

### PROTEKSI ISI LAPORAN AKHIR PENELITIAN

Dilarang menyalin, menyimpan, memperbanyak sebagian atau seluruh isi laporan ini dalam bentuk apapun kecuali oleh peneliti dan pengelola administrasi penelitian

## LAPORAN AKHIR PENELITIAN MULTI TAHUN

ID Proposal: 6fcec96f-8c6a-4146-8867-1ad1f14ebcde  
Laporan Akhir Penelitian: tahun ke-1 dari 2 tahun

### 1. IDENTITAS PENELITIAN

#### A. JUDUL PENELITIAN

SINTESIS GEOPOLIMER BERPORI BERBASIS ABU TERBANG DAN APLIKASINYA SEBAGAI ADSORBEN POLUTAN ZAT WARNA

#### B. BIDANG, TEMA, TOPIK, DAN RUMPUN BIDANG ILMU

| Bidang Fokus RIRN / Bidang Unggulan Perguruan Tinggi                            | Tema | Topik (jika ada)                                 | Rumpun Bidang Ilmu |
|---|------|--|--------------------|
| Pengembangan dan Pemberdayaan Sumber Daya Lokal Indonesia untuk Peningkatan ... | -    | Ketersediaan Energi dan Air secara berkelanjutan | Teknik Kimia       |

#### C. KATEGORI, SKEMA, SBK, TARGET TKT DAN LAMA PENELITIAN

| Kategori (Kompetitif Nasional/ Desentralisasi/ Penugasan) | Skema Penelitian                           | Strata (Dasar/ Terapan/ Pengembangan) | SBK (Dasar, Terapan, Pengembangan) | Target Akhir TKT | Lama Penelitian (Tahun) |
|---|--|---------------------------------------|------------------------------------|------------------|-------------------------|
| Penelitian Desentralisasi                                 | Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi | SBK Riset Dasar                       | SBK Riset Dasar                    | 3                | 2                       |

### 2. IDENTITAS PENGUSUL

| Nama, Peran   | Perguruan Tinggi/ Institusi | Program Studi/ Bagian | Bidang Tugas  | ID Sinta | H-Index |
|---|-----------------------------|-----------------------|---|----------|---------|
| Aprilina Purbasari<br>Ketua Pengusul                  | Universitas Diponegoro      | Teknik Kimia          |   | 6050716  | 3       |
| Dessy Ariyanti<br>S.T, M.T, PhD<br>Anggota Pengusul 1 | Universitas Diponegoro      | Teknik Kimia          | Memeriksa pengambilan data dan mereview draft artikel ilmiah. | 6677483  | 6       |

### 3. MITRA KERJASAMA PENELITIAN (JIKA ADA)

Pelaksanaan penelitian dapat melibatkan mitra kerjasama, yaitu mitra kerjasama dalam melaksanakan penelitian, mitra sebagai calon pengguna hasil penelitian, atau mitra investor

|       |            |
|-------|------------|
| Mitra | Nama Mitra |
|-------|------------|

#### 4. LUARAN DAN TARGET CAPAIAN

##### Luaran Wajib

| Tahun Luaran | Jenis Luaran   | Status target capaian ( <i>accepted, published, terdaftar atau granted, atau status lainnya</i> ) | Keterangan ( <i>url dan nama jurnal, penerbit, url paten, keterangan sejenis lainnya</i> ) |
|--------------|--|---|--|
| 1            | Artikel di Jurnal Internasional Terindeks di Pengindeks Bereputasi | Accepted  | Journal of Environmental Chemical Engineering  |

##### Luaran Tambahan

| Tahun Luaran | Jenis Luaran | Status target capaian ( <i>accepted, published, terdaftar atau granted, atau status lainnya</i> ) | Keterangan ( <i>url dan nama jurnal, penerbit, url paten, keterangan sejenis lainnya</i> ) |
|--------------|--------------|---|--|
|--------------|--------------|---|--|

#### 5. ANGGARAN

Rencana anggaran biaya penelitian mengacu pada PMK yang berlaku dengan besaran minimum dan maksimum sebagaimana diatur pada buku Panduan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Edisi 12.

**Total RAB 2 Tahun Rp. 229,800,000**

**Tahun 1 Total Rp. 114,750,000**

| Jenis Pembelanjaan | Komponen                       | Item                        | Satuan | Vol. | Biaya Satuan | Total      |
|--------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------|------|--------------|------------|
| Bahan              | ATK                            | Kertas HVS A4 80 g          | rim    | 5    | 50,000       | 250,000    |
| Bahan              | ATK                            | Tinta cartridge Canon hitam | buah   | 2    | 150,000      | 300,000    |
| Bahan              | ATK                            | Tinta cartridge Canon warna | buah   | 2    | 250,000      | 500,000    |
| Bahan              | ATK                            | Flash disk 128GB            | buah   | 1    | 300,000      | 300,000    |
| Bahan              | Bahan Penelitian (Habis Pakai) | Abu terbang                 | karung | 2    | 100,000      | 200,000    |
| Bahan              | Bahan Penelitian (Habis Pakai) | NaOH                        | kg     | 5    | 1,200,000    | 6,000,000  |
| Bahan              | Bahan Penelitian (Habis Pakai) | Na-silikat                  | 2,5l   | 2    | 1,400,000    | 2,800,000  |
| Bahan              | Bahan Penelitian (Habis Pakai) | H2O2                        | l      | 1    | 1,700,000    | 1,700,000  |
| Bahan              | Bahan Penelitian (Habis Pakai) | HNO3                        | 2,5l   | 4    | 1,800,000    | 7,200,000  |
| Bahan              | Bahan Penelitian (Habis Pakai) | Aquadest                    | l      | 25   | 8,000        | 200,000    |
| Bahan              | Bahan Penelitian               | Methylen blue               | 25g    | 10   | 1,600,000    | 16,000,000 |

