

## Literature Review: Penggunaan Bahan Berbasis Limbah Sebagai Adsorben untuk Degradasi Zat Warna pada Air Limbah

Septi Fatimatus Zahro, Sandyanto Adityosulindro \*

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Kampus Baru UI Depok, Jawa Barat 16424, Indonesia

\*Corresponding author: adityosulindro@eng.ui.ac.id

Info Artikel: Diterima 14 Maret 2023; Direvisi 9 Agustus 2023 ; Disetujui 15 Agustus 2023

Tersedia online : 14 September 2023 ; Diterbitkan secara teratur : Oktober 2023

**Cara sitasi (Vancouver):** Zahro SF, Adityosulindro S. Literature Review: Penggunaan Bahan Berbasis Limbah Sebagai Adsorben untuk Degradasi Zat Warna pada Air Limbah. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia [Online]. 2023 Oct;22(3):359-368. <https://doi.org/10.14710/jkli.22.3.359-368>.

### ABSTRAK

**Latar belakang:** Penggunaan adsorben bahan limbah dari limbah pertanian, industri maupun bahan alam menjadi alternatif baru dalam pengolahan air limbah yang mengandung zat warna. Limbah ini dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan bagi makhluk hidup mulai dari alergi, cedera permanen, asma, bahkan kanker. Tujuan review artikel ini adalah untuk memberikan informasi tren penelitian penggunaan adsorben dari bahan limbah dalam penyisihan zat warna serta informasi mengenai komposisi bahan, dan pengaplikasiannya sebagai potensi alternatif baru bahan adsorben dalam pengolahan limbah.

**Metode:** Metode dalam penulisan review artikel ini dengan metode PRISMA 2020 menggunakan PRISMA checklist melalui 27 identifikator yang telah disediakan. Seleksi artikel dilakukan dengan beberapa kriteria dari tahun publikasi, kata kunci, klasifikasi bahan adsorben, serta artikel tentang adsorpsi secara umum sebagai pendukung. Artikel jurnal terpilih dan sesuai dengan kebutuhan sebanyak 28 artikel kemudian dilakukan pengkajian serta pembahasan lebih lanjut.

**Hasil:** Hasil review artikel yang dikaji sebanyak 50% artikel yang memanfaatkan limbah pertanian sebagai adsorben, 18% artikel memanfaatkan limbah industri, dan 32% artikel memanfaatkan bahan alam. Pengkajian dilakukan menyeluruh mengenai metode pembuatan adsorben, komposisi bahan adsorben, kemampuan adsorpsi, studi kinetika dan studi isotherm adsorpsi. Hasil kajian menunjukkan kemampuan adsorben bahan limbah sangat baik dengan efisiensi tertinggi hingga 99,95%. Metode pembuatan adsorben yang paling umum digunakan dengan aktivasi fisika. Model isotherm yang digunakan sebagian besar adalah Langmuir dengan kinetika adsorpsi pseudo orde kedua.

**Simpulan:** Potensi pemanfaatan adsorben dari bahan limbah sangat besar, ditinjau dari persentase efisiensinya dan kelimpahan bahan baku. Dalam proses adsorpsinya dipengaruhi oleh kandungan bahan, luas permukaan, dan metode pembuatan adsorben.

**Kata kunci:** Zat Warna; Adsorpsi; Limbah Pertanian; Limbah Industri; Bahan alam

### ABSTRACT

**Title:** Literature Review: The Use of Waste Materials as Adsorbent for Degradation Dyes in Wastewater

**Background:** Industrial, agricultural, and natural dyes can now be treated with adsorbents. This wastewater can cause allergies, serious wounds, asthma, and cancer. This article review discusses current research trends in using waste materials as dye removal adsorbents and their composition and possible usage as new, alternative adsorbents in the waste treatment sector.

**Method:** This article review used PRISMA 2020 with 27 identifiers and the checklist. Articles were selected by year, keywords, adsorbent material categorization, and adsorption in general. Following 28 article requirements, selected journal articles were researched and discussed.

**Result:** The analysis of the articles found that 32% of the articles used natural materials, 18% of the articles used industrial waste, and 50% of the articles used agricultural waste as an adsorbent. The process for creating adsorbents, the make-up of adsorbent materials, adsorption capacity, kinetic studies, and adsorption isotherm studies were all thoroughly evaluated. The study's findings demonstrate that waste materials have excellent adsorbent properties, with the highest efficiency reaching up to 99.95%. Physical activation is the most widely used adsorbent preparation technique. Most of the isotherm models in use have pseudo-second order adsorption kinetics and are Langmuir.

**Conclusion:** Given the percentage of efficiency and the abundance of raw materials, there is a very large potential for using adsorbents made from waste materials. The adsorbent's surface area, material composition, and manufacturing process all have an impact on the adsorption process.

**Keywords:** Dyes; Adsorption; Agricultural waste; Industrial waste; Natural material

## PENDAHULUAN

Pewarna adalah senyawa organik aromatik dengan struktur kompleks yang larut dalam air<sup>1</sup>. Pewarna banyak digunakan di berbagai industri seperti di industri tekstil, kertas, sablon dan makanan. Sekitar 10-15% dari zat warna ini ditemukan dalam air limbah. Limbah yang mengandung pewarna dapat menyebabkan kerusakan lingkungan. Limbah berwarna ini dapat menghalangi penetrasi sinar matahari dan oksigen serta mengganggu fungsi ekosistem perairan<sup>2</sup>. Ada berbagai macam zat pewarna antara lain pewarna asam, pewarna kationik, pewarna disperse (*Disperse Dyes*), pewarna langsung (*Direct Dyes*), pewarna reaktif, pewarna pelarut (*Solvent Dyes*), pewarna belerang (*Sulfur dyes*), dan pewarna vat (*Vat Dyes*). Klasifikasi lengkap pewarna dapat dilihat pada CI (*Color Index*) yang berisikan nama/nomor pewarna yang sudah dibedakan berdasarkan kelas, nomor, dan rona warna<sup>3</sup>. Dampak limbah yang mengandung zat warna di lingkungan dapat mempengaruhi kesehatan makhluk hidup (manusia dan hewan). Bila kontak dengan mata akan menyebabkan cedera permanen dan rasa terbakar pada mata. Bila kontak dengan kulit dapat menyebabkan alergi, iritasi kulit hingga kanker. Jalur paparan yang lain melalui inhalasi dapat menyebabkan penyakit asma<sup>4</sup>. Beberapa zat pewarna yang terdegradasi memiliki senyawa yang bersifat racun, mutagenik pada makhluk hidup<sup>5</sup>.

