Pemanfaatan Limbah Bio-Massa Sekam Padi Untuk Sintesis Serbuk Bio-Silika Di MAN 1 Banyumas Kabupaten Banyumas

Kartika Sari[1,*], Muflihatun[1], Abiyyu Sayyid Muwaffaq[1] ,Sulis Marsudi[1], Rosi Widarawati[2]
[1]Program Studi Fisika FMIPA, Universitas Jenderal Soedirman, Indonesia
[2]Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, Indonesia
Email korespondensi: kartika.sari@unsoed.ac.id

Abstrak

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat berbasis Riset (PKM-Riset) yang dilaksanakan oleh Dosen Fisika FMIPA Universitas Jenderal Soedirman bertujuan untuk mentransfer teknologi pemanfaatan limbah biomassa sekam padi menjadi serbuk bio-silika kepada guru dan siswa di MAN 1 Banyumas, Purwokerto, Kabupaten Banyumas. Sekam padi merupakan limbah pertanian yang melimpah, tetapi pemanfaatannya masih terbatas sehingga berpotensi menimbulkan masalah lingkungan. Kegiatan ini mengintegrasikan hasil riset perguruan tinggi dengan proses transfer pengetahuan dan teknologi melalui pendekatan edukatif dan praktik langsung. Metode pelaksanaan meliputi sosialisasi mengenai potensi dan manfaat bio-silika, demonstrasi dan praktik sintesis serbuk bio-silika menggunakan metode sol-gel, serta pengenalan teknik karakterisasi material. Kegiatan ini diikuti oleh 30 siswa yang terlibat dalam proses pembelajaran dan praktik pemanfaatan abu sekam padi sebagai bahan baku biosilika. Evaluasi dilakukan melalui kuesioner untuk mengetahui perubahan tingkat pemahaman dan keterampilan peserta sebelum dan sesudah kegiatan. Hasil evaluasi menunjukkan peningkatan pengetahuan dan keterampilan peserta dari 45% menjadi 85%. Peserta juga memperoleh pemahaman mengenai tahapan sintesis, karakteristik bio-silika, serta potensi pemanfaatannya sebagai material pendukung dalam pengembangan teknologi energi terbarukan. Kendala utama yang dihadapi selama kegiatan adalah keterbatasan fasilitas dan tenaga pendukung. Secara keseluruhan, kegiatan PKM-Riset menunjukkan bahwa transfer teknologi berbasis riset melalui kolaborasi antara perguruan tinggi dan sekolah dapat meningkatkan kapasitas peserta dalam mengolah limbah biomassa menjadi material bernilai tambah. Kegiatan ini juga mendukung penerapan teknologi tepat guna berbasis kearifan lokal serta penguatan pemanfaatan sumber daya lokal secara berkelanjutan.

Kata kunci: Abu sekam padi; Bio-Silika; Limbah Bio-Massa; Metode sol-gel.;

I. PENDAHULUAN

Kabupaten Banyumas merupakan salah satu wilayah agraris di Provinsi Jawa Tengah dengan sektor pertanian sebagai penopang utama perekonomian masyarakat. Komoditas padi merupakan komoditas pertanian dominan yang secara langsung menghasilkan limbah biomassa berupa sekam padi dalam jumlah besar. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), sekitar 20–23% dari bobot gabah merupakan sekam padi yang sebagian besar belum dimanfaatkan secara optimal dan masih dibakar secara terbuka atau dibuang sebagai limbah. Praktik ini berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan, menurunkan kualitas udara, serta menyia-nyiakan potensi sumber daya alam yang bernilai tinggi. Secara ilmiah, sekam padi mengandung silika (SiO_2) dalam kadar yang sangat tinggi. Abu sekam padi hasil pembakaran terkontrol diketahui mengandung silika amorf hingga 85–95% yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku bio-silika (Setyawan et al., 2021).

Sekam padi memiliki potensi yang semakin banyak dikaji sebagai sumber silika karena merupakan biomassa terbarukan yang tersedia dalam jumlah besar dan mengandung fraksi silika yang relatif tinggi. Setelah melalui proses pembakaran atau perlakuan termal yang terkendali, abu sekam padi dapat memiliki kandungan silika amorf yang tinggi sehingga lebih mudah dimanfaatkan sebagai bahan baku material berbasis silika. Kajian terbaru menunjukkan bahwa sekam padi dapat diolah menjadi silika melalui beberapa pendekatan, antara lain metode termal, ekstraksi alkali, presipitasi kimia, hidrotermal, dan sol-gel.

Pemanfaatan sumber biomassa tersebut juga memberikan nilai tambah karena dapat mengurangi ketergantungan terhadap sumber silika konvensional sekaligus mendukung pemanfaatan limbah pertanian secara berkelanjutan (Islam et al., 2024; Nzereogu et al., 2023; Rodriguez-Otero et al., 2023; Sawasdee & Pisutpaisal, 2022).

Metode sol-gel menjadi salah satu pendekatan yang sesuai untuk diperkenalkan dalam kegiatan berbasis riset karena tahapan prosesnya dapat dijelaskan melalui konsep kimia yang sederhana. Pada proses tersebut, silika dari abu sekam padi terlebih dahulu dilarutkan dalam larutan basa untuk membentuk larutan silikat. Larutan tersebut kemudian mengalami proses pengasaman sehingga terbentuk gel silika yang selanjutnya dicuci, disaring, dan dikeringkan. Penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi larutan basa, kondisi pengasaman, pH, temperatur, dan waktu proses dapat memengaruhi karakteristik silika yang dihasilkan. Hasil karakterisasi menggunakan FTIR dan XRD juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi serta menentukan sifat amorf atau kristalin material. Dengan demikian, metode sol-gel tidak hanya menghasilkan produk bio-silika, tetapi juga dapat menjadi media pembelajaran untuk menghubungkan konsep reaksi kimia dengan teknologi material (Alhadhrami et al., 2022; Aprilia et al., 2023; Fusinato et al., 2023; Setyawan et al., 2021).

Pemanfaatan sekam padi sebagai sumber bio-silika juga memiliki keterkaitan dengan konsep ekonomi sirkular dan waste-to-resource. Limbah pertanian yang sebelumnya memiliki nilai guna terbatas dapat diarahkan menjadi bahan baku material yang memiliki potensi pemanfaatan lebih lanjut. Silika hasil sekam padi telah dikaji untuk berbagai aplikasi, seperti material komposit, adsorben, membran, katalis, material berpori, dan bahan pendukung untuk teknologi energi. Oleh karena itu, pengenalan proses sintesis bio-silika kepada siswa dapat memberikan gambaran bahwa permasalahan lingkungan dapat dihubungkan dengan pengembangan teknologi dan inovasi material. Pendekatan tersebut dapat memperkuat pemahaman siswa mengenai hubungan antara sumber daya lokal, proses ilmiah, dan produk bernilai tambah (Chun & Lee, 2020; Ginting et al., 2022; Haider et al., 2022; Nzereogu et al., 2023).

