



Pengolahan Limbah Pewarna Tekstil Menggunakan Fotokatalis Titanium Dioksida (TiO₂)

Latifa Hanum Lalasari^{1*}, Lusiana², Iwan Setiawan³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang, Kota Tangerang Selatan, Indonesia

Email korespondensi: dosen01914@unpam.ac.id

ABSTRAK

Limbah pewarna tekstil adalah sisa cairan dari produksi tekstil yang terdiri dari pewarna sintetis, zat kimia beracun, dan logam berat seperti Cr, Cu, dan Zn. Jika tidak diolah, limbah ini sangat berbahaya karena sulit terurai, dapat mencemari lingkungan, dan membahayakan kesehatan makhluk hidup di sekitarnya. Pengolahan fisik, kimia, dan biologis diperlukan untuk mengurangi kadar warna dan COD agar sesuai dengan standar lingkungan. Dibandingkan dengan teknologi modern seperti fotokatalisis, membran, atau bioteknologi modern, pengolahan konvensional sering kali kurang efektif dalam mendegradasi senyawa-senyawa yang bersifat tahan lama. Pengolahan fisik (penyaringan, sedimentasi, dan flotasi), pengolahan kimia (koagulasi, flokulasi, netralisasi, dan disinfeksi), serta pengolahan biologis merupakan contoh pengolahan konvensional. Untuk meningkatkan efisiensi pengolahan konvensional ini, perlu dilakukan inovasi. Untuk menurunkan dan mengurangi dampak lingkungan yang disebabkan oleh teknologi yang ramah lingkungan, pendekatan teknologi pengolahan limbah cair berbasis metode fotokatalitik ini merupakan alternatif terbaik yang perlu disosialisasikan dan dikembangkan kepada khalayak bisnis dan masyarakat saat ini. Melalui Program Tri Dharma Perguruan Tinggi yang dilakukan oleh dosen Teknik Mesin UNPAM, kegiatan pengabdian kepada masyarakat (PKM) merupakan implementasi desain reaktor fotokatalitik sederhana untuk mengolah limbah pewarna tekstil menggunakan fotokatalis titanium dioksida (TiO₂). Hasil kegiatan PKM yang diadakan dosen Teknik Mesin UNPAM menunjukkan bahwa para santri dan pengelola pesantren mampu melakukan uji coba reaktor fotokatalitik dengan melakukan instalasi kelistrikan dan pemasangan lampu UV-Vis, melakukan pengolahan limbah tekstil atau pewarna menggunakan fotokatalis TiO₂, serta melakukan karakterisasi air hasil pengolahannya.

Kata Kunci: limbah tekstil; pengolahan limbah; fotokatalitik; titanium dioksida.

ABSTRACT

Textile dye waste is a residual liquid from textile production consisting of synthetic dyes, toxic chemicals, and heavy metals such as Cr, Cu, and Zn. If untreated, this waste is highly dangerous because it is difficult to decompose, can pollute the environment, and can endanger the health of surrounding living beings. Physical, chemical, and biological processing is required to reduce color and COD levels to meet environmental standards. Compared to modern technologies such as photocatalysis, membranes, or modern biotechnology, conventional processing is often less effective at degrading long-lasting compounds. Conventional processing includes physical processes (filtration, sedimentation, and flotation), chemical processes (coagulation, flocculation, neutralization, and disinfection), and biological processes. To improve the efficiency of these conventional processes, innovation is necessary. To reduce the environmental impact of conventional technology, this photocatalytic method-based liquid waste treatment approach is the best alternative that must be socialized and developed for today's business audience and society. Through the Tri Dharma of Higher Education Program conducted by UNPAM Mechanical Engineering lecturers, community service activities (PKM) involve implementing a simple photocatalytic reactor design to process textile dye waste using titanium dioxide (TiO₂) photocatalysts. The results of PKM activities conducted by UNPAM Mechanical Engineering lecturers show that students and pesantren managers can conduct photocatalytic reactor trials by installing electrical power and UV-Vis lamps, processing textile waste or dyes using TiO₂ photocatalysts, and characterizing the water from the treatment products.

Keywords: textile waste; waste treatment; photocatalytic; titanium dioxide.

PENDAHULUAN

Kota Tangerang Selatan (disingkat Tangel) adalah sebuah kota yang terletak di Tatar Pasundan, Provinsi Banten, Indonesia. Kota ini terletak 30 km sebelah barat Jakarta dan 90 km sebelah tenggara Serang, ibu kota Provinsi Banten. Kota Tangerang Selatan berbatasan dengan Kota Tangerang di sebelah utara, Kabupaten Bogor (Provinsi Jawa Barat) di sebelah selatan, Kabupaten Tangerang di sebelah barat,