Berbagai teknik pengolahan telah digunakan untuk menghilangkan polutan warna pada air limbah, termasuk pengolahan biologis, adsorpsi, kimia, oksidasi, koagulasi, filtrasi membran, dan fotodegradasi. Diantaranya, adsorpsi adalah teknik yang paling populer karena efisiensi, kesederhanaan operasional, biaya rendah dan kebutuhan energi yang rendah<sup>5</sup>. Proses adsorpsi merupakan suatu proses perpindahan massa yang berlangsung di dalam permukaan pori-pori adsorben serta terjadi pada dua fasa yaitu gas-padat atau cair padat<sup>6</sup>. Penggunaan karbon aktif komersial sebagai adsorben paling sering digunakan untuk menghilangkan berbagai zat warna, namun harganya terlalu mahal dan sulit untuk

diregenerasi<sup>7</sup>. Biaya penggunaan karbon aktif yang mahal serta sulitnya proses regenerasi maka pada beberapa penelitian terdahulu memanfaatkan bahan yang lebih murah sebagai alternatif baru bahan pembuatan adsorben<sup>8</sup>. Mereka menggunakan bahan murah tersebut secara langsung atau dimodifikasi dengan larutan kimia maupun aktivasi secara termal untuk membuat alternatif karbon aktif<sup>9</sup>. Beberapa bahan murah diambil dari bahan limbah pertanian, limbah industri, maupun bahan alam (bentonite, *clay*). Beberapa tahun terakhir, banyak limbah/produk sampingan dan bahan dari alam telah diteliti sebagai adsorben untuk menghilangkan pewarna dari air limbah, seperti kulit pisang, daun kayu putih, *fly ash* batubara, *fly ash* granular, daun populus, limbah biomassa, daun teh, dan daun jagung. Serta penggunaan bahan lempung yaitu montmorillonit, zeolit, bentonit dan kaolinit, sebagai adsorben dengan daya serap tinggi<sup>5,10</sup>.

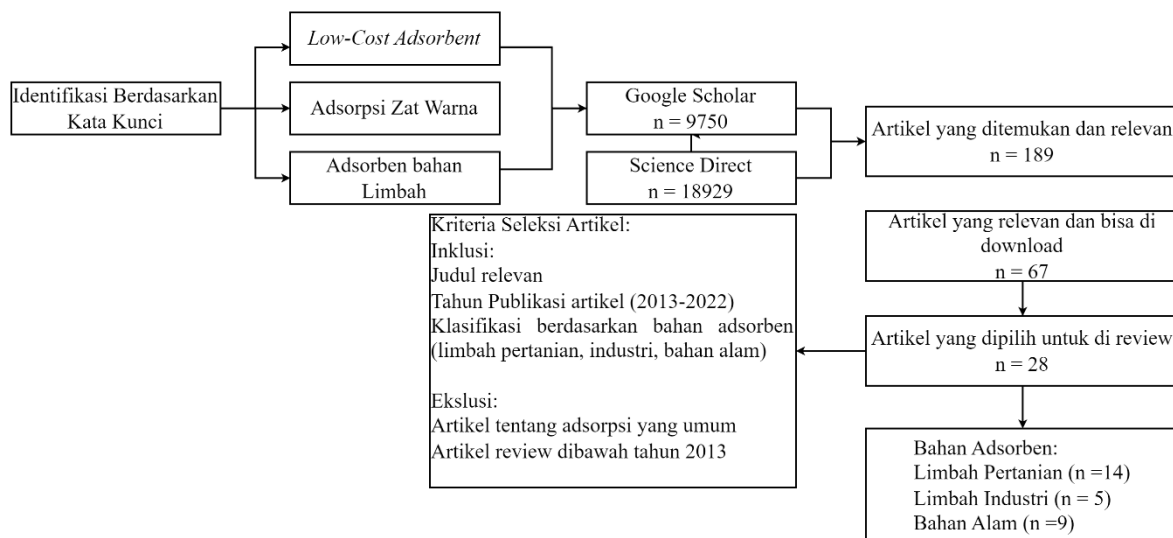
Beberapa bahan dari limbah tersebut dianggap ideal untuk diproduksi sebagai adsorben<sup>9</sup>. Adsorben dapat dikatakan baik apabila memiliki sifat struktur permukaan yang stabil pada bahan kimia<sup>11</sup>. Salah satu pemanfaatan bahan limbah sebagai adsorben yaitu ampas tebu untuk penyisihan zat warna *naphthol yellow S* memiliki potensi sangat besar dalam penerapannya di Indonesia<sup>12</sup>. Ditinjau dari produksi tebu yang sangat melimpah yaitu > 2,25 juta ton pertahunnya dimana tebu merupakan bahan baku produksi gula. Dari proses produksi gula tersebut menghasilkan 32-40% ampas tebu yang nantinya akan dibuang sebagai limbah<sup>12</sup>. Selain itu kemampuan penyisihan zat warna pada ampas tebu yang telah dilaporkan dalam penelitian yaitu >90%<sup>12</sup>. Potensi pemanfaatan bahan limbah sebagai adsorben dapat ditinjau dari dua poin yang telah disebutkan yaitu dari kelimpahan bahan baku serta kemampuan adsorpsi polutan. Arah pemanfaatannya diharapkan dapat menekan biaya operasional dan pemeliharaan pengolahan limbah untuk menjamin keberlangsungan pengelolaan dan sebagai bentuk kontribusi dalam menjaga kelestarian lingkungan.