Dalam konteks pendidikan, kegiatan pemanfaatan sekam padi sebagai bahan baku bio-silika dapat dikembangkan sebagai pembelajaran berbasis masalah dan proyek karena peserta didik berhadapan langsung dengan persoalan nyata di lingkungan sekitar. Peserta tidak hanya menerima informasi mengenai limbah biomassa, tetapi juga terlibat dalam proses pengamatan, pengolahan bahan, sintesis, dan evaluasi produk. Pendekatan seperti ini memberikan kesempatan kepada siswa untuk menghubungkan konsep sains dengan teknologi, lingkungan, dan kebutuhan masyarakat. Integrasi tersebut sejalan dengan pembelajaran STEM yang menempatkan permasalahan nyata sebagai konteks untuk mengembangkan pengetahuan konseptual, keterampilan praktis, kemampuan pemecahan masalah, dan minat terhadap kegiatan riset (Santhosh et al., 2023). Oleh sebab itu, transfer teknologi sintesis bio-silika melalui kegiatan PKM dapat menjadi sarana untuk memperkuat literasi sains sekaligus memperkenalkan pemanfaatan potensi lokal secara berkelanjutan. Hal ini memperkuat keterkaitan antara penelitian perguruan tinggi dan pendidikan sekolah.

Sekolah MAN 1 Purwokerto Kabupaten Banyumas, sebagai mitra kegiatan, merupakan lembaga pendidikan menengah berbasis madrasah yang memiliki jumlah siswa cukup besar serta mata pelajaran sains, seperti kimia dan IPA terpadu. Secara geografis, lokasi sekolah berada di wilayah perkotaan–perdesaan transisi yang dekat dengan sentra pertanian padi, sehingga ketersediaan bahan baku sekam padi relatif melimpah dan mudah diakses (Park et al., 2023). Dari sisi sumber daya manusia, guru-guru Man 1 Banyumas Kabupaten Banyumas, memiliki kompetensi akademik yang baik, sementara siswa menunjukkan minat yang cukup tinggi terhadap kegiatan praktikum dan eksperimen sains. Meskipun demikian, hasil observasi awal dan diskusi dengan pihak sekolah menunjukkan bahwa pembelajaran sains masih didominasi oleh pendekatan teoritis dan praktikum yang konvensional. Pemanfaatan potensi lokal, khususnya limbah biomassa pertanian, sebagai bahan ajar dan objek riset belum

dimanfaatkan secara optimal. Kegiatan praktikum berbasis riset yang mengintegrasikan isu lingkungan, teknologi, dan keberlanjutan masih sangat terbatas, baik karena keterbatasan akses terhadap teknologi, pengetahuan tentang sintesis material, maupun pendampingan dari pihak eksternal. Permasalahan mitra dapat diidentifikasi dalam beberapa aspek utama. Pertama, belum ada sistem pengelolaan dan pemanfaatan limbah sekam padi yang edukatif dan berkelanjutan di lingkungan sekolah. Kedua, keterbatasan pengetahuan dan keterampilan guru dan siswa dalam mengolah limbah biomassa menjadi produk fungsional berbasis sains dan riset. Ketiga, belum terbentuknya budaya riset dan pembelajaran berbasis proyek (project-based learning) yang kontekstual dan dapat diterapkan. Keempat, minimnya transfer hasil riset perguruan tinggi kepada satuan pendidikan menengah merupakan bagian dari upaya penguatan ekosistem sains dan inovasi (Perdana, 2021)).

Bio-silika memiliki nilai strategis karena aplikasinya yang luas, antara lain sebagai material fungsional, adsorben pencemar, bahan pendukung energi, dan media pembelajaran sains berbasis riset (Muwaffaq et al., 2026) Namun demikian, pemanfaatan limbah sekam padi menjadi produk bernilai tambah masih terbatas pada lingkup penelitian perguruan tinggi dan belum banyak ditransfer kepada masyarakat, khususnya satuan pendidikan menengah. Melalui program ini, siswa akan diajak untuk mengidentifikasi potensi lokal, memahami prinsip-prinsip kimia dan rekayasa material, serta menerapkan pengetahuan tersebut dalam proses sintesis bio-silika. Kegiatan ini diharapkan mampu meningkatkan literasi sains dan kesadaran lingkungan siswa, sejalan dengan tujuan penguatan sinergi antara perguruan tinggi dan sekolah menengah dalam pengembangan sains terapan berbasis potensi lokal serta prinsip keberlanjutan. Program ini juga bertujuan untuk membekali siswa dengan keterampilan praktis dalam pengolahan limbah biomassa, menumbuhkan jiwa inovatif, dan mendorong minat riset sejak dini di kalangan siswa madrasah (Sari et al., 2025). Pengabdian dilakukan sebagai dukungan pada asta cita 1, 2, dan 3, sekaligus menerapkan prinsip keberlanjutan dan green chemistry melalui pemanfaatan limbah biomassa sebagai sumber silika aman, efisien, dan ramah lingkungan berbasis local wisdom, dan mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan atau Sustainable Development Goals (SDGs) poin 4 dan 17.

Analisis situasi tersebut menunjukkan bahwa diperlukan kegiatan pengabdian kepada masyarakat berbasis riset yang berorientasi pada alih teknologi dan pemberdayaan mitra. Program "Alih Teknologi Pemanfaatan Limbah Bio-Massa Sekam Padi untuk Sintesis Serbuk Bio-Silika di Man 1 Banyumas Kabupaten Banyumas" dirancang sebagai solusi atas permasalahan mitra melalui pendekatan partisipatif dan edukatif (Wang et al., 2024). Kegiatan ini mengintegrasikan hasil riset perguruan tinggi dengan proses pelatihan, pendampingan, dan praktik langsung sintesis bio-silika menggunakan metode yang sederhana, aman, dan sesuai dengan fasilitas sekolah. Melalui kegiatan ini, guru dan siswa diharapkan dapat meningkatkan kapasitas pengetahuan dan keterampilan dalam pemanfaatan limbah biomassa, sekaligus menumbuhkan kesadaran lingkungan serta minat terhadap riset sains terapan. Selain menghasilkan produk serbuk bio-silika sebagai luaran berbasis riset, program ini juga diharapkan mampu memperkuat pembelajaran sains kontekstual serta menjadi model pengabdian berbasis riset yang berkelanjutan dan dapat direplikasi di satuan pendidikan lainnya (Sari et al., 2023). Dengan demikian, kegiatan ini berkontribusi pada penguatan sinergi antara perguruan tinggi dan sekolah dalam mendukung pembangunan pendidikan, lingkungan, serta inovasi teknologi berbasis potensi lokal.

II. METODE

Metode pelaksanaan kegiatan PKM berbasis riset dirancang melalui tiga tahapan utama, yaitu sosialisasi, pelatihan, dan penerapan teknologi pemanfaatan limbah biomassa sekam padi menjadi bio-silika. Tahap sosialisasi dilakukan untuk memberikan pemahaman awal kepada peserta mengenai pengertian bio-silika, karakteristik dan jenis limbah biomassa,

potensi sekam padi sebagai sumber silika, prinsip sintesis bio-silika, serta aplikasinya dalam bidang material dan energi terbarukan. Tahap pelatihan diawali dengan persiapan bahan dan peralatan yang akan digunakan selama kegiatan. Peserta diperkenalkan pada prosedur pengolahan sekam padi, kemudian melakukan proses pembakaran sekam padi hingga diperoleh abu sekam padi sebagai bahan awal untuk sintesis. Selanjutnya, tahap penerapan teknologi dilakukan melalui proses sintesis bio-silika menggunakan metode sol-gel. Abu sekam padi terlebih dahulu diekstraksi menggunakan larutan basa untuk memperoleh larutan silikat, kemudian dilakukan pengasaman hingga terbentuk gel silika. Gel yang diperoleh selanjutnya dicuci, disaring, dan dikeringkan hingga menghasilkan serbuk bio-silika. Tahap akhir dilakukan melalui penghalusan dan pengamatan terhadap karakteristik fisik serbuk yang dihasilkan. Uji fungsi dilakukan untuk mengetahui potensi pemanfaatan bio-silika sebagai material pendukung dalam aplikasi teknologi energi terbarukan. Evaluasi kegiatan dilakukan melalui kuesioner sebelum dan setelah pelaksanaan untuk mengetahui perubahan tingkat pengetahuan dan keterampilan peserta. Seluruh tahapan dilaksanakan secara partisipatif melalui demonstrasi, praktik langsung, diskusi, dan pendampingan dari tim pelaksana.

