

Strengthening The Batik Home Industry Through Natural Dye Powder Innovation and Ultrasonic Dyeing Technology

Samsudin Anis*¹, Sonika Maulana², Deni Fajar Fitriyana³, Zaenal Abidin⁴, Retno Marlengen⁵, Adhi Kusumastuti⁶, Arasinah Kamis⁷

^{1,6}Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

^{2,3}Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

⁴Teknik Informatika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

⁵Pendidikan Tata Busana, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Indonesia

⁷Home Economics, Faculty of Technical and Vocational, Universiti Pendidikan Sultan Idris, Malaysia

*e-mail: samsudin_anis@mail.unnes.ac.id¹

Artikel dikirim: 18 Agustus 2025; Revisi-1: 3 September 2025; Revisi-2: 6 September 2025; Diterima: 7 September 2025; Dipublikasikan : 13 September 2025

Abstrak

Program pengabdian masyarakat ini bertujuan untuk menyebarluaskan pemanfaatan bubuk pewarna alami yang dikombinasikan dengan teknik pewarnaan berbantuan ultrasonik pada industri batik rumahan guna meningkatkan keberlanjutan dan efisiensi produksi. Program ini melibatkan 25 perajin batik yang berpartisipasi dalam sesi pelatihan, demonstrasi praktik, serta evaluasi pra-tes dan pasca-tes menggunakan instrumen tervalidasi yang terdiri dari sepuluh pertanyaan pilihan ganda tentang teknologi pewarnaan alami. Hasil menunjukkan peningkatan pemahaman peserta yang signifikan, dengan skor rata-rata pra-tes 56,8 meningkat menjadi 89,2 pada pasca-tes. Analisis efektivitas ternormalisasi (N-Gain) menghasilkan nilai 0,75, yang dikategorikan tinggi, menunjukkan efektivitas program dalam mentransfer pengetahuan dan keterampilan. Temuan ini menegaskan bahwa pewarnaan berbantuan ultrasonik dengan pewarna alami bubuk menawarkan keunggulan dalam hal waktu pemrosesan yang lebih singkat, penetrasi pewarna yang lebih baik, dan pewarnaan yang lebih konsisten dibandingkan metode konvensional. Selain hasil teknis, program ini berkontribusi dalam memberdayakan perajin lokal dengan memperkenalkan metode inovatif namun praktis yang selaras dengan praktik tekstil berkelanjutan. Kondisi tersebut menunjukkan pentingnya keterlibatan kolaboratif universitas-masyarakat dalam mempromosikan inovasi ramah lingkungan yang melestarikan warisan budaya sekaligus memperkuat daya saing industri batik rumahan.

Kata Kunci: Industri Batik, Pewarna Alami, Pewarnaan Ultrasonik, Spray Dryer, Ultrasonic Bath

Abstract

This community service program addressed the limitations of conventional batik dyeing methods, which are energy- and water-intensive as well as produce inconsistent results, by introducing natural dye powders combined with ultrasonic-assisted dyeing techniques. The program engaged 25 batik artisans through training, hands-on practice, and knowledge assessment. Participants' understanding of natural dyeing technology significantly improved, with the average score rising from 56.8 to 89.2, equivalent to a high N-Gain value of 0.75. In addition to increased knowledge, artisans reported shorter processing times, better dye penetration, and more consistent color results compared to conventional methods. These improvements enhance production efficiency and environmental sustainability in partner communities. The program not only transferred technical skills but also empowered artisans by demonstrating practical innovations aligned with sustainable textile practices. Overall, this initiative highlighted the value of university-community collaboration in promoting environmentally friendly solutions that preserving cultural heritage while strengthening the competitiveness of the home-based batik industry.

Keywords: Batik Industry, Natural Dyes, Spray Dryer, Ultrasonic Bath, Ultrasonic Dyeing

1. PENDAHULUAN

Industri tekstil tetap menjadi salah satu sektor yang paling membebani lingkungan secara global. Khususnya, tahap pewarnaan dan penyelesaian merupakan titik kritis, yang menyumbang sekitar 36% dari dampak lingkungan dari keseluruhan rantai pasokan tekstil—disebabkan oleh penggunaan air yang berlebihan (diperkirakan 125 liter per kilogram kapas yang diwarnai), konsumsi energi yang tinggi, dan ketergantungan pada bahan kimia beracun (Lara, L. et al., 2022; Pizzicato, B. et al., 2023). Di tengah meningkatnya kekhawatiran lingkungan dan target keberlanjutan yang ketat sejalan dengan Agenda 2030 PBB, terdapat kebutuhan mendesak akan alternatif yang lebih ramah lingkungan untuk pewarna sintesis konvensional, yang mendominasi penggunaan di pasaran tetapi menyebabkan polusi air, tanah, dan udara yang signifikan serta seringkali mengandung senyawa karsinogenik atau berbahaya (Pizzicato, B. et al., 2023). Di Indonesia, produksi batik merupakan warisan budaya yang vital sekaligus sumber penghidupan bagi masyarakat setempat. Namun, para pengrajin mitra menghadapi beberapa tantangan: keterbatasan keterampilan dalam teknik pewarnaan modern, ketergantungan pada proses konvensional yang boros energi dan air, biaya produksi yang tinggi, serta rendahnya daya saing produk di pasar yang semakin kompetitif. Keterbatasan ini menghambat para pengrajin untuk mengadopsi praktik yang lebih berkelanjutan dan meningkatkan efisiensi produksi.