Dalam penerapannya menurut perfektif *green chemistry* efisiensi dan kemudahan dalam pengoperasiannya menjadi fokus utama dalam pengolahan limbah<sup>13</sup>. Artikel review ini akan memberikan informasi mengenai pemanfaatan bahan limbah dari limbah industri, pertanian, dan bahan alam untuk dimanfaatkan sebagai alternatif bahan adsorben dalam penyisihan zat warna yang terkandung dalam air limbah. Hasil kajian ini akan menentukan potensi pemanfaatan bahan-bahan tersebut untuk pengolahan limbah.

**MATERI DAN METODE**

Metode dalam penulisan artikel review ini adalah *systematic literature review* menggunakan metode *PRISMA Checklist 2020*. Metode tersebut merupakan metode sistematis yang dilakukan dengan tujuan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi lebih dalam penelitian sebelumnya melalui pendekatan metodologinya. Dalam tahapannya terdiri dari

identifikasi kata kunci, *screening* dokumen, dan pemilihan dokumen. Metode seleksi artikel dilakukan dengan kriteria inklusi dan eksklusi. Kriteria inklusi meliputi artikel yang diambil dari tahun 2013 hingga 2022 baik artikel nasional maupun internasional melalui *Science Direct* dan *Google Scholar*. Artikel yang terpilih bisa diakses dan full pdf, serta membahas tentang adsorben dari bahan limbah untuk penyisihan zat warna. Kriteria eklusi yang ditetapkan antara lain artikel yang membahas proses adsorpsi secara umum dan artikel review lainnya yang publikasinya di bawah tahun 2013. Pencarian artikel dari kata kunci dan klasifikasi bahan limbah yang dijadikan sebagai adsorben. Review artikel ini memaparkan detail data penelitian adsorpsi terkait klasifikasi bahan, komposisi, luas permukaan adsorben, data parametrik (variasi dosis, waktu kontak, pH, suhu, dan konsentrasi polutan), efisiensi penyisihan, studi isotherm, dan studi kinetika. Berikut skema review artikel:



**Gambar 1.** Skema Review Artikel Berdasarkan PRISMA 2020 <http://www.prisma-statement.org/>

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil temuan dari 28 artikel yang dikaji terdiri dari 50% artikel yang memanfaatkan limbah pertanian sebagai adsorben, 18% memanfaatkan limbah industri, dan 32% memanfaatkan bahan alam (lempung, bentonite, dll). Penggunaan ketiga bahan adsorben tersebut sangat berdampak positif bagi lingkungan yaitu pengurangan timbulan limbah yang dibuang di TPA (Tempat Pembuangan Akhir). Komposisi yang terkandung dalam ketiga bahan tersebut memiliki pengaruh penting dalam proses adsorpsi. Limbah pertanian yang dikaji meliputi kulit pisang, daun jagung, kulit salak, daun teh, ampas tebu, tempurung kemiri, biji apel, casuarina, switeria mahagoni, serbuk gergaji, daun populus, walnut, pine bark, dan daun kayu putih (*eucalyptus*). Beberapa limbah pertanian tersebut memiliki kandungan yang sama berupa

selulosa, monosakarida, sukrosa, dan lignin. Kandungan tersebut termasuk dalam komposisi kimia suatu biomassa dan merupakan penyusun utama dari tanaman<sup>14</sup>. Kandungan selulosa, hemiselulosa, lignin tersebut dapat dijadikan sebagai bahan pembuatan karbon aktif. Karena di dalam kandungan tersebut terdapat unsur karbon dan memiliki gugus aktif penyerap polutan. Bahan dari limbah pertanian keberadaannya di alam cukup melimpah sehingga memiliki potensi yang sangat besar untuk dijadikan sebagai bahan pembuatan adsorben.

Limbah industri seperti abu terbang/layang (*fly ash*), lumpur WTP (Water Treatment Plant) dan adsorben dari bahan alam dilaporkan memiliki kandungan yang sama yaitu kandungan silika. Dilansir dari penelitian oleh Filho et al (2021) menemukan kandungan SiO<sub>2</sub> dan Al<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> didalam lumpur WTP

masing-masing sebesar 34,15% dan 16,46%. Potgieter et al (2020) juga memaparkan kandungan SiO<sub>2</sub> pada abu terbang (fly ash) sebesar 52,59%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebesar 34,58%. Pada bahan alam (abu vulkanik) juga ditemukan kandungan SiO<sub>2</sub> sebesar 60% dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 20% serta unsur radioaktif. Silika adalah zat kimia padat yang sering digunakan sebagai adsorben dengan karakteristik hidrofilik, stabil secara termal dan mekanis, serta memiliki kemampuan inert. Dalam penggunaannya sebagai adsorben ditentukan dari struktur internal, ukuran partikel, porositas, luas permukaan, resistivitas dan polaritas serta adanya gugus aktif pada permukaan bahan tersebut. Didalam silika terdapat dua gugus penting dalam proses adsorpsi yaitu gugus silanol (-SiOH) serta gugus siloksan (Si-O-Si). Pada gugus siloksan memiliki rantai lurus yang reaktif dengan logam alkali. Gugus siloksan dapat membentuk struktur lingkaran yang dapat mengadakan kemisorpsi dalam air. Silika juga memiliki sifat penyerap atau sifat adsorptif dikarenakan memiliki situs-situs aktif yang tersebar pada permukaannya. Komponen silika, alumina yang terkandung dalam suatu bahan dapat disintesis menjadi material yang secara struktural mirip dengan zeolite.

