

Evaluasi Eksperimental Sekam Padi sebagai Material Terminator Gelombang Mikro Ramah Lingkungan

Munawar¹, Muhammad^{2*}, Eliyani³, Syahrul Azmi⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe
Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

¹munawar@pnl.ac.id

^{2*}muhammad@pnl.ac.id (penulis korespondensi)

³Eliyani@pnl.ac.id

⁴Syahrul Azmi@pnl.ac.id

Abstrak— Dengan kandungan utama berupa silika (SiO₂), selulosa, dan lignin, sekam padi yang selama ini dianggap limbah pertanian dapat dikembangkan sebagai material terminator gelombang mikro untuk aplikasi peredaman energi gelombang. Sebagai material penyerap gelombang, terminator berperan penting dalam sistem elektromagnetik. Sekam padi dengan komposisi kimia khususnya dapat dimanfaatkan sebagai material terminator gelombang mikro yang berbiaya rendah dan ramah lingkungan. Pengembangan material penyerap gelombang mikro menjadi penting untuk mengurangi interferensi yang menurunkan kualitas sistem. Sekam padi dipilih sebagai kandidat terminator karena komposisinya memungkinkan absorpsi gelombang mikro sekaligus mendukung keberlanjutan. Penelitian ini diharapkan memberi kontribusi bagi teknologi ramah lingkungan dan pemanfaatan limbah pertanian bernilai tambah. Penelitian ini menggunakan desain eksperimental untuk mengevaluasi efektivitas sekam padi sebagai material terminator gelombang mikro. Variabel independen berupa jenis sekam diuji terhadap parameter dependen yaitu return loss dan VSWR untuk dapat memberikan nilai koefisien refleksi, daya refleksi, impedansi terminator dan efisiensi terminator sepanjang frekuensi yang diuji. Pengukuran dilakukan dengan *Vector Network Analyzer* (VNA) melalui parameter S11 untuk menentukan kinerja material. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sekam padi memiliki nilai *return loss* dan VSWR yang bervariasi pada rentang frekuensi 2,81 GHz hingga 4,4 GHz. Nilai *return loss* sebesar -9,54 dB pada frekuensi 2,81 GHz menunjukkan bahwa sekitar 89% energi gelombang diserap oleh material, dengan nilai VSWR sebesar 2 dan efisiensi terminator 89%. Peningkatan kinerja terjadi hingga frekuensi 4,4 GHz dengan nilai *return loss* -16,4 dB, VSWR 1,35, daya refleksi 2,2%, dan efisiensi terminator 97,8%. Hasil ini menunjukkan bahwa sekam padi memiliki kemampuan absorpsi gelombang yang baik pada rentang frekuensi tersebut dan berpotensi dikembangkan sebagai material terminator biomassa yang ramah lingkungan dan ekonomis.

Kata kunci— Sekam padi, Terminator, Return loss, VSWR, ramah lingkungan

Abstract—With its main components consisting of silica (SiO₂), cellulose, and lignin, rice husk—often regarded as agricultural waste—can be developed as a microwave terminator material for energy absorption applications. As an electromagnetic wave absorber, a terminator plays a vital role in microwave systems. With its unique chemical composition, rice husk can be utilized as a cost-effective and environmentally friendly microwave terminator material. The development of microwave absorbing materials is essential to mitigate interference that degrades system performance. Rice husk is proposed as a terminator candidate due to its composition, which enables microwave absorption while supporting sustainability. The findings are expected to contribute to environmentally friendly technologies and value-added utilization of agricultural waste. This study employs an experimental design to evaluate the effectiveness of rice husk as a microwave terminator material. The independent variable, namely the type of rice husk, is tested against dependent parameters including return loss and VSWR in order to determine the reflection coefficient, reflection power, terminator impedance, and terminator efficiency across the tested frequency range. Measurements are conducted using a Vector Network Analyzer (VNA) through the S11 parameter to assess the material performance. The test results indicate that rice husk exhibits varying values of return loss and VSWR across the frequency range of 2.81 GHz to 4.4 GHz. A return loss of -9.54 dB at 2.81 GHz demonstrates that approximately 89% of the incident microwave energy is absorbed by the material, with a VSWR of 2 and a terminator efficiency of 89%. The performance improves at higher frequencies, reaching a return loss of -16.4 dB, a VSWR of 1.35, a reflection power of 2.2%, and a terminator efficiency of 97.8% at 4.4 GHz. These results indicate that rice husk possesses strong microwave absorption capability within this frequency range and has promising potential for development as an eco-friendly and cost-effective biomass-based terminator material.

