IL adalah nilai redaman sisip (dB), PR_1 adalah rata-rata kuat sinyal sebelum melewati penghalang (dBm), dan PR_2 adalah rata-rata kuat sinyal setelah melewati penghalang daun (dBm). Persamaan ini mengacu pada definisi insertion *loss,* yaitu pengurangan daya yang dinyatakan berdasarkan perbandingan daya sebelum dan sesudah penghalang diberikan (Budzeń et al., 2025; Keller, 2023) yang dinyatakan dalam bentuk selisih nilai kuat sinyal karena pengukuran menggunakan satuan dBm.

Nilai redaman yang diperoleh kemudian disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara ketebalan total susunan sampel dan nilai redaman sinyal Wi-Fi 2,4 GHz untuk masing-masing jenis daun. Selanjutnya, dilakukan analisis regresi linear menggunakan perangkat lunak SPSS secara terpisah untuk setiap jenis daun guna mengetahui hubungan antara ketebalan sampel dan nilai redaman. Hasil analisis regresi digunakan untuk memperoleh koefisien regresi, konstanta, galat standar koefisien regresi (*SE*), dan koefisien determinasi (R^2). Model regresi yang diperoleh dinyatakan dalam Persamaan (2).

$$\hat{G} = ad + b \quad (2)$$

dengan $\hat{G}$ adalah nilai redaman hasil estimasi regresi, *d* adalah ketebalan total susunan sampel (cm), *a* adalah koefisien regresi atau kemiringan garis (dB/cm), dan *b* adalah konstanta regresi (dB).

HASIL DAN PEMBAHASAN

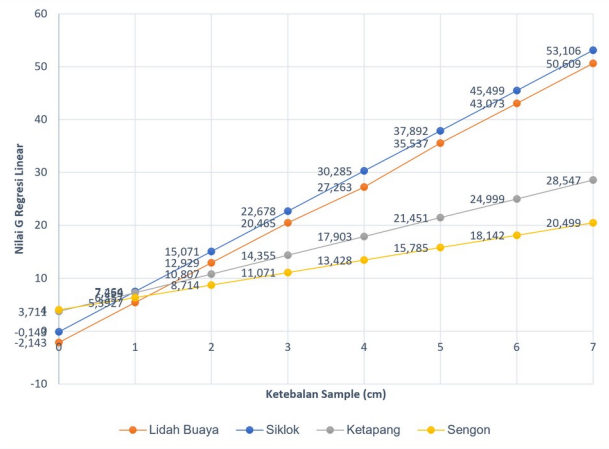
Hasil

Pengukuran dilakukan pada empat jenis daun, yaitu lidah buaya, siklok, ketapang, dan sengon, dengan variasi ketebalan 1–7 cm. Hasil pengukuran menunjukkan adanya perubahan kekuatan sinyal pada setiap penambahan ketebalan sampel. Data hasil pengukuran pada masing-masing jenis daun disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Redaman Sinyal Wi-Fi 2,4 GHz pada Berbagai Ketebalan Daun

Ketebalan Daun (cm)	Lidah Buaya (dB)	Siklok (dB)	Ketapang (dB)	Sengon (dB)
1	9	7	5	5
2	13	18	12	10
3	19	23	15,66	11
4	26	29	19,66	14
5	32	34	21	16
6	40	44	23	18
7	57	57	29	20

Data hasil pengukuran pada Tabel 1 selanjutnya dianalisis untuk mengetahui hubungan antara ketebalan daun dan redaman sinyal Wi-Fi 2,4 GHz. Hubungan kedua variabel tersebut disajikan dalam bentuk grafik regresi linear untuk masing-masing jenis daun, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan ketebalan total susunan sampel dan redaman sinyal Wi-Fi 2,4 GHz berdasarkan regresi linear

Untuk mengetahui besarnya laju perubahan redaman terhadap setiap penambahan ketebalan daun, dilakukan analisis terhadap koefisien regresi linear. Hasil analisis yang meliputi nilai koefisien regresi (α), standard error (SE α), dan koefisien determinasi (R^2) pada masing-masing jenis daun disajikan pada Tabel 2. Hasil pengukuran menunjukkan adanya perbedaan pola redaman pada setiap jenis daun. Perbedaan tersebut terlihat dari nilai kemiringan garis regresi yang menunjukkan besarnya perubahan redaman terhadap penambahan ketebalan daun.

