

NASKAH ORISINAL

Aplikasi Adsorpsi Fotokatalitik TiO₂ dan Panel Surya dalam Degradasi Limbah Pewarna Sintetik UMKM Batik Pelangi Desa Klampar, Kecamatan Proppo, Pamekasan

Adi Setyo Purnomo^{1,*} | Hendro Nurhadi² | Muhammad Lukman Hakim² | Taufiq Rinda Alkas¹ | Asranudin¹ | Alya Awinatul Rohmah¹ | Djohana Tri Lois Moyo¹ | Karina Harley Aulia Rizky¹ | Novia Nurul Hidayah¹ | Yunita Alfiyati Firdausa¹ | Zahra Salsabila¹

¹Departemen Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

²Departemen Teknik Mesin Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Korespondensi

*Adi Setyo Purnomo, Departemen Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia. Alamat e-mail: adi_setyo@chem.its.ac.id, adisipurnomo@yahoo.com

Alamat

Laboratorium Kimia Mikroorganisme, Departemen Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Abstrak

Industri batik di Desa Klampar, Kecamatan Proppo, Kabupaten Pamekasan tengah mendapat perhatian dari pemerintah setempat sejak ditetapkannya Desa Klampar sebagai Kampung Batik pada tahun 2009 melalui surat keputusan Bupati Pamekasan karena telah menjadi desa dengan pengrajin batik terbanyak sejak belasan tahun yang lalu. Untuk mendapatkan warna dan motif dengan ciri Madura yang khas, para pengrajin batik di Desa Klampar umumnya menggunakan pewarna sintetik jenis Remazol dan Naptol. Kurang lebih selama 15 tahun, kedua zat pewarna tersebut digunakan secara massif, namun limbah zat sisanya belum pernah diolah dengan baik. Oleh karena itu, tim pengabdian ITS menghibahkan reaktor degradasi pewarna sintetik yang berbasis adsorpsi fotokatalitik yang merupakan hasil riset laboratorium kimia. Setelah dilakukan beberapa kali evaluasi dan pengembangan, reaktor fotokatalitik ini terdiri atas tandon dengan penambahan lampu UV yang dihubungkan dengan 3 kolom yang masing-masing berisi silika, manganese, dan karbon aktif. Proses penjernihan air ini dioptimalisasi dengan penambahan klorin dan fotokatalisator TiO₂. Sistem ini dapat menjernihkan limbah hingga ke tingkat yang aman untuk dibuang ke lingkungan. Tim pengabdian masyarakat ITS telah menyerahkan 1 unit reaktor kepada UMKM Batik Pelangi di Desa Klampar dengan penambahan *solar cell* sebagai sumber energinya.

Kata Kunci:

Adsorben, Degradasi, Fotokatalitik, Limbah Pewarna Sintetik, Panel Surya

1 | PENDAHULUAN

1.1 | Latar Belakang

Beberapa tahun terakhir, Kabupaten Pamekasan semakin gencar untuk mengembangkan industri batik sejak dijuluki sebagai Kota Batik pada 24 Juli 2009 silam. Hal tersebut dibuktikan dengan sebanyak 90 unit kendaraan dinas di Kabupaten Pamekasan dihias dengan stiker batik, partisipasinya pada ajang *fashion show* di Laos dan Brunei Darussalam, dan juga mengikuti pameran internasional Saba-Saba di Tanzania, Afrika pada 2019. Oleh karena itu, industri batik tulis merupakan jenis industri yang paling banyak ada di Kabupaten Pamekasan. Lokasi industri batik yang terkenal berada di Desa Klampar, Kecamatan Proppo. Desa ini bahan dijuluki sebagai Kampung Batik^{[1][2]}.

Pada umumnya warga Desa Klampar menggunakan zat pewarna sintetik dari kelompok warna Remazol dan Naptol. Naptol dan Remazol dapat dikombinasi atau diformulasi untuk menghasilkan warna turunan baru sehingga didapatkan warna-warna yang lebih bervariasi. Berdasarkan uji *in vivo*, zat pewarna naptol terbukti menunjukkan sifat toksisitas pada tikus dan sel pada paru-parunya^[3]. Sementara itu, Remazol merupakan zat pewarna reaktif yang mengandung logam berat. Logam berat ini, umumnya digunakan untuk mengikat dan memperkuat warna pada industri tekstil^[4]. Pewarna azo yang merupakan campuran antara Remazol dan Naptol bersifat toksik karena mengandung senyawa amina yang toksik^{[5][6]}. Selain itu, zat pewarna sintesis umumnya bersifat karsinogenik, mutagenik, atau teratogenik pada beberapa spesies mikrobiologis dan ikan. Pada manusia, sifat toksik dari pewarna sintesis dapat menyebabkan disfungsi ginjal, hati, sistem reproduksi, otak, bahkan juga sistem saraf pusat^{[7][8][9]}.

Setelah ditelusuri oleh tim pengabdian, ternyata air limbah sisa pencelupan pewarna yang masih sangat pekat langsung dibuang tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Hal ini tentu meresahkan warga yang hidup di sekitar aliran limbah. Beberapa pengrajin telah berusaha untuk membuat sumur untuk menampung limbah batik tersebut. Akan tetapi, kekhawatiran yang lain juga muncul akibat kecurigaan bahwa limbah tersebut dapat merembes ke sumur air bersih milik warga. Apalagi limbah yang juga mengandung zat lilin/malam yang cukup tinggi tersebut juga mengalir menuju sawah dan sungai sehingga dapat mengancam kesehatan warga dan ternak^[2].