1. Partisipasi Mitra dalam Pelaksanaan PKM

Para peserta yang terdiri dari guru dan siswa/siswi Man 1 Banyumas Kabupaten Banyumasberjumlah 30 orang, aktif berpartisipasi dan terlibat langsung dalam kegiatan PKM berbasis riset berupa penyediaan ruang laboratorium untuk pelatihan pembuatan bio-silika dari sekam padi dengan metode sol-gel.

2. Evaluasi pelaksanaan program dan keberlanjutan program di lapangan setelah kegiatan selesai dilaksanakan

Evaluasi kegiatan dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan pelaksanaan program PKM berbasis riset serta memastikan keberlanjutan program setelah kegiatan selesai. Indikator keberhasilan meliputi peningkatan pengetahuan dan keterampilan peserta, kemampuan mengikuti tahapan sintesis, serta keberhasilan dalam menghasilkan serbuk bio-silika dari abu sekam padi. Target keberhasilan ditetapkan sebagai minimal 80% peserta mengalami peningkatan pemahaman dan minimal 80% peserta mampu mengikuti tahapan sintesis dengan benar. Pengukuran peningkatan pengetahuan dilakukan melalui pre-test dan post-test menggunakan kuesioner yang memuat pertanyaan mengenai limbah biomassa, bio-silika, prinsip sintesis, dan aplikasinya. Peningkatan keterampilan diukur menggunakan lembar observasi selama praktik berdasarkan kemampuan peserta dalam menyiapkan bahan dan alat, melakukan pembakaran sekam padi, ekstraksi, pembentukan gel, pencucian, penyaringan, pengeringan, dan penghalusan. Keberhasilan penerapan teknologi ditunjukkan dengan terbentuknya serbuk bio-silika pada setiap kelompok peserta, yang diamati berdasarkan karakteristik fisik serta hasil pengujian yang tersedia. Persentase keberhasilan dihitung dengan membandingkan jumlah peserta yang memenuhi kriteria dengan jumlah total peserta. Keberlanjutan program dilakukan melalui pendampingan dan pemantauan agar mitra mampu menerapkan proses sintesis secara mandiri. Hasil evaluasi dan dokumentasi digunakan sebagai dasar pengembangan kegiatan serta penguatan kerja sama antara perguruan tinggi dan sekolah.

Kriteria keberhasilan kegiatan

1. Peningkatan pengetahuan dan keterampilan siswa MAN 1 Banyumas, khususnya dalam pemanfaatan limbah biomassa, khususnya sekam padi, secara intensif, mencapai lebih dari 70%. Evaluasi yang digunakan untuk menilai keberhasilan pelatihan adalah membandingkan jumlah peserta yang berhasil membuat bio-silika dari sekam padi. Kriteria evaluasi yang digunakan yaitu:
   - Nilai ≤ 50% : pelatihan kurang berhasil (keterampilan peserta kurang);
   - Nilai 51%-70% : pelatihan cukup berhasil (keterampilan peserta cukup);

- Nilai > 70% : pelatihan berhasil dengan baik (keterampilan peserta meningkat).

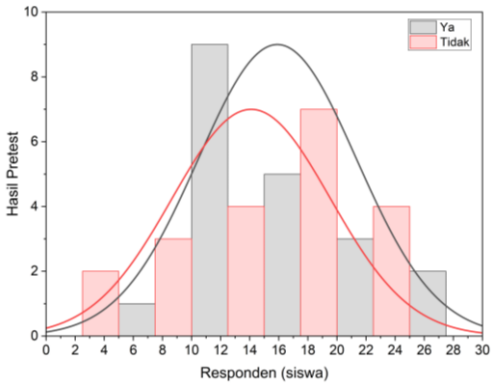
2. Peningkatan pengetahuan tentang energi terbarukan dan teknologi hijau dengan capaian lebih dari 70%. Evaluasi yang digunakan untuk menilai keberhasilan pelatihan adalah membandingkan jumlah peserta yang telah melakukan kegiatan sebelumnya dengan benar dengan jumlah total peserta pelatihan. Kriteria evaluasi yang digunakan yaitu:
   - Nilai ≤ 50% : pelatihan kurang berhasil (keterampilan peserta kurang);
   - Nilai 51%-70% : pelatihan cukup berhasil (keterampilan peserta cukup);
   - Nilai > 70% : pelatihan berhasil dengan baik (keterampilan peserta meningkat).

3. Pembuatan prototipe produk bio-silika dari sekam padi dengan capaian lebih dari 70%. Evaluasi yang digunakan untuk menilai keberhasilan pelatihan adalah membandingkan jumlah peserta yang dapat membuat serbuk bio-silika sekam padi dengan benar sebelum pelatihan dengan jumlah total peserta pelatihan. Kriteria evaluasi yang digunakan yaitu:
   - Nilai ≤ 50% : pelatihan kurang berhasil (keterampilan peserta kurang);
   - Nilai 51%-70% : pelatihan cukup berhasil (keterampilan peserta cukup);
   - Nilai > 70% : pelatihan berhasil dengan baik (keterampilan peserta meningkat).

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Hasil

Data hasil Pre-Test sebelum penyuluhan dan pelatihan pemanfaatan limbah biomassa sekam padi untuk sintesis serbuk bio-silika menggunakan metode sol-gel di MAN 1 Banyumas, yang telah ditampilkan pada Gambar 1.