Dalam pengaplikasiannya diperlukan metode khusus dalam pembuatan adsorben. Berdasarkan hasil kajian pembuatan adsorben dari bahan alam ataupun limbah menggunakan metode yang berbeda-beda. Paling umum dalam pembuatan adsorben dengan cara aktivasi fisik dan kimia. Aktivasi adsorben secara fisik dalam prosesnya membutuhkan suhu yang tinggi dan waktu aktivasi lebih lama dibandingkan dengan cara aktivasi kimia. Tetapi dalam aktivasi kimia adsorben

membutuhkan pencucian menyeluruh karena penggunaan bahan kimia seperti HNO<sub>3</sub>, HCl, NaOH, KOH bergantung pada bahan adsorben yang digunakan. Proses ini dilakukan untuk memperluas permukaan adsorben sehingga dapat menyerap polutan dengan baik. Pada penelitian yang dilakukan oleh Utomo et al (2019) ampas tebu dijadikan sebagai adsorben dengan dikalsinasi pada suhu 400 °C serta ditambahkan zat kimia berupa H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> luas permukaan adsorben yang semula 31,87 m<sup>2</sup>/g menjadi 66-72 m<sup>2</sup>/g. Sehingga kapasitas adsorpsinya meningkat sebagaimana peningkatan luas permukaan adsorben. Menurut Utomo et al. (2019) pada proses aktivasi zat kimia berupa asam memungkinkan terbentuknya gugus-gugus aktif pada struktur karbon aktif, hal tersebut dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi. Metode aktivasi fisik yang biasa digunakan dengan pemanasan pada suhu tertentu yang bertujuan untuk menghancurkan unsur organik yang tidak diperlukan dan termasuk metode aktivasi adsorben yang paling mudah dibandingkan dengan aktivasi kimia. Proses aktivasi fisik dengan metode kalsinasi pada suhu 550°C dilakukan untuk menghilangkan kandungan air dan hidrokarbon. Beberapa macam metode dan bahan aktivator yang digunakan dalam pembuatan adsorben bertujuan untuk memperluas pori-pori adsorben/luas permukaannya dan untuk menghilangkan beberapa senyawa pengganggu proses adsorpsi serta membantu pembentukan gugus fungsi yang berperan penting dalam proses adsorpsi. Dari 28 artikel yang dikaji (**Tabel 1.**) mengenai metode pembuatan adsorben yang paling umum dilakukan yaitu dengan aktivasi fisika.

**Tabel 1** Pengaplikasian adsorben dari bahan limbah maupun dari alam dan kondisi penelitiannya

Referensi	Bahan Adsorben Dan Polutan Target	Metode Pembuatan Adsorben dan Luas Permukaan Adsorben (m <sup>2</sup> /g)	Efisiensi Penyisihan (%) dan Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Ukuran Partikel Adsorben (µm) dan Kandungan Adsorben	Variasi Parameter adsorpsi			Studi Isotherm dan Kinetika
					Waktu Kontak dan Dosis Adsorben (g/L)	pH dan Konsentrasi Polutan (mg/L)	Suhu (°C) dan Kecepatan Pengadukan (rpm)	
<b>Adsorben Limbah Pertanian</b>								
Fadhil and Eisa al (2019) <sup>16</sup>	Limbah Daun Jagung [Methyl Orange*]	Tanpa Aktivasi dan Kimia (HCl) [N/A]	22-93% [N/A]	<125 6,6% lignin	1440-5760 [5-25]	3-11 [10-50]	20-60 [150]	Freundlinch, Pseudo Orde Pertama (Tanpa Aktivasi)
								Langmuir, Pseudo Orde Kedua (Teraktivasi)
Zuorro et al (2013) <sup>17</sup>	Limbah Daun The [Reactive Green 19 (RG19) dan Reactive Violet 5 (RV5)*]	Tanpa Aktivasi dan Fisik [N/A]	98,8% dan 72,8% [N/A]	<500 [N/A]	60 [5-40]	N/A [50 dan 100]	25 [N/A]	N/A

Referensi	Bahan Adsorben Dan Polutan Target	Metode Pembuatan Adsorben dan Luas Permukaan Adsorben (m <sup>2</sup> /g)	Efisiensi Penyisihan (%) dan Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Ukuran Partikel Adsorben (µm) dan Kandungan Adsorben	Variasi Parameter adsorpsi			Studi Isotherm dan Kinetika
					Waktu Kontak (menit) dan Dosis Adsorben (g/L)	pH dan Konsentrasi Polutan (mg/L)	Suhu (°C) dan Kecepatan Pengadukan (rpm)	
Fatimah et al (2021) <sup>13</sup>	Limbah Kulit Salak [Methylene Blue*] Limbah Batik**] <sup>13</sup>	Aktivasi Fisik (Kalsinasi) [15,73]	70-90% [N/A]	≤ 149 [N/A]	50 [0,2-1]	4-9 [10-50]	N/A	Langmuir, Pseudo Orde Pertama
Utomo et al (2019) <sup>12</sup>	Ampas Tebu [Naphthol Yellow*] Limbah Batik**]	Aktivasi Fisik (Kalsinasi) dan Aktivasi Kimia (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) [66-72]	95,81% [N/A]	≤ 125 [N/A]	15-90 [0,05 – 2,3 g]	N/A [300]	N/A	N/A
Tripelo Fladinir et al (2022) <sup>18</sup>	Tempurung Kemiri [Naphthol Merah*]	Aktivasi Kimia (NaCl) [N/A]	12,29% [N/A]	841, 400, 250 [N/A]	120 [4-12]	N/A	N/A	N/A
Adebayo et al (2020) <sup>19</sup>	Biji Apel Acee [Congo Red (CR), Malachite green (MG)*]	Aktivasi Kimia (HCl) [100]	[N/A] 1439,9 (CR) dan 706,72 (MG)	< 106 [N/A]	0-480 [3-6]	2-10 [1500]	25 [N/A]	Liu (CR, MG) Elovich (CR) Pseudo Orde Kedua (MG)
Amran and Zaini (2021) <sup>20</sup>	Casuarina [Methylene Blue (MB), Congo red (CR)*]	Aktivasi kimia (NaOH) [227-1181]	[N/A] 530 (MB), 232 (CR)	N/A 46,66% Karbon	120 [1]	3-10 [5-1000]	30-60 [N/A]	Langmuir Pseudo Orde Kedua
Ghosh et al (2020) <sup>21</sup>	Swietenia mahagoni [Methyl Orange*]	Aktivasi fisik kimia (NaOH) [N/A]	[N/A] 6,071	1000-5000 [N/A]	120 [1-30]	3-11 [10-100]	25 [200]	Langmuir Pseudo Orde Kedua
Khan and Nazir (2015) <sup>22</sup>	Serbuk Gergaji [Bromothymol Blue*]	Aktivasi dengan metode kopresipitasi [N/A]	[N/A] 217,39–225,13	N/A	10-50 [0,25-1]	2-10 [200-500]	30 [N/A]	Langmuir Pseudo Orde Kedua
Rahadi et al (2019) <sup>23</sup>	Kulit Pisang [Methyl Orange*]	Aktivasi Fisik [N/A]	16,28%-28,15% [N/A]	N/A	30-120 [0-1]	N/A [50]	N/A [200]	N/A
Shah et al (2021) <sup>24</sup>	Daun Populus [Methyl Orange*]	Aktivasi Fisik [N/A]	[N/A] 90,44	N/A	10-100 [0,2-0,6]	3-12 [5-100]	N/A	Langmuir Pseudo Orde Pertama
Uddin and Nasar (2020) <sup>25</sup>	Walnut Shell Powder [Methylene Blue*]	Aktivasi Kimia (HCl) [N/A]	90% [4,7– 36,63]	N/A [45,93% karbon, 54,07% oksigen]	1400 [0,1-1]	2-10 [50-200]	20-25 [50-200]	Langmuir Pseudo Orde Kedua