Edukasi dan alih teknologi dibutuhkan agar masyarakat semakin sadar tentang adanya potensi bahaya yang besar akibat limbah pewarna sintetik sehingga sistem pengolahan limbah di Desa Klampar dapat berkembang dan diterapkan secara maksimal sehingga inovasi teknologi diperlukan untuk mencapai masyarakat Desa Klampar yang lebih sehat. Oleh karena itu, poin utama dalam pengabdian ini adalah penyelesaian permasalahan limbah hasil industri batik. Pada penelitian sebelumnya di tahun 2021, digunakan reaktor super-adsorpsi yang berisi adsorben karbon aktif-manganese-silika. Namun, hasilnya kurang memuaskan akibat konsentrasi pewarna naptol yang sangat tinggi, yaitu >5000 ppm sehingga reaktor hanya dapat mendekolorisasi limbah dengan efisiensi 30%. Hal tersebut disebabkan karena luas permukaan yang tersedia pada adsorben untuk mengikat molekul pewarna terlarut sangat terbatas sehingga memiliki efisiensi yang rendah. Modifikasi pada reaktor agar efisiensi dekolorisasi menjadi lebih tinggi dan limbah yang telah memenuhi syarat dapat dibuang ke lingkungan sangatlah dibutuhkan^[2].

Oleh karena itu, untuk meningkatkan efisiensi penghilangan warna tersebut, ditambahkan metode degradasi fotokatalitik menggunakan TiO_2 . Penggunaan TiO_2 dinilai sangat efektif karena kemampuan menurunkan COD secara signifikan, dengan kalkulasi 4 g TiO_2 /Liter limbah dapat menurunkan COD >2000 mg/L^[10]. Fragmentasi molekul pewarna pasca degradasi fotokatalitik sangat beragam, dan memiliki ukuran molekul yang lebih kecil akan diserap menggunakan adsorben karbon aktif-manganese-silika. Kerja dari reaktor ini dioptimalisasi dengan sumber listrik diperoleh dari panel sel surya, dimana kondisi Madura sangat cocok karena intensitas sinar matahari yang sangat tinggi. Selain itu, penerapan reaktor ternyata membutuhkan sumber listrik yang relatif cukup besar bagi mitra yang memiliki daya listrik 450 watt di tempat produksi batik. Dengan adanya transfer ilmu dan teknologi, para pengrajin batik akan banyak terbantu untuk mengolah limbah. Tim pengabdian ITS membuat reaktor degradasi fotokatalitik TiO_2 dan menerapkan *solar cell* sebagai sumber energi listrik untuk mengaktifkan sinar ultraviolet (UV) dan motor pengaduk dalam reaktor fotokatalitik.

1.2 | Solusi Permasalahan atau Strategi Kegiatan

Solusi permasalahan yang dirancang pada abmas ini yaitu mengevaluasi reaktor pada tahun 2021 dengan menambahkan beberapa komponen yang dapat meningkatkan efektifitas dan efisiensi reaktor penjernih. Penambahan komponen tersebut, terdiri dari penambahan lampu UV untuk reaksi fotokatalitik dan sistem panel surya. Selain struktur pewarna, komponen anorganik

yang terlarut dapat didegradasi secara fotokatalitik. Selain itu, waktu degradasi dapat berlangsung singkat yaitu 2-3 jam secara otomatis. Pada konsentrasi limbah yang sangat tinggi, fragmen limbah yang tidak terdegradasi sempurna akan diserap oleh tiga adsorben yaitu karbon aktif-manganes-silika. Penerapan sistem panel surya sejalan dengan kondisi alam Madura yang sangat panas, dan dapat membantu menekan biaya pemakaian listrik. Harapannya teknologi ini dapat memecahkan permasalahan limbah yang dihasilkan oleh Batik Pelangi, sebab secara keilmuan, abdimas ini telah dimotori oleh tim yang kompeten yaitu Bapak Adi Setyo Purnomo, M.Sc., Ph.D. sebagai ahli degradasi, sedangkan bidang desain dimotori Bapak Hendro Nurhadi, Ph.D. dan M. Lukman Hakim, ST., MT. dari keahlian Teknik mesin. Perpaduan keilmuan ini diharapkan akan menghasilkan reaktor yang berdampak besar terhadap pengolahan limbah batik di Batik Pelangi.

1.3 | Target Luaran

Kegiatan pengabdian ini telah dijalankan selama 8 bulan dan dalam pelaksanaannya diisi kegiatan edukasi tentang penanganan lingkungan sesuai permasalahan yang dihadapi UMKM batik Pelangi di Desa Klampar Kec. Proppo Kab. Pamekasan terkait pengelolaan limbah batik. Luaran wajib dari kegiatan abdimas adalah menghasilkan reaktor fotokatalitik yang akan diserahkan terimakan dengan mitra, publikasi di jurnal pengabdian SEWAGATI, publikasi pada media massa elektronik *ITS online*, video pelaksanaan kegiatan yang diunggah di Youtube DRPM TV Channel, Hak cipta video dokumentasi dan *Book chapter*.