| Jenis Pembelanjaan                           | Komponen                                  | Item   | Satuan | Vol. | Biaya Satuan | Total      |
|--|---|--|--------|------|--------------|------------|
|  | (Habis Pakai)                             |  |        |      |              |            |
| Bahan  | Bahan Penelitian (Habis Pakai)            | Crystal violet   | 25g    | 10   | 1,000,000    | 10,000,000 |
| Bahan  | Bahan Penelitian (Habis Pakai)            | Eriochrome Black T   | 25g    | 10   | 1,400,000    | 14,000,000 |
| Bahan  | Bahan Penelitian (Habis Pakai)            | Methyl orange  | 25g    | 10   | 1,200,000    | 12,000,000 |
| Bahan  | Bahan Penelitian (Habis Pakai)            | Kertas saring Whatman                                      | pak    | 10   | 600,000      | 6,000,000  |
| Bahan  | Bahan Penelitian (Habis Pakai)            | Kertas pH  | pak    | 10   | 200,000      | 2,000,000  |
| Bahan  | Bahan Penelitian (Habis Pakai)            | Botol sampel   | buah   | 400  | 7,500        | 3,000,000  |
| Analisis Data                                | Biaya analisis sampel                     | Analisis UV-Vis spektrofotometri                           | sampel | 200  | 40,000       | 8,000,000  |
| Analisis Data                                | Biaya analisis sampel                     | Analisis XRF   | sampel | 2    | 400,000      | 800,000    |
| Analisis Data                                | Biaya analisis sampel                     | Analisis SEM   | sampel | 10   | 250,000      | 2,500,000  |
| Analisis Data                                | Biaya analisis sampel                     | Analisis XRD   | sampel | 10   | 200,000      | 2,000,000  |
| Analisis Data                                | Biaya analisis sampel                     | Analisis BET   | sampel | 10   | 400,000      | 4,000,000  |
| Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan | Publikasi artikel di Jurnal Internasional | Publikasi artikel di jurnal internasional terindeks scopus | buah   | 1    | 15,000,000   | 15,000,000 |

**Tahun 2 Total Rp. 115,050,000**

| Jenis Pembelanjaan | Komponen                       | Item                        | Satuan | Vol. | Biaya Satuan | Total     |
|--------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------|------|--------------|-----------|
| Bahan              | ATK                            | Kertas HVS A4 80 g          | rim    | 5    | 50,000       | 250,000   |
| Bahan              | ATK                            | Tinta cartridge Canon hitam | buah   | 2    | 150,000      | 300,000   |
| Bahan              | ATK                            | Tinta cartridge Canon warna | buah   | 2    | 250,000      | 500,000   |
| Bahan              | ATK                            | Flash disk 128GB            | buah   | 2    | 300,000      | 600,000   |
| Bahan              | Bahan Penelitian (Habis Pakai) | Abu terbang                 | karung | 2    | 100,000      | 200,000   |
| Bahan              | Bahan Penelitian               | NaOH                        | kg     | 5    | 1,200,000    | 6,000,000 |

| Jenis Pembelanjaan                           | Komponen                                  | Item   | Satuan | Vol. | Biaya Satuan | Total      |
|--|---|--|--------|------|--------------|------------|
|  | (Habis Pakai)                             |  |        |      |              |            |
| Bahan  | Bahan Penelitian (Habis Pakai)            | Na-silikat   | 2,5l   | 2    | 1,400,000    | 2,800,000  |
| Bahan  | Bahan Penelitian (Habis Pakai)            | H2O2   | l      | 1    | 1,700,000    | 1,700,000  |
| Bahan  | Bahan Penelitian (Habis Pakai)            | Aquadest   | l      | 25   | 8,000        | 200,000    |
| Bahan  | Bahan Penelitian (Habis Pakai)            | HNO3   | 2,5l   | 4    | 1,800,000    | 7,200,000  |
| Bahan  | Bahan Penelitian (Habis Pakai)            | Methylen blue  | 25g    | 10   | 1,600,000    | 16,000,000 |
| Bahan  | Bahan Penelitian (Habis Pakai)            | Crystal violet   | 25g    | 10   | 1,000,000    | 10,000,000 |
| Bahan  | Bahan Penelitian (Habis Pakai)            | Eriochrome Black T   | 25g    | 10   | 1,400,000    | 14,000,000 |
| Bahan  | Bahan Penelitian (Habis Pakai)            | Methyl orange  | 25g    | 10   | 1,200,000    | 12,000,000 |
| Bahan  | Bahan Penelitian (Habis Pakai)            | Kertas saring Whatman                                      | pak    | 10   | 600,000      | 6,000,000  |
| Bahan  | Bahan Penelitian (Habis Pakai)            | Kertas pH  | pak    | 10   | 200,000      | 2,000,000  |
| Bahan  | Bahan Penelitian (Habis Pakai)            | Botol sampel   | buah   | 400  | 7,500        | 3,000,000  |
| Analisis Data                                | Biaya analisis sampel                     | Analisis XRF   | sampel | 2    | 400,000      | 800,000    |
| Analisis Data                                | Biaya analisis sampel                     | Analisis UV-Vis spektrofotometri                           | sampel | 200  | 40,000       | 8,000,000  |
| Analisis Data                                | Biaya analisis sampel                     | Analisis XRD   | sampel | 10   | 200,000      | 2,000,000  |
| Analisis Data                                | Biaya analisis sampel                     | Analisis SEM   | sampel | 10   | 250,000      | 2,500,000  |
| Analisis Data                                | Biaya analisis sampel                     | Analisis BET   | sampel | 10   | 400,000      | 4,000,000  |
| Pelaporan, Luaran Wajib, dan Luaran Tambahan | Publikasi artikel di Jurnal Internasional | Publikasi artikel di jurnal internasional terindeks scopus | buah   | 1    | 15,000,000   | 15,000,000 |

## 6. HASIL PENELITIAN

**A. RINGKASAN:** Tuliskan secara ringkas latar belakang penelitian, tujuan dan tahapan metode penelitian, luaran yang ditargetkan, serta uraian TKT penelitian.

