

Available online at: <http://reactor.poltekaptidg.ac.id/>**REACTOR****Journal of Research on Chemistry and Engineering**

| ISSN Online 2746-0401 |



Karakterisasi Komposit Polimer dengan Matriks Polistirena dan Bahan Pengisi dari Berbagai Limbah Pabrik Kelapa Sawit

Tengku Rachmi Hidayani ¹, Poltak Evencus Hutajulu ¹, New Vita Mey Destty Marbun ¹, Erwin Pardede ¹, Ratih Paramitha ¹, Reni Silvia Nasution ²

¹ Program Studi D3 Agribisnis Kelapa Sawit, Politeknik Teknologi Kimia Industri, Jl. Medan Tenggara VII Medan, 20228, Indonesia

² Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Ar Raniry, Jl. Syekh Abdur Rauf Darussalam, Banda Aceh, 24415, Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Received: May 08, 2024

Revised: June 25, 2024

Accepted: June 29, 2024

KEYWORDS

Polymer Composites, Polystyrene Matrix, POM Waste, Synthetic Polymer

CORRESPONDENCE

Name: Tengku Rachmi Hidayani

E-mail: rachmihidayani@ptki.ac.id

ABSTRACT

The first stage of this research was to make polystyrene grafted with maleic anhydride for making the coupling agent with other filling compound. In the second stage, the polystyrene matrix grafted with maleic anhydride was combined with filler material derived from palm oil mill waste using the dry mixing method with an internal mixer. Among several variables tested, the optimum composition of the polymer composite was found to be Polystyrene grafted with maleic anhydride: sludge: boiler ash in a ratio of 60:25:15. This composition exhibited a Young's modulus of 856.752 MPa, a tensile strength of 6.057 MPa, and an elongation at break of 0.775%. Differential Scanning Calorimetry (DSC) testing revealed a glass transition temperature of 403.22°C, a crystallization temperature of 426.39°C, and a cross-linking indication temperature of 478.64°C. Scanning Electron Microscopy (SEM) tests showed an even distribution of the material. Fourier-transform infrared (FT-IR) spectroscopy indicated a decrease in absorption peaks at 3024.94 cm⁻¹ and 3025.15 cm⁻¹, while the polystyrene characteristics at the wave number 1600.57 cm⁻¹ appeared sharper. The sound absorption test results met the ISO 11654:1997 standard for the rating level of sound absorption coefficient in materials, achieving Class D and C sound absorption with an α_{nx} value ranging from 0.328 to 0.793.

PENDAHULUAN

Limbah padat merupakan limbah yang paling umum, menyumbang sekitar 35-40% dari total TBS dan diolah dalam bentuk tandan buah kosong, ijuk, kulit buah, abu bakaran, dan bungkil sawit [1]. Meskipun jumlah tandan kosong yang dihasilkan per ton Tandan Buah Sawit olahan mencapai sekitar 23%, namun pemanfaatannya belum banyak dan penggunaannya sebagai abu pembakaran serta mulsa tanaman masih terbatas [2].

Sementara itu cangkang sawit yang bentuknya mirip dengan tempurung kelapa masih dimanfaatkan sebagai produk sampingan dibandingkan sebagai pengganti energi. Dibandingkan dengan batu bara, cangkang sawit

memiliki keunggulan sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan karena tidak mengandung sulfur sehingga tidak menghasilkan gas yang berbahaya bagi lingkungan[3] Limbah padat yang dihasilkan dari kebun maupun industri pengolahan kelapa sawit, telah dinyatakan beberapa peneliti sangat bermanfaat sebagai pakan ternak terutama ruminansia dan unggas. Limbah sawit yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pakan ternak yaitu berupa pelepah, daun dan serta bungkil inti sawit.

Pemanfaatan bahan alam sebagai bahan pengisi komposit penyerap suara yang digabungkan dengan bahan polimer sintetik sangat menjanjikan dan memiliki potensi yang baik untuk digunakan. Bahan alam dapat merapatkan pori partikel pada matriksnya yang berupa polimer

sintetik, sehingga bahan tersebut semakin baik dalam meredam suara. Hasil dari komposit penyerap suara berbasis pengisi bahan alam dan biopolimer sangat menjanjikan, dan memiliki potensi yang tinggi untuk digunakan sebagai penyerap suara. Komposit tersebut memiliki kemampuan penyerap suara yang berbeda dimana tidak hanya tergantung pada jenis pengisi/penguat material, tetapi juga pada rentang frekuensi suara. Biasanya, penyerap suara tinggi diobservasi pada frekuensi di atas 200 Hz. Pemilihan frekuensi penyerap suara tergantung pada struktur, densitas, dan ketebalan absorber [4].