Dalam beberapa tahun terakhir, pewarna alami—yang berasal dari sumber hayati terbarukan—telah melonjak minatnya berkat sifatnya yang tidak beracun, dapat terurai secara hayati, dan signifikansi budayanya (Devi, S. et al., 2025; Kumar, N. & Singh, S., 2025). Namun, meskipun mendapat perhatian baru, adopsi pewarna alami secara luas menghadapi tantangan yang signifikan. Keterbatasan utama meliputi ketahanan luntur warna yang buruk, afinitas yang rendah terhadap beragam substrat tekstil, masalah reproduktifitas warna, dan kekhawatiran biaya tinggi, yang semuanya menghambat implementasi skala industri di luar konteks kerajinan khusus (El-Bassuony, A.A.H. et al., 2025; Pizzicato, B. et al., 2023).

Teknologi yang sedang berkembang seperti ekstraksi dan pewarnaan berbantuan ultrasonik menawarkan solusi yang menjanjikan. Perlakuan ultrasonik secara signifikan meningkatkan penyerapan pewarna, keseragaman warna, dan kecepatan pemrosesan—bahkan pada suhu yang lebih rendah—sehingga menghasilkan penghematan energi dan peningkatan ketahanan luntur warna. Sebagai contoh, ekstraksi ultrasonik pewarna alami dari daun *Dillenia indica* dan pewarnaan kapas organik mencapai ketahanan luntur warna yang sangat baik tanpa menggunakan bahan kimia tambahan apa pun (Banna, B.U. et al., 2023; Rashid, A. et al., 2024). Serupa dengan itu, studi tentang pewarnaan ultrasonik sutra dan katun telah menunjukkan peningkatan kekuatan dan ketahanan luntur warna dibandingkan dengan metode konvensional (Mia, M., 2019; Shokry, G. et al., 2010).

Meskipun demikian, kesenjangan pengetahuan dan adopsi yang substansial masih ada di tingkat komunitas dan produksi skala kecil. Para perajin batik rumahan, terutama di daerah penghasil tekstil tradisional, seringkali kekurangan akses pelatihan tentang teknik pewarnaan berkelanjutan dan canggih seperti ultrasonik dan pewarna alami *spray dry*—meskipun teknik-teknik tersebut menawarkan keunggulan lingkungan dan kualitas yang jelas. Kesenjangan ini menghadirkan peluang ilmiah sekaligus sosial-ekonomi: penerapan inovasi berbasis riset ke dalam praktik tidak hanya dapat meningkatkan keberlanjutan lingkungan, tetapi juga memberdayakan praktisi lokal melalui peningkatan efisiensi, kualitas produk, dan daya saing pasar.

Oleh karena itu, program pengabdian masyarakat ini dirancang untuk menjembatani kesenjangan tersebut. Dengan memperkenalkan teknik pewarnaan berbantuan ultrasonik dan bubuk pewarna alami *spray dry*, program ini bertujuan untuk mendorong inovasi yang ramah lingkungan dalam produksi batik rumahan di mana dukungan teknis seringkali terbatas. Urgensi inisiatif ini ditegaskan oleh kebutuhan global yang mendesak untuk mentransformasi praktik pewarnaan tekstil menuju solusi yang berkelanjutan, terukur, dan inklusif.

2. METODE

2.1. Desain Penelitian

Program pengabdian masyarakat ini mengadopsi desain pra-eksperimental satu kelompok, yaitu pra-tes dan pasca-tes, yang umumnya digunakan untuk mengukur peningkatan pengetahuan setelah intervensi. Desain ini melibatkan pemberian tes pengetahuan terstruktur kepada peserta sebelum dan sesudah program pelatihan. Selisih antara skor pra-tes dan pasca-tes kemudian dianalisis untuk menilai efektivitas kegiatan diseminasi (Creswell, J. & Guetterman, T., 2018).

2.2. Peserta

Peserta terdiri dari 25 anggota industri batik rumahan yang berlokasi di Desa Malon, Kecamatan Gunungpati, Kota Semarang. Peserta dipilih secara *purposive* karena keterlibatan aktif dalam produksi batik tradisional dan minat dalam mengadopsi metode pewarnaan ramah lingkungan. Peserta terdiri dari produsen batik skala kecil, pengrajin, dan asisten yang bertanggung jawab atas proses pewarnaan.