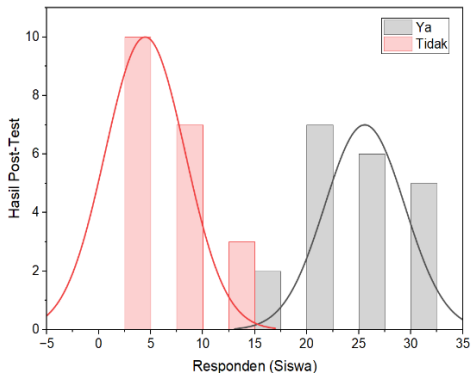


Gambar 1. Hasil Pre-Test Sebelum dilakukan Penyuluhan dan Pelatihan

Gambar 1 menunjukkan distribusi hasil pretest peserta sebelum pelaksanaan kegiatan pemanfaatan limbah biomassa sekam padi menjadi bio-silika. Hasil jawaban kuesioner peserta secara umum menunjukkan bahwa siswa mengetahui pemanfaatan limbah biomassa sekam padi untuk sintesis serbuk bio-silika menggunakan metode sol-gel di Man 1 Banyumas Kabupaten Banyumas, serta kegunaan dan manfaatnya. Hasil pretest digunakan sebagai gambaran kondisi awal pengetahuan dan pemahaman peserta mengenai konsep pemanfaatan limbah sekam padi, bio-silika, serta proses pengolahannya. Distribusi data menunjukkan adanya variasi respons antarpeserta, yang mengindikasikan bahwa tingkat pemahaman awal terhadap topik yang diberikan belum seragam. Pada kelompok respons "Ya", frekuensi tertinggi terlihat pada interval sekitar 10–12 responden, dengan frekuensi sekitar 9 responden. Sementara itu, pada kategori "Tidak", frekuensi relatif tinggi terlihat pada interval sekitar 16–20 responden, dengan frekuensi maksimum sekitar 7 responden. Tumpang tindih kedua distribusi menunjukkan bahwa peserta memiliki tingkat pengetahuan awal yang

beragam sebelum menerima intervensi berupa penyuluhan dan praktik sintesis bio-silika. Secara keseluruhan, pola tersebut menunjukkan bahwa sebagian peserta telah memiliki pengetahuan awal mengenai pemanfaatan limbah atau konsep yang berkaitan dengan bio-silika, sedangkan sebagian lainnya masih menunjukkan tingkat pemahaman yang lebih rendah. Kondisi heterogen tersebut penting diperhatikan dalam perancangan kegiatan karena materi dan demonstrasi perlu disampaikan secara bertahap, mulai dari konsep dasar limbah biomassa, kandungan silika pada sekam padi, prinsip ekstraksi silika, hingga pembentukan serbuk bio-silika.

Pendekatan tersebut sesuai dengan prinsip pembelajaran berbasis proyek dan STEM, yang menempatkan permasalahan nyata sebagai konteks untuk mengembangkan pemahaman konseptual dan keterampilan pemecahan masalah. Dalam konteks kegiatan ini, sekam padi sebagai limbah pertanian menjadi objek nyata yang dapat digunakan untuk menghubungkan konsep sains, teknologi, lingkungan, serta pemanfaatan sumber daya lokal. Data hasil Post-Test setelah penyuluhan dan pelatihan pemanfaatan limbah biomassa sekam padi untuk sintesis serbuk biosilika menggunakan metode sol-gel di Man 1 Banyumas Kabupaten BanyumasKabupaten Banyumas, yang telah dilakukan seperti pada Gambar 2.

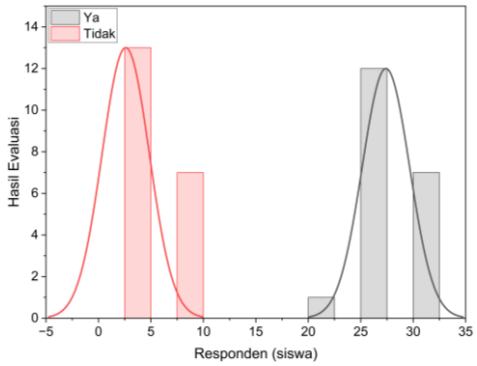


Gambar 2. Hasil Post-Test Setelah dilakukan Penyuluhan dan Pelatihan

Hasil jawaban kuesioner pada Gambar 2 menunjukkan distribusi hasil posttest peserta setelah pelaksanaan kegiatan pemanfaatan limbah biomassa sekam padi untuk sintesis bio-silika. Posttest dilakukan untuk mengevaluasi perubahan pemahaman peserta setelah menerima penyampaian materi, demonstrasi, dan praktik terkait pemanfaatan sekam padi sebagai sumber silika. Berdasarkan distribusi respons pada grafik, kelompok jawaban "Ya" terkonsentrasi pada rentang respons sekitar 20–30 peserta, dengan frekuensi tertinggi sekitar 7 peserta pada nilai 20, diikuti sekitar 6 peserta pada nilai 25 dan 5 peserta pada nilai 30. Sebaliknya, kelompok jawaban "Tidak" terkonsentrasi pada rentang yang lebih rendah, yaitu sekitar 3–12 peserta, dengan frekuensi tertinggi sekitar 10 peserta pada nilai 3–5. Pola tersebut menunjukkan adanya perbedaan distribusi yang cukup jelas antara respons "Ya" dan "Tidak" setelah kegiatan dilaksanakan. Pemisahan distribusi tersebut mengindikasikan bahwa sebagian besar peserta menunjukkan respons yang lebih positif terhadap materi dan pengalaman pembelajaran yang diberikan. Konsentrasi respons "Ya" pada nilai yang lebih tinggi dapat mengindikasikan bahwa peserta memiliki tingkat penerimaan atau pemahaman yang lebih baik setelah mengikuti kegiatan. Sementara itu, konsentrasi respons "Tidak" pada nilai yang lebih rendah menunjukkan bahwa respons negatif relatif lebih terbatas pada kelompok peserta tertentu. Secara pedagogis, pola ini menunjukkan bahwa kegiatan berbasis praktik mengenai sintesis bio-silika mampu memberikan pengalaman belajar yang lebih konkret sehingga peserta dapat menghubungkan konsep pemanfaatan limbah biomassa dengan proses pengolahan material. Namun, interpretasi tersebut tetap harus dikaitkan dengan bentuk pertanyaan yang digunakan dalam instrumen posttest, karena distribusi "Ya"

dan "Tidak" tidak dapat secara langsung disamakan dengan tingkat pengetahuan tanpa mengetahui konstruk yang diukur oleh masing-masing pertanyaan.

Data hasil kuesioner evaluasi pemanfaatan limbah biomassa sekam padi untuk sintesis serbuk bio-silika menggunakan metode sol-gel di MAN 1 Banyumas, Kabupaten Banyumas, seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Evaluasi Setelah dilakukan Penyuluhan dan Pelatihan

Hasil jawaban kuesioner pada Gambar 3 menunjukkan distribusi respons peserta terhadap evaluasi pelaksanaan kegiatan PKM pembuatan bio-silika dari abu sekam padi. Instrumen evaluasi terdiri atas 11 pertanyaan dengan respons biner, yaitu "Ya" dan "Tidak". Pertanyaan yang diberikan tidak hanya mengevaluasi pemahaman peserta terhadap materi pelatihan, tetapi juga mencakup pemahaman mengenai proses pembuatan bio-silika, pemanfaatan abu sekam padi, prinsip kerja bio-silika pada elektrolit baterai, kualitas produk, faktor-faktor yang memengaruhi proses sintesis, serta keterbatasan bio-silika sebagai material elektrolit. Selain aspek pengetahuan, instrumen juga mengevaluasi ketertarikan peserta untuk mempelajari bio-silika dari sumber biomassa lain, mengembangkan pembelajaran lebih lanjut, serta menghasilkan karya ilmiah. Berdasarkan grafik, distribusi respons menunjukkan perbedaan yang jelas antara kategori "Ya" dan "Tidak". Respons "Ya" terkonsentrasi pada rentang sekitar 20–32 peserta, sedangkan respons "Tidak" terkonsentrasi pada rentang sekitar 2–10 peserta. Pada kategori "Ya", frekuensi terbesar berada pada kisaran 25–30 responden, sedangkan pada kategori "Tidak", frekuensi terbesar berada pada kisaran 0–5 responden. Pola tersebut menunjukkan bahwa pada sebagian besar indikator evaluasi, jumlah peserta yang memberikan respons positif relatif lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah peserta yang memberikan respons negatif. Dengan demikian, secara deskriptif, kegiatan PKM memperoleh respons yang cenderung positif dari peserta, baik dari aspek pemahaman materi maupun ketertarikan terhadap pengembangan bio-silika.