Tabel 2. Hasil Analisis Regresi Linear Redaman Sinyal Wi-Fi 2,4 GHz pada Setiap Jenis Daun

Jenis Daun	α(dB/cm	SE α	R^2
Lidah Buaya	7,536	0,765	0,951
Siklok	7,607	0,555	0,974
Ketapang	3,548	0,335	0,957
Sengon	2,357	0,172	0,974

Pembahasan

Berdasarkan hasil pengukuran yang ditunjukkan pada Gambar 2, terlihat bahwa penambahan ketebalan total susunan sampel diikuti oleh penurunan kekuatan sinyal Wi-Fi 2,4 GHz yang diterima. Kecenderungan ini terjadi pada seluruh jenis daun, meskipun besarnya penurunan berbeda-beda. Perbedaan kemiringan garis regresi menunjukkan adanya perbedaan laju perubahan redaman pada setiap jenis daun. Secara umum, daun sukulen menunjukkan laju redaman yang lebih besar dibandingkan daun non-sukulen. Perbedaan pola tersebut diduga berkaitan dengan karakteristik fisik dan struktur jaringan masing-masing daun yang

dapat memengaruhi perambatan gelombang elektromagnetik.

Redaman sinyal Wi-Fi 2,4 GHz pada seluruh sampel daun

Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 1, redaman sinyal Wi-Fi 2,4 GHz menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya ketebalan total susunan sampel. Pola ini terlihat pada seluruh jenis daun, baik kelompok sukulen maupun non-sukulen. Semakin tebal susunan daun yang digunakan sebagai penghalang, semakin besar redaman sinyal yang terukur. Meskipun demikian, setiap jenis daun menunjukkan pola peningkatan redaman yang berbeda. Daun lidah buaya dan siklok cenderung menghasilkan redaman yang lebih besar dibandingkan daun ketapang dan sengon pada ketebalan susunan yang sama. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa selain ketebalan, karakteristik masing-masing jenis daun juga diduga berkaitan dengan besarnya redaman sinyal yang dihasilkan. Untuk mengetahui kecenderungan hubungan antara ketebalan total susunan sampel dan redaman sinyal secara lebih lanjut, dilakukan analisis regresi linear. Hasil analisis tersebut disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 2, sedangkan nilai koefisien regresi, galat baku, dan koefisien determinasi disajikan pada Tabel 2.

Perbandingan Redaman Sinyal Wi-Fi 2,4 GHz antara Daun Sukulen dan Non-Sukulen

Gambar 2 menunjukkan adanya perbedaan pola redaman sinyal antara daun sukulen dan non-sukulen. Kelompok daun sukulen yang terdiri atas lidah buaya dan siklok menunjukkan peningkatan redaman yang lebih besar seiring bertambahnya ketebalan susunan sampel dibandingkan kelompok daun non-sukulen, yaitu ketapang dan sengon. Perbedaan pola tersebut juga terlihat dari kemiringan garis regresi masing-masing jenis daun, yang menunjukkan perbedaan laju peningkatan redaman terhadap ketebalan susunan sampel.

Berdasarkan hasil analisis regresi linear pada Tabel 2, koefisien regresi siklok sebesar 7,607 dB/cm dan lidah buaya sebesar 7,536 dB/cm. Sementara itu, ketapang dan sengon masing-masing memiliki koefisien regresi sebesar 3,548 dB/cm dan 2,357 dB/cm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kelompok daun sukulen memiliki laju peningkatan redaman yang lebih besar dibandingkan kelompok daun non-sukulen dalam konfigurasi pengujian yang digunakan. Nilai koefisien regresi siklok dan lidah buaya yang relatif berdekatan menunjukkan bahwa keduanya memiliki kecenderungan laju peningkatan redaman yang hampir sama. Sementara itu, sengon memiliki koefisien regresi paling rendah, diikuti oleh ketapang.