Referensi	Bahan Adsorben Dan Polutan Target	Metode Pembuatan Adsorben dan Luas Permukaan Adsorben (m <sup>2</sup> /g)	Efisiensi Penyisihan (%) dan Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Ukuran Partikel Adsorben (µm) dan Kandungan Adsorben	Variasi Parameter adsorpsi			Studi Isotherm dan Kinetika
					Waktu Kontak (menit) dan Dosis Adsorben (g/L)	pH dan Konsentrasi Polutan (mg/L)	Suhu (°C) dan Kecepatan Pengadukan (rpm)	
Al Zawahreh et al (2022) <sup>26</sup>	Pine bark compost [Zat warna tekstil**]	Tanpa Aktivasi [22,4]	[N/A] 16,8-127,1	250-500 [N/A]	1440 [10]	3 [5-200]	25 [N/A]	Langmuir [N/A]
Anastopoulos et al (2022) <sup>9</sup>	Eucalyptus [Zat Warna dan Logam Berat*]	Proses Karbonasi [N/A]	[N/A] 3,15-342,03	N/A	120 [8]	3-10 [100]	25-45 [N/A]	Langmuir Pseudo Orde Kedua
<b>Adsorben Limbah Industri</b>								
Taufiq et al (2018) <sup>27</sup>	Abu terbang/abu layang (Fly Ash) [Remazol Biru*]	Aktivasi fisik kimia [45,77]	94% [N/A]	N/A	N/A [0,05-0,2]	4-10 [50-200]	N/A	N/A
Pethkar et al (2020) <sup>28</sup>	Abu terbang/abu layang bentuk Granular [Methyl Orange*]	Aktivasi Fisik kimia [N/A]	55%-85% [N/A]	5 [N/A]	N/A	5,5 [1-20]	N/A	Freundlich [N/A]
Potgieter et al (2021) <sup>29</sup>	Abu terbang/abu layang (Fly Ash) [Methyl Orange*]	Aktivasi fisik kimia [N/A]	96,68%-99,95% [N/A]	N/A [52,59% SiO <sub>2</sub> dan 34,59% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ]	1440 [10-134]	N/A	N/A	Freundlich Pseudo Orde Kedua
Filho et al (2021) <sup>30</sup>	Lumpur WTP (Water Treatment Plant) [Methylene blue*]	Aktivasi fisik kimia [582]	94,65% [N/A]	N/A	0 – 40 [N/A]	4-12 [0,4-20]	N/A	N/A
Laib et al (2021) <sup>31</sup>	Lumpur WTP (Water Treatment Plant) [Methylene Blue, Anionic Reactive Blue*]	Aktivasi Fisik dan modifikasi dengan impregnasi sederhana menggunakan besi nitrat [N/A]	[N/A] 40,16 dan 46,08	N/A	0-30 [0,5-2,5]	2-8 [10-200]	N/A	Langmuir Pseudo Orde Kedua
<b>Adsorben Bahan Alam</b>								
Momina et al (2020) <sup>10</sup>	Bentonite [Methylene Blue*]	Tanpa aktivasi [N/A]	70% [N/A]	N/A	15-150 [14]	N/A [30-200]	30 [250]	Sips Pseudo Orde Kedua
Aljbour et al (2017) <sup>2</sup>	Bentonite [Congo Red*]	Aktivasi fisik dan modifikasi bentonite dengan TiO <sub>2</sub> [N/A]	81,3%-99,4% [N/A]	N/A	60 [0,15 g]	N/A [50-250]	N/A	Langmuir [N/A]

Referensi	Bahan Adsorben Dan Polutan Target	Metode Pembuatan Adsorben dan Luas Permukaan Adsorben (m <sup>2</sup> /g)	Efisiensi Penyisihan (%) dan Kapasitas Adsorpsi (mg/g)	Ukuran Partikel Adsorben dan Kandungan Adsorben	Variasi Parameter adsorpsi			Studi Isotherm dan Kinetika
					Waktu Kontak (menit) dan Dosis Adsorben (g/L)	pH dan Konsentrasi Polutan (mg/L)	Suhu (°C) dan Kecepatan Pengadukan (rpm)	
Lubis et al (2016) <sup>15</sup>	Bentonite [Naphthol Blue Black*]	Aktivasi Fisik Kimia dan modifikasi bentonite dengan TiO <sub>2</sub> [N/A]	[N/A] 1,496	N/A [55,76% SiO <sub>2</sub> dan 25,36% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ]	120 [0,2-1]	3-11 [5-25]	N/A	Langmuir [N/A]
Atirza et al (2018) <sup>32</sup>	Tanah Liat [Naphthol*]	Aktivasi Fisik [N/A]	65,65% - 82,81% [N/A]	100 [N/A]	15-180 [0,5-2 g]	[25-250]	N/A	Freundlich Pseudo Orde Kedua
Bentahar et al (2018) <sup>33</sup>	Natural Clay [Methylen Blue*]	Aktivasi Kimia (HCL 5M) [N/A]	[N/A] 322,58	N/A	20-120 [0,4-4]	3-10 [100-900]	22-60°C [300]	Langmuir Pseudo Orde Kedua
Imandiani et al (2018) <sup>34</sup>	Natural Zeolite [Naphthol*]	Aktivasi Kimia (HCl) [N/A]	98,92% [N/A]	2,41 [Si 10,6% dan Al 5,4%]	N/A [100]	N/A [400-1000]	N/A	N/A
Ulfindrayani et al (2019) <sup>11</sup>	Lumpur Vulkanik Sidoarjo [Methyl Orange*]	Aktivasi dengan metode kopresipitasi [N/A]	81,39% [0,081]	N/A [78,56% SiO <sub>2</sub> ]	N/A	N/A [20]	N/A	N/A
Kamarudin et al (2019) <sup>35</sup>	Lumpur Vulkanik Sidoarjo [Methyl Orange*]	Aktivasi Fisik (Kalsinasi) [45,59]	[N/A] [833,3]	90-140 [N/A]	0-30 [0,25-2]	3-10 [30-250]	N/A [300]	Langmuir Pseudo Orde Kedua
Salamah et al (2018) <sup>36</sup>	Abu Vulkanik Merapi Limbah Batik**]	Aktivasi Fisik (Kalsinasi) [4,10]	20-59%- 49,64% [N/A]	≤149 [60% SiO <sub>2</sub> dan 20% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ]	50 [50-250]	pH dan konsentrasi air limbah rill [N/A]	Temperature air limbah rill [N/A]	N/A