Pola respons positif tersebut terutama berkaitan dengan aspek konseptual dan praktis dari kegiatan. Butir pertanyaan 1–4 mengevaluasi pemahaman peserta mengenai bio-silika, proses sintesisnya, serta pemanfaatan abu sekam padi, sedangkan butir 6–7 mengevaluasi pemahaman mengenai kualitas produk dan faktor-faktor yang memengaruhi proses sintesis. Dominasi respons "Ya" menunjukkan bahwa kombinasi antara penyampaian materi secara teoritis dan demonstrasi praktik memberikan pengalaman pembelajaran yang membantu peserta memahami bagaimana limbah pertanian dapat dikonversi menjadi material berbasis silika bernilai tambah. Hasil tersebut penting karena kegiatan ini tidak hanya memperkenalkan konsep pemanfaatan limbah, tetapi juga memperkenalkan dasar pemikiran penelitian yang menghubungkan bahan baku, kondisi proses, kualitas material, dan potensi aplikasinya.

Hasil evaluasi juga menunjukkan bahwa kegiatan ini berhasil memperkenalkan hubungan antara bio-silika dan teknologi energi terbarukan. Aspek ini penting karena memperluas proses pembelajaran dari sekadar sintesis materi menjadi pemahaman tentang fungsi dan potensi aplikasinya. Dengan demikian, peserta diperkenalkan pada konsep bahwa

pengembangan suatu material tidak hanya mempertimbangkan potensi keunggulannya, tetapi juga harus memperhatikan keterbatasan dan karakteristik material tersebut saat diterapkan dalam suatu sistem teknologi. Selain aspek pemahaman, kuesioner juga menunjukkan adanya potensi pengaruh kegiatan terhadap minat peserta untuk melakukan penelitian. Evaluasi ketertarikan peserta juga untuk mempelajari bio-silika dari sumber tumbuhan lain, mengembangkan penelitian lebih lanjut mengenai silika berbasis biomassa, serta mengembangkan hasil pembelajaran dalam bentuk karya ilmiah. Distribusi respons positif pada aspek tersebut menunjukkan bahwa kegiatan ini berpotensi mendorong peserta untuk memperluas pembelajaran di luar materi yang diberikan selama pelatihan. Temuan ini menjadi salah satu luaran penting dalam kegiatan PKM berbasis riset karena menunjukkan bahwa kegiatan tidak hanya berfungsi sebagai sarana transfer pengetahuan, tetapi juga dapat menjadi stimulus awal bagi tumbuhnya ketertarikan terhadap penelitian dan pembelajaran berbasis riset.

Secara keseluruhan, hasil evaluasi menunjukkan bahwa kegiatan PKM menghasilkan respons peserta yang didominasi oleh kategori positif pada indikator yang dievaluasi. Temuan tersebut menunjukkan bahwa program mampu mengintegrasikan aspek kesadaran lingkungan, ilmu material, teknologi energi terbarukan, dan pembelajaran berorientasi pada penelitian dalam satu rangkaian kegiatan. Pemanfaatan abu sekam padi sebagai sumber bio-silika memberikan konteks nyata bagi peserta untuk memahami bahwa limbah biomassa dapat dikembangkan menjadi material bernilai tambah melalui pendekatan sains dan teknologi. Meskipun demikian, hasil evaluasi ini perlu diposisikan sebagai bukti deskriptif mengenai respons peserta, bukan sebagai bukti definitif mengenai efektivitas pembelajaran. Kesimpulan kuantitatif yang lebih kuat memerlukan analisis pada tingkat setiap butir pertanyaan berupa jumlah dan persentase jawaban "Ya" dan "Tidak", serta perbandingan skor pretest dan posttest dari peserta yang sama.

B. Diskusi

Diskusi kegiatan pelaksanaan PKM berbasis riset di Man 1 Banyumas Kabupaten Banyumas tentang pemanfaatan limbah biomassa sekam padi untuk sintesis serbuk bio-silika menggunakan metode sol-gel dan pelaksanaan dilakukan 2 tahapan yaitu sosialisasi dan pelatihan yang dihadiri oleh 30 siswa adalah :

1. Pelaksanaan Kegiatan dan Respons Peserta

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) berbasis riset dengan judul Pemanfaatan Limbah Bio-Massa Sekam Padi untuk Sintesis Serbuk Bio-Silika di Man 1 Banyumas Kabupaten Banyumas, dilaksanakan sebagai wujud penerapan hasil penelitian dan teknologi material di lingkungan pendidikan menengah. Kegiatan ini bertujuan untuk memperkenalkan konsep pemanfaatan limbah biomassa melalui pendekatan sains, teknologi, dan lingkungan, dengan menjadikan sekam padi sebagai bahan baku untuk menghasilkan serbuk biosilika. Pemilihan sekam padi sebagai bahan kegiatan didasarkan pada ketersediaannya sebagai limbah pertanian sekaligus kandungan silika yang relatif tinggi, sehingga memiliki nilai tambah apabila dikonversi menjadi material fungsional. Berbagai kajian menunjukkan bahwa sekam padi merupakan sumber silika berbasis biomassa yang potensial karena dapat diolah melalui pendekatan kimia, termal, maupun sol-gel menjadi silika dengan karakteristik yang dapat disesuaikan untuk berbagai aplikasi.

Pelaksanaan kegiatan dilakukan secara partisipatif dengan melibatkan guru dan siswa. Tahapan kegiatan mencakup penyampaian materi tentang potensi limbah sekam padi, pengenalan konsep biosilika, serta demonstrasi dan praktik sintesis. Pendekatan tersebut memberikan pengalaman belajar yang tidak hanya bersifat teoritis, tetapi juga memungkinkan peserta mengamati secara langsung perubahan bahan selama proses pengolahan. Model kegiatan seperti ini relevan dengan pendekatan project-based learning karena peserta

berhadapan dengan permasalahan nyata, yaitu limbah biomassa, kemudian diarahkan untuk memahami proses ilmiah dalam menghasilkan produk material. Literatur pendidikan STEM menunjukkan bahwa kegiatan berbasis proyek yang berangkat dari persoalan lingkungan dapat mendorong kolaborasi, praktik ilmiah, pemecahan masalah, serta kemampuan menghubungkan konsep sains dengan permasalahan dalam kehidupan nyata.