Keberadaan zat warna sebagai polutan di perairan tidak hanya menimbulkan masalah estetika tetapi juga masalah kesehatan bagi manusia dan makhluk hidup lainnya. Residu zat warna dapat berasal dari berbagai industri seperti industri tekstil, pulp, kertas, dan farmasi. Penghilangan polutan zat warna dari air limbah dapat dilakukan dengan metode fisika (adsorpsi, iradiasi menggunakan sinar UV, mikrofiltrasi, ultrafiltrasi, nanofiltrasi, reverse osmosis), kimia (oksidasi, koagulasi, elektrokoagulasi) dan biologi dengan bantuan mikroorganisme. Di antara metode-metode tersebut, adsorpsi banyak digunakan karena prosesnya sederhana, efektif, dan berbiaya rendah. Adsorben zat warna yang telah banyak digunakan adalah karbon aktif, zeolit, resin, abu terbang, chitosan, dsb.

Geopolimer merupakan polimer anorganik yang terdiri dari ikatan Si-O-Al dan berpotensi digunakan sebagai adsorben zat warna seperti halnya zeolit. Proses pembuatan geopolimer lebih sederhana dibandingkan zeolit dan dapat menggunakan bahan baku limbah padat antara lain abu terbang. Penggunaan batubara sebagai sumber energi pada pembangkit listrik dan industri di Indonesia yang cenderung mengalami peningkatan, yaitu sekitar 23% pada tahun 2011 dan diprediksi menjadi 46% pada tahun 2030 akan berdampak pada peningkatan limbah hasil pembakaran berupa abu terbang. Abu terbang tersebut dapat dimanfaatkan untuk sintesis geopolimer yang diaplikasikan sebagai adsorben zat warna. Untuk meningkatkan performa geopolimer sebagai adsorben dapat dengan meningkatkan porositasnya melalui penambahan blowing agents yang berakibat akan meningkatkan luas permukaan, volume pori, dan diameter pori. Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa geopolimer berpori telah dapat digunakan sebagai adsorben zat warna.

Pada penelitian yang direncanakan berjalan selama dua tahun ini akan dikaji sintesis geopolimer berpori berbasis abu terbang yang diaplikasikan sebagai adsorben zat warna. Pada tahun pertama dikaji pengaruh variabel-variabel yang meliputi pH, dosis adsorben, konsentrasi awal, dan waktu kontak pada proses adsorpsi zat warna dengan geopolimer berpori dari abu terbang, serta ditentukan kondisi optimumnya. Pengaruh jenis zat warna terhadap performa geopolimer berpori sebagai adsorben juga dikaji. Selanjutnya pada tahun kedua akan dikaji model kinetika dan model kesetimbangan isotherm adsorpsi yang sesuai untuk proses adsorpsi zat warna oleh geopolimer berpori dari abu terbang. Hasil penelitian ini akan memberikan TKT 1-3 dengan luaran wajib penelitian setiap tahun adalah artikel ilmiah di jurnal internasional terindeks Scopus. Lebih lanjut hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam mengatasi pencemaran zat warna melalui proses yang sederhana dan berbiaya rendah.

Hasil penelitian tahun pertama menunjukkan bahwa geopolimer berpori telah dapat dibuat dan mempunyai luas permukaan yang lebih besar dibandingkan geopolimer biasa. Geopolimer berpori ini diaplikasikan sebagai adsorben zat warna EBT, MB, MO, dan MV. Zat warna anionik (EBT, MO) akan teradsorpsi lebih baik pada pH rendah, sementara zat warna kationik (MB, MV) pada pH tinggi. Pemakaian adsorben sebanyak 0,2 g rata-rata memberikan hasil adsorpsi yang terbaik. Peningkatan konsentrasi awal zat warna dapat menurunkan efisiensi adsorpsi. Sementara itu kondisi kesetimbangan rata-rata diperoleh setelah 90 menit. Hasil adsorpsi zat warna EBT, MB, dan MV rata-rata mempunyai efisiensi lebih besar dari 90%, kecuali zat warna MO sekitar 60% sehingga dilakukan modifikasi terhadap geopolimer berpori dengan surfaktan CTAB dan diperoleh peningkatan efisiensi.

**B. KATA KUNCI:** Tuliskan maksimal 5 kata kunci.

Abu terbang, adsorpsi, geopolimer berpori, zat warna

Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan seringkas mungkin. Dilarang menghapus/memodifikasi template ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

**C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN:** Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian dapat berupa data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan ringkas mungkin. Dilarang menghapus/memodifikasi template ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

C. **HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN:** Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian dapat berupa data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

Hasil penelitian tahun pertama tentang geopolimer berpori dari abu terbang sebagai adsorben zat warna yang diperoleh adalah sebagai berikut:

1. Karakteristik Abu Terbang, Geopolimer Biasa, dan Geopolimer Berpori

Abu terbang yang digunakan pada penelitian ini berasal dari limbah padat pembangkit listrik di Jawa Timur dan mempunyai kandungan oksida berdasarkan hasil analisis XRF seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Abu terbang tersebut dapat dikategorikan abu terbang *class F* karena kandungan silika, alumina, dan besi oksida mencapai 70% [1]. Abu terbang dijadikan bahan baku pembuatan geopolimer dengan aktivator alkali campuran larutan NaOH 10 N dan larutan Na-Silikat. Pada pembuatan geopolimer berpori ditambahkan *blowing agents*, yaitu H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Geopolimer yang dihasilkan kemudian dikarakterisasi menggunakan analisis BET dan SEM.

