

ANALISIS MATERIAL BIOMASSA SEKAM SEBAGAI ANECHOIC CHAMBER PADA SPEKTRUM X BAND

Muhammad¹, Munawar², Eliyani³, Syahrul Azmi⁴

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

Email: muhammad@pnl.ac.id¹, munawar@pnl.ac.id², eliyani@pnl.ac.id³, syahrul.azmi.pnl@gmail.com⁴

Corresponding Author : Muhammad

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email: muhammad@pnl.ac.id

Abstrak – Penelitian ini mengeksplorasi potensi sekam padi sebagai material penyerap gelombang alternatif dalam desain anechoic chamber. Anechoic chamber, yang dirancang untuk menyerap gelombang elektromagnetik, terutama gelombang mikro, merupakan komponen penting dalam pengujian dan pengembangan teknologi nirkabel. Material penyerap gelombang yang umum digunakan saat ini adalah bahan sintetis, yang menimbulkan masalah lingkungan. Sekam padi, sebagai limbah pertanian yang melimpah, menawarkan solusi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Penelitian ini menganalisis karakteristik penyerapan gelombang sekam padi dan mengevaluasi efektivitasnya sebagai material penyerap gelombang dalam anechoic chamber. Penelitian ini juga menyelidiki modifikasi yang dapat dilakukan pada sekam padi untuk meningkatkan kemampuan penyerapannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sekam padi memiliki potensi sebagai material penyerap gelombang alternatif, dengan kemampuan penyerapan yang dapat ditingkatkan melalui modifikasi ketebalan sekam padi dimulai dari 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm dan 10 cm. Hasil penelitian ini diperoleh terbaik mulai ketebalan 6 cm, 8 cm dan 10 cm sudah menunjukkan hasil sesuai karakteristik antenna yang diuji. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan anechoic chamber yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Hasil penelitian ini dapat membuka jalan untuk penelitian lebih lanjut dalam optimasi penggunaan sekam padi sebagai material penyerap gelombang dalam anechoic chamber, sehingga mendukung kemajuan teknologi nirkabel dan mengurangi dampak lingkungan.

Kata-kata kunci: *Anechoic chamber, Gelombang mikro X Band, sekam padi, material penyerap gelombang, ramah lingkungan*

Abstract – This research explores the potential of rice husks as an alternative wave-absorbing material in the design of an anechoic chamber. An anechoic chamber, designed to absorb electromagnetic waves, especially microwaves, is a crucial component in the testing and development of wireless technology. The commonly used wave-absorbing material today is synthetic, which poses environmental issues. Rice husks, as abundant agricultural waste, offer an environmentally friendly and sustainable solution. This study analyzes the wave absorption characteristics of rice husks and evaluates their effectiveness as a wave-absorbing material in an anechoic chamber. The research also investigates modifications that can be made to rice husks to enhance their absorption capabilities. The research results show that rice husks have the potential as an alternative wave-absorbing material, with absorption capabilities that can be improved through modifications in thickness starting from 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm, and 10 cm. The best results were obtained with thicknesses of 6 cm, 8 cm, and 10 cm, showing characteristics in line with the tested antenna. This research makes a significant contribution to the development of an environmentally friendly and sustainable anechoic chamber. The findings pave the way for further research in optimizing the use of rice husks as a wave-absorbing material in anechoic chambers, supporting the advancement of wireless technology and reducing environmental impact.

Keywords: *Anechoic chamber, X Band microwave waves, rice husks, wave-absorbing material, environmentally friendly*

I. PENDAHULUAN

Sekam merupakan lapisan pelindung luar dari butiran padi yang melindungi beras selama pertumbuhannya. Sekam ini terdiri dari lapisan keras dan berserat yang umumnya menjadi limbah setelah proses

penggilingan padi (Gambar 1). Beberapa karakteristik penting dari sekam padi adalah silika (SiO₂), selulosa, dan lignin yang membuatnya cocok untuk dijadikan bahan dasar penyerap gelombang mikro [1][2].