Hasil evaluasi kegiatan menunjukkan adanya peningkatan pemahaman peserta dari 45% pada kondisi awal menjadi 85% setelah kegiatan. Peningkatan sebesar 40 poin persentase tersebut menunjukkan bahwa kegiatan tidak hanya berhasil memperkenalkan sekam padi sebagai limbah pertanian, tetapi juga meningkatkan pemahaman peserta mengenai potensi pemanfaatannya sebagai bahan baku material bernilai tambah. Perubahan tersebut menjadi indikator penting bahwa metode penyampaian yang mengombinasikan penjelasan konseptual dengan praktik langsung lebih mudah diterima oleh para peserta. Peningkatan pemahaman tersebut juga menunjukkan bahwa pengenalan teknologi material dapat dilakukan pada tingkat sekolah menengah apabila materi disusun secara bertahap dan dikaitkan dengan fenomena yang dekat dengan kehidupan peserta didik. Sekam padi merupakan contoh yang sangat relevan karena mudah ditemukan di lingkungan masyarakat agraris dan umumnya belum dipandang sebagai bahan baku untuk material modern. Dengan demikian, peserta tidak hanya mempelajari konsep silika secara abstrak, tetapi juga memahami bahwa limbah yang selama ini dianggap tidak bernilai dapat bertransformasi menjadi material yang bernilai guna. Pendekatan berbasis masalah nyata seperti ini penting dalam pendidikan sains karena membantu peserta didik memahami hubungan antara konsep ilmiah, teknologi, lingkungan, dan kebutuhan masyarakat.

2. Pemanfaatan Sekam Padi sebagai Sumber Bio-Silika

Salah satu hasil penting dari kegiatan ini adalah meningkatnya pemahaman mengenai konsep valorisasi limbah biomassa, yaitu mengubah limbah menjadi produk bernilai tambah yang lebih tinggi. Sekam padi secara umum mengandung komponen organik dan anorganik, dengan silika sebagai salah satu komponen anorganik utamanya. Ketika sekam mengalami proses pembakaran atau pengolahan tertentu, fraksi organiknya dapat berkurang sehingga menghasilkan abu sekam padi yang kaya akan silika. Kondisi tersebut menjadikan sekam padi menarik sebagai sumber alternatif silika dibandingkan dengan bahan baku mineral konvensional. Kajian terbaru menunjukkan bahwa sekam padi dan abu sekam padi telah banyak dikaji sebagai sumber silika karena sifatnya yang terbarukan, berbiaya relatif rendah, dan tersedia dalam jumlah besar sebagai hasil samping industri pertanian. Nzereogu et al. menjelaskan bahwa berbagai metode dapat digunakan untuk memperoleh silika dari sekam padi, termasuk metode termal, ekstraksi alkali, presipitasi kimia, hidrotermal, dan sol-gel. Kajian tahun 2025 juga menegaskan bahwa sekam padi merupakan sumber biomassa yang potensial untuk menghasilkan silika dan berbagai material turunan, sementara kondisi praperlakuan dan metode ekstraksi memengaruhi kemurnian, morfologi, ukuran partikel, serta struktur silika yang dihasilkan. Dalam konteks kegiatan PKM, konsep tersebut menjadi penting karena peserta diperkenalkan pada paradigma bahwa pengelolaan limbah tidak selalu berhenti pada proses pembuangan atau pembakaran, tetapi dapat diarahkan menuju sirkularitas material. Sekam padi yang sebelumnya memiliki nilai ekonomi terbatas dapat diproses menjadi bahan dasar material anorganik. Dengan demikian, kegiatan ini memiliki dua dimensi manfaat, yaitu dimensi lingkungan melalui pengurangan potensi limbah dan dimensi teknologi melalui pengenalan sintesis material berbasis sumber daya lokal.

3. Pemahaman Proses Sintesis Bio-Silika melalui Metode Sol-Gel

Kegiatan praktik sintesis memberikan kesempatan kepada peserta untuk memahami bahwa pembentukan bio-silika bukan sekadar proses fisik penghalusan sekam, tetapi juga melibatkan tahapan kimia yang memungkinkan silika dipisahkan dan dikonversi menjadi

material yang lebih terkontrol. Metode sol-gel yang diperkenalkan dalam kegiatan merupakan salah satu pendekatan yang banyak digunakan dalam sintesis silika berbasis sekam padi. Secara umum, proses tersebut melibatkan transformasi silika menjadi spesies silikat dalam kondisi basa, dilanjutkan dengan pengasaman untuk membentuk kembali jaringan silika dalam bentuk gel, kemudian dilakukan pencucian dan pengeringan untuk memperoleh serbuk. Secara kimia, proses tersebut dapat direpresentasikan secara sederhana melalui reaksi pelarutan silika dalam basa dan pembentukan kembali silika melalui pengasaman. Silika dalam abu sekam dapat bereaksi dengan NaOH membentuk natrium silikat, kemudian spesies silikat tersebut dapat dipresipitasi menjadi SiO_2 melalui penambahan asam. Literatur terbaru menjelaskan bahwa ekstraksi alkali dan proses presipitasi merupakan pendekatan penting untuk memperoleh silika dari abu sekam padi, sedangkan parameter seperti konsentrasi basa, temperatur, waktu reaksi, pH, pencucian, dan pengeringan dapat memengaruhi sifat produk akhir. Dari perspektif pembelajaran, praktik tersebut memberikan pengalaman penting karena peserta dapat menghubungkan konsep kimia yang dipelajari di sekolah dengan proses material yang sebenarnya. Perubahan bentuk bahan selama tahapan sintesis dapat digunakan untuk menjelaskan konsep reaksi kimia, kelarutan, pengendapan, pH, pemisahan, dan pembentukan material. Dengan demikian, kegiatan ini tidak hanya memperkenalkan produk bio-silika, tetapi juga menunjukkan bagaimana konsep-konsep dasar sains dapat digunakan untuk menyelesaikan persoalan lingkungan. Hasil penelitian terdahulu memperkuat bahwa metode berbasis sol-gel dapat menghasilkan silika amorf dari abu sekam padi. Aprilia et al. menunjukkan bahwa sintesis silika amorf dari abu sekam padi dapat dilakukan menggunakan pendekatan alkali dan sol-gel, dengan karakterisasi yang meliputi FTIR, XRD, SEM, serta analisis ukuran partikel. Penelitian lain juga berhasil menghasilkan serbuk silika berbasis abu sekam padi melalui pembentukan larutan natrium silikat dan proses presipitasi, dengan karakteristik struktur dan morfologi yang dipengaruhi oleh kondisi sintesis.

4. Peningkatan Literasi Sains dan Keterampilan Praktis

Dari sisi pendidikan, kegiatan ini memberikan hasil yang lebih luas daripada sekadar meningkatkan pengetahuan tentang silika. Peserta memperoleh pengalaman dalam mengikuti prosedur ilmiah secara sistematis, mulai dari identifikasi bahan baku, pemahaman prinsip proses, pengamatan perubahan material, hingga pembahasan kemungkinan karakterisasi produk. Proses tersebut berpotensi memperkuat keterampilan dasar penelitian, seperti observasi, pencatatan, interpretasi fenomena, dan penyusunan kesimpulan berdasarkan hasil pengamatan. Peningkatan pemahaman dari 45% menjadi 85% menunjukkan bahwa kegiatan praktik dapat menjadi sarana yang efektif untuk menjembatani kesenjangan antara pengetahuan teoritis dan penerapannya. Selain itu, pengenalan karakterisasi material memberikan wawasan bahwa produk yang dihasilkan tidak cukup hanya dinilai secara visual, tetapi perlu diverifikasi menggunakan instrumen ilmiah. Misalnya, FTIR dapat digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan ikatan Si–O–Si, XRD dapat digunakan untuk mengevaluasi struktur amorf atau kristalin, SEM dapat memberikan informasi tentang morfologi dan ukuran partikel, sedangkan XRF dapat digunakan untuk mengevaluasi komposisi unsur. Penelitian terhadap silika sekam padi menunjukkan bahwa kombinasi karakterisasi tersebut penting untuk memastikan keberhasilan sintesis serta memahami hubungan antara kondisi proses dan sifat material. Dengan demikian, peserta diperkenalkan pada pola pikir bahwa suatu produk penelitian harus melalui proses sintesis–karakterisasi–interpretasi–evaluasi, bukan hanya menghasilkan material secara fisik. Hal tersebut merupakan fondasi penting dalam membangun budaya riset di lingkungan sekolah.