Ket: \*Limbah Sintetik, \*\*Limbah Rill, N/A data tidak disebutkan di artikel jurnal, (data yang tertera merupakan data olahan dengan satuan diseragamkan)

Beberapa artikel hasil temuan dirangkum dalam **Tabel 1.** dimana pengaplikasian berbagai bahan dari alam maupun limbah baik dari pertanian maupun industri memiliki tingkat efektivitas yang beragam dalam penyisihan polutan warna pada air limbah. Pada penelitian yang dilakukan Utomo et al (2019) menggunakan ampas tebu sebagai adsorben dalam penyisihan zat warna naphthol kuning dengan efisiensi penyisihan hingga 83,93%. Sedangkan penggunaan daun jagung oleh Fadhil dan Eisa (2019) untuk penyisihan zat warna *methyl orange* efisiensinya sebesar 93%. Pada adsorben dari bahan alam (lumpur vulkanik Sidoarjo) efisiensi penyisihan zat warnanya hingga 81,39% untuk polutan *methyl orange*.

Ketersediaan bahan adsorben tersebut juga melimpah sehingga tidak sulit jika akan diaplikasikan ke skala besar. Namun perlu dipertimbangkan terkait harga dari segi ekonomis serta faktor lain yang mendukung. Kajian tentang biaya pengolahan dengan menggunakan bahan adsorben berbasis limbah pernah dilakukan oleh beberapa penelitian, diantaranya pada penelitian Potgieter et al (2021) menggunakan bahan adsorben dari limbah industri yaitu abu layang (*fly ash*) pada pengoperasian sistem kolom pada proses adsorpsi lebih efektif dalam pengaplikasian langsung dilapangan. Perhitungan biaya dilakukan pada 100 ml air dengan konsentrasi 500 ppm zat warna diolah hingga menjadi 1 ppm pada sistem batch dan sistem kolom. Dengan

kapasitas adsorpsi batch (3,9 mg/g) dan kolom (8,9 mg/g) biaya yang dikeluarkan 2500 rand/hari untuk sistem batch dan 1094 rand/hari untuk sistem kolom<sup>29</sup>. Jika dikonversikan ke rupiah per tahun ini yaitu sekitar Rp 2.092.000 (sistem batch), dan Rp 915.000 (sistem kolom), nilai tersebut berlaku untuk wilayah afrika. Kajian tentang biaya juga dilakukan untuk pengolahan polutan zat warna pada air tanah yang tercemar dengan adsorben dari bahan alam (bentonite). Dalam efisiensi penyisihan polutan zat warna hingga 90% pada 100 m<sup>3</sup> air olahan membutuhkan 1 kg adsorben bentonite, biaya yang dibutuhkan yaitu 0,04 – 0,06 euro atau sekitar Rp 655 – Rp 983. Jumlah biaya tersebut dinyatakan pada jurnal artikel lebih ekonomis dibandingkan menggunakan karbon aktif komersil. Harga bentonite berkisar 49-52 euro/ton sedangkan harga karbon aktif komersil sebesar 170-425 euro/ton<sup>38</sup>. Dari kedua jurnal yang mengkaji tentang biaya dapat disimpulkan bahwa menggunakan adsorben berbasis limbah lebih murah jika dibandingkan dengan adsorben karbon aktif komersil, hal ini tentu perlu dikaji lebih lanjut untuk kebutuhan pengolahan dan pasar di Indonesia. Hasil temuan lain beberapa penelitian melakukan investigasi pengaruh parameter operasional proses adsorpsi untuk mengoptimalkan pengolahan. Selain itu dilakukan studi isotherm dan kinetika yang dapat memprediksi interaksi antara adsorben dan adsorben, laju proses adsorpsi, waktu kesetimbangan, dan efektivitas adsorpsi. Beberapa data tersebut dapat digunakan sebagai acuan perencanaan penerapan sistem adsorpsi di lapangan. Disimpulkan bahwa model isotherm yang sesuai dengan kondisi penelitian sebegini besar menganut model isotherm serta model kinetika berupa pseudo orde kedua.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian 28 artikel, beberapa bahan adsorben memiliki kandungan yang sama yaitu kandungan selulosa, lignin (limbah pertanian) serta kandungan silika (limbah industri dan bahan alam). Kandungan tersebut menandakan bahwa bahan tersebut dapat dijadikan sebagai adsorben. Proses pembuatan adsorben yang paling umum digunakan dengan aktivasi fisika (kalsinasi). Pada hasil efisiensi penyisihan zat warna dengan bahan adsorben yang dikaji tertinggi mencapai 99,95%. Proses adsorpsi dapat dioptimalkan dengan variasi parameter adsorpsi yang meliputi waktu kontak, dosis, pH, suhu dan konsentrasi polutan. Hasil studi isotherm dan kinetika pada artikel yang dikaji terbanyak menganut model langmuir dan pseudo orde kedua. Ditinjau dari hasil tersebut, potensi pengaplikasian adsorben dari bahan limbah untuk penyisihan zat warna sangat menjanjikan dilihat dari persentase penyisihannya dan potensi kelimpahan bahan baku yang ada di Indonesia. Namun karena arah pemanfaatan belum optimal, adsorben tersebut tidak dijual bebas dipasaran sehingga dalam pemanfaatan skala besar belum dapat dilakukan. Beberapa aspek penting yang harus dikaji lebih lanjut