Tabel 1. Komposisi oksida abu terbang.

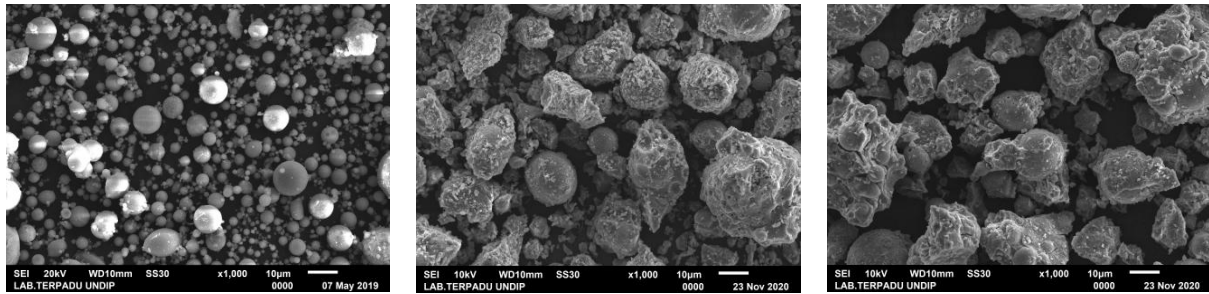
| Oksida                         | Kadar (%-massa) |
|--------------------------------|-----------------|
| MgO                            | 2.5638          |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16.4529         |
| SiO <sub>2</sub>               | 32.4523         |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.2799          |
| SO <sub>3</sub>                | 0.8277          |
| K <sub>2</sub> O               | 1.76            |
| CaO                            | 19.3074         |
| TiO <sub>2</sub>               | 1.7325          |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.1237          |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.0687          |
| MnO                            | 0.2739          |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 23.7816         |
| NiO                            | 0.0289          |
| CuO                            | 0.0313          |
| ZnO                            | 0.028           |
| Rb <sub>2</sub> O              | 0.0176          |
| SrO                            | 0.2153          |
| ZrO <sub>2</sub>               | 0.0545          |

Hasil analisis BET abu terbang, geopolimer biasa, dan geopolimer berpori ditunjukkan pada Tabel 2. Geopolimer berpori mempunyai luas permukaan yang lebih besar dibandingkan abu terbang dan geopolimer biasa. Penambahan *blowing agents* H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> pada pembuatan geopolimer berpori dapat menghasilkan gas O<sub>2</sub> dalam *slurry* geopolimer dan diikuti dengan proses curing untuk menyempurnakan geopolimerisasi maka akan menghasilkan struktur tiga dimensi yang berpori [2]. Semakin luas permukaan adsorben maka akan semakin banyak adsorbat yang dapat teradsorpsi [3].

Tabel 2. Hasil analisis BET abu terbang, geopolimer biasa, dan geopolimer berpori.

| Bahan              | Luas permukaan (m <sup>2</sup> /g) | Radius pori rata-rata (nm) | Volume pori total (cc/g) |
|--------------------|------------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Abu terbang        | 1.745                              | 7.270                      | 0.006                    |
| Geopolimer biasa   | 4.983                              | 5.081                      | 0.013                    |
| Geopolimer berpori | 21.523                             | 5.569                      | 0.060                    |

Adapun hasil analisis SEM abu terbang, geopolimer biasa, dan geopolimer berpori ditunjukkan pada Gambar 1. Abu terbang mempunyai bentuk bulat dengan ukuran bervariasi, sementara itu pada geopolimer terdapat fase kontinyu yang berasal dari aktivator alkali [4-6].



(a) Fly ash (b) Geopolimer biasa (c) Geopolimer berpori  
Gambar 1. Hasil analisis SEM abu terbang, geopolimer biasa, dan geopolimer berpori.

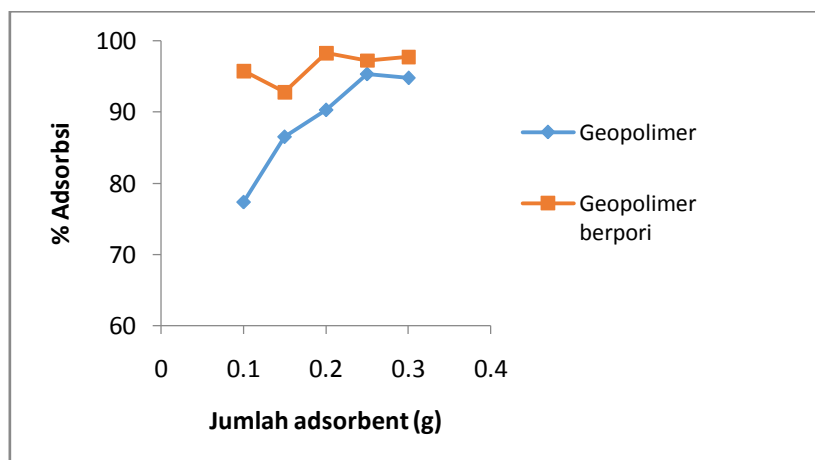
## 2. Adsorpsi Zat Warna

Geopolimer biasa dan geopolimer berpori yang dihasilkan kemudian diaplikasikan sebagai adsorben zat warna, yaitu MB (*methylene blue*), MV (*methyl violet*), MO (*methyl orange*), dan EBT (*Eriochrome Black T*). Faktor-faktor yang berpengaruh pada proses adsorpsi seperti jumlah adsorben, pH, konsentrasi awal, dan waktu [7] pada adsorpsi zat warna baik oleh geopolimer maupun geopolimer berpori dikaji pada penelitian ini.