Keywords— Rice husk, Terminator, Return loss, VSWR, Eco-friendly.

I. PENDAHULUAN

Sekam padi merupakan lapisan terluar dari bulir padi yang memiliki fungsi utama sebagai pelindung alami terhadap biji beras selama proses pertumbuhan di tanaman padi. Lapisan ini tersusun atas struktur yang keras, berserat, dan relatif ringan, namun setelah proses penggilingan padi, sekam biasanya hanya dianggap sebagai hasil samping yang kurang bernilai sehingga sebagian besar berakhir sebagai limbah pertanian. Padahal, secara kimiawi sekam mengandung komponen penting seperti silika (SiO₂), selulosa, dan lignin dalam jumlah yang cukup signifikan, yang tidak hanya memberikan karakteristik mekanik dan termal tertentu, tetapi juga

berkontribusi pada sifat dielektrik yang relevan untuk aplikasi bidang elektromagnetik [1],[2]. Oleh karena itu, dengan kandungan material penyusunnya tersebut, sekam padi memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan lebih lanjut sebagai material terminator gelombang mikro, yang dapat berfungsi dalam pengendalian reflektansi serta peredaman energi gelombang pada frekuensi tertentu.

Terminator adalah material atau perangkat penyerap gelombang elektromagnetik yang dirancang untuk mereduksi energi gelombang yang datang melalui mekanisme absorpsi, sehingga meminimalkan pantulan maupun transmisi [3],[4]. Dalam bidang gelombang mikro dan antenna, terminator memiliki peran penting dalam menciptakan kondisi

peredaman yang ideal, seperti pada ruang anechoic, sistem radar, serta perangkat komunikasi, dengan tujuan meningkatkan akurasi pengukuran dan mengurangi interferensi elektromagnetik.

Klasifikasi Terminator [5].

1. Berdasarkan Mekanisme Absorpsi

- **Terminator Resistif** → Memanfaatkan sifat resistansi listrik untuk menyerap energi gelombang elektromagnetik. Umumnya digunakan pada beban pencocokan (*matching load*) dalam sistem transmisi.
- **Terminator Dielektrik/Magnetik** → Menggunakan material dengan konstanta dielektrik atau permeabilitas tertentu untuk mengurangi refleksi melalui mekanisme polarisasi dan rugi dielektrik.
- **Terminator Komposit** → Mengombinasikan material resistif, dielektrik, maupun magnetik untuk menghasilkan peredaman yang lebih luas pada berbagai frekuensi.

2. Berdasarkan Material Penyusun

- **Berbasis Material Sintetis** → Misalnya ferrite, karbon, atau polimer konduktif, yang umum digunakan pada ruang anechoic komersial.
- **Berbasis Material Alam/Biomassa** → Seperti sekam padi, serbuk kayu, atau serat alam, yang dikembangkan sebagai alternatif ramah lingkungan dan berbiaya rendah.
- **Berbasis Material Nano/Hybrid** → Pemanfaatan nanopartikel (contoh: graphene, Fe_3O_4 , CNT) untuk meningkatkan performa absorpsi gelombang mikro.