Penelitian sebelumnya telah dilaksanakan dengan memanfaatkan abu boiler dan *sludge* menjadi bahan pengisi dalam pembuatan komposit polimer penyerap suara, maka penelitian saat ini akan dilakukan penambahan material pengisi yaitu dari bagian tandan kosong kelapa sawit yang juga merupakan limbah yang bersifat padat yang terdapat di pabrik kelapa sawit. Limbah tandan kosong ini juga merupakan limbah yang penumpukannya terjadi di pabrik kelapa sawit [5]. Metode yang digunakan pada saat melakukan pencampuran material komposit polimer akan dilakukan dengan metode kering dengan alat ekstruder sehingga akan mengurangi biaya penggunaan bahan kimia dan mencegah pencemaran lingkungan. Pada tahap akhir, komposit polimer penyerap suara yang dihasilkan dikarakterisasi dengan analisa sifat fisika dengan uji keteguhan lentur, uji modulus elastis lentur, uji DSC, uji kadar air, uji sifat kimia dengan Analisa FT-IR, dan uji daya serap suara [6].

Tujuan penelitian ini adalah untuk menghasilkan suatu busa komposit polimer dari pencampuran limbah pabrik kelapa sawit berupa *sludge* sebagai bahan pengisi dan abu boiler sebagai bahan penguat dalam busa polimer penyerap suara yang akan dimanfaatkan langsung oleh industri sebagai bahan peredam suara di dinding ruang kamar mesin. Dalam penggabungan material, digunakan maleat anhidrida sebagai agen pengikat silang, untuk menggabungkan antara bahan polimer sintetik dengan bahan polimer alam, karena perbedaan sifat antara polimer sintetik dan polimer alam, akan membuat ikatan antara matriks dan bahan pengisi hanya bersifat fisika jika tidak ditambahkan agen pengikat silang berupa maleat anhidrida [7].

METODOLOGI

Preparasi Polistirena Tergrafting Maleat Anhidrida

Lima puluh gram polistirena tipe GPPS (*General Purpose Polystyrene*) ditimbang kemudian dimasukkan ke dalam alat refluks yang berisi pelarut xilena teknis, 1%

(b/b) maleat anhidrida teknis dan 1% (b/b) benzoin peroksida PA dicampur dalam peralatan refluks yang diatur pada suhu 110 °C untuk menghasilkan poliblend maleat anhidrida yang digrafting ke polistirena, yang dipisahkan dari pelarut xilena teknis dengan menggunakan metanol teknis [8].

Pencampuran Matriks dengan Bahan Pengisi dan Pencetakan

Pencampuran Polistirena tergrafting maleat anhidrida dengan limbah yang dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit dilakukan dengan metode pencampuran kering menggunakan alat ekstruder pada suhu 110°C dalam waktu 1 jam, kemudian dilakukan pencetakan dengan alat cetak tekan berpemanas. Bahan penyerap suara kemudian dikeluarkan dari *hot press*, dimasukkan ke dalam air, dikeluarkan dari cetakan, dan dibawa ke suhu kamar. Bahan penyerap suara dapat dipotong sesuai kebutuhan properti. Uji serapan bunyi berdasarkan standar ISO 11654: 1997 [7] untuk evaluasi koefisien adsorpsi dengan menyiapkan sampel busa komposit penyerap bunyi dengan diameter 9,8 cm dan tebal 1 cm dan mengujinya dengan pengukur intensitas redaman akustik.

Tabel 1. Variasi Pencampuran Material Komposit Poliblend *Sludge* dan Abu Boiler

No	Polistirena tergrafting maleat anhidrida (%)	<i>Sludge</i> (%)	Abu Boiler (%)
1	100	0	0
2	60	40	0
3	60	30	10
4	60	25	15
5	60	20	20
6	60	15	25
7	60	10	30
8	60	0	40

Analisis dengan Uji Kuat Tarik

Uji tarik dilakukan untuk mengetahui hasil pencampuran paling optimum. Standar uji tarik yang digunakan adalah ASTM D 638. Kedua ujung spesimen dijepit pada alat kemuluran kemudian dicatat perubahan panjang (mm) berdasarkan besar kecepatan 50 mm/menit. Dicatat harga tegangan maksimum (F_{maks}) dan renggangan. Data pengukuran diubah menjadi kuat tarik (δt) dan kemuluran (ϵ) [9].