### a. MB

#### - Pengaruh jumlah adsorben

Jumlah adsorben dapat mempengaruhi efisiensi adsorpsi. Pada umumnya penambahan jumlah adsorben hingga jumlah tertentu akan meningkatkan efisiensi adsorpsi. Pada variasi penambahan jumlah adsorben, variabel operasi yang dibuat tetap adalah larutan zat warna dengan konsentrasi 50 ppm sebanyak 100 ml, pH 7, suhu kamar, dan waktu 2 jam. Gambar 2 menunjukkan adsorpsi zat warna dengan geopolimer berpori efisiensi adsorpsi optimum pada penggunaan adsorben 0,2 g, sedangkan dengan geopolimer biasa pada 0,25 g dengan efisiensi adsorpsi pada geopolimer berpori lebih tinggi dibandingkan geopolimer biasa. Hal ini menunjukkan penggunaan geopolimer berpori dapat mengurangi jumlah adsorben dan efisiensi yang dihasilkan lebih baik dibandingkan geopolimer biasa.

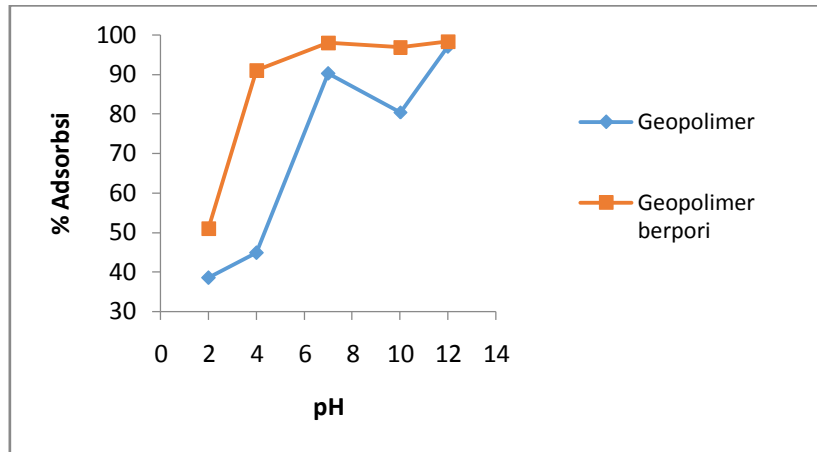


Gambar 2. Pengaruh jumlah adsorben terhadap efisiensi adsorpsi zat warna MB oleh geopolimer dan geopolimer berpori.



- Pengaruh pH

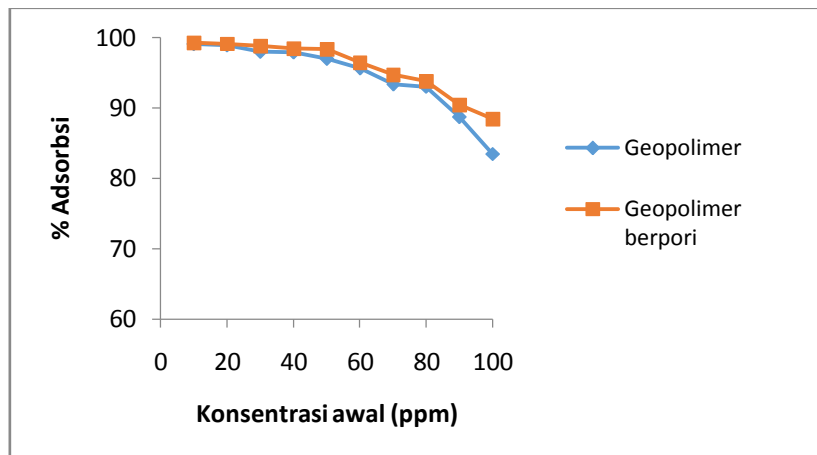
Pada variasi pH, variabel operasi yang dibuat tetap adalah larutan zat warna dengan konsentrasi 50 ppm sebanyak 100 ml, jumlah adsorben 0,2 g, suhu kamar, dan waktu 2 jam. Efisiensi adsorpsi paling besar diperoleh pada pH 12 baik dengan geopolimer biasa maupun geopolimer berpori seperti ditunjukkan Gambar 3. Pada pH larutan yang tinggi permukaan adsorben akan bermuatan negatif dengan adanya ion  $\text{OH}^-$  sehingga zat warna MB yang merupakan zat warna kationik akan semakin mudah teradsorpsi pada permukaan adsorben [8,9].



Gambar 3. Pengaruh pH terhadap efisiensi adsorpsi zat warna MB oleh geopolimer dan geopolimer berpori.

- Pengaruh konsentrasi awal

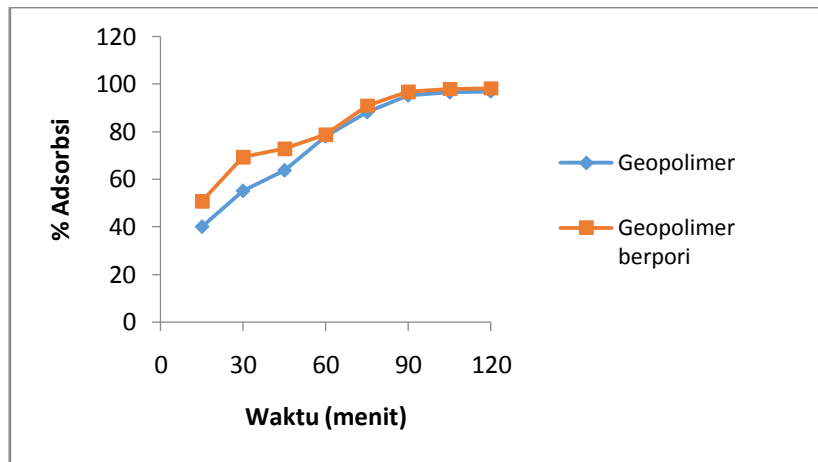
Proses adsorpsi juga dapat dipengaruhi oleh konsentrasi awal larutan. Pada variasi konsentrasi awal, variabel operasi yang dibuat tetap adalah larutan zat warna sebanyak 100 ml, jumlah adsorben 0,2 g, pH 12, suhu kamar, dan waktu 2 jam. Semakin tinggi konsentrasi zat warna maka efisiensi adsorpsi akan semakin menurun. Hal ini disebabkan pada konsentrasi adsorbat (zat warna) yang rendah maka adsorben memiliki permukaan yang cukup untuk mengadsorpsi adsorbat, tetapi jika konsentrasi adsorbat dinaikkan terus-menerus maka permukaan adsorben tidak cukup lagi untuk mengadsorpsi adsorbat [10]. Gambar 4 menunjukkan penurunan efisiensi lebih besar diperoleh pada adsorpsi zat warna dengan geopolimer biasa dibandingkan dengan geopolimer berpori.