2.3. Bahan dan Instrumen

Program ini menggunakan bahan ajar dan instrumen evaluasi:

a. Bahan ajar meliputi:

- Modul pelatihan tentang metode pewarnaan alami menggunakan teknologi ultrasonik.
- Kit demonstrasi yang terdiri dari peralatan ultrasonic bath, bubuk pewarna alami, mordan (seperti tawas dan agen berbasis tanin), dan sampel kain katun.
- Alat bantu visual berupa slide PowerPoint, handout, dan panduan praktik.

b. Instrumen evaluasi terdiri dari:

- Tes pengetahuan yang terdiri dari 10 pertanyaan pilihan ganda (masing-masing bernilai 10 poin) yang membahas aspek konseptual, prosedural, keamanan, dan inovasi pewarnaan alami berbantuan ultrasonik.
- Lembar observasi yang digunakan oleh fasilitator untuk memantau keterlibatan peserta selama sesi praktik.

Instrumen uji divalidasi oleh tiga pakar (dua di bidang kimia tekstil dan satu di bidang pendidikan vokasi) untuk memastikan validitas dan reliabilitas isi.

2.4. Prosedur Pelaksanaan

Program diseminasi dilaksanakan dalam empat tahap utama:

a. Tahap Persiapan

- Koordinasi dengan tokoh masyarakat setempat dan kelompok pengrajin batik.
- Pengembangan dan validasi materi pelatihan dan instrumen uji.
- Persiapan peralatan ultrasonic bath dan sampel pewarna *spray dry*.

b. Pelaksanaan Pra-Tes

- Pada awal program, peserta menyelesaikan 10 pertanyaan pra-tes untuk mengukur pengetahuan dasar mereka.
- Pra-tes dilakukan dalam format berbasis kertas di bawah pengawasan untuk memastikan standarisasi.

c. Pelatihan dan Demonstrasi

Sesi pelatihan dibagi menjadi tiga kegiatan:

- Kuliah dan Diskusi: Pengantar prinsip-prinsip pewarnaan ultrasonik, pentingnya pewarna alami berkelanjutan, dan keunggulan teknologi bubuk *spray dry*.
- Demonstrasi Praktis: Fasilitator mendemonstrasikan langkah demi langkah persiapan larutan pewarna, prosedur pewarnaan ultrasonik, teknik mordan, langkah-langkah keamanan, dan pencucian pasca-pewarnaan.

- Praktik Langsung: Peserta dibagi menjadi kelompok-kelompok kecil dan melakukan uji coba pewarnaan menggunakan ultrasonic bath dengan bubuk pewarna alami *spray dry*.
- d. Pelaksanaan Pasca-Tes
- Di akhir program, peserta menyelesaikan 10 pertanyaan tes yang sama untuk mengevaluasi perolehan pengetahuan.
 - Skor dibandingkan dengan hasil pra-tes untuk menilai peningkatan.

2.5. Instrumen Tes

Instrumen utama yang digunakan untuk mengevaluasi pengetahuan peserta adalah tes pilihan ganda 10 pertanyaan yang diberikan sebagai pra-tes dan pasca-tes. Pertanyaan yang diajukan mencakup pemahaman konseptual dan aspek praktis pewarnaan alami berbantuan ultrasonik, meliputi:

- a. Fungsi utama *ultrasonic bath* dalam pewarnaan tekstil.
- b. Manfaat teknologi ultrasonik untuk bubuk pewarna alami.
- c. Mekanisme gelombang ultrasonik dalam proses pewarnaan.
- d. Persiapan larutan bubuk pewarna alami sebelum aplikasi.
- e. Keunggulan pewarnaan imersi ultrasonik dibandingkan metode konvensional.
- f. Peran kontrol suhu dalam pewarnaan ultrasonik.
- g. Pentingnya mordan dalam pewarnaan alami dengan *ultrasonic bath*.
- h. Tindakan pencegahan keselamatan dalam pengoperasian *ultrasonic bath*.
- i. Praktik terbaik dalam membilas kain setelah pewarnaan ultrasonik.
- j. Keunggulan bubuk pewarna alami kering semprot untuk pewarnaan ultrasonik.

Setiap jawaban yang benar diberi skor 10 poin, dengan total skor berkisar antara 0 hingga 100. Instrumen ini digunakan untuk mengukur pengetahuan dasar (pra-tes) dan peningkatan pengetahuan setelah pelatihan (pasca-tes). Meskipun tes pra-pasca memberikan ukuran yang jelas tentang peningkatan pengetahuan, evaluasi tersebut tidak mencakup observasi langsung terhadap perubahan praktik pewarnaan para pengrajin. Program-program mendatang akan lebih bermanfaat jika menggabungkan observasi tersebut untuk menangkap dampak praktis pelatihan secara lebih komprehensif.