Tim abdimas juga membuat solusi, dan target luaran lainnya seperti ditunjukkan pada Tabel 1 .

Tabel 1 Masalah, Solusi, dan Target Luaran

No.	Masalah	Solusi	Target Luaran
1.	Penampungan limbah	Pembuatan bak penampungan limbah sementara	Reaktor berkapasitas 300 Liter
2.	Konsentrasi limbah yang tinggi	Lampu Ultraviolet dan TiO ₂	Meningkatkan laju degradasi
3.	Sumber listrik	Panel surya	Unit panel surya
4.	Fragmen molekul	Adsorpsi menggunakan adsorben dan metode fotokatalitik	Kolom adsorben karbon aktif-manganes-silika dan sistem fotokatalitik

2 | TINJAUAN PUSTAKA

2.1 | Industri Batik di Desa Klampar, Kecamatan Proppo, Pamekasan

Pulau Madura merupakan Pulau yang terdapat pada Provinsi Jawa Timur. Selain terkenal dengan budayanya, yaitu karaban sapi dan senjata khasnya clurit, Madura juga terkenal dengan produksi batiknya. Salah satunya industri batik yang berlokasi di Desa Klampar Kecamatan Proppo. Wilayah tersebut berlokasi sekitar 10-15 menit dari pusat kota. Industri batik di daerah tersebut memang terbilang cukup maju, karena sering melalang buana di pameran kain khas Indonesia. Motif batik Madura Klampar memiliki ciri khas yang besar-besar (rumput, daun, bunga, dan garis-garis) dan warna warni. Warnanya terang dan sering bertabrakan. Warna yang digunakan merupakan pewarna sintetis kimiawi, yaitu naptol dan remazol. Biasanya warna yang digunakan yaitu oranye, ungu, kuning, dan hijau^[1].

Proses tahapan membatiknyapun sama pada proses membatik umumnya. Ada batik tulis dan batik cap. Prosesnya meliputi pemberian motif, penutupan motif dengan malam, proses pewarnaan, peluruhan malam, penjemuran dan *finishing*. Soal harga, Batik Klampar ini tergolong ekonomis yaitu mulai dari Rp 95.000. Biasanya warga Klampar memasarkan batik tersebut di pasar yang ada di Kota Pamekasan, dan peminatnya pun banyak.

2.2 | Pewarna Tekstil

Pewarna menurut asalnya tergolong menjadi dua yaitu pewarna sintetis dan alami. Pewarna sintetis merupakan pewarna buatan manusia dari proses kimiawi. Pewarna tekstil biasanya tergolong pewarna kimiawi atau sintetis. Pewarna ini memiliki banyak keunggulan, sehingga populer digunakan untuk mewarnai kain atau benang. Keunggulan tersebut diantaranya: mudah diperoleh, mudah digunakan, hasil yang bagus dan tahan lama^[11]. Biasanya dalam proses pewarnaan kain, pewarna tekstil itu menggunakan pewarna naptol dan pewarna indigosol. Naptol merupakan senyawa yang digunakan dalam pewarnaan tekstil, karena mudah meresap dan memiliki warna yang kuat. Naptol terdiri dari dua golongan, yaitu naptol AS (*anilid acid*) dan komponen pemberi warna yaitu diazonium, atau yang biasa disebut dengan garam^[12].

Di Jawa Timur sendiri, pewarna tekstil ini marak dijual di wilayah Kya Kya Surabaya dengan berbagai macam kualitas. Semakin tinggi kualitas warna, maka harganya semakin mahal. Akan tetapi, hasilnya semakin menyala dan tahan lama. Dibalik semua keunggulan pewarna sintetis ini, tentunya terdapat kekurangannya juga. Pewarna tekstil sangat berbahaya, jika dibuang langsung ke lingkungan tanpa adanya penanganan sebelumnya. Pewarna tekstil ini bersifat stabil, toksik, karsinogenik dan mutagenik^[8]. Jika terakumulasi secara berlebihan di tubuh biota air, pewarna ini dapat menimbulkan kematian pada biota air tersebut. Selain itu, jika terakumulasi secara berlebihan di dalam tubuh manusia dapat menyebabkan diare, sianosis, kanker dll.

2.3 | Prinsip Alat Diseminasi Reaktor

Alat diseminasi yang didesain pada Abmas ini terdiri dari dua konsep, yaitu adsorpsi dan degradasi fotokatalitik. Adsorpsi merupakan salah satu metode penjernihan yang sederhana dan mudah untuk dilakukan dalam penjernihan air. Prinsip adsorpsi pada reaktor diseminasi dilakukan oleh peran adsorben yaitu silika, manganese, dan karbon aktif. Pasir silika merupakan salah satu mineral yang umum ditemukan di bumi ini. Mineral ini memiliki struktur kristal heksagonal yang terbuat dari silika trigonal terkristalisasi (silikon dioksida, SiO_2). Silika biasanya digunakan untuk penjernihan air dan bahan campuran untuk pembuatan gelas atau kaca^[13]. Selain pasir silika, manganese juga sering digunakan untuk penjernihan air. Fungsi *Manganese greensand* adalah untuk menghilangkan kandungan mangan (Mn^{2+}), besi, dan hidrogen sulfida yang tampak seperti lapisan atas berminyak di dalam air minum atau air tanah atau air PDAM atau air gunung^[14]. Kemudian terdapat juga karbon aktif yang memiliki tingkat adsorpsi tinggi dan mudah digunakan. Karbon aktif dapat menyerap zat-zat atau mineral yang mencemari air. Adapun manfaat karbon aktif dalam proses penjernihan air yaitu sebagai penyerap bau, warna, klorin atau mineral lain dan membuat rasa segar pada air^[15].