Anechoic chamber, atau ruang tanpa gema, merupakan ruangan khusus yang dirancang untuk

menyerap gelombang elektromagnetik, terutama gelombang mikro, sehingga meminimalkan pantulan dan interferensi [3][4]. Keberadaannya sangat penting dalam berbagai bidang, khususnya penelitian dan pengembangan teknologi gelombang mikro. Anechoic chamber digunakan untuk menguji karakteristik antena dan perangkat gelombang mikro lainnya. Dalam lingkungan bebas pantul, antena dapat diuji dengan presisi tinggi, memungkinkan peneliti untuk menentukan pola radiasi, gain, directivity, beamwidth dan Polarisasi [5].

Spektrum X Band memiliki rentang frekuensi antara 8-12 GHz. Spektrum ini diaplikasikan untuk komunikasi satelit, Radar, Pencitraan medis, spektrokopi dan lainnya [6].

Material penyerap gelombang mikro yang digunakan dalam anechoic chamber terbuat dari bahan sintetis seperti busa poliuretan atau fiberglass. Namun, penggunaan material sintetis ini menimbulkan masalah lingkungan seperti polusi dan sulit terurai. Oleh karena itu, penelitian mengenai material penyerap gelombang mikro alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan menjadi semakin penting. Artikel ini akan membahas tentang potensi penggunaan sekam padi sebagai material penyerap gelombang dalam anechoic chamber. Sekam padi merupakan limbah pertanian yang melimpah dan mudah didapat, sehingga menawarkan solusi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan untuk pengembangan anechoic chamber.

Artikel ini akan membahas karakteristik sekam padi sebagai material penyerap gelombang, serta proses modifikasi yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kemampuan penyerapannya. Selain itu, artikel ini juga akan membahas desain dan konstruksi anechoic chamber yang menggunakan sekam padi sebagai material penyerap gelombang. Tujuannya adalah untuk memberikan gambaran tentang potensi sekam padi sebagai material penyerap gelombang alternatif dalam anechoic chamber, serta untuk mendorong penelitian lebih lanjut dalam optimasi penggunaan sekam padi untuk mendukung kemajuan teknologi gelombang elektromagnetik di masa depan.

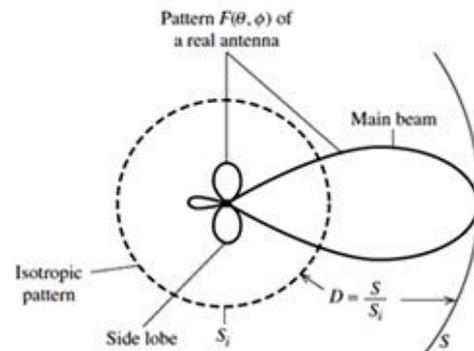


Gbr. 1 Biomassa Sekam Padi

Dalam konteks gelombang elektromagnetik, selalu terjadi scattering ketika gelombang bertemu dengan objek seperti partikel, permukaan, atau benda berukuran lebih kecil atau sebanding dengan panjang gelombangnya. Scattering menggambarkan interaksi antara gelombang (misalnya gelombang elektromagnetik) dengan suatu objek, yang menyebabkan energi

gelombang tersebut tersebar dalam berbagai arah [6]. Energi yang dipantulkan, dibelokkan, atau dihamburkan tergantung pada karakteristik objek, panjang gelombang, serta sifat material objek. Pada gelombang elektromagnetik, scattering dapat dihasilkan oleh partikel, antena, atau bahan dengan sifat dielektrik yang berbeda dari medium di sekitarnya.

Radiasi adalah proses pemancaran energi melalui ruang dalam bentuk gelombang. Polaradiasi adalah distribusi kekuatan radiasi dari antena dalam ruang sebagai fungsi dari arah. Pola radiasi menggambarkan bagaimana energi elektromagnetik dipancarkan atau diterima oleh antena ke atau dari berbagai arah. Polaradiasi menunjukkan distribusi intensitas medan atau daya yang dipancarkan dari antena dalam berbagai arah di ruang. Pola radiasi omnidirectional adalah pola radiasi yang memancarkan intensitas radiasi ke segala arah, sedangkan Pola radiasi directional adalah pola radiasi yang memancarkan ke arah tertentu [6],[7]. Antena yang memancarkan energi ke segala arah disebut dengan jenis antena omnidirectional, sedangkan antena yang memancarkan energi ke arah tertentu disebut antena Directional. Polaradiasi ditentukan oleh 3 bagian yaitu main lobe, side lobe dan back lobe seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gbr. 2 Ilustrasi Polaradiasi

Main lobe dan Side lobe berturut-turut adalah daerah radiasi yang memiliki intensitas tertinggi dan yang lebih rendah dari main lobe sedangkan Back lobe memiliki arah radiasi bertolak belakang dengan Main Lobe. Main lobe terdiri dari Half Power Beamwidth (HPBW) dan Beamwidth Between First Null (BWFN).