Perbedaan pola redaman tersebut diduga berkaitan dengan karakteristik fisik dan struktur jaringan masing-masing daun. Daun sukulen, seperti siklok dan lidah buaya, memiliki jaringan penyimpan air, sedangkan daun ketapang dan sengon memiliki karakteristik jaringan yang berbeda. Kandungan air dan struktur jaringan daun berpotensi memengaruhi interaksi gelombang elektromagnetik dengan medium daun, termasuk melalui mekanisme penyerapan energi. Dengan demikian, perbedaan koefisien regresi antara kelompok sukulen dan non-sukulen mengindikasikan adanya keterkaitan antara karakteristik daun dan redaman sinyal *Wi-Fi* 2,4 GHz. Namun, pengaruh kandungan air terhadap besarnya redaman belum dapat dipastikan karena kadar air dan sifat dielektrik daun tidak diukur secara langsung dalam penelitian ini.

Dugaan Mekanisme Interaksi Gelombang Elektromagnetik dengan Jaringan Daun

Perbedaan redaman yang diperoleh pada masing-masing jenis daun diduga berkaitan dengan karakteristik dielektrik daun yang dapat memengaruhi perambatan gelombang elektromagnetik pada frekuensi 2,4 GHz. Sifat dielektrik menggambarkan respons suatu material terhadap medan listrik, termasuk kemampuan material mengalami polarisasi dan kehilangan energi elektromagnetik. Pada material biologis seperti daun, karakteristik dielektrik dipengaruhi oleh kandungan air, struktur jaringan, serta komposisi penyusun jaringan tumbuhan (Chauhan et al., 2024).

Salah satu faktor yang berpotensi memengaruhi interaksi gelombang elektromagnetik dengan jaringan daun adalah kandungan air. Air merupakan material polar yang memiliki permitivitas dielektrik relatif tinggi. Ketika gelombang elektromagnetik melewati jaringan daun, perubahan medan listrik dapat menyebabkan polarisasi molekul air. Respons polarisasi tersebut tidak sepenuhnya mengikuti perubahan medan listrik secara langsung sehingga sebagian energi elektromagnetik mengalami kehilangan dan berubah menjadi energi panas. Fenomena ini berkaitan dengan rugi

dielektrik (*dielectric loss*) yang berkontribusi terhadap penyerapan energi gelombang elektromagnetik (Chauhan et al., 2024). Namun, karena kandungan air dan permitivitas dielektrik sampel tidak diukur secara langsung, kontribusi mekanisme tersebut terhadap redaman yang diperoleh dalam penelitian ini belum dapat dipastikan.

Daun siklok dan lidah buaya yang termasuk kelompok sukulen menunjukkan koefisien regresi lebih besar dibandingkan daun ketapang dan sengon. Kecenderungan tersebut diduga berkaitan dengan karakteristik jaringan sukulen yang memiliki jaringan parenkim penyimpan air. Keberadaan jaringan tersebut berpotensi memengaruhi respons dielektrik daun terhadap gelombang elektromagnetik. Penelitian Chauhan et al. (2024) menunjukkan bahwa kandungan air berkaitan dengan perubahan konstanta dielektrik dan faktor kehilangan dielektrik pada berbagai jenis daun. Penelitian Dogan et al. (2020) juga menunjukkan adanya hubungan antara kadar air dan karakteristik dielektrik daun ceri pada rentang frekuensi 3,30–7,05 GHz. Meskipun demikian, hasil penelitian tersebut tidak dapat langsung digunakan untuk memastikan bahwa kandungan air menjadi penyebab perbedaan redaman pada sampel daun dalam penelitian ini.

Selain karakteristik jaringan daun, ketebalan total susunan sampel juga berkaitan dengan besarnya redaman yang terukur. Semakin tebal susunan sampel, semakin panjang lintasan gelombang elektromagnetik ketika berinteraksi dengan jaringan daun. Kondisi tersebut berpotensi meningkatkan kehilangan energi akibat absorpsi dan interaksi gelombang dengan struktur internal sampel. Hal ini sejalan dengan penelitian Genç et al. (2020) yang membahas hubungan kadar air dan karakteristik dielektrik daun terhadap interaksi gelombang mikro dengan vegetasi.