serta Daerah Khusus Ibu Kota Jakarta di sebelah timur. Dari segi jumlah penduduk, Tangerang Selatan merupakan kota terbesar kedua di Provinsi Banten setelah Kota Tangerang serta terbesar kelima di kawasan Jabodetabek setelah Jakarta, Bekasi, Tangerang, dan Depok. Wilayah Kota Tangerang Selatan merupakan hasil pemekaran dari Kabupaten Tangerang. Tangerang Selatan terletak di bagian timur Provinsi Banten, pada titik koordinat $106^{\circ}38' - 106^{\circ}47'$ Bujur Timur dan $06^{\circ}13'30'' - 06^{\circ}22'30''$ Lintang Selatan. Wilayah Kota Tangerang Selatan di antaranya dilintasi oleh Kali Angke, Kali Pesanggrahan, dan Sungai Cisadane sebagai batas administrasi kota di sebelah barat. Letak geografis Tangerang Selatan yang berbatasan dengan Provinsi DKI Jakarta di sebelah utara dan timur memberikan peluang kepada Kota Tangerang Selatan sebagai salah satu daerah penyangga Provinsi DKI Jakarta, selain itu, juga sebagai daerah yang menghubungkan Provinsi Banten dengan DKI Jakarta. Selain itu, Tangerang Selatan juga menjadi salah satu daerah yang menghubungkan Provinsi Banten dengan Provinsi Jawa Barat.

Tangerang Selatan, sebagai wilayah perkotaan yang berkembang pesat, memiliki banyak usaha kecil dan menengah di bidang tekstil, seperti konveksi, sablon, dan pencelupan kain. Meskipun tidak didominasi oleh industri besar, aktivitas usaha skala kecil ini secara akumulatif menghasilkan limbah cair yang cukup signifikan, terutama yang mengandung zat pewarna sintetis. Limbah tersebut umumnya langsung dibuang ke saluran drainase atau lingkungan sekitar tanpa melalui proses pengolahan yang memadai, sehingga berpotensi mencemari badan air dan lingkungan permukiman.

Karakteristik limbah pewarna tekstil yang dihasilkan cenderung kompleks, ditandai dengan warna yang pekat, kandungan bahan organik yang tinggi, serta keberadaan senyawa kimia yang sulit terurai secara alami [1]. Kondisi ini menyebabkan limbah tidak mudah diolah secara biologis dan dapat menimbulkan dampak lingkungan seperti penurunan kualitas air, terganggunya ekosistem perairan, serta potensi risiko kesehatan bagi masyarakat yang terpapar [2]–[5]. Permasalahan ini menjadi semakin krusial karena sebagian besar usaha tekstil di Tangerang Selatan berada di tengah kawasan permukiman, sehingga dampak pencemaran dirasakan secara langsung oleh masyarakat sekitar [3].

Di sisi lain, keterbatasan pengetahuan dan sumber daya menjadi kendala utama dalam pengelolaan limbah oleh pelaku usaha. Sebagian besar belum memiliki instalasi pengolahan air limbah (IPAL) yang memadai karena faktor biaya, keterbatasan lahan, serta kurangnya akses terhadap teknologi yang sesuai. Metode pengolahan yang digunakan masih sangat sederhana dan belum efektif dalam menghilangkan zat warna secara optimal. Selain itu, kesadaran akan pentingnya pengelolaan limbah yang ramah lingkungan juga masih relatif rendah, sehingga praktik pembuangan limbah tanpa pengolahan masih sering terjadi [5].

Meskipun berbagai teknologi pengolahan limbah telah berkembang, seperti metode kimia dan fisika, penerapannya pada skala usaha kecil masih menghadapi berbagai kendala, baik dari segi teknis maupun ekonomis. Teknologi yang lebih maju, seperti fotokatalisis menggunakan TiO_2 , sebenarnya memiliki potensi besar untuk mendegradasi senyawa pewarna menjadi zat yang lebih aman, namun pemanfaatannya di tingkat masyarakat masih sangat terbatas [6]. Hal ini menunjukkan adanya kesenjangan antara perkembangan teknologi dan implementasinya di lapangan.

Dengan demikian, permasalahan limbah pewarna tekstil di Tangerang Selatan tidak hanya berkaitan dengan aspek teknis pengolahan limbah, tetapi juga dengan aspek sosial, ekonomi, dan edukasi masyarakat. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang komprehensif melalui kegiatan pengabdian

kepada masyarakat yang tidak hanya menawarkan solusi teknologi yang sederhana dan aplikatif, tetapi juga mampu meningkatkan kesadaran dan kapasitas masyarakat dalam mengelola limbah secara berkelanjutan.



Gambar 1. Yayasan Pondok Pesantren dan Panti Asuhan Nurul Ihsan

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat (PKM) yang dilakukan dosen Teknik Mesin UNPAM rencana diselenggarakan di Yayasan Pondok Pesantren dan Panti Asuhan Nurul Ihsan yang berlokasi di Kota Tangerang Selatan. Panti Asuhan Nurul Ihsan merupakan pendidikan Islam sekaligus pemberdayaan masyarakat yang ada di Kampung Momonggor RT 001/01 Desa Keranggan, Kecamatan Setu, Kota Tangerang Selatan, yang didirikan oleh Ustadz Sobari pada tahun 1994 dan diaktenotariskan pada tahun 1999, sekaligus merupakan pengasuh Pondok Pesantren Nurul Ihsan. Di samping kegiatan pendidikan, Panti Nurul Ihsan juga menyelenggarakan pelatihan keterampilan bagi anak asuh dan masyarakat sekitar guna memupuk bakat serta membekalinya dengan keterampilan tertentu untuk masa depan. Pelatihan itu meliputi pengembangan minat dan bakat, di antaranya pada sektor pertanian, peternakan, pembuatan kue-kue kering, makanan ringan, dan keterampilan menjahit [7]. Pelatihan terkait pengolahan limbah cair bagi masyarakat dan anak asuh Yayasan Panti Asuhan Nurul Ihsan belum pernah dilaksanakan. Hal ini menjadi potensi bagi Dosen Teknik Mesin UNPAM untuk bisa memberikan sosialisasi dan pelatihan terkait pengolahan limbah cair pewarna tekstil dengan teknik fotokatalitik menggunakan fotokatalis TiO_2 dan reaktor yang sederhana yang sudah didesain dan dirancang pada kegiatan PKM tahun sebelumnya.