Analisis Differential Scanning Calorimetry (DSC)

DSC 60Plus Shimadzu Japan adalah teknik analisis termal yang mengukur energi yang diserap atau diemisikan oleh sampel sebagai fungsi waktu atau suhu. Ketika transisi termal terjadi pada sampel, DSC memberikan pengukuran kalorimetri dari energi transisi

dari temperatur tertentu [10]. Kedua sampel dan referensi dipertahankan pada temperatur yang hampir sama sepanjang percobaan. Umumnya, program suhu untuk analisis DSC dirancang sedemikian rupa sehingga suhu pemegang sampel meningkat secara linear sebagai fungsi waktu. Sampel referensi harus memiliki kapasitas panas yang didefinisikan dengan baik selama rentang suhu yang akan dipindai.

Analisis Scanning Electron Microscope (SEM)

SEM JEOL type JSM-6360LA merupakan tipe SEM yang digunakan. Teknik SEM merupakan analisis permukaan. Data yang diperoleh merupakan data dari permukaan atau lapisan yang tebalnya sekitar 20 μm dari permukaan. Gambar permukaan yang diperoleh merupakan topografi dengan segala tonjolan, lekukan dan lubang pada permukaan [11].

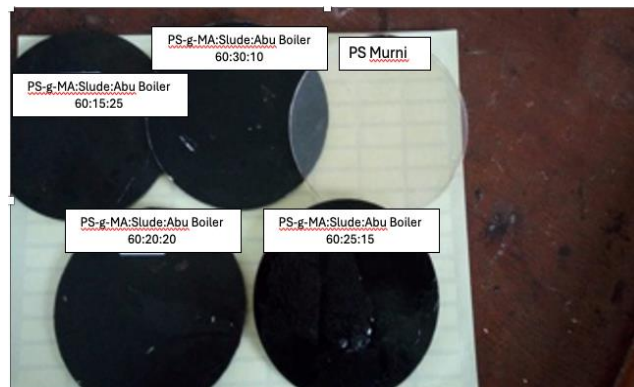
Analisis Gugus Fungsi Fourier-Transform Infrared Spectrometer (FTIR)

Analisa gugus fungsi dilakukan untuk sampel serbuk *sludge* primer dan busa komposit polistirena dari bahan polistirena tergrafting maleat anhidrida, serbuk *sludge* primer dan nano partikel abu boiler dengan menggunakan alat FTIR Shimadzu IRPrestige-21 [9].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode pencampuran material bahan-bahan yang digunakan dilakukan dengan menggunakan alat internal mixer yang menjalankan metode pencampuran secara kering tanpa penggunaan pelarut. Metode pencampuran kering dipilih karena tidak memerlukan pelarut seperti xilena dan pelarut pemisah seperti metanol. Dengan tidak digunakannya pelarut kimia, diharapkan hasil dari penelitian ini dapat menghemat biaya penggunaan bahan kimia, menghemat waktu pengerjaan karena sampel campuran langsung keluar dalam bentuk polibend dan ramah lingkungan karena tidak mencemari lingkungan dengan limbah bahan kimia [6].

Hasil dari pencampuran matriks Polistirena tergrafting maleat anhidrida dengan bahan pengisi *sludge* dan bahan penguat berupa abu boiler dalam beberapa variabel bebas dikarakterisasi dengan sifat fisika dan sifat kimia. Setelah dicetak tekan dengan pemanas selama satu jam pada suhu 110°C, sampel material komposit didinginkan kemudian dilepaskan dari cetakan. Kemudian material komposit dibentuk sesuai dengan kebutuhan pengujian atau karakterisasi.



Gambar 3. Beberapa Material Komposit yang Siap untuk Karakterisasi

Karakterisasi Sifat Mekanik dengan Uji Tarik

Kondisi optimum dari material komposit yang dihasilkan Matriks polistirena cangkok anhidrida maleat dibuat elastis dengan menambahkan lumpur limbah pabrik kelapa sawit dan abu boiler dengan perbandingan 60:25;15 polistiren cangkok anhidrida maleat: lumpur: abu boiler. Nilai modulus sebesar 856,752 MPa, nilai gaya tarik sebesar 6,057 MPa, dan perpanjangan putus sebesar 0,775%. Nilai modulus dan kekuatan tarik komposit memiliki nilai tambah yang signifikan dibandingkan dengan polistiren yang dicangkok dengan maleat anhidrida saja. Hal ini karena bahan pengisi dan penguat meningkatkan sifat mekanik bahan polimer, sedangkan nilai perpanjangan putus menurun dibandingkan ketika bahan pengisi ditambahkan, ia kembali ke keadaan awal lagi dan komposit yang dihasilkan menjadi lebih keras.