Struktur anatomi daun juga berpotensi memengaruhi interaksi gelombang elektromagnetik. Daun tersusun atas beberapa jaringan, seperti epidermis, mesofil, jaringan pengangkut, dan ruang antarsel. Perbedaan karakteristik antarjaringan tersebut menyebabkan medium daun bersifat tidak homogen. Ketika gelombang elektromagnetik melewati jaringan yang tidak homogen, sebagian energi dapat mengalami hamburan (*scattering*) akibat interaksi dengan batas antarsel, ruang udara, dan jaringan penyusun daun. Hamburan menyebabkan perubahan arah perambatan gelombang sehingga energi yang mencapai antena penerima dapat berkurang (Atanasov et al., 2025).

Selain absorpsi dan hamburan, refleksi juga dapat memengaruhi perambatan gelombang elektromagnetik pada susunan daun. Refleksi terjadi ketika gelombang melewati batas dua medium dengan karakteristik impedansi berbeda, sehingga sebagian energi dipantulkan dan sebagian lainnya diteruskan. Fenomena refleksi, difraksi, dan hamburan merupakan beberapa mekanisme yang dapat terjadi dalam propagasi gelombang radio pada lingkungan vegetasi (Barrios-Ulloa et al., 2022). Dalam material dielektrik, permitivitas kompleks terdiri atas komponen real (ε') dan komponen imajiner (ε''). Komponen real berkaitan dengan respons polarisasi material, sedangkan komponen imajiner menggambarkan rugi dielektrik atau kehilangan energi elektromagnetik dalam material (Mavrovic et al., 2018). Penelitian Atanasov et al. (2025) juga menunjukkan bahwa karakteristik elektromagnetik daun dapat dikaji melalui pengukuran parameter dielektrik pada frekuensi gelombang mikro.

Pada penelitian ini, sampel disusun secara berlapis menggunakan tujuh kompartemen dengan ketebalan masing-masing 1 cm. Susunan tersebut memungkinkan terjadinya interaksi gelombang pada batas antara daun dan udara maupun antarlapisan sampel. Pada struktur dielektrik berlapis, karakteristik refleksi dan transmisi dipengaruhi oleh sifat dielektrik serta ketebalan lapisan penyusunnya (Al-Alem et al., 2026). Oleh karena itu, penurunan kekuatan sinyal yang terukur dalam penelitian ini dapat dipandang sebagai redaman total akibat interaksi gelombang dengan susunan sampel. Kontribusi absorpsi, refleksi, dan hamburan belum dapat dipisahkan secara kuantitatif karena permitivitas kompleks dan koefisien refleksi sampel tidak diukur secara langsung.

Hasil pengukuran juga menunjukkan bahwa daun ketapang memiliki koefisien regresi lebih besar dibandingkan daun sengon, tetapi keduanya lebih rendah dibandingkan kelompok daun sukulen. Perbedaan tersebut mengindikasikan bahwa karakteristik fisik masing-masing jenis daun, selain ketebalan susunan sampel, berpotensi berkaitan dengan besarnya redaman. Namun, perbedaan tersebut belum dapat dijelaskan secara pasti

berdasarkan kandungan air maupun struktur anatomi karena kedua karakteristik tersebut tidak dianalisis secara langsung dalam penelitian ini.

Secara keseluruhan, redaman sinyal Wi-Fi 2,4 GHz pada konfigurasi pengujian diduga berkaitan dengan interaksi gelombang elektromagnetik dengan susunan jaringan daun melalui beberapa mekanisme, yaitu absorpsi, refleksi, dan hamburan. Karakteristik fisik dan dielektrik daun berpotensi memengaruhi interaksi tersebut. Akan tetapi, kontribusi masing-masing mekanisme belum dapat ditentukan secara kuantitatif karena kandungan air, struktur anatomi, dan permitivitas dielektrik sampel tidak diukur secara langsung.