Air adalah sumber daya alam yang penting dalam pembangunan wilayah dan menjadi perhatian utama karena berkaitan dengan kondisi sosial ekonomi serta sumber daya lingkungan. Perkembangan jumlah penduduk dan pembangunan wilayah secara ekonomi berakibat pada peningkatan kebutuhan air sehingga secara tidak langsung berdampak pada peningkatan jumlah air limbah yang dihasilkan dari aktivitas domestik, industri, perkantoran, dan sumber aktivitas lainnya. Swandayani (2020) menyatakan bahwa limbah merupakan sisa dari kegiatan makhluk hidup yang tidak digunakan lagi, yang sebagian besar bersumber dari kegiatan manusia seperti industri, rumah tangga, instansi, dan lain-lain. Limbah yang tidak diolah dengan baik menjadi salah satu faktor penyebab pencemaran lingkungan yang dapat berdampak buruk pada lingkungan dan makhluk hidup.

Sumber limbah cair rumah tangga bersifat organik, yaitu sisa makanan dan deterjen yang mengandung fosfor. Limbah cair dapat meningkatkan kadar BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan pH air. Keadaan tersebut menyebabkan pencemaran yang menimbulkan banyak kerugian bagi manusia dan lingkungan. Seiring pesatnya penggunaan pewarna tekstil dalam berbagai kegiatan, termasuk skala rumah tangga dan usaha kecil di lingkungan pesantren, hal ini berpotensi menghasilkan limbah cair yang

mengandung senyawa organik kompleks dan berbahaya bagi lingkungan. Limbah pewarna tekstil yang tidak diolah dengan baik dapat meningkatkan nilai BOD, COD, serta menurunkan kualitas air, sehingga berisiko mencemari sumber air dan mengganggu kesehatan masyarakat sekitar. Di sisi lain, keterbatasan pengetahuan dan keterampilan santri maupun pengelola pesantren dalam mengelola limbah menjadi kendala utama dalam penerapan pengelolaan limbah yang efektif.

Beberapa teknik pengolahan limbah cair telah dilakukan, di antaranya kolam oksidasi, yang merupakan salah satu cara untuk mengolah limbah cair rumah tangga. Kolam ini terdiri dari serangkaian kolam yang bertujuan untuk menjernihkan limbah cair agar tidak berbahaya bagi lingkungan. Keunggulan teknologi ini dalam pengolahan limbah cair, yaitu konstruksi sederhana, mudah dirancang dan diubah jika diperlukan perubahan tanah [8]. Kelemahan penggunaan kolam oksidasi dalam pengolahan limbah adalah bahwa proses oksidasi (terutama oksidasi kimia atau biologis) membutuhkan waktu kontak yang cukup lama antara limbah dan oksidator untuk mencapai degradasi senyawa organik secara optimal. Jika waktu retensi terlalu singkat, reaksi oksidasi tidak sempurna sehingga polutan tidak terurai sepenuhnya. Oksidasi konvensional dalam kolam sering kali tidak efektif untuk senyawa organik yang kompleks, stabil, atau tahan terhadap oksidasi (misalnya senyawa aromatik, pestisida, atau logam kompleks). Oleh karena itu, diperlukan kombinasi dengan metode lain, seperti fotokatalitik atau ozonasi, untuk hasil yang lebih maksimal. Pendekatan teknologi yang lebih inovatif, seperti fotokatalisis menggunakan TiO_2 , terbukti efektif dalam mendegradasi senyawa organik kompleks. Namun, teknologi ini belum banyak dikenal dan diterapkan di lingkungan pesantren.

Berdasarkan data tersebut di atas maka daerah Serpong membutuhkan sosialisasi dari pemerintah dan instansi perguruan tinggi terkait pengolahan limbah cair dengan menggunakan pendekatan teknologi fotokatalitik melalui pelatihan untuk bisa melakukan transfer teknologi ke masyarakat setempat dan pemuda pemudi sebagai generasi aktif perlu dilakukan. Prinsip pemberdayaan masyarakat yang paling baik adalah kelompok yang lahir dari kebutuhan dan kesadaran masyarakatnya sendiri, dikelola dan dikembangkan terutama dengan menggunakan sumber daya yang ada di masyarakat tersebut, serta memiliki tujuan yang sama. Dosen sebagai manusia berintelektual tinggi diharapkan dapat memberikan kontribusi tidak hanya dalam bentuk materi, tetapi juga dalam bentuk moril. Kontribusi moril ini diharapkan dapat memotivasi masyarakat dalam menghadapi setiap tantangan hidup, seperti yang terjadi pada era globalisasi saat ini. Mahasiswa juga merupakan generasi muda yang peduli terhadap kesejahteraan bangsa dan penerus tongkat estafet yang memiliki tanggung jawab atas kelangsungan generasi serta perkembangan bangsa di masa depan. Semuanya tidak terlepas dari dukungan dan kerja sama dari setiap elemen masyarakat yang ada di dalamnya dengan tujuan kemajuan bangsa.