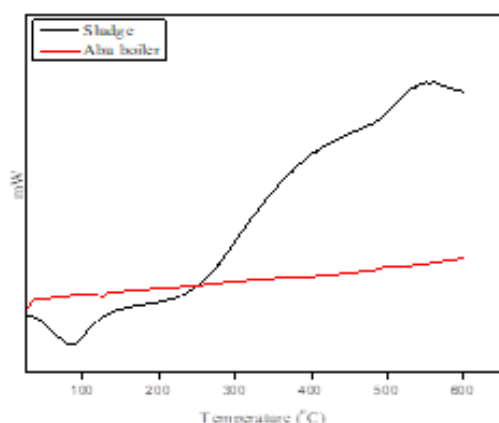
Tabel 2. Data Uji Tarik dari Berbagai Variasi Komposisi Bahan Komposit Polimer *Sludge* dan Abu Boiler

No	Polistirena Tergrafting Maleat Anhidrida (%)	Sludge (%)	Abu Boiler (%)	Modulus Young (Mpa)	Gaya Tarik (Mpa)	Perpanjangan Putus (%)
1	100	0	0	397,882	6,465	1,076
2	60	40	0	687,243	5,789	0,581
3	60	30	10	798,412	5,893	0,698
4	60	25	15	856,752	6,057	0,775
5	60	20	20	388,465	3,456	0,646
6	60	15	25	256,763	3	0,672
7	60	10	30	95,679	2,867	0,432
8	60	0	40	89,890	1.893	0,411

Dari data Tabel 2 diatas dapat dilihat bahwa penambahan abu boiler dalam komposisi sama banyak dengan *sludge* sampai dengan lebih besar dari *sludge* akan mengakibatkan hasil uji tarik mengalami penurunan. Dengan demikian, analisa selanjutnya hanya difokuskan kepada variabel polistirena tergrafting maleat anhidrida: *sludge*: abu boiler dengan perbandingan 60:30:10 dan 60:25:15.

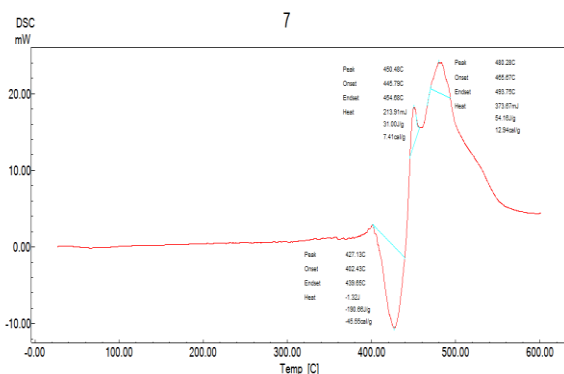
Analisa Uji Differential Scanning Calorimetry (DSC)

Pada analisa *Differential Scanning Calorimetry*, sampel diuji dengan dua kali pemanasan dan dua kali pendinginan. Pemanasan pertama bertujuan untuk menghilangkan kandungan air dan mositur yang terjadi selama pemrosesan sebelumnya.



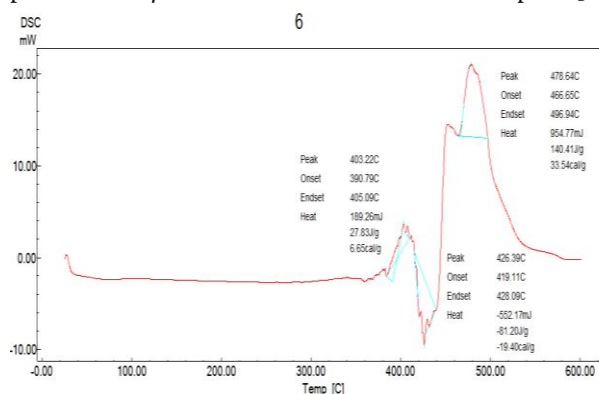
Gambar 3. Grafik DSC Abu Boiler dan *Sludge* Primer

Analisa termal abu boiler dan *sludge* primer dilakukan dengan menggunakan DSC. Kurva DSC untuk kedua sampel tersebut ditampilkan pada Gambar 3. Terlihat bahwa abu boiler memiliki temperatur transisi gelas (T_g) pada suhu 110°C dan *sludge* primer memiliki T_g pada suhu 92 °C. T_g yang tinggi pada abu boiler disebabkan karena abu boiler sudah mengalami pemanasan pada suhu tinggi dan hanya meninggalkan sedikit kandungan air.