II. METODOLOGI

A. Peralatan yang Dibutuhkan

Penelitian ini membutuhkan beberapa peralatan dan bahan yaitu :

- Signal Generator frekuensi X Band
- Spektrum Analyzer frekuensi X Band
- Antena pemancar
- Antena penerima
- Rotator antenna
- Biomassa sekam
- Triplex 6 mm secukupnya
- Kabel transmisi secukupnya

B. Langkah-langkah Pengujian

Langkah-langkah pengujian mengacu pada Gambar 3, yang memperlihatkan gambar diagram alir secara lengkap analisis material biomassa sekam sebagai anechoic chamber pada spektrum X Band.



Gbr. 3 Flow Chart Medan Jauh pada Dinding Biomassa Sekam

Penelitian ini dimulai dengan penentuan frekuensi kerja yang akan diuji, yang merupakan langkah awal yang krusial dalam proses penelitian. Pemilihan antenna yang sesuai dengan frekuensi tersebut sangat penting agar dapat memancarkan dan menerima sinyal dengan optimal sesuai dengan pola antenna yang diuji. Dalam konteks ini, antenna yang dipilih harus memiliki

karakteristik yang sesuai dengan spesifikasi frekuensi yang ditentukan, sehingga dapat berfungsi secara efisien dalam memproses sinyal yang akan diuji. Selain itu, pemilihan antenna yang tepat juga berperan dalam meminimalisir gangguan sinyal yang mungkin terjadi selama pengujian. Dengan demikian, tahap awal ini menjadi fondasi bagi keseluruhan penelitian, yang akan menentukan keberhasilan pengujian selanjutnya.

Setelah pemilihan antenna, langkah berikutnya adalah pengisian sekam pada celah dinding dengan ketebalan yang bervariasi, yaitu 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm, dan 10 cm. Penggunaan sekam sebagai bahan pengisi dinding memiliki tujuan tertentu, yaitu untuk meningkatkan kemampuan penyerapan sinyal dan mempengaruhi pola radiasi yang dihasilkan oleh antenna. Ruang dibangun sesuai dengan medan jauh, yang merupakan kondisi ideal untuk menguji bagaimana sinyal berinteraksi dengan material yang ada di sekitarnya. Pengisian sekam dilakukan secara bergantian sesuai dengan ketebalan yang telah ditentukan, sehingga setiap variasi dapat dianalisis secara terpisah. Proses ini tidak hanya menuntut ketelitian dalam pelaksanaan, tetapi juga pemahaman yang mendalam tentang bagaimana setiap ketebalan sekam dapat mempengaruhi hasil pengujian.

Setelah pengisian sekam, dilakukan pengujian terhadap setiap perbedaan ketebalan secara bergantian untuk memperoleh hasil yang bersifat omnidirectional. Hasil polaradasi dari setiap perbedaan ketebalan dinding yang diisi sekam akan direkam dan dianalisis secara sistematis. Tujuan dari langkah ini adalah untuk membandingkan setiap perbedaan ketebalan, di mana hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap perubahan ketebalan akan mempengaruhi penyerapan sinyal yang tersebar ke dinding. Proses analisis ini melibatkan pengolahan data yang cermat dan interpretasi hasil yang diperoleh dari pengujian. Dengan pendekatan yang teliti, diharapkan dapat diidentifikasi pola-pola tertentu yang mengindikasikan bagaimana variasi ketebalan dapat berkontribusi pada efisiensi pemancaran dan penerimaan sinyal.