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) berinisiatif mengadakan pembelajaran dalam bentuk sosialisasi dan praktik terkait “Proses Pengolahan Limbah Pewarna Tekstil menggunakan Fotokatalis Titanium Dioksida (TiO_2)”. Kegiatan pengabdian ini ditujukan kepada Yayasan Pondok Pesantren dan Panti Asuhan Nurul Ihsan Tangerang Selatan untuk meningkatkan keterampilan para santri dalam proses pengolahan limbah cair menggunakan material yang mudah didapat dan berharga murah, yaitu titanium dioksida (TiO_2) sebagai reagen fotokatalis dan reaktor fotokatalitik sederhana.

Tim Program Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) Teknik Mesin - Universitas Pamulang (UNPAM) yang berjumlah 2 orang dosen terpenggil untuk dibantu oleh 3 mahasiswa Teknik Mesin guna ikut serta meningkatkan *skill* masyarakat, khususnya para santri dan pemuda-pemudi, di Yayasan Pondok Pesantren dan Panti Asuhan Nurul Ihsan Tangerang Selatan. Pelatihan ini diharapkan mampu mendorong kemandirian dalam pengelolaan limbah serta mendukung terciptanya lingkungan yang lebih bersih dan berkelanjutan.

METODE PELAKSANAAN

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) dengan tema “Pengolahan Limbah Pewarna Tekstil Menggunakan Fotokatalis Titanium Dioksida (TiO_2)” dilaksanakan sebagai bentuk implementasi Tri Dharma Perguruan Tinggi, khususnya pada bidang pengabdian kepada masyarakat. Kegiatan ini merupakan upaya transfer ilmu pengetahuan dan teknologi dari perguruan tinggi kepada masyarakat melalui pendekatan edukatif, partisipatif, dan aplikatif.

Pelaksanaan kegiatan melibatkan dosen dan mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Universitas Pamulang dengan sasaran utama santri, pengurus yayasan, serta masyarakat sekitar Yayasan Pondok Pesantren dan Panti Asuhan Nurul Ihsan Kota Tangerang Selatan. Pemilihan lokasi didasarkan pada hasil survei awal yang menunjukkan perlunya peningkatan pemahaman masyarakat mengenai pengelolaan limbah cair serta teknologi lingkungan yang sederhana namun efektif.

Kegiatan dirancang tidak hanya berupa penyampaian materi secara teoretis, tetapi juga melibatkan demonstrasi alat dan praktik langsung sehingga peserta dapat memahami serta menerapkan teknologi yang diperkenalkan. Pendekatan ini dipilih karena dinilai lebih efektif dalam meningkatkan pemahaman dan keterampilan peserta dibandingkan dengan metode ceramah semata.

Khalayak Sasaran

Khalayak sasaran dalam PKM ini adalah masyarakat sekitar kampus Unpam, terutama muda-mudi di Yayasan Pondok Pesantren dan Panti Asuhan Nurul Ihsan Tangerang Selatan. Sasaran utama kegiatan PKM ini adalah:

- 1) Santri Yayasan Pondok Pesantren dan Panti Asuhan Nurul Ihsan

Santri merupakan generasi muda yang memiliki peran penting dalam pengembangan masyarakat di masa depan. Melalui kegiatan ini, diharapkan para santri memperoleh wawasan baru mengenai teknologi lingkungan dan pengelolaan limbah.

- 2) Pengurus Yayasan

Pengurus yayasan diharapkan dapat melanjutkan dan mengembangkan program setelah kegiatan PKM selesai dilaksanakan.

- 3) Masyarakat Sekitar

Masyarakat sekitar yayasan dilibatkan agar manfaat kegiatan dapat dirasakan secara lebih luas dan mendorong terbentuknya kesadaran lingkungan di tingkat komunitas.

Berdasarkan daftar hadir kegiatan, jumlah peserta yang mengikuti kegiatan diperkirakan sebanyak 27 orang, yang terdiri atas santri, pengurus yayasan, dan masyarakat sekitar.

Tabel 1. Komposisi Peserta

No	Kategori Peserta	Jumlah
1	Santri	17
2	Pengurus Yayasan	5
3	Masyarakat Sekitar	5
Total		27

Tempat dan Waktu

Lokasi yang dipilih untuk kegiatan PKM ini adalah Yayasan Pondok Pesantren dan Panti Asuhan Nurul Ihsan Tangerang Selatan. Pelaksanaan PKM dengan judul kegiatan “Pengolahan Limbah Pewarna Tekstil Menggunakan Fotokatalis Titanium Dioksida (TiO_2)” dilaksanakan pada tanggal 26 Mei 2026, pukul 08.00 sampai dengan pukul 12.00 WIB.