Proses degradasi fotokatalitik dapat terjadi akibat peran dari lampu UV dan semikonduktor TiO_2 . Degradasi fotokatalitik ini bertujuan untuk memecah senyawa polutan kompleks kimia, menjadi senyawa yang lebih sederhana dan bersifat tidak toksik. Telah terdapat banyak penelitian dan pengabdian yang menggunakan degradasi fotokatalitik untuk merediasi polutan berwarna. Wildan et al. melakukan pengolahan limbah batik dengan metode fotokatalitik menggunakan TiO_2 . Hasilnya menunjukkan bahwa metode tersebut dapat mengurangi polutan limbah batik secara efisien^[16]. Selain itu, metode fotokatalitik menggunakan TiO_2 ini juga dapat digunakan untuk degradasi pewarna tekstil yang sangat stabil, seperti metilen biru dan pewarna lain seperti Remazol^{[17][18]}.

3 | METODE KEGIATAN

3.1 | Keterlibatan Mitra

Keterlibatan warga dan kelompok UMKM batik dalam kegiatan ini merupakan hal yang vital, diharapkan penyampaian teknologi yang telah dilaksanakan dapat menjangkau masyarakat luas. Namun, dalam program kali ini target yang dipilih adalah terutama Kelompok Batik Pelangi yang berlokasi di Desa Klampar, Kecamatan Proppo, Kabupaten Pamekasan. Selain itu tokoh-tokoh masyarakat di sekitar lokasi juga dilibatkan sebagai usaha meningkatkan kesadaran warga tentang dampak negatif limbah batik. Mitra dan masyarakat diajak untuk melihat proses penggunaan alat diseminasi limbah warna, termasuk cara pengaplikasiannya. Dikarenakan terdapat bagian-bagian alat yang tersusun secara berkesinambungan (termasuk penggunaan lampu UV untuk proses degradasi fotokatalitik), dan terdapat peran adsorben pengadsorpsi limbah warna yang harus dimengerti. Selain itu, pemasangan panel surya terhadap alat diseminasi, juga harus diperhatikan oleh masyarakat dan mitra tentunya. Mulai dari pemasangan dan cara penggunaan. Hal tersebut juga dapat menjadi wawasan bagi warga untuk menghemat energi listrik (*saving energy*) dengan

penggunaan panel surya yang dapat memproduksi listrik dari tenaga matahari, sehingga juga akan dapat menghemat ongkos pengeluaran biaya rumah tangga.

3.2 | Tahap Persiapan

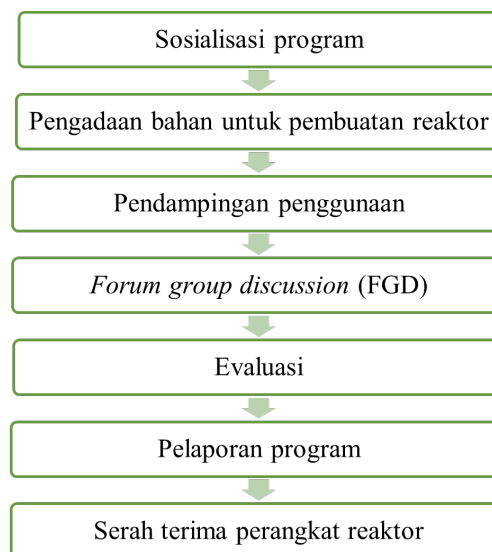
Pada tahap ini telah dilakukan observasi dan inventarisasi masalah yang dihadapi oleh Batik Pelangi. Permasalahan yang diperoleh kemudian dicarikan solusinya dengan teknologi fotokatalitik. Dalam tahap ini juga, tim melakukan sosialisasi kegiatan abdimas yang dilakukan kepada tokoh-tokoh masyarakat setempat. Penentuan jadwal pelaksanaan kegiatan dan lokasi pelaksanaan juga diputuskan dalam tahap ini secara musyawarah dengan seluruh anggota tim.

3.3 | Tahap Pelaksanaan Kegiatan

Kegiatan Tim pengabdian masyarakat sudah mendiskusikan hasil observasi dan inventarisasi masalah dari tahap sebelumnya. Pembuatan reaktor fotokatalitik dan modul dikerjakan pada tahapan ini. Pelaksanaan kegiatan inti pengabdian masyarakat telah diselenggarakan di satu lokasi bersamaan dengan simulasi kerja alat serta sosialisasi dan pelatihan penggunaan reaktor fotokatalitik.