Perbandingan dengan penelitian terdahulu

Hasil penelitian ini selanjutnya dikomparasikan dengan studi terdahulu mengenai sifat dielektrik vegetasi dan interaksinya terhadap gelombang elektromagnetik. Perbandingan ini bertujuan untuk memvalidasi temuan serta memposisikan kontribusi penelitian ini dalam pengembangan literatur propagasi gelombang pada media biologis yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Peneliti	Metode Eksperimen	Alat dan Bahan	Hasil Penelitian
Chauhan, P. D., Gadani, D. H., & Rana, V. A. (2024)	Eksperimen pengukuran sifat dielektrik daun pada berbagai kadar air dan frekuensi gelombang mikro	*Vector Network Analyzer* (VNA), *probe dielektrik*, daun jagung, jowar, ashoka, dan pisang	Nilai permitivitas dielektrik (ε′) dan rugi dielektrik (ε″) meningkat seiring dengan kenaikan kadar air. Daun berair tinggi menyerap energi elektromagnetik lebih besar.
Dogan, H., Basyigit, I. B., & Genc, A. (2020)	Pengukuran sifat dielektrik daun ceri pada frekuensi 3,30–7,05 GHz	*Waveguide transmission line*, perangkat pengukuran gelombang mikro, daun ceri	Kandungan air berpengaruh signifikan terhadap permitivitas dan kehilangan dielektrik. Semakin tinggi kadar air, semakin kuat interaksi daun dengan gelombang mikro.
Genc, A., Dogan, H., & Basyigit, I. B. (2020)	Pemodelan semiempiris karakteristik dielektrik daun jeruk pada frekuensi C-band	Sistem pengukuran gelombang mikro dan sampel daun jeruk	Karakteristik dielektrik vegetasi dipengaruhi oleh kandungan air dan menentukan besarnya hamburan serta penyerapan gelombang elektromagnetik.
Mavrovic, A., et al. (2018)	Karakterisasi dielektrik vegetasi menggunakan metode *open-ended coaxial probe*	*Open-ended coaxial probe*, sampel vegetasi pohon	Permitivitas vegetasi meningkat seiring meningkatnya kandungan air, sehingga vegetasi lebih efektif menyerap dan meredam gelombang elektromagnetik.
Peden et al. (2021)	Pengukuran empiris redaman gelombang radio pada daun *eucalyptus* menggunakan frekuensi 2,4331 GHz dengan variasi ketebalan vegetasi dan kadar air daun.	Dua antena directional flat-panel, transceiver EnviroNode Beacon dan EnviroNode Hub, daun *Eucalyptus laevopinea*, rangka kayu berlapis akrilik, serta vacuum oven.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa redaman gelombang radio meningkat seiring meningkatnya kandungan air pada daun. Pengeringan daun menyebabkan penurunan redaman sinyal. Penelitian juga menemukan hubungan positif nonlinier antara kandungan air vegetasi dan redaman gelombang radio pada frekuensi 2,4 GHz.
Popov (2018)	Eksperimen lapangan dengan mengukur propagasi gelombang radio menggunakan teknologi ZigBee pada frekuensi 2,4 GHz melalui vegetasi hutan dengan variasi jarak antara pemancar dan penerima.	Dua modul komunikasi nirkabel XBee dan XBee-Pro (Digi/MaxStream), laptop, antena vertikal, serta vegetasi hutan campuran di Gorky Park, Kharkov, Ukraina	Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien redaman linear rata-rata pada vegetasi hutan ringan pada frekuensi 2,4 GHz mencapai 0,5215 dB/m. Pengaruh vegetasi terhadap kehilangan paket data juga meningkat pada jarak lebih dari sekitar 50 meter
Penelitian ini (2026)	Eksperimen pengukuran redaman sinyal *Wi-Fi* 2,4 GHz pada daun sukulen dan non-sukulen dengan variasi ketebalan daun	Sumber *Wi-Fi* 2,4 GHz, *smartphone* aplikasi *Wi-Fi Analyzer*, daun lidah buaya, siklok, ketapang, dan sengon	Seluruh daun menyebabkan pelemahan sinyal *Wi-Fi*. Daun sukulen menghasilkan redaman lebih besar dibandingkan daun non-sukulen. Daun sengon menunjukkan redaman terkecil. Peran kandungan air masih berupa dugaan karena tidak diukur secara langsung.