3. Berdasarkan Aplikasi

- **Terminator Beban (Load Terminator)** → Digunakan dalam sistem transmisi atau rangkaian antena untuk mencegah gelombang pantulan.
- **Terminator Ruang (Chamber Terminator)** → Digunakan pada ruang anechoic atau fasilitas uji elektromagnetik untuk meredam pantulan gelombang dari dinding ruangan.

Tantangan utama dalam penggunaan gelombang mikro adalah dampak negatif yang ditimbulkan oleh interferensi gelombang, yang dapat mengurangi kualitas sinyal dan efisiensi sistem [6]. Dalam konteks ini, pengembangan material yang dapat menyerap gelombang mikro dengan efektif menjadi sangat penting. Banyak material yang telah diuji, namun masih terdapat kebutuhan untuk menemukan solusi yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis.

Sekam padi dapat berfungsi sebagai material terminator dengan cara menyerap gelombang mikro melalui proses yang melibatkan interaksi antara gelombang dan struktur fisik sekam. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa bahan organik seperti sekam padi memiliki kemampuan untuk menyerap energi gelombang mikro [7], namun mekanisme pasti yang mendasari proses ini masih perlu dieksplorasi lebih lanjut. Dengan mengidentifikasi bagaimana sekam padi dapat berfungsi secara optimal.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang teknologi gelombang mikro. Dengan memahami lebih dalam tentang potensi sekam padi, penelitian ini dapat membuka jalan bagi pengembangan material baru yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Hal ini sejalan dengan tren global yang semakin mengedepankan keberlanjutan dan penggunaan sumber daya yang dapat diperbaharui.

Potensi aplikasi industri dari penelitian ini sangat luas. Jika sekam padi terbukti efektif sebagai material terminator gelombang mikro, maka dapat digunakan dalam berbagai sektor, mulai dari telekomunikasi hingga peralatan rumah tangga. Selain itu, penggunaan sekam padi juga dapat membantu mengurangi limbah pertanian, memberikan manfaat ekonomi bagi petani, dan mendukung praktik pertanian berkelanjutan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan solusi teknis, tetapi juga berdampak positif pada masyarakat dan lingkungan.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mendesain sekam padi sebagai material terminator yang efektif untuk gelombang mikro. Desain ini akan melakukan pengujian berbagai perlakuan untuk meningkatkan kemampuannya dalam menyerap gelombang mikro. Dengan melakukan ini, diharapkan dapat ditemukan metode yang optimal untuk memanfaatkan sekam padi dalam aplikasi teknologi.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Desain penelitian yang akan digunakan dalam studi ini adalah eksperimental. Penelitian eksperimental dipilih karena memungkinkan peneliti untuk mengontrol variabel-variabel yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran koefisien refleksi, daya refleksi, dan efisiensi terminator material biomassa sekam. Melalui pendekatan ini, peneliti dapat mengamati efek dari variasi tertentu pada material sekam terhadap parameter yang diukur. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan data yang akurat dan dapat diandalkan mengenai karakteristik material sekam sebagai bahan biomassa.

Kerangka kerja penelitian ini terdiri dari beberapa tahap yang saling terkait. Pertama, peneliti akan melakukan studi literatur untuk memahami karakteristik sekam padi dan pengaruh gelombang mikro terhadap material. Selanjutnya, peneliti akan merancang eksperimen yang mencakup pengujian sekam padi dalam berbagai kondisi sedikit banyaknya sekam yang efektif sebagai terminator pada frekuensi gelombang mikro. Dengan cara ini, peneliti dapat mengevaluasi bagaimana perubahan dalam kondisi tersebut mempengaruhi efektivitas sekam padi sebagai material terminator gelombang mikro. Data yang diperoleh akan dianalisis untuk menarik kesimpulan tentang efektivitas sekam padi.