3.4 | Tahap Evaluasi dan Monitoring Kegiatan

Evaluasi pelaksanaan dan keberlanjutan program. Evaluasi dan monitoring kegiatan dilakukan secara periodik dengan melibatkan anggota pelaksana dan tokoh masyarakat Desa Klampar. Evaluasi yang *urgent* adalah sejauh apa mitra konsisten menggunakan dekolorator sehingga limbah pewarna sintetik tersebut tidak sampai ke lingkungan persawahan dan perairan. Pelaksanaan sebuah program pemberdayaan masyarakat sering menemui jalan buntu, disebabkan masyarakat kurang bergairah dalam menjalankan alih teknologi. Pasang surut semangat tersebut dapat disebabkan kesadaran dan tingkat pendidikan, sehingga diperlukan penguatan melalui koordinasi dengan dinas terkait agar produk pengabdian yang dihasilkan dapat dioperasikan sepanjang waktu. Untuk mendapatkan justifikasi dari mitra pengabdian sehingga perlu dilakukan evaluasi bulanan dengan menurunkan tim melakukan pemantauan langsung untuk menentukan solusi atas permasalahan yang dihadapi mitra. Secara umum, prosedur kerja dalam pengabdian masyarakat ini dapat dilihat pada Gambar (1).



Gambar 1 Alur kegiatan pengabdian masyarakat.

4 | HASIL DAN DISKUSI

Kecamatan Proppo merupakan salah satu kecamatan di Kabupaten Pamekasan yang sebagian besar masyarakatnya adalah pengrajin batik Madura. Desa Klampar sebagai bagian dari Kecamatan Proppo telah dikenal luas sebagai Kampung Batik yang dinobatkan untuk wilayah Kabupaten Pamekasan. Lebih dari 80% masyarakat telah menggantungkan sumber ekonomi dari batik, tentunya banyak limbah hasil pewarnaan yang dihasilkan. Dari penelusuran pengabdian ITS, aliran air buangan limbah perendaman dan pencucian batik langsung menuju sawah dan sungai yang ada disekitar wilayah tersebut. Berdasarkan diskusi dengan mitra menunjukkan bahwa mitra telah lama menunggu bantuan pengolahan limbah batik. Ibu Muhimmah, salah satu ketua mitra batik Pelangi mengatakan warga enggan terbuka karena khawatir penggunaan pewarna sintetis tersebut akan mendapat pertentangan dari pegiat lingkungan hidup, sehingga dengan adanya tawaran dari tim pengabdian, beliau sangat senang karena dapat membantu warga mengolah limbah lebih baik. Selain itu, keberhasilan penggunaan reaktor fotokatalitik ini bisa menjadi contoh bagi pemerintah setempat dengan mengembangkan lebih banyak kepada pengrajin batik yang lain di Kabupaten Pamekasan.

Permasalahan limbah batik yang dihasilkan warga desa Klampar telah direspon oleh tim pengabdian ITS pada tahun 2021 dengan melakukan desiminasi berupa reaktor dekolonisasi yang berisi adsorben karbon aktif-manganese-silika akan tetapi hasilnya kurang memuaskan. Konsentrasi pewarna naptol yang sangat tinggi yaitu >5000 ppm menyebabkan reaktor tersebut belum efektif mendekolorisasi limbah dengan efisiensi 30%^[2]. Gambar reaktor yang telah didiseminasikan pada tahun 2021 ditunjukkan pada Gambar (2). Ternyata, masih ditemukan beberapa kelemahan sehingga penting dilakukan *upgrade* teknologi yaitu dengan menggabungkan sistem fotokatalitik menggunakan TiO_2 dengan sumber listrik dari panel surya dan diintegrasikan dengan kolom adsorben. Penggunaan teknik fotokatalitik menunjukkan hasil yang memuaskan dimana indeks penghilangan warna sangat tinggi yaitu mencapai 90% (Gambar (3)b), sedangkan metode adsorpsi hanya 40% (Gambar (3)a). Karena sisi aktif yang tersedia pada adsorben tidak ekuivalen dengan jumlah limbah. Selanjutnya, teknik fotokatalitik ini membutuhkan konsumsi listrik, sedangkan mitra abmas batik Pelangi hanya memiliki listrik 450 watt dan jarak pengolahan dari rumah yang cukup jauh yaitu 35 meter, sehingga dibutuhkan Panel Surya pada rangkaian reaktor ini. Panel surya 240 WP akan diterapkan pada reaktor ini untuk menghidupkan lampu UV dan motor pengaduk pada reaktor.



Gambar 2 Reaktor adsorpsi Tahun 2021.

Pada kegiatan pengabdian masyarakat ini digunakan teknologi dekolimator di mana teknologi yang akan didiseminasikan kepada masyarakat mitra di Desa Klampar adalah penerapan prinsip fotodegradasi dengan bantuan energi UV menggunakan fotokatalis TiO_2 yang dihubungkan dengan kolom matriks adsorben dengan urutan karbon aktif-manganese-silika. Pada dasarnya metode fotodegradasi merupakan metode yang efektif untuk mengolah limbah zat pewarna karena dapat menguraikan senyawa zat warna yang bersifat toksik, karsinogenik, dan mutagenik menjadi senyawa yang tidak berbahaya seperti H_2O dan CO_2 ^[16]. Umumnya, metode fotodegradasi ini dilakukan dengan bantuan katalis semikonduktor. TiO_2 sering digunakan karena dianggap sebagai katalis semikonduktor yang efektif karena memiliki energi gap yang besar (3,2 eV). Namun, Fotokatalis TiO_2 memiliki luas