Secara keseluruhan, hasil analisis ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang lebih dalam tentang hubungan antara ketebalan dinding yang diisi sekam dan performa antenna dalam memancarkan serta menerima sinyal. Temuan ini tidak hanya relevan untuk pengembangan teknologi antenna, tetapi juga dapat berkontribusi pada penelitian lebih lanjut mengenai material yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas sinyal dalam berbagai aplikasi. Dengan demikian, penelitian ini berpotensi membuka jalan bagi inovasi dalam desain antenna dan material pengisi, yang pada gilirannya dapat meningkatkan efisiensi sistem komunikasi secara keseluruhan. Model pengujian dapat dilihat pada Gambar 4, yaitu ruangan dibangun sesuai dengan jarak medan jauh dari antenna yang diuji supaya memenuhi standar yaitu [6],[7]:

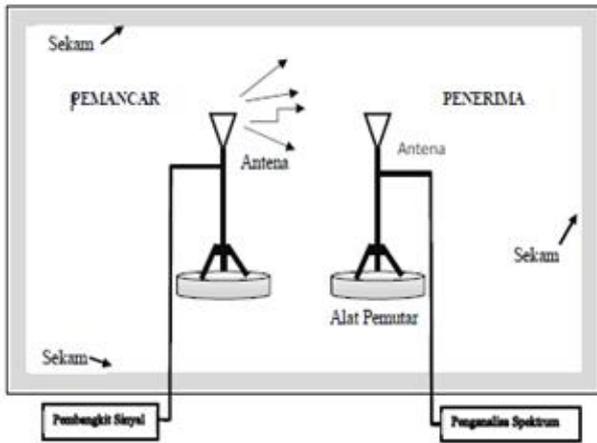
$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda} \tag{1}$$

Dimana :

R adalah jarak medan jauh (m)

D adalah panjang fisik antena (m)

λ adalah panjang gelombang (m)

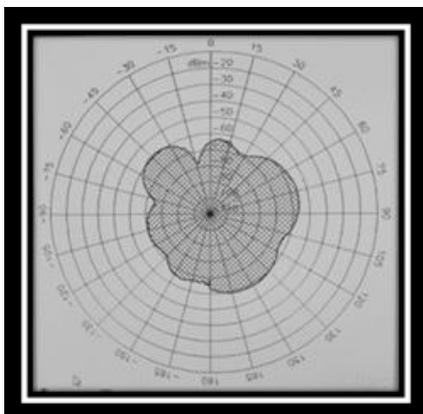


Gbr. 4 Ruangang Pengujian Anechoic Material Sekam

Antena pemancar dan penerima diletakkan ditengah anechoic chamber, antena penerima akan diputar oleh rotator keberbagai sudut untuk mengukur intensitas sinyal yang diterima, sedangkan antena pemancar dalam posisi tetap. Data yang diperoleh dari pengukuran menghasilkan polaradiasi antena. Pengujian tersebut dilakukan dengan meningkatkan ketebalan dinding yang diisi material sekam sampai didapat hasil maksimal sesuai sifat antena yang diuji.

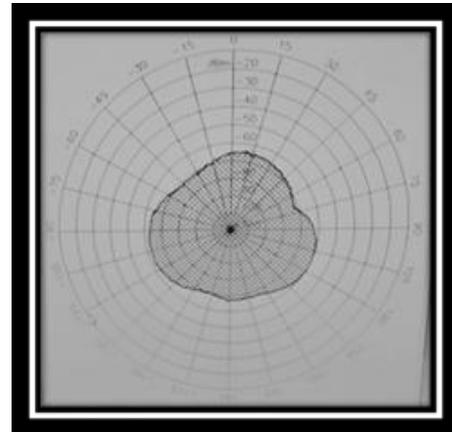
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini dilakukan pengujian dengan mengisi material sekam dalam ruangan yang dibangun khusus dengan ketebalan yang bervariasi sesuai urutan metode penelitian ini. Pada Gambar 5, merupakan hasil pengujian pada ruangan tidak dilapisi biomassa sekam, polaradiasi sangat berbeda tiap sudut pengujian, harapannya dapat membentuk pola omnidirectional disebabkan pengujian dengan antenna isotropis.

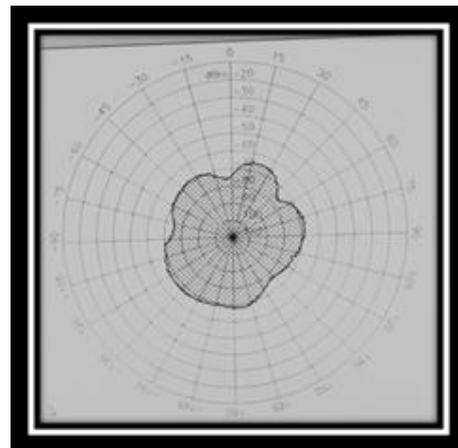


Gbr. 5 Polaradiasi Tanpa Biomassa Sekam

Pada Gambar 6 merupakan hasil pengujian pada ruang dilapisi biomassa sekam dengan ketebalan 2 cm tiap sisi ruangan, polaradiasi sudah mulai adanya perubahan evel sinyal distribusi tiap sudut dibandingkan dengan Gambar 5. Namun belum menunjukkan hasil polaradiasi omnidirectional.