untuk menambah nilai potensi adsorben dari bahan limbah yaitu kajian regenerasi adsorben, biaya pembuatan adsorben, biaya operasional dan pemeliharaan unit pengolahan dalam skala besar (industri). Beberapa aspek biaya tersebut perlu dibandingkan dengan penggunaan adsorben komersil.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Katheresan V, Kandedo J, Lau SY. Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2018 Aug;6(4):4676–97. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.06.060>
2. Aljbour SH, Al-Harashsheh AM, Aliehd MA, Al-Zboon K, Al-Harashsheh S. Phosphate removal from aqueous solutions by using natural Jordanian zeolitic tuff. *Adsorption Science & Technology*. 2017 May;35(3–4):284–99. <https://doi.org/10.1177/0263617416675176>
3. Gupta VK, Suhas. Application of low-cost adsorbents for dye removal – A review. *Journal of Environmental Management*. 2009 Jun;90(8):2313–42. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.11.017>
4. AL-Jobouri IS, Dhahir SA, AL-Saade KA. Congo red Adsorption on Bentonite and Modified Bentonite. 2013;18.
5. Jalil AA, Triwahyono S, Adam SH, Rahim ND, Aziz MAA, Hairom NHH, et al. Adsorption of methyl orange from aqueous solution onto calcined Lapindo volcanic mud. *Journal of Hazardous Materials*. 2010 Sep;181(1–3):755–62. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.05.078>
6. Ruhmawati T, Budiasyah T, Setiawan R. Efisiensi Penyisihan Kadar Amoniak Limbah Cair Rumah Sakit dengan Proses Adsorpsi Karbon Aktif Bijih Plastik. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*. 2020 Oct 1;19(2):82–8. <https://doi.org/10.14710/jkli.19.2.82-88>
7. Yagub MT, Sen TK, Afroze S, Ang HM. Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2014 Jul;209:172–84. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2014.04.002>
8. Fatimah Rahmayani, Siswarni MZ. Pemanfaatan Limbah Batang Jagung Sebagai Alternatif Pada Pengurangan Kadar Klorin Dalam Air Olahan (Treated Water). *J Teknik Kimia*. 2013 Jun 19;2(2):1–5. <https://doi.org/10.32734/jtk.v2i2.1427>
9. Anastopoulos I, Ahmed MJ, Hummadi EH. Eucalyptus-based materials as adsorbents for heavy metals and dyes removal from (waste)waters. *Journal of Molecular Liquids*. 2022 Jun;356:118864. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.118864>
10. Momina, Mohammad S, Suzylawati I. Study of the adsorption/desorption of MB dye solution using bentonite adsorbent coating. *Journal of Water*