Penggunaan desain eksperimental juga memungkinkan peneliti untuk melakukan replikasi percobaan, yang sangat penting untuk meningkatkan validitas dan reliabilitas hasil. Dengan melakukan beberapa pengulangan pengukuran, peneliti dapat meminimalkan kesalahan yang mungkin terjadi akibat variasi alat atau prosedur. Hal ini sejalan dengan

prinsip-prinsip penelitian ilmiah yang menekankan pentingnya replikasi untuk mendapatkan hasil yang dapat dipercaya. Dalam penelitian ini, variabel independen yang akan diuji adalah jenis sekam yang digunakan, sedangkan variabel dependen mencakup koefisien refleksi, daya refleksi, dan efisiensi terminator [8],[9]. Penelitian ini juga akan mempertimbangkan faktor-faktor eksternal seperti suhu dan kelembaban yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran. Dengan demikian, hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai potensi sekam sebagai material biomassa. Pengukuran return loss dengan network analyzer (VNA) melibatkan pengukuran S11, seperti pada Gambar 1, yaitu koefisien refleksi di port input suatu komponen. VNA mengukur daya sinyal yang dipancarkan dan dipantulkan pada frekuensi tertentu untuk menentukan seberapa baik sinyal dapat ditransmisikan melalui komponen tanpa refleksi.



a.

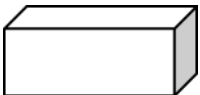


b.

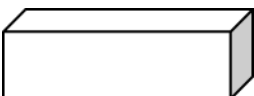
Gambar 1. a. Network Analyzer, b. Model Pengukuran



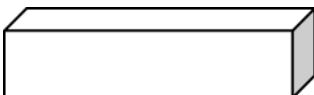
Panjang 5 cm, lebar 3 cm, tinggi 3 cm (45cm³)



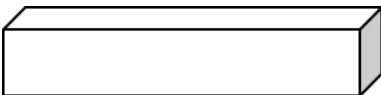
Panjang 10 cm, lebar 3 cm, tinggi 3 cm (90 cm³)



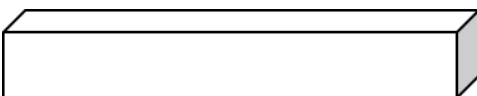
Panjang 15 cm, lebar 3 cm, tinggi 3 cm (135 cm³)



Panjang 20 cm, lebar 3 cm, tinggi 3 cm (180 cm³)



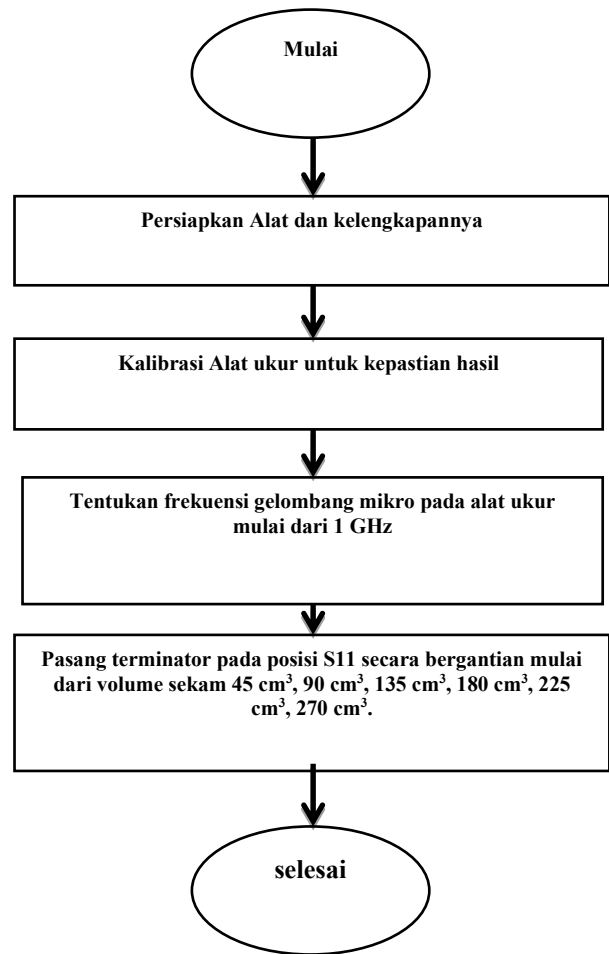
Panjang 25 cm, lebar 3 cm, tinggi 3 cm (225 cm³)