Gambar 4. Pengaruh konsentrasi awal terhadap efisiensi adsorpsi zat warna MB oleh geopolimer dan geopolimer berpori.

- Pengaruh waktu

Variabel operasi yang dibuat tetap pada variasi waktu adsorpsi adalah larutan zat warna dengan konsentrasi 50 ppm sebanyak 100 ml, jumlah adsorben 0,2 g, pH 12, dan suhu kamar. Semakin lama waktu adsorpsi maka semakin meningkat efisiensi adsorpsi hingga pada suatu saat efisiensi adsorpsi tidak berubah lagi atau proses adsorpsi telah mencapai kesetimbangan. Efisiensi adsorpsi zat warna baik dengan geopolimer biasa maupun geopolimer berpori relatif konstan setelah 90 menit seperti ditunjukkan Gambar 5.

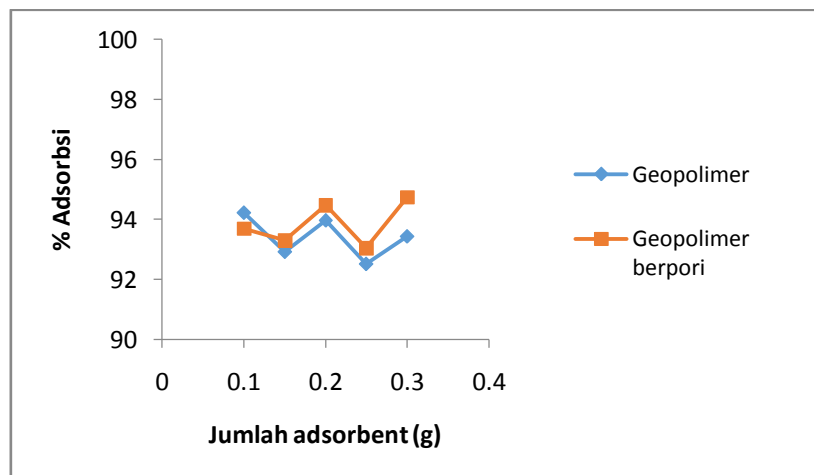


Gambar 5. Pengaruh waktu terhadap efisiensi adsorpsi zat warna MB oleh geopolimer dan geopolimer berpori.

b. MV

- Pengaruh jumlah adsorben

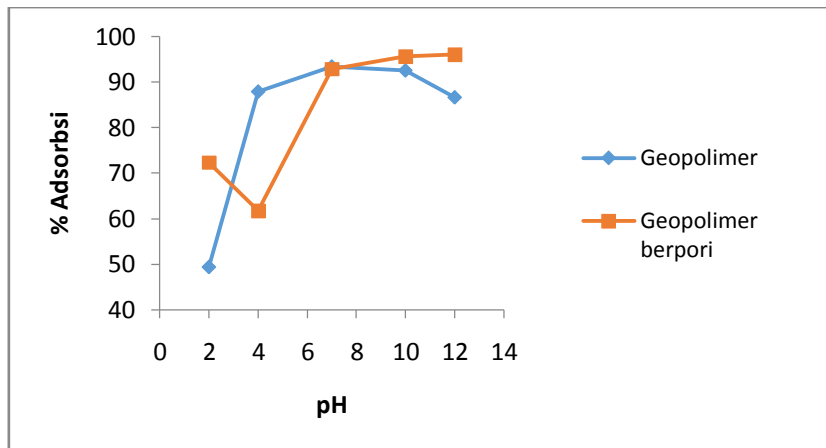
Pada variasi penambahan jumlah adsorben, variabel operasi yang dibuat tetap adalah larutan zat warna dengan konsentrasi 50 ppm sebanyak 100 ml, pH 7, suhu kamar, dan waktu 2 jam. Gambar 6 menunjukkan adsorpsi zat warna baik dengan gopolimer biasa maupun geopolimer berpori diperoleh efisiensi adsorpsi optimum pada penggunaan adsorben 0,2 g. Efisiensi adsorpsi pada geopolimer berpori lebih tinggi dibandingkan geopolimer biasa.



Gambar 6. Pengaruh jumlah adsorben terhadap efisiensi adsorpsi zat warna MV oleh geopolimer dan geopolimer berpori.