- Process Engineering. 2020 Apr;34:101155. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101155>
11. Ulfindrayani IF, Ikhlas N, A'yuni Q, Fanani N, Gaol BL, Lestari D. Pengaruh Ekstraksi SiO<sub>2</sub> dari Lumpur Lapindo Terhadap Daya Adsorpsinya pada Larutan Metil Orange. CHEESA. 2019 Dec 18;2(2):50. <https://doi.org/10.25273/cheesa.v2i2.5108>
  12. Utomo WP, Santoso E, Yuhaneke G, Triantini AI, Fatqi MR, Huda MF, et al. Studi Adsorpsi Zat Warna Naphthol Yellow S Pada Limbah Cair Menggunakan Karbon Aktif dari Ampas Tebu. Jurnal Kimia. 2019 Jan 16;13(1):104. <https://doi.org/10.24843/JCHEM.2019.v13.i01.p16>
  13. Fatimah I, Sahroni I, Dahlyani MSE, Oktaviyani AMN, Nurillahi R. Surfactant-modified Salacca zalacca skin as adsorbent for removal of methylene blue and Batik's wastewater. Materials Today: Proceedings. 2021;44:3211–6. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.440>
  14. Aprilia Lestari V, Bagus Priambodo T. Kajian Komposisi Lignin dan Selulosa dari Limbah Kayu Sisa Dekortikasi Rami dan Cangkang Kulit Kopi Untuk Proses Gasifikasi Downdraft. JEnLing. 2020 Nov 25;16(1):1–8. <https://doi.org/10.29122/jel.v16i1.4572>
  15. Lubis S, Sheilatina S, Nika S, Putra V. Adsorption of Naphthol Blue Black Dye onto Acid Activated Titania Pillared Bentonite: Equilibrium Study. Orient J Chem. 2016 Aug 25;32(4):1789–97. <https://doi.org/10.13005/ojc/320407>
  16. Fadhil OH, Eisa MY. Removal of Methyl Orange from Aqueous Solutions by Adsorption Using Corn Leaves as Adsorbent Material. jcoeng. 2019 Apr 1;25(4):55–69. <https://doi.org/10.31026/j.eng.2019.04.05>
  17. Zuorro A, Lavecchia R, Medici F, Piga L. Spent Tea Leaves as a Potential Low-cost Adsorbent for the Removal of Azo Dyes from Wastewater. In Florence: Associazione italiana di ingegneria chimica; 2013. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.803.26>
  18. Tripelo Fladinir A, Prasetyo Suseno H, Sunarsih\* S. Efektivitas Karbon Aktif Tempurung Kemiri Dalam Menurunkan Kadar Warna Naftol Merah Limbah Cair Industri Batik. Jurtek. 2022 Jun 19;15(1):30–7. <https://doi.org/10.34151/jurtek.v15i1.3985>
  19. Adebayo MA, Adebomi JI, Abe TO, Areo FI. Removal of aqueous Congo red and malachite green using ackee apple seed–bentonite composite. Colloid and Interface Science Communications. 2020 Sep;38:100311. <https://doi.org/10.1016/j.colcom.2020.100311>
  20. Amran F, Zaini MAA. Sodium hydroxide-activated Casuarina empty fruit: Isotherm, kinetics and thermodynamics of methylene blue and congo red adsorption. Environmental Technology & Innovation. 2021 Aug;23:101727. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101727>
  21. Ghosh GC, Chakraborty TK, Zaman S, Nahar MN, Kabir AHME. Removal of Methyl Orange Dye from Aqueous Solution by a Low-Cost Activated Carbon Prepared from Mahagoni (Swietenia mahagoni) Bark. Pollution [Internet]. 2020 Jan [cited 2022 Jul 2];6(1). Available from: <https://doi.org/10.22059/poll.2019.289061.679>
  22. Khan TA, Nazir M. Enhanced adsorptive removal of a model acid dye bromothymol blue from aqueous solution using magnetic chitosan-bamboo sawdust composite: Batch and column studies. Environ Prog Sustainable Energy. 2015 Aug 9;34(5):1444–54. <https://doi.org/10.1002/ep.12147>
  23. Rahadi B, Haji ATS, Universitas Brawijaya, Robbaniyah I, Universitas Brawijaya. Analisis Penurunan Konsentrasi Methyl Orange Dengan Biosorben Kulit Pisang Cavendish (Musa Acuminata Cv. Cavendish). JSAL. 2019 Aug 31;6(2):29–35. <https://doi.org/10.21776/ub.jsal.2019.006.02.5>
  24. Shah SS, Sharma T, Dar BA, Bamezai RK. Adsorptive removal of methyl orange dye from aqueous solution using populus leaves: Insights from kinetics, thermodynamics and computational studies. Environmental Chemistry and Ecotoxicology. 2021;3:172–81. <https://doi.org/10.1016/j.enceco.2021.05.002>
  25. Uddin MK, Nasar A. Walnut shell powder as a low-cost adsorbent for methylene blue dye: isotherm, kinetics, thermodynamic, desorption and response surface methodology examinations. Sci Rep. 2020 Dec;10(1):7983. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64745-3>
  26. Al-Zawahreh K, Barral MT, Al-Degs Y, Paradelo R. Competitive removal of textile dyes from solution by pine bark-compost in batch and fixed bed column experiments. Environmental Technology & Innovation. 2022 Aug;27:102421. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102421>
  27. Taufiq A, Hidayat P, Hidayat A. Modified coal fly ash as low cost adsorbent for removal reactive dyes from batik industry. Ma'mun S, Tamura H, Purnomo MRA, editors. MATEC Web Conf. 2018;154:01037. <https://doi.org/10.1051/matecconf/201815401037>
  28. Pethkar PA, Nalawade PM, Pethkar AV. Kinetics Study of Methyl Orange Adsorption from Aqueous Solutions using Fly Ash Granules as Low Cost Adsorbent. 2020;79:5. <https://doi.org/10.56042/jsir.v79i7.40505>
  29. Potgieter JH, Pardesi C, Pearson S. A kinetic and thermodynamic investigation into the removal of methyl orange from wastewater utilizing fly ash in different process configurations. Environ Geochem Health. 2021 Jul;43(7):2539–50. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00567-6>
  30. Filho AV, Kulman RX, Janner NN, Tholozan LV, de Almeida ARF, da Rosa GS. Optimization of

- cationic dye removal using a high surface area-activated carbon from water treatment sludge. *Bull Mater Sci.* 2021 Dec;44(1):41. <https://doi.org/10.1007/s12034-020-02333-x>
31. Laib S, Yazid HR, Sadaoui Z. Comparative Study on Removal of Textile Dyes in Aqueous Medium by Adsorption Using Modified Drinking Water Treatment Sludge. *Arabian Journal for Science and Engineering.* 2021;14. <https://doi.org/10.1007/s13369-021-05950-8>
  32. Atirza V, Soewondo P, Program Studi Teknik Lingkungan, FTSL, Institut Teknologi Bandung. Penyisihan Zat Warna Naphthol Pada Limbah Cair Batik Dengan Metode Adsorpsi Menggunakan Adsorben Tanah Liat Dan Regenerasinya. *j.tl.* 2018 Apr 1;24(1):93–106. <https://doi.org/10.5614/j.tl.2018.24.1.7>
  33. Bentahar S, Dbik A, Khomri ME, Messaoudi NE, Lacherai A. Removal of a cationic dye from aqueous solution by natural clay. *Groundwater for Sustainable Development.* 2018 Mar;6:255–62. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2018.02.002>
  34. Imandiani S, Indira C, Johan A, Budiyo. Utilization of Natural Zeolite from Ponorogo and Purworejo for Naphthol Substance Adsorption. Hadiyanto, Sudarno, Maryono, editors. *E3S Web Conf.* 2018;31:05002. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183105002>
  35. Kamarudin NHN, Setiabudi HD, Abdul Jalil A, Adam SH, Muhamad Salleh NF. Utilization of Lapindo Volcanic Mud for Enhanced Sono-sorption Removal of Acid Orange 52. *Bull Chem React Eng Catal.* 2019 Apr 15;14(1):189. <https://doi.org/10.9767/bcrec.14.1.3326.189-195>
  36. Salamah S, Wahyuni ET. The characterization of Merapi volcanic ash as adsorbent for dyes removal from batik wastewater. *IOP Conf Ser: Mater Sci Eng.* 2018 Oct 9;403:012007. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/403/1/012007>
  37. Martins AE, Pereira MS, Jorgetto AO, Martines MAU, Silva RIV, Saeki MJ, et al. The reactive surface of Castor leaf [*Ricinus communis* L.] powder as a green adsorbent for the removal of heavy metals from natural river water. *Applied Surface Science.* 2013 Jul;276:24–30. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.02.096>
  38. Khalilzadeh Shirazi E, Metzger JW, Fischer K, Hassani AH. Design and cost analysis of batch adsorber systems for removal of dyes from contaminated groundwater using natural low-cost adsorbents. *Int J Ind Chem.* 2020 Jun;11(2):101–10. <https://doi.org/10.1007/s40090-020-00205-1>



©2023. This open-access article is distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.