5. Kontribusi terhadap Kesadaran Lingkungan dan Ekonomi Sirkular

Kegiatan PKM berbasis riset juga memiliki relevansi yang kuat dengan isu lingkungan. Pemanfaatan sekam padi sebagai sumber bio-silika merupakan contoh konkret penerapan

konsep waste-to-resource, yaitu mengubah limbah menjadi sumber daya baru. Pendekatan ini semakin penting dalam konteks ekonomi sirkular karena memungkinkan sebagian material yang sebelumnya masuk ke sistem pembuangan untuk dikembalikan ke siklus produksi. Peserta tidak hanya diarahkan untuk memahami bahwa limbah harus dikurangi, tetapi juga diperkenalkan pada pertanyaan yang lebih konstruktif: bagaimana limbah dapat diubah menjadi produk bernilai tambah? Pertanyaan semacam ini dapat mendorong kreativitas dan pola pikir yang inovatif.

6. Kendala dan Potensi Pengembangan Kegiatan

Meskipun kegiatan ini memberikan hasil positif, terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan untuk pengembangan program selanjutnya. Pertama, sintesis bio-silika merupakan proses yang relatif kompleks apabila dilakukan secara lengkap, sehingga diperlukan penyederhanaan prosedur tanpa menghilangkan prinsip ilmiahnya ketika diterapkan pada siswa sekolah menengah. Kedua, penggunaan bahan kimia dalam proses ekstraksi dan presipitasi membutuhkan pengawasan ketat, penggunaan alat pelindung diri, serta penerapan prosedur keselamatan laboratorium. Ketiga, keberhasilan sintesis sebaiknya tidak hanya dievaluasi berdasarkan perubahan visual atau terbentuknya serbuk, tetapi juga melalui karakterisasi material. Keterbatasan lain adalah bahwa peningkatan skor pengetahuan dari 45% menjadi 85% menunjukkan perubahan hasil belajar dalam konteks kegiatan, tetapi belum secara otomatis membuktikan keberlanjutan pemahaman atau perubahan perilaku dalam jangka panjang. Evaluasi lanjutan melalui tes tindak lanjut, observasi kegiatan siswa, atau proyek lanjutan akan memberikan bukti yang lebih kuat tentang keberlanjutan dampak program. Hal ini penting karena efektivitas pembelajaran berbasis proyek dipengaruhi oleh metode evaluasi, durasi kegiatan, model pembelajaran, dan karakteristik peserta.

7. Implikasi Kegiatan terhadap Penguatan Kemitraan Sekolah dan Perguruan Tinggi

Secara keseluruhan, kegiatan PKM di Man 1 Banyumas Kabupaten Banyumas, menunjukkan bahwa kolaborasi antara perguruan tinggi dan sekolah dapat menjadi sarana yang efektif untuk mentransfer pengetahuan dan teknologi material ke tingkat pendidikan menengah. Perguruan tinggi berperan sebagai sumber pengetahuan, metodologi, dan pengalaman penelitian, sedangkan sekolah menyediakan lingkungan pembelajaran yang memungkinkan teknologi tersebut dikontekstualisasikan sesuai dengan tingkat pemahaman siswa. Model kemitraan semacam ini penting karena kegiatan penelitian yang dilakukan di perguruan tinggi dapat memperoleh jalur diseminasi yang lebih luas melalui pendidikan. Sebaliknya, sekolah memperoleh akses terhadap perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang mungkin belum tersedia dalam pembelajaran reguler.

Berdasarkan keseluruhan hasil, kegiatan pemanfaatan limbah biomassa sekam padi menjadi bio-silika tidak hanya menghasilkan luaran berupa produk material, tetapi juga luaran berupa pengetahuan, keterampilan, literasi lingkungan, dan pengalaman penelitian. Peningkatan pemahaman peserta dari 45% menjadi 85% menunjukkan bahwa pendekatan praktik langsung mampu memberikan dampak pembelajaran yang nyata dalam konteks kegiatan ini. Pada saat yang sama, pemanfaatan sekam padi menunjukkan bagaimana sumber daya lokal dapat dikembangkan menjadi material bernilai tambah melalui pendekatan sains dan teknologi. Dengan demikian, kegiatan ini dapat dipandang sebagai model awal hilirisasi penelitian material berbasis biomassa di lingkungan sekolah. Keunggulan utamanya terletak pada integrasi tiga aspek sekaligus, yaitu pemecahan masalah lingkungan melalui pemanfaatan limbah, pengenalan teknologi sintesis material, dan penguatan literasi STEM peserta didik. Ke depan, keberlanjutan program dapat diperkuat melalui karakterisasi produk secara kuantitatif, pengembangan produk turunan, evaluasi dampak jangka panjang terhadap pengetahuan dan perilaku siswa, serta pembentukan kegiatan riset berkelanjutan antara Man 1 Banyumas Kabupaten Banyumas dan perguruan tinggi. Dengan pendekatan tersebut,

sekam padi tidak lagi diposisikan hanya sebagai limbah pertanian, tetapi sebagai sumber bahan baku alternatif untuk pengembangan material fungsional sekaligus sebagai media pembelajaran sains yang kontekstual dan berorientasi pada keberlanjutan. Luaran kegiatan diharapkan dapat berkontribusi pada penguatan kolaborasi antara perguruan tinggi dan sekolah dalam pengembangan teknologi tepat guna berbasis potensi dan kearifan lokal.

IV. KESIMPULAN

Kegiatan pemanfaatan limbah biomassa sekam padi untuk sintesis serbuk biosilika yang dilaksanakan di Man 1 Banyumas Kabupaten Banyumas, menunjukkan bahwa limbah sekam padi memiliki potensi yang baik untuk dikembangkan sebagai sumber bahan baku biosilika sekaligus sebagai upaya pemanfaatan limbah pertanian yang bernilai guna. Proses sintesis dilakukan melalui tahapan preparasi sekam padi, pembakaran untuk menghasilkan abu sekam padi, serta ekstraksi dan pengendapan silika hingga diperoleh serbuk biosilika. Hasil kegiatan menunjukkan bahwa sekam padi yang selama ini lebih banyak dipandang sebagai limbah dapat diolah menjadi material berbasis silika melalui metode yang relatif sederhana dan dapat diperkenalkan di lingkungan pendidikan. Pelaksanaan kegiatan ini juga memberikan pengalaman langsung kepada peserta dalam memahami keterkaitan antara konsep sains, pengelolaan limbah, dan pengembangan material bernilai tambah. Pengenalan proses sintesis biosilika dapat memperkuat pemahaman peserta mengenai kandungan anorganik dalam biomassa, khususnya silika yang terdapat dalam sekam padi, serta tahapan perubahan material selama proses pengolahan. Selain aspek sintesis, kegiatan ini juga menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah biomassa dapat menjadi salah satu pendekatan untuk mendukung penerapan prinsip ekonomi sirkular melalui konversi limbah menjadi produk yang memiliki potensi pemanfaatan lebih lanjut. Biosilika yang dihasilkan berpotensi dikembangkan untuk berbagai aplikasi material, termasuk sebagai bahan pendukung dalam teknologi energi terbarukan dan sebagai material elektrolit. Dengan demikian, kegiatan di Man 1 Banyumas Kabupaten Banyumas tidak hanya berkontribusi pada peningkatan pengetahuan peserta mengenai sintesis dan karakterisasi biosilika, tetapi juga mendorong terbentuknya kesadaran akan pentingnya pengelolaan limbah berbasis teknologi. Secara keseluruhan, kegiatan ini menunjukkan bahwa pemanfaatan sekam padi sebagai sumber biosilika dapat menjadi alternatif edukatif dan aplikatif untuk mengintegrasikan pembelajaran sains dengan pemanfaatan sumber daya lokal secara berkelanjutan. Pengembangan kegiatan serupa dengan karakterisasi material yang lebih lengkap dan pendampingan berkelanjutan diperlukan untuk meningkatkan pemahaman peserta serta mengoptimalkan potensi biosilika sebagai material bernilai tambah.