- Pengaruh pH

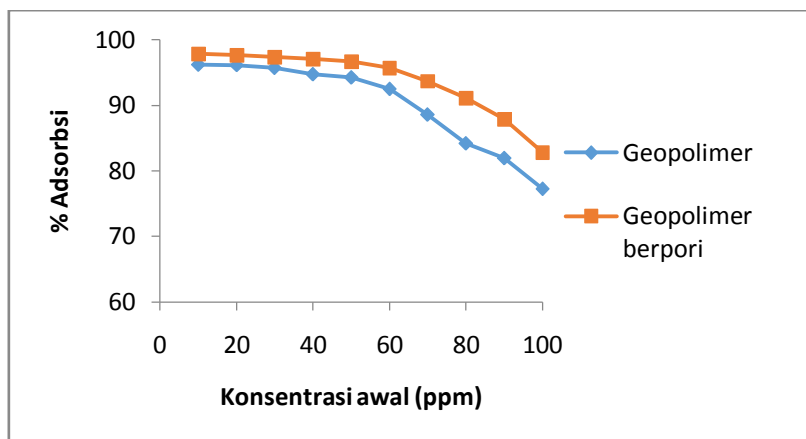
Variabel operasi yang dibuat tetap pada variasi pH adalah larutan zat warna dengan konsentrasi 50 ppm sebanyak 100 ml, jumlah adsorben 0,2 g, suhu kamar, dan waktu 2 jam. Efisiensi adsorpsi paling besar diperoleh pada pH 12 baik dengan geopolimer biasa maupun geopolimer berpori seperti ditunjukkan Gambar 7. Seperti halnya zat warna MB, zat warna MV merupakan zat warna kationik sehingga semakin tinggi pH larutan akan semakin mudah teradsorpsi pada permukaan adsorben yang bermuatan negatif [8,9].



Gambar 7. Pengaruh pH terhadap efisiensi adsorpsi zat warna MV oleh geopolimer dan geopolimer berpori.

- Pengaruh konsentrasi awal

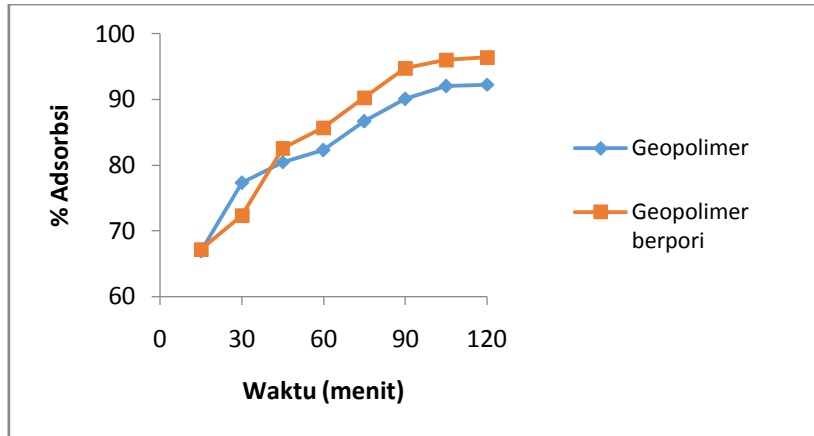
Pada variasi konsentrasi awal, variabel operasi yang dibuat tetap adalah larutan zat warna sebanyak 100 ml, jumlah adsorben 0,2 g, pH 12, suhu kamar, dan waktu 2 jam. Semakin tinggi konsentrasi zat warna maka efisiensi adsorpsi akan semakin menurun. Hal ini berlaku baik dengan geopolimer biasa maupun geopolimer berpori seperti ditunjukkan Gambar 8.



Gambar 8. Pengaruh konsentrasi awal terhadap efisiensi adsorpsi zat warna MV oleh geopolimer dan geopolimer berpori.

- Pengaruh waktu

Pada variasi waktu adsorpsi, variabel operasi yang dibuat tetap adalah larutan zat warna dengan konsentrasi 50 ppm sebanyak 100 ml, jumlah adsorben 0,2 g, pH 12, dan suhu kamar. Semakin lama waktu adsorpsi maka semakin meningkat efisiensi adsorpsi hingga pada suatu saat efisiensi adsorpsi tidak berubah lagi atau proses adsorpsi telah mencapai kesetimbangan. Efisiensi adsorpsi zat warna baik dengan geopolimer biasa maupun geopolimer berpori relatif konstan setelah 90 menit seperti ditunjukkan Gambar 9.

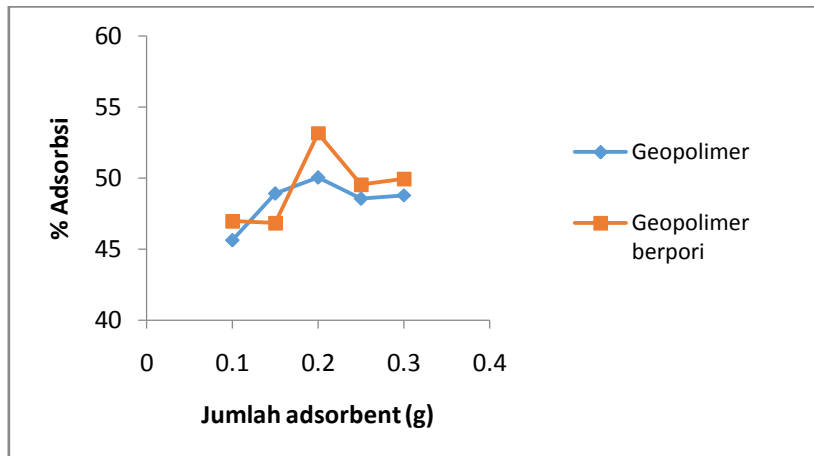


Gambar 9. Pengaruh waktu terhadap efisiensi adsorpsi zat warna MV oleh geopolimer dan geopolimer berpori.