Temuan penelitian ini menunjukkan konsistensi dengan studi terdahulu (Chauhan et al., 2024; Dogan et al., 2020; Mavrovic et al., 2018) yang membuktikan bahwa kadar air vegetasi secara signifikan memengaruhi sifat dielektrik dan kapasitas penyerapan energi gelombang elektromagnetik pada daun. Perbedaan utama penelitian ini terletak pada pendekatan metodologis yang digunakan. Ketika penelitian terdahulu berfokus pada karakterisasi parameter dielektrik secara presisi di laboratorium menggunakan instrumen tingkat tinggi seperti *Vector Network Analyzer* (VNA) atau

waveguide, penelitian ini menawarkan perspektif aplikatif dengan mengukur atenuasi sinyal Wi-Fi 2,4 GHz pada lingkungan riil.

Namun demikian, perlu diakui bahwa pengukuran nilai *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) berbasis aplikasi ponsel pintar memiliki tingkat presisi dan akurasi yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan pengukuran parameter dielektrik menggunakan VNA di laboratorium. Meskipun demikian, pendekatan ini tetap memberikan gambaran empiris yang relevan mengenai redaman sinyal Wi-Fi pada kondisi penggunaan praktis sehari-hari.

SIMPULAN

Nilai redaman sinyal Wi-Fi 2,4 GHz menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya ketebalan daun. Kelompok daun sukulen (siklok dan lidah buaya) menunjukkan redaman yang cenderung lebih besar dibandingkan kelompok non-sukulen (ketapang dan sengon), dengan nilai redaman pada daun sukulen mencapai sekitar 8 dB/cm. Kecenderungan tersebut diduga berkaitan dengan karakteristik jaringan daun, termasuk kemungkinan kandungan air yang lebih tinggi pada kelompok sukulen. Namun, hubungan tersebut belum dapat dipastikan karena kadar air dan permitivitas dielektrik daun tidak diukur secara langsung. Selain itu, hasil penelitian ini memiliki keterbatasan karena pengukuran kekuatan sinyal menggunakan RSSI melalui telepon seluler, geometri pengukuran menggunakan konfigurasi pipa, serta jumlah pengulangan pengukuran yang terbatas, yaitu sebanyak tiga kali (n = 3).

Penelitian lanjutan disarankan untuk mengatasi keterbatasan studi ini melalui pengukuran kadar air dan permitivitas dielektrik (ε′ dan ε″) secara presisi menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA) atau *open-ended coaxial probe*, serta mengganti pembacaan RSSI ponsel dengan instrumen bermutu riset seperti *Spectrum Analyzer* atau *Software Defined Radio* (SDR). Pengambilan data juga disarankan dilakukan dengan jumlah pengulangan yang lebih banyak pada setiap sampel, tidak terbatas pada tiga kali pengukuran, serta menggunakan interval pencatatan yang lebih rapat, misalnya setiap satu menit, untuk memperoleh data yang lebih representatif dan menggambarkan fluktuasi sinyal selama pengukuran. Selain itu, pengujian perlu dikembangkan pada variasi kondisi fisiologis (daun segar vs. layu), perbandingan frekuensi lain seperti 5 GHz, serta penggunaan medium air murni dengan variasi ketebalan sebagai kontrol eksperimental dasar (*baseline control*). Namun, penelitian ini juga dapat menjadi acuan dalam optimasi penempatan pemancar Wi-Fi di lingkungan yang memiliki rintangan vegetasi padat atau objek berkadar air tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Mulawarman atas dukungan dan fasilitas yang telah diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

PERNYATAAN

Kontribusi Penulis: Anggi Nurvitasari, Carissa Eka Candrasmurti, dan Jayanti Nafi' Kusuma: Konseptualisasi, Metodologi, Investigasi, Kurasi Data, Analisis Formal, dan Penulisan Draf Awal; Lambang Subagiyo dan Atin Nuryadin: Supervisi, Validasi, dan Penulisan dan Penyuntingan. Seluruh penulis telah membaca dan menyetujui naskah akhir.