ACKNOWLEDGEMENT

Ucapan terima kasih kepada Universitas Jenderal Soedirman melalui Program Pengabdian kepada Masyarakat Berbasis Riset Tahun 2026 atas pendanaannya dengan Nomor Kontrak : 1948/UN23/PM.00.01/2026 tanggal 13 April 2026, serta kepada kepala sekolah dan siswa Man 1 Banyumas Kabupaten Banyumas, atas kerja samanya dalam kegiatan PKM dosen Prodi Fisika FMIPA Unsoed.

REFERENCES

Alhadhrami, A., Mohamed, G. G., Sadek, A. H., Ismail, S. H., Ebnalwaled, A. A., & Almalki, A. S. A. (2022). Behavior of Silica Nanoparticles Synthesized from Rice Husk Ash by the Sol–Gel Method as a Photocatalytic and Antibacterial Agent. *Materials*, *15*(22). https://doi.org/10.3390/ma15228211

Aprilia, S., Rosnelly, C. M., Zuhra, Fitriani, F., Haffiz Akbar, E., Raqib, M., Rahmah, K.,

Amin, A., & Baity, R. A. (2023). Synthesis of amorphous silica from rice husk ash using the sol–gel method: Effect of alkaline and alkaline concentration. *Materials Today: Proceedings*, *87*, 225–229. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.02.403

Chun, J., & Lee, J. H. (2020). Recent progress on the development of engineered silica particles derived from rice husk. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(24), 1–19. https://doi.org/10.3390/su122410683

Fusinato, M. D., da Silva Amaral, M. A. F., de Irigon, P. I., Calgaro, C. O., de los Santos, D. G., & Filho, P. J. S. (2023). Silica extraction from rice hull ash through the sol–gel process under ultrasound. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(8), 21494–21511. https://doi.org/10.1007/s11356-022-23687-1

Ginting, E. M., Bukit, N., Motlan, M., & Sani, R. A. (2022). Data extraction of nano silica as a potential filler in nanocomposites from rice husk ash with ballmill and coprecipitation methods. *Data in Brief*, *45*, 108656. https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108656

Haider, J. Bin, Haque, M. I., Hoque, M., Hossen, M. M., Mottakin, M., Khaleque, M. A., Johir, M. A. H., Zhou, J. L., Ahmed, M. B., & Zargar, M. (2022). Efficient extraction of silica from openly burned rice husk ash as adsorbent for dye removal. *Journal of Cleaner Production*, *380*, 135121. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135121

Islam, M. T., Hossen, M. F., Asraf, M. A., Kudrat-E-Zahan, M., & Zakaria, C. M. (2024). Production and Characterization of Silica from Rice Husk: An Updated Review. *Asian Journal of Chemical Sciences*, *14*(2), 83–96. https://doi.org/10.9734/ajocs/2024/v14i2296

Muwaffaq, A. S., Marsudi, S., & Sari, K. (2026). Synthesis and characterization of fly ash-derived silica for potential application in solid polymer electrolytes. *Jurnal Polimesin*, *24*(4), 654–660.

Nzereogu, P. U., Omah, A. D., Ezema, F. I., Iwuoha, E. I., & Nwanya, A. C. (2023). Silica extraction from rice husk: Comprehensive review and applications. *Hybrid Advances*, *4*(August), 100111. https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2023.100111

Park, J. Y., Gu, Y. M., Chun, J., Sang, B. I., & Lee, J. H. (2023). Pilot-scale continuous biogenic silica extraction from rice husk by one-pot alkali hydrothermal treatment and ball milling. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, *10*(1), 1–7. https://doi.org/10.1186/s40538-023-00479-4

Perdana, F. A. (2021). Baterai Lithium. *INKUIRI: Jurnal Pendidikan IPA*, *9*(2), 113. https://doi.org/10.20961/inkuiri.v9i2.50082

Rodriguez-Otero, A., Vargas, V., Galarneau, A., Castillo, J., Christensen, J. H., & Bouyssiere, B. (2023). Sustainable Harnessing of SiO2 Nanoparticles from Rice Husks: A Review of the Best Synthesis and Applications. *Processes*, *11*(12). https://doi.org/10.3390/pr11123373

Santhosh, M., Farooqi, H., Ammar, M., Siby, N., Bhadra, J., Al-Thani, N. J., Sellami, A., Fatima, N., & Ahmad, Z. (2023). A Meta-Analysis to Gauge the Effectiveness of STEM Informal Project-Based Learning: Investigating the Potential Moderator Variables. *Journal of Science Education and Technology*, *32*(5), 671–685. https://doi.org/10.1007/s10956-023-10063-y

Sari, K., Sunardi, Isnen, Y. Z., Utomo, A. B. S., Toruan, P. L., & Khoryanton, A. (2025). Effect of palm fiber volume fraction for enhancing the physical and mechanical properties of epoxy composites. *Jurnal Polimesin*, *23*(1), 64–69. https://doi.org/10.30811/jpl.v23i1.5692

Sari, K., Sunardi, Panunggul, D. A., Utomo, A. B. S., Toruan, P. L., & Khoryanton, A. (2023). Natural Dyes as a Natural Dyes as a Photosensitizer from Dragon Fruit (Hylocereus polyrhizus) for Dye-Sensitized Solar Cells. *Jurnal Polimesin*, *21*(1), 4–8. http://e-jurnal.pnl.ac.id/polimesin

Sawasdee, V., & Pisutpaisal, N. (2022). Rice Husk Ash Characterization and Utilization as a source of Silica Material. *Chemical Engineering Transactions*, *93*, 79-84 SE-Research Articles. https://doi.org/10.3303/CET2293014

Setyawan, N., Hoerudin, & Yuliani, S. (2021). Synthesis of silica from rice husk by sol-gel method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *733*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/733/1/012149

Wang, M., Chen, D., Wang, H., & Gao, W. (2024). A review on fly ash high-value synthesis utilization and its prospect. *Green Energy and Resources*, *2*(1), 100062. https://doi.org/10.1016/j.gerr.2024.100062