Metode Kegiatan

Metode yang digunakan dalam pengabdian masyarakat ini adalah melalui kegiatan:

1) Sosialisasi

Bertujuan menyampaikan materi mengenai karakteristik limbah pewarna tekstil, dampaknya terhadap lingkungan, serta prinsip kerja teknologi fotokatalitik.

2) Praktik

Langkah-langkah dalam pengelolaan limbah pewarna tekstil, mendesain, dan merancang bangun reaktor sederhana fotokatalitik adalah sebagai berikut:

- Mempersiapkan material meliputi limbah pewarna tekstil *methyl orange*, reaktor fotokatalitik, *hot plate*, *magnetic stirrer*, lampu UV-Vis, kertas pH *indicator universal*, *beaker glass*, *erlenmeyer*, fotokatalis TiO_2 , *stopwatch*, dan lain-lain.
- Mempersiapkan perlengkapan keselamatan kerja seperti sarung tangan, masker, dan lain sebagainya.
- Menimbang fotokatalis 1 gram TiO_2 dan mempersiapkan 300 ml limbah tekstil *methyl orange*.
- Mencampurkan fotokatalis ke dalam 300 ml limbah pewarna tekstil, kemudian diaduk dalam reaktor fotokatalitik. Setiap 10 menit dilakukan pengecekan dengan mengambil sampel 10 ml dan memasukkannya ke dalam botol sampel. Proses fotokatalitik dilakukan selama 90 menit.
- Sampel limbah hasil fotokatalitik diamati secara visual dan diuji secara *in situ*

3) Pelatihan

Para santri, pengelola pesantren, dan pemuda-pemudi Yayasan Pondok Pesantren dan Panti Asuhan Nurul Ihsan Tangerang Selatan mencoba mempraktikkan proses pengolahan limbah pewarna tekstil menggunakan fotokatalis TiO_2 dalam reaktor sederhana yang telah dirancang pada kegiatan PKM tahun sebelumnya. Peserta praktik dipandu dan dimonitor langsung oleh narasumber.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pelaksanaan Kegiatan

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) dengan tema “Pengolahan Limbah Pewarna Tekstil Menggunakan Fotokatalis Titanium Dioksida (TiO_2)” telah dilaksanakan sesuai dengan rencana yang telah disusun sebelumnya. Kegiatan berlangsung pada tanggal 26 Mei 2026 di Yayasan Pondok

Pesantren dan Panti Asuhan Nurul Ihsan, Kecamatan Setu, Kota Tangerang Selatan. Pelaksanaan kegiatan melibatkan tim dosen dan mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Universitas Pamulang serta peserta yang terdiri atas santri, pengurus yayasan, dan masyarakat sekitar. Secara umum, kegiatan berlangsung lancar dan mendapat respons positif dari seluruh peserta.

Kegiatan diawali dengan pembukaan oleh pihak yayasan, penyampaian materi, demonstrasi alat, praktik pengolahan limbah menggunakan reaktor fotokatalitik, sesi diskusi, evaluasi kegiatan, dan diakhiri dengan sesi foto bersama. Antusiasme peserta terlihat sejak awal kegiatan. Hal ini ditunjukkan oleh tingginya partisipasi peserta dalam sesi diskusi serta keaktifan mereka saat mengikuti praktik pengolahan limbah. Sebagian besar peserta menyatakan bahwa materi yang diberikan merupakan pengetahuan baru yang sebelumnya belum pernah diperoleh melalui pelatihan lain.



Gambar 2. Pembukaan Kegiatan PKM dengan Ketua Yayasan Pondok Pesantren dan Panti Asuhan Nurul Ihsan

Hasil Sosialisasi dan Penyampaian Materi

Tahap sosialisasi bertujuan untuk memberikan pemahaman dasar mengenai karakteristik limbah tekstil, dampaknya terhadap lingkungan, serta teknologi pengolahan limbah berbasis fotokatalitik. Materi yang disampaikan mencakup pengertian limbah cair tekstil, dampaknya terhadap lingkungan, teknologi pengolahan limbah konvensional, prinsip dasar fotokatalisis, karakteristik titanium dioksida (TiO_2), serta aplikasi teknologi fotokatalitik dalam pengolahan limbah.

Berdasarkan hasil observasi selama kegiatan berlangsung, peserta menunjukkan ketertarikan yang tinggi terhadap materi yang disampaikan. Hal ini terlihat dari banyaknya pertanyaan yang diajukan terkait penggunaan TiO_2 , mekanisme kerja fotokatalis, serta peluang penerapan teknologi tersebut dalam kehidupan sehari-hari. Sebagian besar peserta sebelumnya hanya mengenal metode pengolahan limbah sederhana seperti pengendapan dan penyaringan. Setelah mengikuti sosialisasi, peserta memperoleh wawasan baru mengenai teknologi *Advanced Oxidation Process* (AOP) yang mampu mendegradasi senyawa organik kompleks secara lebih efektif [9].