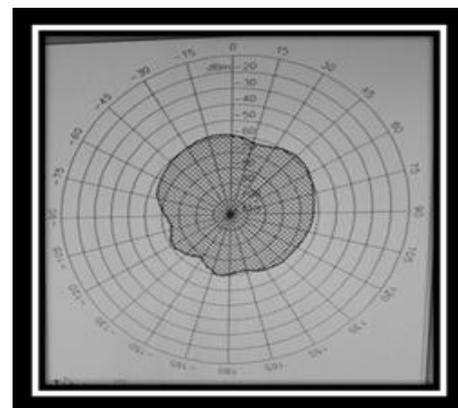


Gbr. 6 Polaradiasi Lapisan Biomassa sekam 2 cm



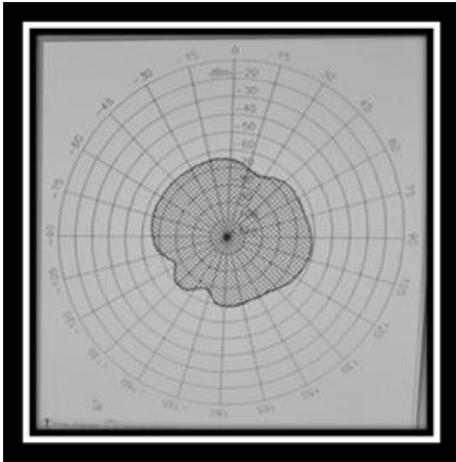
Gbr. 7 Polaradiasi Lapisan Biomassa sekam 4 cm

Pada Gambar 7 merupakan hasil pengujian pada ruang dilapisi biomassa sekam dengan ketebalan 4 cm tiap sisi ruangan, polaradiasi terjadi perbedaan lagi tingkat distribusi sinyal tiap sudut dibandingkan dengan Gambar 5 dan 6. Namun belum menunjukkan hasil polaradiasi omnidirectional.



Gbr. 8 Polaradiasi Lapisan Biomassa sekam 6 cm

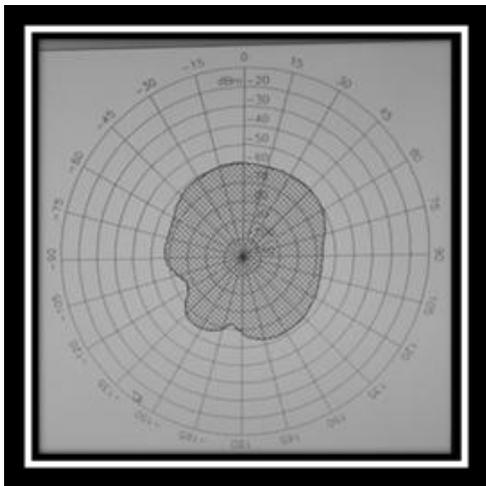
Pada Gambar 8 merupakan hasil pengujian pada ruang dilapisi biomassa sekam dengan ketebalan 6 cm tiap sisi ruangan, polaradiasi mulai terbentuk omnidirectional sesuai dengan sifat antenna isotropis.



Gbr. 9 Polaradiasi Lapisan Biomassa sekam 8 cm

Pada Gambar 9 merupakan hasil pengujian pada ruang dilapisi biomassa sekam dengan ketebalan 8 cm tiap sisi ruangan, polaradiasi terbentuk omnidirectional sesuai dengan sifat antenna isotropis.

Pada Gambar 10 merupakan hasil pengujian pada ruang dilapisi biomassa sekam dengan ketebalan 10 cm tiap sisi ruangan, polaradiasi terbentuk omnidirectional sesuai dengan sifat antenna isotropis.