Gambar 3 a) Produk adsorpsi, b) Produk Fotokatalitik.

permukaan yang relatif rendah sehingga perlu dikombinasikan dengan adsorben^[17]. Poluakan et al. telah melakukan penelitian untuk mengetahui aktivitas fotokatalitik dari kombinasi fotokatalis TiO_2 dengan adsorben zeolit dan karbon aktif. Hasilnya menunjukkan bahwa modifikasi TiO_2 -karbon aktif dapat mendegradasi pewarna remazol *yellow* hingga 95% dibandingkan dengan adsorben zeolit yang mampu mendegradasi sebesar 83%^[18]. Oleh karena itu, karbon aktif digunakan sebagai adsorben dalam kolom reaktor pengabdian ini. Karena konsentrasi limbah pewarna yang dihasilkan sangat tinggi, penggunaan adsorben juga perlu dioptimalisasi dengan beberapa jenis adsorben lain, yaitu silika dan manganese. Silika banyak digunakan sebagai adsorben karena merupakan bahan pendukung yang bersifat *inert* sehingga stabil dalam keadaan asam. Selain itu, silika memiliki karakteristik pertukaran massa yang tinggi, porositas, luas permukaan, dan daya tahan yang tinggi pula terhadap panas^[19]. Penggunaan diatomit dan mangan oksida mampu menurunkan kadar logam berat dari limbah cair. Ion-ion sulfat dalam limbah cair dapat diadsorpsi oleh silika dan karbon aktif. Selain itu pada adsorben diatomit, senyawa silikat yang terdapat pada abu sekam padi dapat menaikkan pH limbah cair^[20].

Kegiatan ini dimulai dengan membuat desain reaktor degradasi seperti ditunjukkan pada Gambar (4). Kemudian dilanjutkan dengan survei di Desa Klampar terkait kondisi lokasi yang memungkinkan untuk menjadi tempat peletakan reaktor serta mengetahui langsung serangkaian proses pembuatan dimulai dari pembuatan motif batik menggunakan lilin sampai pada proses pembuangan limbahnya yang ditunjukkan pada Gambar (5). Pada abmas ini, limbah yang dihasilkan oleh pengrajin akan tertampung pada reaktor dengan kapasitas 250 Liter. Selanjutnya dengan energi listrik dari *solar cell* akan menyalakan pompa air sehingga limbah akan mengalir melalui kolom yang berisi adsorben. Setelah limbah keluar dari kolom, akan dihasilkan filtrat dengan zat pewarna yang telah terdegradasi.



Gambar 4 Desain reaktor degradasi.

Limbah zat pewarna sintetik dari industri batik di dalam penampungan akan disedot menggunakan mesin penyedot menuju ke tandon. Kemudian ditambahkan dengan klorin agar limbah dapat teroksidasi sehingga senyawanya lebih mudah terdegradasi. Di dalam tandon tersebut, lampu UV dipasang di tutup tandon. Tahapan selanjutnya yaitu proses pembuatan reaktor sesuai



Gambar 5 (a). Proses pembuatan motif menggunakan lilin. (b). Kain setelah proses pewarnaan (c). Lilin untuk pembuatan motif batik.

kondisi lapangan. Proses pembuatan reaktor ini dilakukan secara bertahap karena mengalami beberapa perbaikan dan evaluasi seperti penggabungan sistem fotokatalitik menggunakan TiO_2 untuk meningkatkan efektivitas dekolourisasi limbah yang mengandung naptol dengan konsentrasi yang sangat tinggi yaitu >5000 ppm^[2]. Serta penambahan panel surya untuk memenuhi kebutuhan konsumsi listrik. Indeks penghilangan warna pada metode fotokatalitik lebih tinggi persentasenya daripada menggunakan metode^[10]. Teknik fotokatalitik menghasilkan indeks penghilangan sebesar 90%, sedangkan metode adsorpsi hanya 40%. Struktur pewarna maupun komponen anorganik dapat terdegradasi secara fotokatalitik^[21]. Melalui teknik ini, proses degradasi berlangsung secara otomatis dan waktunya cukup singkat, yaitu 2-3 jam. Selain itu, Madura mempunyai kondisi alam yang panas sehingga dapat mendukung teknik fotokatalitik. Fragmen dari limbah dengan konsentrasi sangat tinggi yang tidak terdegradasi akan diserap oleh adsorben berupa karbon aktif-manganes-silika.

Daya listrik yang dimiliki mitra abmas (UMKM Batik Pelangi) hanya 450 watt. Oleh karena itu, dibutuhkan panel surya pada rangkaian reaktor ini untuk menghidupkan lampu UV dan motor pengaduk pada reaktor. Hasil instalasi panel surya pada pengabdian ini dapat menyumbang energi listrik sebesar 900 watt pada waktu terik sehingga dapat menghidupkan semua komponen terkait pada *reactor* dekolourisasi. Setelah semua alat siap, limbah pewarnaan batik dimasukkan ke dalam tandon dan ditambahkan air agar tidak terlalu pekat. Kemudian dilakukan penambahan serbuk TiO_2 dan klorin untuk mempercepat proses dekolourisasi. Limbah yang telah diolah selanjutnya dialirkan melalui kolom adsorben yang berturut-turut karbon aktif-manganes-silika. Proses akhir ini berfungsi untuk mengikat produk degradasi ke dalam perangkap adsorben sehingga lebih aman dibuang tanpa mencemari lingkungan sekitarnya.