Gambar 4. Termogram DSC Polistirena Tergrafting Maleat Anhidrida *Sludge* dan Abu Boiler 60:30:10

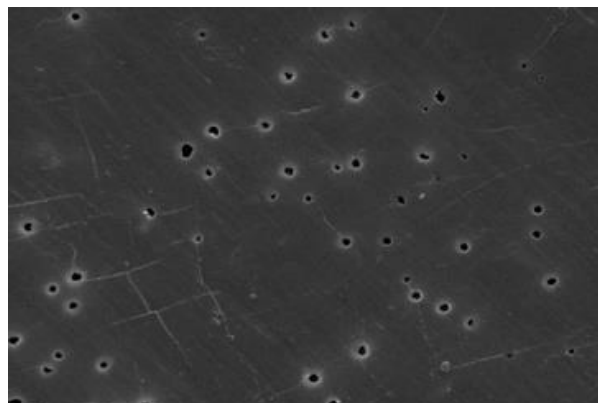
Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai transisi *glass* dari material komposit ini berada pada suhu transisi *glass*nya 427,13°C, suhu kristalisasinya pada 450,48°C dan suhu yang menunjukkan terjadinya ikatan silang pada suhu 480,28°C. Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai transisi *glass* dari material komposit ini berada pada suhu transisi *glass* 403,22°C, suhu kristalisasi pada 426,39°C dan suhu yang menunjukkan terjadinya ikatan silang pada suhu 478,64°C. Perubahan suhu ini dapat disebabkan karena adanya interaksi fisika antara polistirena tergrafting maleat anhidrida, *sludge*, dan abu boiler seperti yang juga akan terlihat pada penjelasan data FTIR. Selain itu, penambahan *filler* ke dalam suatu material komposit [6].



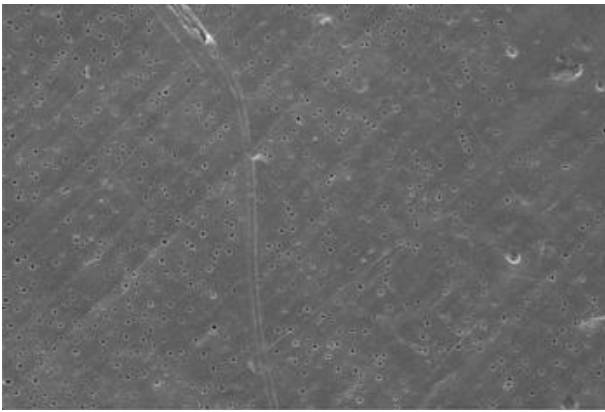
Gambar 5. Termoogram DSC Polistirena Tergrafting Maleat Anhidrida *Sludge* dan Abu Boiler 60:25:15

Analisa Uji Scanning Electron Microscope (SEM)

Uji *Scanning Electron Microscope* dilakukan untuk melihat kemampuan material antara matriks dan *filler* yang dalam hal ini polistirena tergrafting maleat anhidrida dengan limbah pabrik kelapa sawit berupa *sludge* dan abu boiler apakah dapat terdistribusi secara merata yaitu terdispersi secara baik ke dalam polistirena tergrafting maleat anhidrida. Karena dispersi dan distribusi yang buruk dari bahan pengisi dalam matriks polimer menyebabkan penurunan sifat-sifat material komposit yang dihasilkan.



Gambar 6. Foto Hasil SEM Polistirena Tergrafting Maleat Anhidrida *Sludge* dan Abu Boiler (60:30:10) dengan 5000x Perbesaran

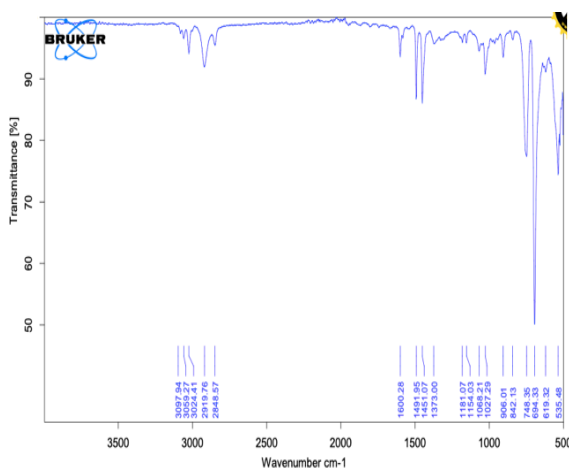


Gambar 7. Foto Hasil SEM Polistirena Tergrafting Maleat Anhidrida *Sludge* dan Abu Boiler (60:25:15) dengan 5000x Perbesaran