Kegiatan sosialisasi juga memberikan pemahaman bahwa pencemaran lingkungan akibat limbah tekstil tidak hanya menjadi tanggung jawab industri besar, tetapi juga tanggung jawab seluruh masyarakat. Oleh karena itu, diperlukan perubahan perilaku dan peningkatan kesadaran lingkungan secara berkelanjutan.

Hasil Demonstrasi Reaktor Fotokatalitik

Setelah penyampaian materi, peserta diperkenalkan dengan reaktor fotokatalitik sederhana yang digunakan dalam kegiatan ini. Reaktor tersebut terdiri atas wadah reaksi berbahan kaca, sistem pengaduk magnetik, lampu UV-Vis, fotokatalis TiO_2 , serta peralatan pengujian sederhana.

Demonstrasi dilakukan untuk menunjukkan bagaimana proses fotokatalitik berlangsung serta bagaimana TiO_2 bekerja dalam mendegradasi zat warna tekstil. Pada tahap demonstrasi, peserta dapat mengamati secara langsung perubahan warna limbah yang terjadi selama proses berlangsung. Demonstrasi ini menjadi bagian penting karena membantu peserta memahami konsep yang sebelumnya hanya dijelaskan secara teoretis. Menurut Robby dkk. [10], proses pembelajaran berbasis demonstrasi terbukti lebih efektif dalam meningkatkan pemahaman teknologi dibandingkan dengan penyampaian materi secara verbal saja.



Gambar 3. Praktik Membuat Reaktor Fotokatalitik Sederhana

Hasil Praktik Pengolahan Limbah

Praktik pengolahan limbah dilakukan menggunakan larutan *methyl orange* sebagai model limbah pewarna tekstil. Sebanyak 300 mL larutan *methyl orange* dicampurkan dengan 1 gram TiO_2 , kemudian dimasukkan ke dalam reaktor fotokatalitik. Selanjutnya dilakukan penyinaran menggunakan lampu UV-Vis selama 90 menit dengan pengadukan kontinu. Pengamatan dilakukan setiap 10 menit untuk melihat perubahan warna yang terjadi.

Tabel 2. Hasil Pengamatan Visual

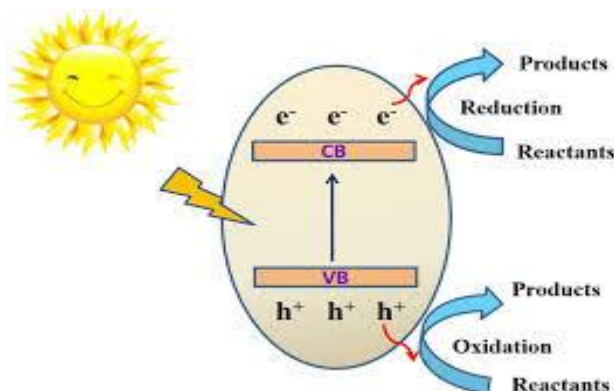
Waktu (Menit)	Kondisi Larutan
0	Jingga pekat
10	Mulai memudar
20	Warna berkurang
30	Jingga muda
40	Kuning tua
50	Kuning sedang
60	Kuning muda
70	Hampir bening
80	Sangat bening
90	Hampir tidak berwarna

Berdasarkan hasil pengamatan visual tersebut, terlihat bahwa intensitas warna mengalami penurunan secara bertahap selama proses fotokatalitik berlangsung. Penurunan warna menunjukkan bahwa senyawa *methyl orange* mengalami degradasi akibat aktivitas fotokatalitik TiO_2 yang dipicu oleh cahaya UV-Vis. Hasil ini sejalan dengan penelitian Naimah dkk. [6] yang menunjukkan bahwa TiO_2 memiliki kemampuan yang baik dalam menguraikan zat warna tekstil melalui mekanisme oksidasi lanjutan.

Hasil Pembahasan Mekanisme Fotokatalitik

Proses fotokatalitik [11] bekerja berdasarkan prinsip aktivasi katalis semikonduktor oleh cahaya (baik ultraviolet maupun tampak), yang menghasilkan pasangan elektron-hole (e^-/h^+) aktif. Pasangan ini mampu membentuk radikal hidroksil ($\cdot\text{OH}$) yang sangat reaktif, sehingga dapat menguraikan senyawa organik kompleks menjadi senyawa sederhana seperti CO_2 dan H_2O . Fotokatalis digunakan antara lain

titanium dioksida (TiO_2), seng oksida (ZnO), atau material komposit berbasis oksida logam lainnya. Proses ini termasuk dalam kategori *Advanced Oxidation Processes* (AOPs) yang dikenal memiliki efisiensi tinggi dalam menguraikan bahan pencemar tanpa menghasilkan residu berbahaya [9], [10], [12], [13].



Gambar 4. Skema Proses Fotokatalitik [14]

Proses fotokatalitik yang terjadi selama kegiatan PKM dijelaskan melalui mekanisme pembentukan pasangan elektron-hole pada permukaan TiO_2 . Ketika TiO_2 menerima energi cahaya yang cukup, elektron pada pita valensi akan tereksitasi ke pita konduksi. Elektron yang terbentuk kemudian bereaksi dengan oksigen terlarut membentuk radikal superoksida. Sementara itu, hole bereaksi dengan air, menghasilkan radikal hidroksil. Radikal hidroksil yang terbentuk memiliki kemampuan oksidasi yang sangat tinggi sehingga mampu menyerang molekul zat warna dan memutus ikatan kimia yang kompleks pada senyawa tersebut. Akibatnya, struktur *methyl orange* mengalami degradasi menjadi senyawa yang lebih sederhana seperti karbon dioksida dan air [12].