Gambar (6 a) dan (6 b) menunjukkan tim ITS melakukan instalasi serta serah terima perangkat reaktor dekolourator ke mitra pengrajin batik Pelangi di Desa Klampar, Kecamatan Proppo, Kabupaten Pamekasan. Pemasangan tersebut memerlukan waktu yang lumayan lama, dikarenakan proses pengelasan kerangka panel surya. Selain itu, juga dilakukan uji coba panel surya apakah telah berfungsi dengan baik. Proses dekolourisasi penghilangan pewarna pun juga disosialisasikan kembali kepada mitra, dikarenakan pada reaktor terdapat tambahan proses fotodegradasi oleh lampu UV yang dibantu oleh semikonduktor TiO_2 . Selanjutnya, pihak tim pengabdian ITS akan melakukan evaluasi dan monitoring terhadap reaktor yang telah terpasang agar dapat dimanfaatkan dengan baik oleh mitra batik Pelangi.

Pengembangan dan penerapan reaktor ini diharapkan memberi efek positif terhadap penanganan limbah batik yang telah lama dibuang langsung ke sungai dan lahan pertanian dan dapat dikembangkan oleh pemerintah daerah Kabupaten Pamekasan untuk pengrajin batik lainnya yang juga menghasilkan limbah yang sama seperti batik Pelangi. Selain dilakukan serah terima secara simbolis kerja reaktor dekolourisasi (Gambar (7)), hasil dari pengabdian masyarakat ini telah dipublikasikan di beberapa media, seperti video pelaksanaan kegiatan yang dapat diakses di youtube pada link <https://youtu.be/-qIk3kIrFDw>. Tim pengabdian ITS berharap, produk hasil pengabdian masyarakat ini dapat digunakan dalam jangka waktu panjang dan diterapkan di tempat-tempat lain yang juga mengalami permasalahan yang sama dengan di Desa Klampar ini.



Gambar 6 (a) Reaktor degradasi yang terpasang di Desa Klampar, Pamekasan dan (b) Reaktor degradasi dan panel surya.



Gambar 7 Kegiatan pengabdian masyarakat di Desa Klampar, Pamekasan.

5 | KESIMPULAN DAN SARAN

Penerapan metode fotokatalitik menggunakan TiO_2 serta aplikasi panel surya pada reaktor degradasi limbah pewarna sintetik telah berhasil mengatasi permasalahan limbah dari industri Batik Pelangi di desa Klampar, Kecamatan Proppo, Kabupaten Pamekasan. Penggunaan metode fotokatalitik dengan TiO_2 mampu mempercepat proses degradasi limbah berkonsentrasi tinggi yang selanjutnya akan diserap oleh karbon aktif-manganes-silika. Kebutuhan listrik untuk menyalakan lampu UV dan motor pengaduk di dalam reaktor telah dipenuhi oleh panel surya. Limbah yang dihasilkan dari proses ini telah terdecolorisasi, sehingga lebih jernih dan aman dibuang ke lingkungan.

Setelah proses penerapan dan pemasangan panel surya terhadap reaktor diseminasi ini, tentunya Tim Abmas ITS akan terus melakukan tahap monitoring dan evaluasi, terkait kendala dan keunggulan yang dihasilkan. Selain itu, kegiatan abmas ini juga dapat dijadikan referensi terhadap kegiatan abmas berikutnya terkait dengan pengembangan-pengembangan ide yang telah ada sebelumnya. Hal tersebut dapat berkaitan terhadap pengembangan dengan adsorben lain atau metode lainnya.

6 | UCAPAN TERIMA KASIH

“Pengabdian masyarakat ini dibiayai oleh Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi melalui Skema Program Kemitraan Masyarakat Tahun 2022 sesuai kontrak induk nomor 113/E5/RA.00/PM/2022 dan kontrak pengabdian nomor 2103/PKS/ITS/2022. Selain itu, terima kasih penulis ucapkan kepada Bapak Salahuddin dan Ibu Muhimmah selaku salah satu ketua mitra Batik Pelangi mitra di Desa Klampar, Kecamatan Proppo, Kabupaten Pamekasan.”