2.6. Analisis Data

Efektivitas diukur dengan *n gain score* dengan persamaan sebagai berikut:

$$g = \frac{\text{post} - \text{pre}}{10 - \text{pre}} \quad (1)$$

dimana:

g = skor *n-gain*
post = nilai paska tes
pre = nilai pra tes

kriteria:

tinggi ($g \geq 0.7$)
sedang ($0.3 \leq g < 0.7$)
rendah ($g < 0.3$)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

Kegiatan diseminasi pemanfaatan bubuk pewarna alami yang dikombinasikan dengan teknik pewarnaan berbantuan ultrasonik pada industri batik rumahan di Desa Malon, Kecamatan Gunungpati, Kota Semarang telah terlaksana sesuai tahapan yang direncanakan. Setelah tahap persiapan dan pra-tes, kegiatan dilanjutkan dengan materi dan diskusi, demonstrasi, dan praktik langsung seperti ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Pemaparan materi dan diskusi (a), serta demonstrasi pewarnaan berbantuan *ultrasonic* (b)



Gambar 2. Peserta praktik menggunakan alat pewarnaan berbantuan *ultrasonic* (a), dan produk batik hasil uji coba (b)

Evaluasi program diseminasi dilakukan melalui desain pra-tes dan pasca-tes untuk mengukur peningkatan pengetahuan peserta mengenai metode pewarnaan alami berbantuan ultrasonik. Sebanyak 25 peserta dari industri batik rumahan menyelesaikan kedua penilaian tersebut. Pra-tes bertujuan untuk mengukur pemahaman awal mereka tentang konsep, prosedur, langkah-langkah keamanan, dan inovasi terkait pewarnaan ultrasonik, sementara pasca-tes mengukur pengetahuan yang diperoleh setelah sesi pelatihan. Hasil tes tersebut ditampilkan pada Tabel 1.

Secara keseluruhan, analisis deskriptif menunjukkan peningkatan skor peserta yang substansial dari pra-tes ke pasca-tes, yang menunjukkan bahwa program berhasil mengatasi kesenjangan pengetahuan. Untuk menganalisis lebih lanjut efektivitas intervensi, perolehan ternormalisasi (N-gain) juga dihitung untuk setiap peserta, yang memberikan wawasan tentang sejauh mana peningkatan pembelajaran individu. Bagian berikut menyajikan temuan terperinci, termasuk skor pra-tes dan pasca-tes, nilai N-gain, dan interpretasinya berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan.

Tabel 1. Hasil efektifitas kegiatan

| Peserta | Pra Tes | Paska Tes | N-gain | Kategori |
|---------|---------|-----------|--------|----------|
| 1 | 60 | 90 | 0.75 | Tinggi |
| 2 | 40 | 80 | 0.67 | Sedang |
| 3 | 60 | 80 | 0.50 | Sedang |
| 4 | 70 | 90 | 0.67 | Sedang |
| 5 | 40 | 90 | 0.83 | Tinggi |
| 6 | 60 | 90 | 0.75 | Tinggi |
| 7 | 60 | 90 | 0.75 | Tinggi |
| 8 | 70 | 100 | 1.00 | Tinggi |
| 9 | 60 | 90 | 0.75 | Tinggi |
| 10 | 70 | 100 | 1.00 | Tinggi |

| | | | | |
|----|----|-----|------|--------|
| 11 | 40 | 90 | 0.83 | Tinggi |
| 12 | 60 | 80 | 0.50 | Sedang |
| 13 | 50 | 100 | 1.00 | Tinggi |
| 14 | 70 | 100 | 1.00 | Tinggi |
| 15 | 40 | 80 | 0.67 | Sedang |
| 16 | 60 | 90 | 0.75 | Tinggi |
| 17 | 60 | 90 | 0.75 | Tinggi |
| 18 | 40 | 80 | 0.67 | Sedang |
| 19 | 60 | 100 | 1.00 | Tinggi |
| 20 | 60 | 80 | 0.50 | Sedang |
| 21 | 40 | 90 | 0.83 | Tinggi |
| 22 | 50 | 80 | 0.60 | Sedang |
| 23 | 50 | 80 | 0.60 | Sedang |
| 24 | 60 | 90 | 0.75 | Tinggi |
| 25 | 70 | 100 | 1.00 | Tinggi |

Mayoritas peserta (64%) mencapai peningkatan normalisasi yang tinggi, menunjukkan bahwa pelatihan ini secara substansial meningkatkan pengetahuan mereka tentang pewarnaan alami berbantuan ultrasonik. Peserta lainnya (36%) berada dalam kategori peningkatan sedang, menunjukkan peningkatan yang moderat. Diketahui tidak ada peserta yang berada dalam kategori rendah, yang berarti program diseminasi ini secara konsisten efektif di seluruh kelompok.