Dapat dilihat dari gambar 6 dan 7 bahwa dari hasil SEM kedua sampel material komposit ini mengalami distribusi yang merata. Namun jika dibandingkan keduanya, maka pada variabel kedua atau polistirena tergrafting maleat anhidrida *sludge* dan abu boiler (60:25:15) maka hasil SEM akan terlihat lebih mulus seperti tidak ada lubang (pori). Hal ini dikarenakan dengan adanya abu boiler yang kadar airnya sudah sangat rendah karena telah mengalami pembakaran pada suhu tinggi dan sudah mengalami proses kalsinasi, maka dengan lebih banyaknya abu boiler akan menghasilkan homogenasi material komposit menjadi lebih baik.

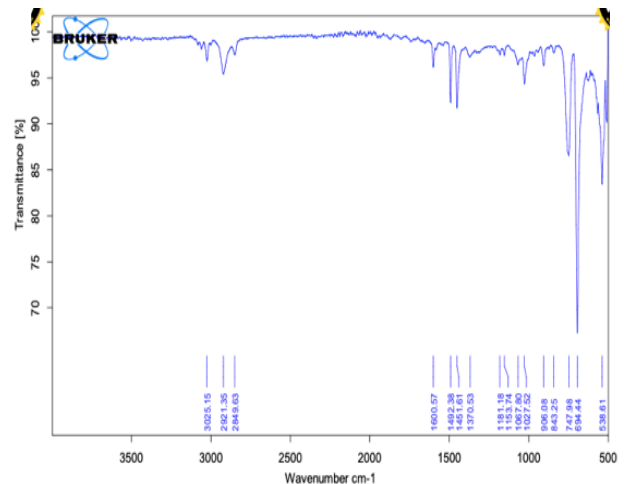
Analisa Fouier-Transform Infrared Spectrometer (FTIR)

Sampel polistirena yang dicangkokkan dengan anhidrida maleat, terdapat puncak pada daerah $1491,95\text{ cm}^{-1}$, yang menunjukkan serapan gugus (C-H) sebagai alkil dari kurva. Untuk ikatan dengan benzena terdapat permukaan serapan kuat hingga lemah pada $1600,28\text{ cm}^{-1}$. Puncak pada $2919,76\text{ cm}^{-1}$ mempunyai serapan yang menunjukkan adanya ikatan C-H dengan benzena.

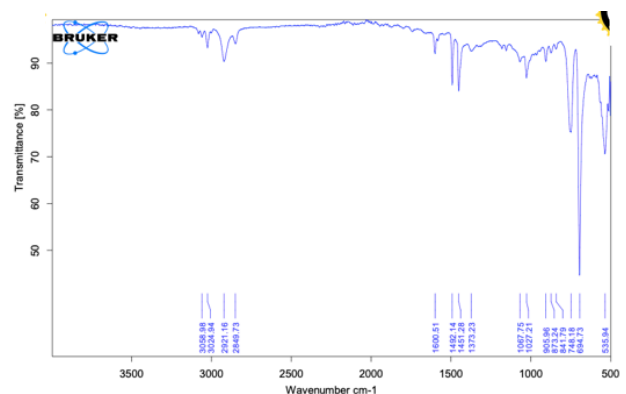


Gambar 8. Gambar Bilangan Gelombang dari Polistirena Tergrafting Maleat Anhidrida

Ikatan serapan (Ar-H) terdapat pada daerah $3059,27\text{ cm}^{-1}$ [11]. Selanjutnya sampel material komposit mengalami penurunan puncak pada daerah serapan $3024,94\text{ cm}^{-1}$ dan $3025,15\text{ cm}^{-1}$. Karakteristik PS pada bilangan gelombang $1600,57\text{ cm}^{-1}$ terlihat lebih tajam. Dari hasil FTIR dapat disimpulkan bahwa Polistirena tergrafting maleat anhidrida, *sludge* dan abu boiler dari limbah pabrik kelapa sawit telah terblending secara fisik, dan ada reaksi kimia dan ikatan kimia yang terbentuk selama proses pencampuran.