Panjang 30 cm, lebar 3 cm, tinggi 3 cm (270 cm³)

Gambar 2. Desain Terminator

Rancangan terminator seperti pada gambar 2 diuji secara bergantian untuk mendapatkan hasil yang optimal. Untuk langkah-langkah pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Flow chart Penelitian Terminator sekam

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini disajikan hasil penelitian yang diperoleh dari serangkaian pengujian eksperimental terhadap sekam padi sebagai material terminator gelombang mikro. Data yang dihasilkan dianalisis untuk mengevaluasi parameter utama, antara lain *return loss*, *VSWR*, daya refleksi, serta efisiensi terminator pada rentang frekuensi yang diuji [10]. Analisis ini bertujuan untuk menilai sejauh mana sekam padi mampu berfungsi sebagai material penyerap gelombang yang efektif dan ramah lingkungan.

A. Return Loss dan VSWR Terminator Ukuran 5x3x3 cm

Hasil pengukuran menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA) menunjukkan bahwa material sekam padi memiliki nilai *return loss* dan *VSWR* yang bervariasi pada rentang frekuensi 3,38 GHz sampai dengan 4,4 GHz seperti

ditunjukkan pada Gambar 4 dan 5. Nilai *return loss* yang lebih kecil dari -9,54 dB umumnya dianggap memenuhi kriteria sebagai material penyerap gelombang yang efektif, karena menunjukkan bahwa lebih dari 89% energi gelombang tidak dipantulkan kembali ke sumber. Nilai memenuhi kriteria mulai pada frekuensi 3,38 GHz yaitu *return loss* -9,54 dB, *VSWR* 2, daya refleksi 11%, efisiensi terminator 89% dan sampai dengan frekuensi 4,4 GHz semakin tinggi penyerapan yaitu *return loss* -14,79 dB, *VSWR* 1,44, daya refleksi 3,25% dan efisiensi terminator 96,74%.



Gambar 4. Return Loss Terminator 5x3x3 cm



Gambar 5. VSWR Terminator 5x3x3 cm



Gambar 6. Return Loss Terminator 10x3x3 cm



Gambar 7. VSWR Terminator 10x3x3 cm

B. Return Loss dan VSWR Terminator Ukuran 10x3x3 cm

Untuk pengukuran dengan terminator ukuran lebih panjang yaitu 10 cm memiliki nilai *return loss* dan *VSWR* yang bervariasi pada rentang frekuensi 2,96 GHz sampai dengan 4,4 GHz seperti ditunjukkan pada Gambar 6 dan 7.

Nilai memenuhi kriteria mulai pada frekuensi 2,96 GHz yaitu *return loss* -9,54 dB, *VSWR* 2, daya refleksi 11%, efisiensi terminator 89% dan sampai dengan frekuensi 4,4 GHz semakin tinggi penyerapan yaitu *return loss* -14,93 dB, *VSWR* 1,39, daya refleksi 2,66% dan efisiensi terminator 97,33%.

C. Return Loss dan VSWR Terminator Ukuran 15x3x3 cm

Untuk pengukuran dengan terminator ukuran lebih panjang yaitu 15 cm memiliki nilai *return loss* dan *VSWR* yang bervariasi pada rentang frekuensi 3 GHz sampai dengan 4,4 GHz seperti ditunjukkan pada Gambar 8 dan 9.

Nilai memenuhi kriteria mulai pada frekuensi 3 GHz yaitu *return loss* -9,54 dB, *VSWR* 2, daya refleksi 11%, efisiensi terminator 89% dan sampai dengan frekuensi 4,4 GHz semakin tinggi penyerapan yaitu *return loss* -13,66 dB, *VSWR* 1,52, daya refleksi 4,25% dan efisiensi terminator 95,74%.