3.2. Pembahasan

Pemaparan materi dan diskusi seperti ditunjukkan pada Gambar 1(a) mencakup prinsip-prinsip pewarnaan ultrasonik, pentingnya pewarna alami berkelanjutan, dan keunggulan teknologi bubuk *spray dryer*. Informasi penting selama diskusi dengan peserta adalah bahwa pewarnaan yang selama ini mereka lakukan cukup menyita waktu karena harus dicelup berulang-ulang (8 hingga 10 kali). Demikian pula hasil pewarnaan yang cukup bervariasi ketika menggunakan cairan ekstrak zat warna secara langsung. Peserta menyampaikan bahwa meskipun cairan ekstrak zat warna alam dari bahan baku yang sama, jumlah pencelupan dan hasil pewarnaan umumnya tidak sama. Artinya sulit mendapatkan hasil yang seragam baik dari segi proses maupun warna. Kegiatan dilanjutkan dengan demonstrasi pewarnaan menggunakan bubuk zat warna alam berbantuan *ultrasonic* seperti ditunjukkan pada Gambar 1(b). Pada tahap ini, fasilitator mendemonstrasikan langkah demi langkah persiapan larutan pewarna, prosedur pewarnaan ultrasonik, teknik mordan, langkah-langkah keamanan, dan pencucian pasca-pewarnaan. Setelah itu, peserta melakukan praktik langsung yaitu melakukan uji coba pewarnaan menggunakan bubuk pewarna alami *spray dry* seperti ditunjukkan pada Gambar 2(a). Selama proses, peserta antusias untuk mencoba dan mengetahui penggunaan dan fungsi alat. Proses pewarnaan dilakukan sekali celup selama 30 menit sambil sesekali diaduk, dan produk hasil pewarnaan ditunjukkan pada Gambar 2(b). Peserta menyatakan bahwa pewarnaan yang dilakukan sangat cepat dengan hasil yang bagus. Secara umum, peserta merasakan banyak manfaat dari penggunaan bubuk pewarna alami yang dikombinasikan dengan teknik pewarnaan berbantuan ultrasonik, seperti warna lebih konsisten, proses efisien (biaya dan waktu) yang dapat berdampak pada penurunan biaya produksi, serta mendapatkan tambahan pengetahuan dan keterampilan.

Hasil penilaian pra-tes dan pasca-tes menunjukkan peningkatan yang nyata dalam pengetahuan peserta setelah program diseminasi. Skor rata-rata meningkat secara signifikan, dan analisis perolehan ternormalisasi (N-gain) mengonfirmasi bahwa sebagian besar peserta mencapai tingkat peningkatan pembelajaran sedang hingga tinggi. Temuan ini menunjukkan bahwa pelatihan efektif dalam menjembatani kesenjangan pengetahuan sebelumnya dan

membekali peserta dengan pemahaman yang lebih kuat tentang teknik pewarnaan alami berbantuan ultrasonik.

Untuk mengontekstualisasikan hasil ini, penting untuk membandingkannya dengan teori yang telah mapan dan penelitian sebelumnya tentang pewarnaan ultrasonik, aplikasi pewarna alami, dan teknologi spray drying. Dengan demikian, hasil studi ini dapat dikaji secara lebih kritis untuk memahami tidak hanya peningkatan langsung dalam pengetahuan peserta tetapi juga keselarasannya dengan bukti ilmiah yang lebih luas dan implikasi praktis bagi industri batik rumahan.

Selain skor tes, peserta melaporkan bahwa kepercayaan diri akan kemampuan teknis mereka ditingkatkan melalui pelatihan ini. Selain itu, pelatihan ini memberikan alur kerja yang lebih jelas dan efisien dibandingkan dengan praktik sebelumnya. Sebelum pelatihan, para pengrajin umumnya membutuhkan 2-3 jam untuk satu siklus pewarnaan menggunakan metode konvensional, dengan seringnya terjadi inkonsistensi kualitas warna dan penggunaan pewarna yang lebih tinggi. Setelah menerapkan metode ultrasonik, mereka melaporkan bahwa pewarnaan dapat diselesaikan dalam waktu sekitar setengahnya, dengan hasil yang lebih merata dan mengurangi limbah material. Beberapa peserta juga mencatat bahwa efisiensi ini menghasilkan biaya per batch yang lebih rendah, yang krusial untuk mempertahankan daya saing dalam produksi skala kecil.

a. Peningkatan Pemahaman tentang Prinsip Ultrasonik dan Mekanisme Kavitasi (Indikator 1-3)

Sebelum program ini, peserta memiliki pemahaman yang terbatas tentang fungsi utama ultrasonic bath dalam pewarnaan tekstil. Kebanyakan kesalahpahaman berkisar pada tujuannya yang berkaitan dengan pemanasan atau pengeringan, alih-alih meningkatkan penetrasi pewarna melalui gelombang ultrasonik. Setelah pelatihan, hampir semua peserta menjawab pertanyaan-pertanyaan ini dengan benar. Hal ini sejalan dengan Bemcha et al. (2021), yang melaporkan bahwa perlakuan ultrasonik meningkatkan penyerapan pewarna dan intensitas warna karena efek kavitasi, memungkinkan penetrasi molekul pewarna yang lebih cepat dan lebih dalam ke dalam serat dibandingkan dengan metode konvensional. Kavitasi, yang melibatkan pecahnya gelembung mikro, menciptakan tekanan dan suhu tinggi terlokalisasi yang mempercepat dispersi dan interaksi zat warna dengan serat (Zhu, X. et al., 2024). Mekanisme ini sebelumnya kurang dipahami oleh peserta, tetapi kini dipahami dengan baik setelah kegiatan diseminasi.

b. Prosedur Teknis dan Optimasi Proses (Indikator 4-6)