Pendanaan: Penelitian ini tidak menerima pendanaan eksternal.

Konflik Kepentingan: Para penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan.

Pernyataan Penggunaan Kecerdasan Artifisial (AI): Dalam penyusunan naskah ini, penulis menggunakan ChatGPT untuk membantu memperbaiki struktur kalimat, tata bahasa, dan keterbacaan naskah. Seluruh penulis telah menelaah dan menyunting isi naskah serta bertanggung jawab penuh atas isi publikasi.

Persetujuan Etik: Tidak relevan.

Ketersediaan Data: Data yang mendukung temuan penelitian ini tersedia dari penulis korespondensi atas permintaan yang wajar.

REFERENSI

Al-Alem, Y., Alharbi, F. H., & Antar, Y. M. M. (2026). A dynamical system approach for multilayer dielectric slabs reflection and transmission coefficients calculation. *Scientific Reports*. https://doi.org/10.1038/s41598-026-64474-z

Añibarro-Ortega, M., Pinela, J., Barros, L., Ćirić, A., Silva, S.

P., Coelho, E., Mocan, A., Calhelha, R. C., Soković, M., Coimbra, M. A., & Ferreira, I. C. F. R. (2019). Compositional features and bioactive properties of *Aloe vera* leaf (fillet, mucilage, and rind) and flower. *Antioxidants*, *8*(10), 444. https://doi.org/10.3390/antiox8100444

Atanasov, N. T., Atanasov, B. N., & Atanasova, G. L. (2025). Electromagnetic properties of natural plant leaves for eco-friendly and biodegradable substrates for wireless IoT devices. *Sensors*, *25*(4), 1118. https://doi.org/10.3390/s25041118

Balachander, D., Rao, T. R., & Mahesh, G. (2013). RF propagation experiments in agricultural fields and gardens for wireless sensor communications. *Progress In Electromagnetics Research C*, *39*, 103–118. https://doi.org/10.2528/PIERC13030710

Barrios-Ulloa, A., Ariza-Colpas, P. P., Sánchez-Moreno, H., Quintero-Linero, A. P., & De la Hoz-Franco, E. (2022). Modeling radio wave propagation for wireless sensor networks in vegetated environments: A systematic literature review. *Sensors, 22(14)*, 5285. https://doi.org/10.3390/s22145285

Budzeń, M., Kafarski, M., Majcher, J., Szypłowska, A., Wilczek, A., Lewandowski, A., Leśniak, T., & Gałęzewski, L. (2025). Effect of moisture content variation on dielectric properties of seeds of multipurpose species in 20 MHz-3 GHz frequency range. *Scientific Reports*, *16*(1), 2290. https://doi.org/10.1038/s41598-025-32111-w

Chauhan, P. D., Gadani, D. H., & Rana, V. A. (2023). Dielectric properties of tobacco and tomato plant leaves over a broad frequency range. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, *57*(4), 278–289. https://doi.org/10.1080/08327823.2023.2269492

Chauhan, P. D., Gadani, D. H., & Rana, V. A. (2024). Effect of moisture content variation on dielectric properties of various plant leaves at microwave frequencies. *Scientific Reports*, *14*(1), 13204. https://doi.org/10.1038/s41598-024-64266-3

Dogan, H., Basyigit, I. B., & Genc, A. (2020). Determination and modelling of dielectric properties of the cherry leaves of varying moisture content over 3.30–7.05 GHz frequency range. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, *54*(3), 254–270. https://doi.org/10.1080/08327823.2020.1794724

Genç, A., Dogan, H., & Basyigit, I. B. (2020). A new semiempirical model determining the dielectric characteristics of citrus leaves for the remote sensing at C band. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 28(3)*, 1644–1655. https://doi.org/10.3906/elk-1909-92

Grace, O. M. (2019). Succulent plant diversity as natural capital. *PLANTS, PEOPLE, PLANET*, *1*(4), 336–345. https://doi.org/10.1002/ppp3.25