Selama pelaksanaan praktik, ditemukan bahwa beberapa faktor berpengaruh terhadap keberhasilan proses fotokatalitik. Intensitas cahaya merupakan faktor utama yang menentukan jumlah pasangan elektron-hole yang terbentuk; semakin tinggi intensitas cahaya, semakin tinggi pula laju pembentukan radikal hidroksil sehingga proses degradasi berlangsung lebih cepat. Konsentrasi TiO_2 memengaruhi luas permukaan aktif yang tersedia untuk reaksi, namun penggunaan yang berlebihan dapat menyebabkan hamburan cahaya sehingga menurunkan efektivitas proses [13]. Waktu penyinaran juga berpengaruh terhadap peluang terjadinya degradasi zat warna, di mana waktu operasi 90 menit pada kegiatan ini menunjukkan hasil penghilangan warna yang cukup baik. Selain itu, nilai pH larutan memengaruhi interaksi antara permukaan TiO_2 dan molekul zat warna, dengan kondisi asam ringan umumnya memberikan efisiensi degradasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi basa [14].

Hasil kegiatan menunjukkan bahwa teknologi fotokatalitik berbasis TiO_2 memiliki potensi yang sangat baik untuk diperkenalkan kepada masyarakat sebagai alternatif dalam pengolahan limbah cair tekstil. Selain memiliki efektivitas yang cukup tinggi dalam menurunkan intensitas warna limbah, teknologi ini juga relatif sederhana dan mudah dipahami oleh masyarakat. Keberhasilan kegiatan ini menunjukkan bahwa transfer teknologi dari perguruan tinggi kepada masyarakat dapat dilakukan secara efektif apabila menggunakan pendekatan yang partisipatif dan aplikatif. Kombinasi antara sosialisasi, demonstrasi, dan praktik langsung terbukti mampu meningkatkan pemahaman peserta secara signifikan. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Robby dkk. [10], Lalasari dkk. [11], dan Fauzi dkk. [12] yang menyatakan bahwa TiO_2 merupakan material fotokatalis yang efektif untuk aplikasi pengolahan limbah cair. Dengan demikian,

kegiatan PKM ini tidak hanya berhasil meningkatkan kapasitas masyarakat tetapi juga berkontribusi dalam mendukung pengembangan teknologi lingkungan yang berkelanjutan di tingkat komunitas.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) yang diselenggarakan oleh dosen Teknik Mesin UNPAM di Yayasan Pondok Pesantren dan Panti Asuhan Nurul Ihsan berjalan sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan. Seluruh rangkaian kegiatan, mulai dari sosialisasi, demonstrasi alat, praktik pengolahan limbah, hingga diskusi, berlangsung dengan baik dan mendapat respons positif dari peserta. Peserta menunjukkan tingkat antusiasme yang tinggi selama mengikuti kegiatan, yang terlihat dari keaktifan mengajukan pertanyaan, keterlibatan dalam praktik, serta minat untuk mengetahui lebih lanjut tentang teknologi fotokatalitik dan aplikasinya dalam pengolahan limbah cair. Selain itu, peserta juga mengalami peningkatan pemahaman terhadap materi yang diberikan; sebelum kegiatan, sebagian besar peserta belum memahami prinsip kerja teknologi fotokatalitik maupun manfaat titanium dioksida (TiO_2) sebagai material fotokatalis, tetapi setelah kegiatan mereka mampu menjelaskan kembali konsep dasar fotokatalisis serta manfaatnya dalam mengurangi pencemaran lingkungan. Hasil praktik menunjukkan bahwa teknologi fotokatalitik mampu menurunkan intensitas warna limbah *methyl orange* secara bertahap selama proses penyinaran. Kegiatan ini memberikan dampak positif terhadap peningkatan kesadaran lingkungan peserta serta mendorong pemahaman tentang pentingnya pengelolaan limbah yang ramah lingkungan. Sinergi antara perguruan tinggi dan masyarakat melalui program PKM terbukti efektif dalam mendukung transfer ilmu pengetahuan dan teknologi.

Saran

Berdasarkan hasil kegiatan yang telah dilaksanakan, beberapa saran yang dapat diberikan adalah kegiatan pelatihan serupa perlu dilaksanakan secara berkelanjutan agar pengetahuan dan keterampilan peserta dapat terus berkembang. Selain itu, pengembangan reaktor fotokatalitik perlu dilakukan dengan kapasitas yang lebih besar sehingga dapat diaplikasikan secara lebih luas pada skala komunitas. Pengujian kualitas limbah juga perlu dilakukan secara lebih komprehensif menggunakan parameter laboratorium seperti COD, BOD, TSS, dan TOC guna memperoleh data kuantitatif yang lebih akurat. Pada kegiatan PKM selanjutnya, program dapat dikembangkan dengan mengintegrasikan teknologi energi terbarukan, seperti pemanfaatan sinar matahari sebagai sumber energi fotokatalitik. Akhirnya, masyarakat diharapkan dapat menerapkan pengetahuan yang telah diperoleh dalam kehidupan sehari-hari sehingga mampu berkontribusi aktif dalam menjaga kualitas lingkungan serta mengurangi pencemaran air.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang (UNPAM) yang telah memfasilitasi dan mendukung pelaksanaan kegiatan Program Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Fauzi, I. Sari, R. Ananda, and M. Gultom, *Industri Tekstil*. 2019.