Gbr. 10 Polaradiasi Lapisan Biomassa sekam 10 cm

Hasil pengujian terhadap variasi ketebalan biomassa sekam menunjukkan bahwa sinyal yang dipantulkan ke dinding penyerapan semakin meningkat seiring dengan perubahan ketebalan biomassa sekam, dengan radiasi yang semakin homogen di setiap sudut dari 0° hingga 350°. Penelitian ini menyoroti pentingnya pemilihan material penyerap yang tepat dalam desain ruang anechoic, yang merupakan ruang yang dirancang untuk mengurangi pantulan gelombang gelombang elektromagnetik. Pada kondisi awal, ketika hanya terdapat dinding triplek tanpa lapisan sekam, pola radiasi belum terbentuk secara omnidirectional. Hal ini

disebabkan oleh tingginya pantulan sinyal yang terjadi pada dinding [8], yang mengakibatkan gangguan pada pengukuran dan analisis data. Penemuan ini menunjukkan bahwa tanpa adanya material penyerap yang efektif, akurasi hasil pengujian dapat terpengaruh secara signifikan.

Tabel I
Pembandingan hasil tiap perubahan biomassa sekam

No.	Gambar Polaradiasi	Keterangan
1		Dinding triplex Tidak menggunakan sekam padi
2		Dinding sekam padi 2 cm
3		Dinding sekam padi 4 cm
4		Dinding sekam padi 6 cm
5		Dinding sekam padi 8 cm
6		Dinding sekam padi 10 cm

Setelah penambahan sekam dengan ketebalan 2 cm, terjadi perubahan yang signifikan, di mana pola radiasi mulai terbentuk secara bertahap mengikuti karakteristik omnidirectional. Penambahan ketebalan sekam padi berfungsi untuk meningkatkan kemampuan material dalam menyerap gelombang, sehingga mengurangi pantulan yang tidak diinginkan. Hal ini sangat penting, terutama dalam pengujian antena dan perangkat elektronik lainnya yang memerlukan lingkungan bebas gangguan. Dengan ketebalan yang tepat, sekam padi dapat berfungsi sebagai material penyerap yang efektif, memungkinkan peneliti untuk mendapatkan data yang lebih akurat dan konsisten dalam setiap eksperimen yang dilakukan. Perubahan ini menunjukkan bahwa pemilihan ketebalan yang tepat sangat berpengaruh terhadap performa ruang anechoic.

Perubahan nilai optimal teramati pada ketebalan 6 cm, 8 cm, dan 10 cm, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 1. Dengan ketebalan tersebut, ruangan anechoic dapat berfungsi sebagai ruang kedap untuk frekuensi X-Band. Hal ini memungkinkan terciptanya kondisi ideal tanpa pantulan gelombang, sehingga setiap pengujian atau eksperimen yang dilakukan di dalamnya dapat mengisolasi sinyal asli yang langsung berasal dari sumber tanpa gangguan pantulan dinding atau interferensi [8],[9]. Penelitian ini menunjukkan bahwa ketebalan sekam padi yang optimal berperan penting dalam menciptakan lingkungan yang diperlukan untuk penelitian dan pengembangan teknologi komunikasi dan radar. Dengan demikian, pemahaman yang lebih baik mengenai sifat-sifat material ini dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengujian yang dilakukan di dalam ruang anechoic.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketebalan 6 cm, 8 cm, dan 10 cm memberikan hasil yang optimal. Ini menunjukkan adanya hubungan langsung antara ketebalan sekam padi dan kemampuannya dalam menyerap gelombang. Penyerapan gelombang yang optimal pada ketebalan tersebut mengindikasikan bahwa sekam padi dapat dirancang untuk menyerap gelombang mikro pada frekuensi X Band. Penelitian ini mencatat bahwa hasil optimal yang diperoleh sejalan dengan karakteristik antena yang diuji [9], yang menunjukkan bahwa sekam padi dapat disesuaikan untuk digunakan dalam anechoic chamber yang dirancang untuk menguji berbagai jenis antena. Hal ini menunjukkan fleksibilitas sekam padi dalam menyerap gelombang mikro dengan berbagai frekuensi dan pola radiasi, serta potensi aplikasinya dalam berbagai bidang teknologi.