Gambar 9. Gambar Bilangan Gelombang dari Polistirena Tergrafting Maleat Anhidrida *Sludge* dan Abu Boiler (60:30:10)



Gambar 10. Gambar Bilangan Gelombang dari Polistirena Tergrafting Maleat Anhidrida *Sludge* dan Abu Boiler (60:25:15)

Uji Daya Serap Suara

Dalam proses pengujian daya serap suara, diperlukan beberapa sifat yang diperhatikan yaitu material komposit ini dapat menyerap suara dengan baik tanpa meneruskannya sehingga tembus suara, namun juga harus cukup berongga agar suara yang diserap tidak memantul kembali keruangan [1]. Pengujian penyerap suara dilakukan pada rentang frekuensi antara 200-1200 Hz [12].

Tabel 3. Nilai Daya Serap Suara pada Material Komposit Polistirena Tergrafting Maleat Anhidrida *Sludge* dan Abu Boiler (60:30:10)

Frekuensi (Hz)	α
125	0,2293
250	0,098
500	0,0067
1000	0,0644
1500	0,2941
2000	0,1648

Seperti dapat dilihat dari perbandingan nilai daya serap suara pada Tabel 3 dan Tabel 4, penambahan abu boiler yang lebih banyak akan meningkatkan nilai ketahanan untuk menyerap suara dikarenakan abu boiler akan meningkatkan kerapatan material komposit yang dihasilkan [13]. Namun, penambahan abu boiler yang terlalu banyak akan mengakibatkan nilai kerapatan material komposit yang terlalu tinggi sehingga akan menimbulkan gema jika dipergunakan untuk penyerap suara karena daya serapnya menjadi rendah namun daya pantulnya meningkat [14].

Tabel 4. Nilai Daya Serap Suara pada Material Komposit Polistirena Tergrafting Maleat Anhidrida *Sludge* dan Abu Boiler (60:25:15)

Frekuensi (Hz)	α
125	0,1325
250	0,0217
500	0,4514
1000	0,0724
1500	0,3385
2000	0,2047

KESIMPULAN

Pembuatan bahan polimer penyerap suara dilakukan dengan menggabungkan busa polistirena dengan limbah pabrik kelapa sawit berupa *sludge* sebagai bahan pengisi dan abu boiler sebagai bahan penguat. Dalam menggabungkan bahan polimer sintetik (polistirena komersil) dengan bahan polimer alam berupa *sludge* dan abu boiler, dilakukan dengan penambahan bahan berupa maleat anhidrida sebagai agen pengikat silang dengan bantuan inisiator benzoyl peroksida. Metode penggabungan matriks polistirena tergrafting maleat anhidrida dengan bahan pengisi berupa limbah pabrik kelapa sawit dilakukan dengan metode pencampuran kering dengan alat internal mixer. Metode pencampuran kering ini dipilih karena dapat menghemat biaya penggunaan bahan kimia berupa pelarut xilena dan metanol, dan juga berhubungan dengan meminimalisasi

dampak lingkungan yang ditimbulkan karena penggunaan bahan kimia. Dari beberapa variabel komposisi optimum komposit polimer yang dihasilkan ada pada kondisi polistirena tergrafting maleat anhidrida: *sludge*: abu boiler pada perbandingan 60:25:15 dengan nilai modulus 856,752 MPa, nilai kuat tarik 6.057 MPa dan nilai kemuluran 0,775%. Pada uji DSC didapatkan nilai suhu transisi glass sebesar 403,22°C, suhu kristalisasi pada 426,39°C dan suhu yang menunjukkan terjadinya ikatan silang pada suhu 478,64°C. Pada uji SEM menunjukkan sebaran material yang merata. Pada uji FT-IR material komposit mengalami penurunan puncak pada daerah serapan 3024,94 cm⁻¹ dan 3025,15 cm⁻¹. Karakteristik PS pada bilangan gelombang 1600,57 cm⁻¹ terlihat lebih tajam. Dan nilai uji daya serap suara telah memenuhi standar ISO 11654:1997 mengenai nilai koefisien absorpsi suara pada bahan untuk ruang dengan serapan suara kelas D dan C dimana nilai α_w adalah 0,328-0,793.