Referensi

1. Luaylik NF, Azizah RN, Saputri E. Strategi Pemberdayaan Umkm Batik Desa Klampar Kabupaten Pamekasan Dalam Perspektif Kebijakan Berkelanjutan. *Jurnal Ilmu Sosial dan Ilmu Administrasi Negara* Vol 2022;6(02).
2. Purnomo AS, Prasetyoko D, Nurhadi H, Hakim ML, Alkas TR, Yuniarti EP, et al. Pengolahan Limbah Pewarna Batik di Desa Klampar Kecamatan Proppo Kabupaten Pamekasan dengan Penerapan Adsorben Superadsorpsi. *Sewagati* 2022;6(2):201–208.
3. Hadibarata T, Nor NM. Decolorization and degradation mechanism of Amaranth by *Polyporus* sp. S133. *Bioprocess and biosystems engineering* 2014;37:1879–1885.
4. Febriyani AC, Hastuti R, Haris A. Kajian Metode Elektrofotokatalisis, Elektrolisis dan Fotokatalisis pada Dekolorisasi Larutan Zat Warna Remazol Brilliant Orange 3R yang Mengandung Ion Logam Cu²⁺. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi* 2012;15(1):7–12.
5. Baena-Baldiris D, Montes-Robledo A, Baldiris-Avila R. *Franconibacter* sp., 1MS: A new strain in decolorization and degradation of azo dyes ponceau s red and methyl orange. *ACS omega* 2020;5(43):28146–28157.
6. Purnomo AS, Bahruji H, Allouss D, El Alaoui-Elbalrhiti I, Subagyo R, Rohmah AA, et al. Hectorite-CTAB–alginate composite beads for water treatment: kinetic, isothermal and thermodynamic studies. *RSC advances* 2023;13(2):790–801.
7. Tiara A. Uji Toksisitas Akut Pada IPAL Terpadu Kawasan Industri Tekstil Terhadap *Daphnia magna* di Dayeuhkolot. *Jurnal Teknik Lingkungan* 2014;20(2):109–119.
8. Rohmah AA, Purnomo AS, Safitri WN. Biodecolorization of Methylene Blue by Using *Bacillus subtilis* Immobilized into SA-PVA-Bentonite Matrix in Mineral Salt Medium and Non-nutritious Medium. *Indonesian Journal of Chemistry* 2022;22(6):1637–1650.
9. Purnomo AS, Asranudin A, Prasetyoko D, Azizah YDN. The biotransformation and biodecolorization of methylene blue by xenobiotic bacterium *Ralstonia pickettii*. *Indonesian Journal of Chemistry* 2021;21(6):1418–1430.
10. Xiong J, Guo S, Zhao T, Liang Y, Liang J, Wang S, et al. Degradation of methylene blue by intimate coupling photocatalysis and biodegradation with bagasse cellulose composite carrier. *Cellulose* 2020;27:3391–3404.
11. Atikah WS. Karakterisasi zeolit alam gunung kidul teraktivasi sebagai media adsorben pewarna tekstil. *Arena Tekstil* 2017;32(1).
12. Sakre T, Patriani SR, Sugianto H. Pelatihan Batik Tulis Dengan Media Pewarna Naptol Garam Bagi Siswa Panti Asuhan Yayasan Muslim Surabaya. *Kanigara* 2021;1(1):112–121.
13. Purwoto S, Purwanto T, Hakim L. Penjernihan Air Sungai dengan Perlakuan Koagulasi, Filtrasi, Absorpsi, dan Pertukaran Ion. *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA* 2015;13(2):45–53.
14. Rahmawati N, Sugito S. Reduksi Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Pada Air Tanah Menggunakan Media Filtrasi Manganese Greensand dan Zeolit Terpadukan Resin. *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA* 2015;13(2):63–71.

15. Purwanti E, Ramdani D, Rahmadewi R, Nugraha B, Efelina V, Dampang S. Sosialisasi manfaat karbon aktif sebagai media filtrasi air guna meningkatkan kesadaran akan pentingnya air bersih di SMK PGRI Cikampek. *SELAPARANG: Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan* 2021;4(2):381–386.
16. Wildan A, Pramitaningastuti AS, Anggraeny EN. Pengolahan limbah batik dengan metode fotokatalitik di desa gemawang kabupaten semarang. *Abdimas Unwahas* 2017;2(2):45–49.
17. Andari ND. Fotokatalis TiO₂-zeolit untuk degradasi metilen biru 2019;
18. Poluakan M, Wuntu A, Sangi MS. Aktivitas Fotokatalitik TiO₂ Karbon Aktif dan TiO₂ Zeolit pada Fotodegradasi Zat Warna Remazol Yellow. *Jurnal MIPA* 2015;4(2):137–140.
19. Subagyo R, Tehubijuluw H, Utomo WP, Rizqi HD, Kusumawati Y, Bahruji H, et al. Converting red mud wastes into mesoporous ZSM-5 decorated with TiO₂ as an eco-friendly and efficient adsorbent-photocatalyst for dyes removal. *Arabian Journal of Chemistry* 2022;15(5):103754.
20. Afifah AS, Damayanti A. Filtrasi limbah laundry dengan membran zeolit-silika untuk menurunkan cod. *Jurnal Purifikasi* 2016;16(2).
21. Jing HP, Wang CC, Zhang YW, Wang P, Li R. Photocatalytic degradation of methylene blue in ZIF-8. *Rsc Advances* 2014;4(97):54454–54462.

Cara mengutip artikel ini: Purnomo, A.S., Nurhadi, H., Hakim, M.L., Alkas, T.R., Asranudin, Rohmah, A.A., Moyo, D.T.L., Rizky, K.H.A., Hidayah, N.N., Firdausa, Y.A., Salsabila, Z., (2023), Aplikasi Adsorpsi Fotokatalitik TiO₂ dan Panel Surya dalam Degradasi Limbah Pewarna Sintetik UMKM Batik Pelangi Desa Klampar, Kecamatan Proppo, Pamekasan, *Sewagati*, 7(6):930–940, <https://doi.org/10.12962/j26139960.v7i6.651>.