- [2] N. M. Muzakir, R. A. Laksono, A. A. Maharani, N. D. Q. Aini, D. Utari, and A. M. Fithri, "Kesehatan kerja pada pekerja industri tekstil yang terdiagnosis kanker akibat zat karsinogen," *Sustain. Urban Dev. Environ. Impact J.*, vol. 1, no. 1, pp. 25–33, Feb. 2024, doi: <https://doi.org/10.61511/sudeij.v1i1.2024.886>.
- [3] Enrico, "Dampak Limbah Cair Industri Tekstil terhadap Lingkungan dan Aplikasi Teknik Eco Printing sebagai Usaha Mengurangi Limbah," *Moda Fash. J.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, Jun. 2019, doi: <https://doi.org/10.37715/moda.v1i1.706>.
- [4] N. Apriyani, "Industri Batik: Kandungan Limbah Cair dan Metode Pengolahannya," *Media Ilm. Tek. Lingkung.*, vol. 3, no. 1, pp. 21–29, Mar. 2018, doi: <https://doi.org/10.33084/mitl.v3i1.640>.
- [5] F. W. Sausan, A. R. Puspitasari, and D. Y. P., "Studi Literatur Pengolahan Warna pada Limbah Cair Industri Tekstil Menggunakan Metode Proses Adsorpsi, Filtrasi, dan Elektrolisis," *J. TECNOSCIENZA*, vol. 5, no. 2, pp. 213–230, Apr. 2021, doi: <https://doi.org/10.51158/tecnoscienza.v5i2.427>.
- [6] S. Naimah, S. A. A., B. N. Jati, N. N. Aidha, and A. A. Cahyaningtyas, "Degradasi Zat Warna Pada Limbah Cair Industri Tekstil Dengan Metode Fotokatalitik Menggunakan Nanokomposit Tio2 – Zeolit," *J. Kim. dan Kemasan*, vol. 36, no. 2, pp. 225–236, 2014.
- [7] Anonim, "Yayasan Pon Pes dan Panti Nurul Ihsan Momonggor." [Online]. Available: <https://ponpesnurulihسان.wordpress.com/about/>
- [8] V. W. Andiese, "Pengolahan Limbah Cair Rumah Tangga Dengan Metode Kolam Oksidasi," *Infrastruktur*, vol. 1, no. 2, pp. 103–110, 2011.
- [9] X. Deng, Y. Yue, and Z. Gao, "Gas-phase photo-oxidation of organic compounds over nanosized TiO₂ photocatalysts by various preparations," *Appl. Catal. B Environ.*, vol. 39, no. 2, pp. 135–147, 2002, doi: [https://doi.org/10.1016/S0926-3373\(02\)00080-2](https://doi.org/10.1016/S0926-3373(02)00080-2).
- [10] A. F. R. Robby, L. H. Lalasari, N. Sofyan, D. Dhaneswara, and A. H. Yuwono, "A review on photocatalytic performance of TiO₂ nanotubes derived from hydrothermal process," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2538, no. 1, p. 20001, May 2023, doi: <https://doi.org/10.1063/5.0135800>.
- [11] L. H. Lalasari *et al.*, "Studi Perbandingan Efek Fotokatalisis Fe₂O₃-TiO₂ Hasil Ekstraksi Ilmenit Bangka dan P-25 Degussa untuk Aplikasi Pengolahan Limbah Cair TPA Cilowong [The Photocatalytic Effect of P-25 Degussa and Fe₂O₃-TiO₂ Derived from Bangka- Indonesia Ilmenite Extraction]," *J. Metal.*, vol. 27, no. 3, pp. 251–262, Dec. 2012.
- [12] A. Fauzi, L. H. Lalasari, N. Sofyan, A. Ferdiansyah, D. Dhaneswara, and A. H. Yuwono, "Synthesis of Titanium Dioxide Nanotube Derived From Ilmenite Mineral Through Post-hydrothermal Treatment and Its Photocatalytic Performance," *Eastern-European J. Enterp. Technol.*, vol. 2, no. 12, pp. 15–29, 2022.
- [13] H. Da Liao, J. L. Ma, and J. Dai, "Preparation and Photocatalytic Properties of Fe-Doped TiO₂ Nanocrystalline Composite Particles," *Adv. Mater. Res.*, vol. 105–106, pp. 815–818, 2010, doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.105-106.815>.
- [14] X. He and C. Zhang, "Recent advances in structure design for enhancing photocatalysis," *J. Mater. Sci.*, vol. 54, no. 12, pp. 8831–8851, 2019, doi: <https://doi.org/10.1007/s10853-019-03417-8>.