ACKNOWLEDGEMENT

Terimakasih kepada Politeknik Teknologi Kimia Industri Medan yang telah mendanai penelitian ini dengan SK 079/BPSDMI/PTKI/Kep/III/2023, Skema Penelitian Terapan melalui DIPA PTKI Medan Tahun Anggaran 2023

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Muhammad Anees, M. Qasim, and A. Bashir, "PHYSIOLOGICAL AND PHYSICAL IMPACT OF NOISE POLLUTION ON ENVIRONMENT," *Earth Sciences Pakistan*, vol. 1, no. 1, pp. 8–10, Jan. 2017, doi: 10.26480/esp.01.2017.08.10.
- [2] C. D. Pandapotan, M. Mukhlis, and P. Marbun, "Pemanfaatan Limbah Lumpur Padat (*Sludge*) Pabrik Pengolahan Kelapa Sawit Sebagai Alternatif Penyediaan Unsur Hara Di Tanah Ultisol," *Jurnal Agroekoteknologi Universitas Sumatera Utara*, vol. 5, no. 2, 2017, doi: 10.32734/jaet.v5i2.15389.
- [3] T. R. Hidayani, W. Iftari, and E. Salim, "Comparison reflux and melt blending method in preparation of biodegradable plastic from high density polyethylene (HDPE) plastic waste and starch from palm oil empty fruit bunch," *AIP Conf Proc*, vol. 2267, 2020, doi: 10.1063/5.0018746.
- [4] E. Gliscinska, J. P. De Amezaaga, M. Michalak, and I. Krucinska, "Green sound-absorbing composite materials of various structure and profiling," *Coatings*, vol. 11, no. 4, pp. 1–20, 2021, doi: 10.3390/coatings11040407.
- [5] T. R. Hidayani, B. Wirjosentono, D. Y. Nasution, and Tamrin, "Preparation and Characterization of Sound-Absorbent Based on Polystyrene

- Reinforced Primary Sludge and Fly Ash from Pulp Mill,” *International Journal of Technology*, vol. 14, no. 3, pp. 649–658, 2023, doi: 10.14716/ijtech.v14i3.5131.
- [6] E. Pelita, T. R. Hidayani, R. Sari, I. Rusmar, and T. Yuniarti, “Karakteristik plastik biodegradable dari limbah polipropilena dan pati tandan kosong kelapa sawit melalui metode pencampuran kering,” *Majalah Kulit, Karet, dan Plastik*, vol. 36, no. 2, p. 65, 2020, doi: 10.20543/mkcp.v36i2.5841.
- [7] T. R. Hidayani *et al.*, “The effect of sludge from waste paper industry additon as a filler into composite panel based on polypropylene plastic waste and cocofiber,” *AIP Conf Proc*, vol. 2342, 2021, doi: 10.1063/5.0045365.
- [8] T. R. Hidayani, “Grafting Polipropilena Dengan Maleat Anhidrida Sebagai Pengikat Silang Dengan Inisiator Benzoi Peroksida,” *EKSAKTA: Berkala Ilmiah Bidang MIPA*, vol. 19, no. 1, pp. 56–62, 2018, doi: 10.24036/eksakta/vol19-iss1/127.
- [9] E. Pelita, T. R. Hidayani, and A. Akbar, “Analysis physical properties of composites polymer from cocofiber and polypropylene plastic waste with maleic anhydrate as crosslinking agent,” *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 223, no. 1, 2017, doi: 10.1088/1757-899X/223/1/012060.
- [10] R. Hidayani, E. Pelita, and Gusfiyeni, “Analisis sifat fisika pemanfaatan pati tandan kosong sawit dan limbah plastik LDPE sebagai bahan pembuatan plastik biodegradabel Physical properties analysis of the utilization of starch from palm empty fruit bunch and LDPE plastic waste as biodegradable,” *MAajalah Kulit, Karet, Dan Plastik*, vol. 33, no. 1, pp. 29–34, 2017, [Online]. Available: <https://doi.org/10.20543/mkcp.v33i1.2202>
- [11] P. Seminar, N. Kulit, T. R. Hidayani, and E. Pelita, “Analysis the Physical Properties of Composite Wall Panels With Matrix Polypropylene Plastic,” *Prosiding Seminar Nasional Kulit, Karet, dan Plastik*, pp. 1–9, 2018.
- [12] “Acoustics-Sound absorbers for use in buildings-Rating of sound absorption.”
- [13] E. Gliscinska, J. P. De Amezaga, M. Michalak, and I. Krucinska, “Green sound-absorbing composite materials of various structure and profiling,” *Coatings*, vol. 11, no. 4, Apr. 2021, doi: 10.3390/coatings11040407.
- [14] E. Pelita, T. R. Hidayani, and D. Rahmad, “Potency of paper mill waste as recyclable polypropylene filled with coconut fiber composite for mitigational material,” *Rasayan Journal of Chemistry*, vol. 12, no. 3, pp. 1144–1150, 2019, doi: 10.31788/RJC.2019.1235345.