Gambar 8. Return Loss Terminator 15x3x3 cm



Gambar 9. VSWR Terminator 15x3x3 cm

D. Return Loss dan VSWR Terminator Ukuran 20x3x3 cm

Untuk pengukuran dengan terminator ukuran lebih panjang yaitu 20 cm memiliki nilai *return loss* dan *VSWR* yang bervariasi pada rentang frekuensi 3 GHz sampai dengan 4,4 GHz seperti ditunjukkan pada Gambar 10 dan 11.

Nilai memenuhi kriteria mulai pada frekuensi 3 GHz yaitu *return loss* -9,54 dB, *VSWR* 2, daya refleksi 11%, efisiensi terminator 89% dan sampai dengan frekuensi 4,4 GHz semakin tinggi penyerapan yaitu *return loss* -15,9 dB, *VSWR* 1,38, daya refleksi 4% dan efisiensi terminator 96%.



Gambar 10. Return Loss Terminator 20x3x3 cm



Gambar 11. VSWR Terminator 20x3x3 cm

E. Return Loss dan VSWR Terminator Ukuran 25x3x3 cm

Hasil pengukuran dengan terminator ukuran lebih panjang yaitu 25 cm memiliki nilai *return loss* dan *VSWR* yang bervariasi pada rentang frekuensi 2,81 GHz sampai dengan 4,4 GHz seperti ditunjukkan pada Gambar 12 dan 13.



Gambar 12.. Return Loss Terminator 25x3x3 cm



Gambar 13. VSWR Terminator 25x3x3 cm

Nilai memenuhi kriteria mulai pada frekuensi 2,81 GHz yaitu *return loss* -9,54 dB, *VSWR* 2, daya refleksi 11%, efisiensi terminator 89% dan sampai dengan frekuensi 4,4 GHz semakin tinggi penyerapan yaitu *return loss* -16,4 dB,

VSWR 1,35, daya refleksi 2,2% dan efisiensi terminator 97,8%.

F. Return Loss dan VSWR Terminator Ukuran 30x3x3 cm

Hasil pengukuran dengan terminator ukuran lebih panjang yaitu 30 cm memiliki nilai *return loss* dan *VSWR* yang bervariasi pada rentang frekuensi 3,312 GHz sampai dengan 4,4 GHz seperti ditunjukkan pada Gambar 14 dan 15.

Nilai memenuhi kriteria mulai pada frekuensi 3,312 GHz yaitu *return loss* -9,54 dB, *VSWR* 2, daya refleksi 11%, efisiensi terminator 89% dan sampai dengan frekuensi 4,4 GHz semakin tinggi penyerapan yaitu *return loss* -16,09 dB, *VSWR* 1,37, daya refleksi 2,4% dan efisiensi terminator 97,6%.



Gambar 14.. Retun Loss Terminator 30x3x3 cm



Gambar 15. VSWR Terminator 30x3x3 cm

Hasil semua ukuran terminator untuk frekuensi 4,4 GHz dapat dilihat perbandingannya pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Pengukuran Pada Frekuensi 4,4 GHz

Terminator	Hasil Pengukuran		
	Return Loss (dB)	VSWR	Efisiensi (%)
Panjang 5 cm	14,79	1,44	96,74
Panjang 10 cm	14,93	1,39	97,33
Panjang 15 cm	-13,66	1,52	95,74
Panjang 20 cm	-15,9	1,38	96
Panjang 25 cm	-16,4	1,35	97,8
Panjang 30 cm	-16,09	1,37	97,6

Hal ini menandakan bahwa sekam padi mampu meredam pantulan gelombang secara efektif pada titik frekuensi tersebut. Variasi nilai *return loss* sepanjang pita frekuensi yang diuji menunjukkan adanya hubungan erat antara Ukuran fisik terminator sekam padi yang berinteraksinya dengan gelombang mikro.