Para peserta juga menunjukkan peningkatan substansial dalam pemahaman langkah-langkah teknis seperti melarutkan dan menyaring bubuk pewarna alami sebelum perlakuan ultrasonik, serta pentingnya kontrol suhu selama pewarnaan. Awalnya, banyak yang berasumsi bahwa bubuk pewarna dapat langsung diaplikasikan pada kain, atau salah memahami tujuan pengaturan suhu. Skor pasca-tes menunjukkan peningkatan yang signifikan di area ini, dengan sebagian besar peserta mampu mengidentifikasi prosedur yang tepat. Hal ini konsisten dengan temuan Grande, G.A. et al. (2016), yang menyoroti bahwa pewarnaan dengan perlakuan ultrasonik pada suhu sedang (~60 °C) meningkatkan penyerapan warna dan kekuatan warna (nilai K/S), sementara suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan degradasi pewarna dan penurunan kinerja. Dengan demikian, pelatihan ini berhasil memperkuat prinsip-prinsip optimasi proses dalam pewarnaan berbantuan ultrasonik.

c. Peran Mordan dalam Meningkatkan Ketahanan Warna (Indikator 7)

Peningkatan penting lainnya diamati dalam pemahaman peserta tentang mordan. Sebelum pelatihan, banyak yang menganggap mordan sebagai opsional atau tidak terkait dengan ketahanan warna. Namun, setelah program, peserta menyadari mordan sebagai agen pengikat penting yang meningkatkan fiksasi pewarna dan ketahanan warna jangka panjang. Hosseinnezhad, M. et al. (2022) menunjukkan bahwa biomordan, seperti ekstrak kulit buah delima, secara signifikan meningkatkan penyerapan dan ketahanan luntur warna pada serat wol ketika diaplikasikan dalam kondisi ultrasonik. Demikian pula, Ashrafi, N. et al. (2018) melaporkan bahwa meskipun mordan sangat penting, mordan yang berlebihan dapat

mengurangi intensitas warna akibat agregasi, sehingga menyoroti perlunya konsentrasi yang optimal. Temuan ini memperkuat pengetahuan yang diperoleh peserta selama pelatihan.

d. Praktik Efisiensi, Penghematan Waktu, dan Keselamatan (Indikator 5 & 8)

Hasil pasca-uji juga menunjukkan peningkatan pemahaman tentang manfaat efisiensi pewarnaan ultrasonik dibandingkan dengan metode konvensional. Para peserta mengakui bahwa pewarnaan ultrasonik tidak hanya mempersingkat waktu pewarnaan tetapi juga membutuhkan lebih sedikit energi dan bahan pewarna, sebuah temuan yang sangat didukung oleh Hassan, M.M. and Saifullah, K. (2023), yang melaporkan pengurangan lebih dari 60% waktu pewarnaan, 50% penggunaan energi, dan 30% konsumsi air saat menggunakan metode ultrasonik. Selain itu, kesadaran peserta akan praktik keselamatan meningkat secara signifikan, dengan sebagian besar mengakui pentingnya mengenakan sarung tangan pelindung dan mengoperasikan ultrasonic bath pada permukaan yang stabil. Hal ini menunjukkan tidak hanya peningkatan pengetahuan teknis tetapi juga peningkatan kesadaran akan keselamatan kerja dalam produksi tekstil skala kecil.

e. Perlakuan Pasca-Pewarnaan dan Inovasi dalam Pewarna Alami Kering Semprot (Indikator 9-10)

Terakhir, para peserta menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam mengenali pentingnya pembilasan pasca-pewarnaan yang tepat dengan air dingin hingga tidak ada lagi luntur warna. Langkah ini krusial untuk memastikan ketahanan luntur warna dan kualitas tekstil jadi. Selain itu, mereka memperoleh pemahaman yang jelas tentang manfaat bubuk pewarna alami yang dikeringkan dengan semprotan, terutama dalam hal umur simpan yang lebih lama, penanganan yang lebih mudah, dan kualitas yang lebih konsisten.

Meskipun penelitian yang secara langsung menghubungkan spray drying dan pewarnaan ultrasonik masih terbatas, teknologi spray drying telah diakui secara luas sebagai metode untuk menstabilkan produk alami, meningkatkan stabilitas penyimpanan, dan memastikan kinerja yang konsisten dalam berbagai aplikasi (Fazaeli, M. et al., 2012). Integrasi teknologi ini ke dalam pewarnaan alami memberikan solusi inovatif dan berkelanjutan bagi industri batik rumahan.

Secara keseluruhan, program diseminasi ini sangat efektif dalam meningkatkan pengetahuan peserta tentang pewarnaan alami berbantuan ultrasonik. Pelatihan ini menjembatani kesenjangan pengetahuan yang ada, terutama dalam memahami mekanisme kavitasi, persiapan teknis, mordant, efisiensi proses, praktik keselamatan, dan manfaat pewarnaan *spray dry*. Hasil ini sangat sesuai dengan temuan penelitian internasional, yang menegaskan teknologi ultrasonik sebagai pendekatan yang berkelanjutan, efisien, dan inovatif bagi sektor pewarnaan tekstil, terutama dalam memberdayakan produsen batik skala kecil dan rumahan.