Hwang, U., Kim, J., Seol, M., Lee, B., Park, I.-K., Suhr, J., & Nam, J.-D. (2022). Quantitative interpretation of electromagnetic interference shielding efficiency: Is it really a wave absorber or a reflector?. https://doi.org/10.1021/acsomega.1c05657

International Telecommunication Union. (2021). *Attenuation in vegetation* (Recommendation ITU-R P.833-10). https://www.itu.int/rec/R-REC-P.833-10-202109-I/en

Keller, R. B. (2023). *Design for electromagnetic compatibility —In a nutshell: Theory and practice*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14186-7

La Gioia, A., Porter, E., Merunka, I., Shahzad, A., Salahuddin, S., Jones, M., & O'Halloran, M. (2018). Open-ended coaxial probe technique for dielectric measurement of biological tissues: Challenges and common practices. *Diagnostics*, *8*(2), 40. https://doi.org/10.3390/diagnostics8020040

Leite, D. M., Silva, A. P. de F., Mattos, M. A. de, Sousa, A. P. M., Santana, R. A. C. de, & Campos, A. R. N. (2015). Caracterização física e química de *Terminalia catappa* Linn, utilizadas na arborização de áreas urbanas de Cuité-PB. *Anais do 5º Encontro Regional de Química & 4º Encontro Nacional de Química*, 647–654. https://doi.org/10.5151/chenpro-5erq-am5

Lestari, M., Sulhadi, & Sutikno. (2023). The effect of ornamental plants on reducing the intensity of electromagnetic wave radiation. *Physics Communication, 7(1)*, 35–42. https://doi.org/10.15294/physcomm.v7i1.41534

Males, J. (2017). Secrets of succulence. *Journal of Experimental Botany*, *68*(9), 2121–2134. https://doi.org/10.1093/jxb/erx096

Margherita, F., Marta, P., Pavel, M., Esha, N., Jaume, A., Enrica, R., & Armando, C. (2026). The origin of dielectric permittivity in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, *27*(13), 5735. https://doi.org/10.3390/ijms27135735

Mavrovic, A., Roy, A., Royer, A., Filali, B., Boone, F., Pappas, C., & Sonnentag, O. (2018). Dielectric characterization of vegetation at L band using an *open-ended coaxial probe*. *Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems*, *7*(3), 195–208. https://doi.org/10.5194/gi-7-195-2018

Meng, Y. S., & Lee, Y. H. (2010). Investigations of foliage effect on modern wireless communication systems: A review. *Progress In Electromagnetics Research, 105*, 313 –332. https://doi.org/10.2528/PIER10042605

Peden, S., Bradbury, R. C., Lamb, D. W., & Hedley, M. (2021). A model for RF loss through vegetation with varying water content. *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*, *13*(03), 41–56. https://doi.org/10.4236/jemaa.2021.133003

Popov, V. (2018). The effect of forest vegetation on the distance of the radio communication of wireless modules ZigBee. *Technologijos ir menas: Research and Topicalities*, (9), 40–43.

Raya, F. T., de Carvalho, L. M., José, J., da Cruz, L. P., Almeida, R. L., Delevatti, H. A. de A., Silveira, N. M., da Silva, S. F., Pissolato, M. D., de Oliveira, A. B., dos Reis, W. J. V., de Abreu, L. G. F., Gutiérrez, J., Carazzolle, M. F., Soares, A. C. F., Nieto Sotelo, J., Ribeiro, R. V., & Pereira, G. A. G. (2023). Rescuing the Brazilian Agave breeding program: Morphophysiological and molecular characterization of a new germplasm. *Frontiers in Chemical Engineering, 5*, Article 1218668. https://doi.org/10.3389/fceng.2023.1218668

Vandana, Chaukiyal, S. P., & Uniyal, P. (2016). Assessment of nitrate reductase activity in leaf of *Albizia chinensis* (Osb.) Merr. *Octa Journal of Environmental Research, 4(2)*, 92–99. https://sciencebeingjournal.com/sites/default/files/Oct.%20Jour.%20Env.%20Res.%20Vol.%204%282%29%20092-099.pdf