Jika dibandingkan dengan material penyerap sintetis yang umum digunakan, kinerja sekam padi tentu belum mencapai performa optimum pada seluruh rentang frekuensi yang diuji. Namun, pencapaian nilai *return loss* di bawah -9,54 dB pada beberapa frekuensi membuktikan bahwa sekam padi berpotensi digunakan sebagai material terminator alternatif yang ramah lingkungan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA), sekam padi terbukti memiliki kemampuan yang signifikan sebagai material terminator gelombang mikro. Nilai *return loss* dan *VSWR* menunjukkan bahwa material ini mampu menyerap energi gelombang dengan efisiensi tinggi pada rentang frekuensi 2,81 GHz hingga 4,4 GHz. Pada frekuensi 2,81 GHz diperoleh *return loss* -9,54 dB dengan efisiensi terminator 89%, sedangkan pada frekuensi 4,4 GHz kinerjanya meningkat hingga *return loss* -16,4 dB dan efisiensi terminator mencapai 97,8%.

Hasil ini menunjukkan bahwa sekam padi memiliki karakteristik elektromagnetik yang mendukung penerapannya sebagai material penyerap gelombang mikro. Selain itu, pemanfaatan sekam padi sebagai material terminator menawarkan keuntungan tambahan dari sisi keberlanjutan, karena berasal dari limbah pertanian yang melimpah dan ramah lingkungan. Dengan demikian, sekam padi berpotensi dikembangkan lebih lanjut sebagai alternatif material terminator biomassa yang efisien, ekonomis, dan berkontribusi terhadap pengurangan dampak lingkungan.

REFERENSI

- [1] EL BENDARY, Mohamed M.; RADWAN, Emad K.; EL-SHAHAT, Mohamed F. Valorization of secondary resources into silica-based adsorbents: preparation, characterization and application in dye removal from wastewater. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 2021,
- [2] Buz'ko, Vladimir, et al. "Electromagnetic characteristics of biosilica from rice husk." *E3S web of conferences*. Vol. 263. EDP Sciences, 2021.
- [3] Ushijima, Y., Yukawa, H., Takahashi, T., & Yoneda, N. "K-Band Waveguide Terminator Suitable for Additive Manufacturing Technology and its Applications". In *2024 54th European Microwave Conference (EuMC)* (pp. 192-195). IEEE.
- [4] Kumar, Jitendra, Raj Singh, and V. P. Anitha. "WC-281 circular waveguide terminator essential in microwave plasma interaction experiments for SYMPLE." *Progress In Electromagnetics Research M* 82 (2019): 85-94.
- [5] S. H. Kim, S. Y. Lee, Y. Zhang, S. J. Park, and J. Gu, "Carbon-Based Radar Absorbing Materials toward Stealth Technologies," 2023. doi:10.1002/advs.202303104.

- [6] S. Wu, Y. Zhang, J. Zhang, and P. Xu, "Microwave meta-absorber by using Smith Chart," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 66, no. 1, 2024, doi: 10.1002/mop.33957.
- [7] Muhammad, Munawar, Eliyani dan Syahrul Azmi, "Analisis Material Biomassa Sekam Sebagai Anechoic Chamber Pada Spektrum X Band," *JURNAL LITEK :Jurnal Listrik Telekomunikasi Elektronika* Vol. 22, No. 1, Maret 2025, pp. 7-13
- [8] HANG, Tianyi, et al. Constructing gradient reflection and scattering porous framework in composite aerogels for enhanced microwave absorption. *Carbohydrate Polymers*, 2024, 329: 121777.
- [9] Munawar, Muhammad, Eliyani dan Hanafi, "Analisis Multi Refleksi Ruang Lapisan Busa Pada Spektrum Frekuensi X Band", Semnas PNL, 2023
- [10] Constantine A. Balanis, "Antennas Theory Analysis and Design" Jhon Wiley and Sons, Canada, 2016.