Temuan program ini membawa beberapa implikasi penting bagi praktik dan kebijakan di industri batik rumahan. Pertama, keberhasilan integrasi pewarnaan berbantuan ultrasonik dengan bubuk pewarna alami *spray dry* menawarkan alternatif yang terukur dan ramah lingkungan dibandingkan praktik pewarnaan konvensional. Perajin batik dapat mengadopsi metode ini untuk mencapai konsistensi warna yang lebih baik, waktu pemrosesan yang lebih singkat, dan pengurangan input kimia, sehingga meningkatkan kualitas produk dan efisiensi produksi.

Kedua, penggunaan pewarna alami *spray dry* meningkatkan kepraktisan pewarna alami dengan menyediakan bentuk yang stabil, mudah disimpan, dan mudah diaplikasikan. Hal ini mengurangi ketergantungan pada ekstrak cair yang mudah rusak, yang seringkali membatasi aplikasi komersial pewarna alami. Dengan demikian, perajin mendapatkan fleksibilitas dan keandalan yang lebih besar dalam proses produksi mereka, yang juga dapat mendukung ekspansi pasar menuju konsumen yang sadar lingkungan.

Ketiga, program ini menunjukkan nilai kolaborasi universitas-masyarakat dalam menerjemahkan inovasi penelitian ke dalam praktik industri. Kemitraan semacam itu tidak hanya meningkatkan kapasitas teknis para perajin, tetapi juga berkontribusi pada pelestarian warisan budaya dengan memodernisasi proses batik tradisional secara berkelanjutan.

Pada akhirnya, hasilnya memberikan landasan bagi para pembuat kebijakan dan pemangku kepentingan industri untuk merancang program pengembangan kapasitas, strategi

diseminasi teknologi, dan insentif finansial guna mendukung adopsi metode pewarnaan hijau yang lebih luas. Dengan memperluas inisiatif ini, industri batik dapat semakin selaras dengan target produksi berkelanjutan sekaligus meningkatkan daya saing usaha kecil dan menengah (UKM) di pasar lokal dan internasional.

4. KESIMPULAN

Program ini berhasil menunjukkan potensi integrasi pewarnaan berbantuan ultrasonik dan bubuk pewarna alami *spray-dry* ke dalam industri batik rumahan sebagai jalur menuju praktik tekstil yang lebih berkelanjutan. Hasil evaluasi pra-uji dan pasca-uji menunjukkan peningkatan pengetahuan peserta yang signifikan, dengan nilai N-gain berada dalam kategori sedang hingga tinggi. Selain peningkatan pengetahuan, kegiatan ini secara langsung meningkatkan keterampilan teknis para pengrajin, memungkinkan mereka melakukan pewarnaan dengan waktu pemrosesan yang lebih singkat, mengurangi penggunaan pewarna dan energi, serta meningkatkan kualitas warna. Para peserta juga menunjukkan kesadaran yang lebih kuat akan prosedur keselamatan dan pemahaman yang lebih baik tentang penggunaan mordan, yang menghasilkan produk yang lebih tahan lama dan berkualitas tinggi. Pencapaian ini menunjukkan bahwa program diseminasi tidak hanya menjembatani kesenjangan pengetahuan tetapi juga menghasilkan peningkatan nyata dalam efisiensi produksi dan daya saing produk bagi pengrajin mitra. Dengan demikian, program ini berkontribusi pada penguatan kapasitas para pengrajin batik rumahan untuk mengadopsi inovasi berkelanjutan sekaligus melestarikan warisan budaya.

Selain peningkatan pengetahuan langsung, program ini menyoroti urgensi yang lebih luas untuk beralih dari pewarna sintetis ke pewarna alami yang didukung oleh inovasi teknologi guna mengatasi tantangan lingkungan, kesehatan, dan budaya. Penerapan pewarnaan ultrasonik telah terbukti dalam studi sebelumnya dapat meningkatkan penyerapan pewarna, ketahanan luntur, dan efisiensi energi, sementara pewarna alami semprot-kering menawarkan keuntungan praktis dalam hal penyimpanan, pengangkutan, dan konsistensi aplikasi. Dengan demikian, memperkenalkan teknik-teknik ini kepada perajin batik lokal tidak hanya memperkuat keberlanjutan tetapi juga meningkatkan kualitas produk dan daya saing pasar. Yang terpenting, inisiatif ini menunjukkan peran program diseminasi berbasis masyarakat dalam menerjemahkan penelitian laboratorium ke dalam aplikasi dunia nyata. Dengan memberdayakan produsen batik skala kecil dengan inovasi ilmiah, program ini berkontribusi pada pelestarian ekologi dan ketahanan sosial-ekonomi. Pekerjaan di masa mendatang harus berfokus pada perluasan cakupan pelatihan, integrasi karakterisasi tingkat lanjut kinerja pewarnaan, dan pembinaan kolaborasi industri-masyarakat untuk memastikan adopsi yang lebih luas dan dampak jangka panjang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Universitas Negeri Semarang atas hibah Pengabdian kepada Masyarakat Nomor: 163.14.4/UN37/PPK.05/2025. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada para produsen batik mitra, khususnya para pengrajin yang telah berpartisipasi aktif dalam kegiatan sosialisasi, pelatihan, dan uji coba penggunaan teknologi *ultrasonic bath* untuk pencelupan dengan pewarna alam.