Penelitian ini memiliki potensi besar untuk pengembangan anechoic chamber yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Penggunaan sekam padi sebagai material penyerap gelombang dapat mengurangi ketergantungan pada bahan sintesis yang berpotensi merugikan lingkungan. Selain itu, penelitian ini membuka peluang untuk pengembangan anechoic chamber yang lebih hemat biaya dan mudah diakses. Dengan memanfaatkan limbah pertanian seperti sekam padi, kita tidak hanya dapat menciptakan solusi yang lebih berkelanjutan, tetapi juga mengurangi dampak

lingkungan dari produksi material penyerap yang konvensional. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada kemajuan teknologi, tetapi juga pada keberlanjutan lingkungan, yang merupakan isu penting di era modern ini.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan wawasan mengenai potensi penggunaan sekam padi sebagai material penyerap gelombang dalam desain anechoic chamber. Dengan hasil yang menunjukkan efektivitas ketebalan tertentu dalam menyerap gelombang, penelitian ini membuka jalan untuk inovasi lebih lanjut dalam teknologi elektromagnetik. Keberhasilan penggunaan sekam padi tidak hanya memberikan alternatif yang lebih ramah lingkungan, tetapi juga meningkatkan aksesibilitas dan efisiensi dalam pengujian teknologi. Oleh karena itu, langkah selanjutnya adalah melakukan penelitian lebih lanjut untuk mengeksplorasi potensi aplikasi lain dari sekam padi dalam berbagai bidang, serta mengembangkan metode yang lebih baik untuk memanfaatkan sumber daya yang ada secara efisien.

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan studi ini menyimpulkan bahwa sekam padi memiliki potensi yang signifikan sebagai material penyerap gelombang alternatif dalam desain anechoic chamber. Dengan karakteristik penyerapan gelombang yang baik, sekam padi dapat efektif digunakan untuk mengurangi pantulan dan interferensi gelombang elektromagnetik, khususnya gelombang mikro, dalam lingkungan pengujian. Melalui modifikasi ketebalan sekam padi, dari 2 cm hingga 10 cm, telah terbukti bahwa ketebalan 6 cm, 8 cm, dan 10 cm memberikan hasil yang optimal sesuai karakteristik antena yang diuji.

Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam merancang anechoic chamber yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Hasil penelitian ini juga menggaris bawahi pentingnya penelitian lanjutan dalam mengoptimalkan penggunaan sekam padi sebagai material penyerap gelombang, sehingga dapat mendukung perkembangan teknologi nirkabel yang lebih maju sambil mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Dengan demikian, pemanfaatan sekam padi sebagai material penyerap gelombang dalam anechoic chamber menjanjikan sebagai langkah yang berkelanjutan menuju teknologi yang lebih ramah lingkungan.

REFERENSI

- [1] El Bendary, M. M., Radwan, E. K., & El-Shahat, M. F. (2021). Valorization of secondary resources into silica-based adsorbents: preparation, characterization and application in dye removal from wastewater. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 15, 100455.
- [2] Buz'ko, V., Shamray, I., Goryachko, A., Udodov, S., & Abashin, A. (2021). Electromagnetic characteristics of biosilica from rice husk. In *E3S*

- web of conferences* (Vol. 263, p. 01013). EDP Sciences.
- [3] Xu, Q., & Huang, Y. (2019). Anechoic and Reverberation Chambers: Theory, Design, and Measurements.
- [4] Qin, M., Zhang, L., & Wu, H. (2022). Dielectric loss mechanism in electromagnetic wave absorbing materials. *Advanced Science*, 9(10), 2105553.
- [5] Munawar, M., Muhammad, M., Eliyani, E., & Hanafi, H. (2024, April). Analisis Multi Refleksi Ruangan Lapisan Busa pada Spektrum Frekuensi X Band. In *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe* (Vol. 7, No. 1, pp. 95-100).
- [6] Balanis, C. A. (2015). *Antenna theory: analysis and design*. John wiley & sons.
- [7] Yi Huang, Kevin Boile, (2015). "Antennas: From Theory to Practice" Wiley, New Delhi.
- [8] Garcia, J. C. B., Sibille, A., & Kamoun, M. (2020). Reconfigurable intelligent surfaces: Bridging the gap between scattering and reflection. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 38(11), 2538-2547.
- [9] Mohamadzade, B., Simorangkir, R. B., Hashmi, R. M., & Lalbakhsh, A. (2020). A conformal ultrawideband antenna with monopole-like radiation patterns. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 68(8), 6383-6388.