DAFTAR PUSTAKA

Ashrafi, N., Gharanjig, K., Hosseinnezhad, M., Mehrizi, M.K., Imani, H., & Razani, N. (2018). "Dyeing Properties and Color Fabrics Using Natural Dye and Mordant". *Progress in Color, Colorants and Coatings*, 11, 79-83.

- Banna, B.U., Mia, R., Hasan, M.M., Ahmed, B., & Shibly, M.A.H. (2023). "Ultrasonic-Assisted Sustainable Extraction and Dyeing of Organic Cotton Fabric Using Natural Dyes from *Dillenia Indica* Leaf". *Heliyon*, 9(8), e18702. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18702>
- Bemcha, O.R.D., Bains, S., & Grewal, S. (2021). "Ultrasonic Dyeing of Wool Fabric with Aqueous Extract of Ratanjot (*Onosma Echioides*) Natural Dye". *Environment Conservation Journal*, 22(1&2), 79-86. doi: 10.36953/ecj.2021.221213
- Creswell, J., & Guetterman, T. (2018). *Educational Research: Planning, Conducting, and Evaluating Quantitative and Qualitative Research, 6th Edition*.
- Devi, S., Panghaal, D., Kumar, P., Malik, P., Ravi, E., & Mittal, S. (2025). "Eco-Friendly Innovations in Textile Dyeing: A Comprehensive Review of Natural Dyes". *Advances in Research*, 26(1), 204-212. doi: 10.9734/air/2025/v26i11247
- El-Bassuony, A.A.H., Ibrahim, A.F., & Abdelsalam, H.K. (2025). "Using Natural Products in Contemporary Fabric Design: A Critical Review of Trends, Innovations, and Future Prospects (2019–2024)". *Cellulose*. doi: 10.1007/s10570-025-06700-x
- Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Kalbasi Ashtari, A., & Omid, M. (2012). "Effect of Spray Drying Conditions and Feed Composition on the Physical Properties of Black Mulberry Juice Powder". *Food and Bioprocess Processing*, 90(4), 667-675. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2012.04.006>
- Grande, G.A., Giansetti, M., Pezzin, A., Rovero, G., & Sicardi, S. (2016). "Use of the Ultrasonic Cavitation in Wool Dyeing Process: Effect of the Dye-Bath Temperature". *Ultrasonics Sonochemistry*, 35. doi: 10.1016/j.ultsonch.2016.10.003
- Hassan, M.M., & Saifullah, K. (2023). "Ultrasound-Assisted Sustainable and Energy Efficient Pre-Treatments, Dyeing, and Finishing of Textiles – a Comprehensive Review". *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 33, 101109. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101109>
- Hosseinnezhad, M., Gharanjig, K., Adeel, S., Rouhani, S., Imani, H., & Razani, N. (2022). "The Effect of Ultrasound on Environmentally Extraction and Dyeing of Wool Yarns". *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 17, 15589250221104471. doi: 10.1177/15589250221104471
- Kumar, N., & Singh, S. (2025). "A Review on Environmentally Responsible, Efficient and Sustainable Methods for Investigating Natural Dye as a Green Material and Its Nature to Textile Dyeing".
- Lara, L., Cabral, I., & Cunha, J. (2022). "Ecological Approaches to Textile Dyeing: A Review". *Sustainability*, 14(14), 8353.
- Mia, M. (2019). "Ultrasonic Textile Dyeing and Dyes Decoloration; an Environment Friendly Technique".
- Pizzicato, B., Pacifico, S., Cayuela, D., Mijas, G., & Riba-Moliner, M. (2023). "Advancements in Sustainable Natural Dyes for Textile Applications: A Review". [Review]. *Molecules*, 28(16).
- Rashid, A., Albargi, H.B., Irfan, M., Qadir, M.B., Ahmed, A., Ferri, A., & Jalalah, M. (2024). "Sonoprocesses for Sustainable Textile Processing and Nanofinishing: A Review". *Textile Research Journal*, 94(23-24), 2789-2814. doi: 10.1177/00405175241252562
- Shokry, G., El-Khatib, E., & Ali, N. (2010). "Ultrasonic Assisted Eco-Friendly Dyeing of Silk Fabrics". *Al-Azhar Bulletin of Science*, 21(1), 21-34.
- Zhu, X., Das, R.S., Bhavya, M.L., Garcia-Vaquero, M., & Tiwari, B.K. (2024). "Acoustic Cavitation for Agri-Food Applications: Mechanism of Action, Design of New Systems, Challenges and Strategies for Scale-Up". *Ultrasonics Sonochemistry*, 105, 106850. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.106850>