c. MO

- Pengaruh jumlah adsorben

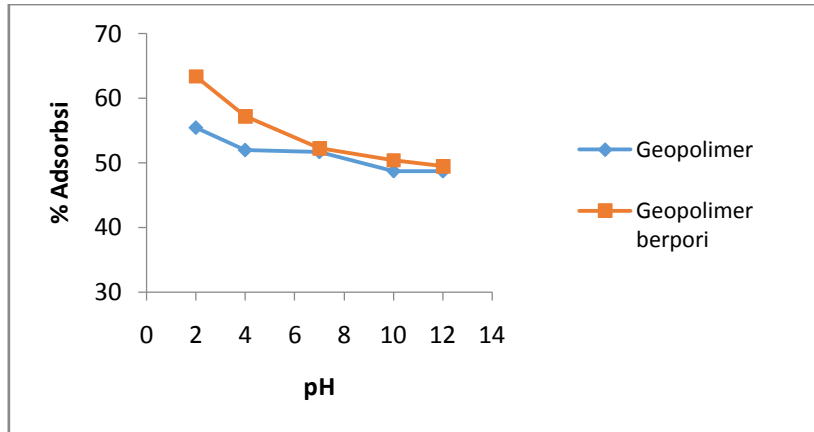
Variabel operasi yang dibuat tetap pada variasi penambahan jumlah adsorben adalah larutan zat warna dengan konsentrasi 50 ppm sebanyak 100 ml, pH 7, suhu kamar, dan waktu 2 jam. Gambar 10 menunjukkan adsorpsi zat warna baik dengan gopolimer biasa maupun geopolimer berpori diperoleh efisiensi adsorpsi optimum pada penggunaan adsorben 0,2 g dengan efisiensi adsorpsi pada geopolimer berpori lebih tinggi dibandingkan geopolimer biasa. Geopolimer berpori dengan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan geopolimer biasa akan mengadsorpsi zat warna lebih banyak dibandingkan geopolimer biasa.



Gambar 10. Pengaruh jumlah adsorben terhadap efisiensi adsorpsi zat warna MO oleh geopolimer dan geopolimer berpori.

- Pengaruh pH

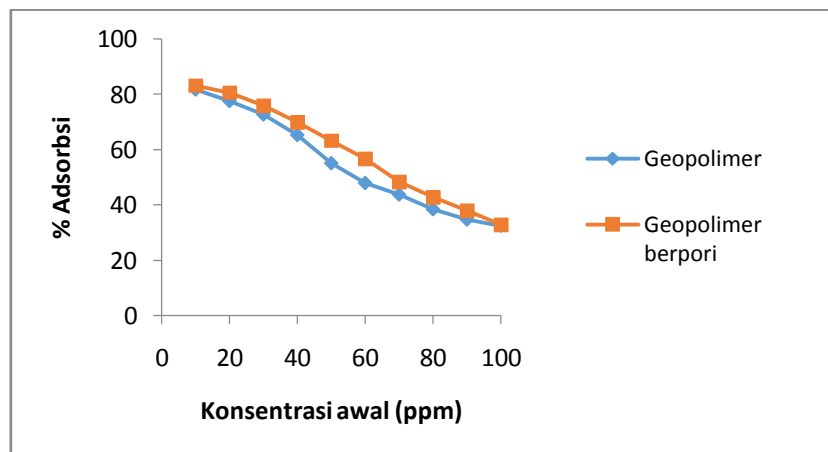
Variabel operasi yang dibuat tetap pada variasi pH adalah larutan zat warna dengan konsentrasi 50 ppm sebanyak 100 ml, jumlah adsorben 0,2 g, suhu kamar, dan waktu 2 jam. Efisiensi adsorpsi paling besar diperoleh pada pH 2 baik dengan geopolimer biasa maupun geopolimer berpori seperti ditunjukkan Gambar 11. Pada pH larutan yang rendah dimana terdapat banyak ion H<sup>+</sup> maka permukaan adsorben akan bermuatan positif sehingga zat warna MO yang merupakan zat warna anionik akan mudah teradsorpsi pada permukaan adsorben [8,9].



Gambar 11. Pengaruh pH terhadap efisiensi adsorpsi zat warna MO oleh geopolimer dan geopolimer berpori.

- Pengaruh konsentrasi awal

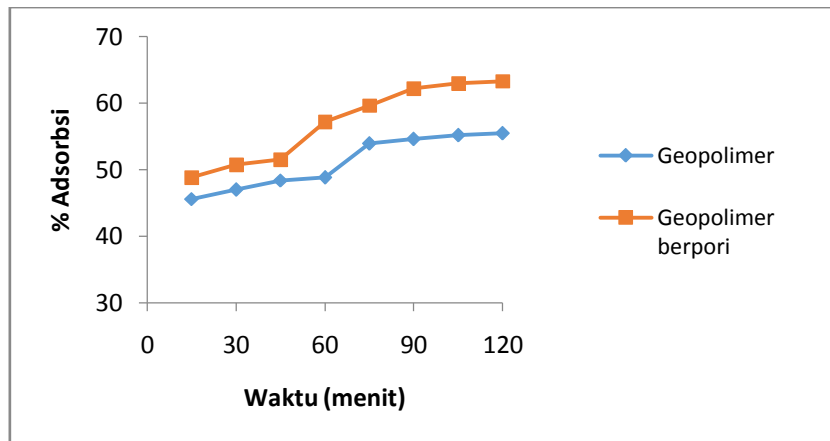
Variabel operasi yang dibuat tetap pada variasi konsentrasi awal adalah larutan zat warna sebanyak 100 ml, jumlah adsorben 0,2 g, pH 2, suhu kamar, dan waktu 2 jam. Efisiensi adsorpsi dipengaruhi konsentrasi awal zat warna, yaitu semakin tinggi konsentrasi zat warna maka efisiensi adsorpsi akan semakin menurun. Hal ini berlaku baik dengan geopolimer biasa maupun geopolimer berpori seperti ditunjukkan Gambar 12.



Gambar 12. Pengaruh konsentrasi awal terhadap efisiensi adsorpsi zat warna MO oleh geopolimer dan geopolimer berpori.

- Pengaruh waktu

Pada variasi waktu adsorpsi, variabel operasi yang dibuat tetap adalah larutan zat warna dengan konsentrasi 50 ppm sebanyak 100 ml, jumlah adsorben 0,2 g, pH 2, dan suhu kamar. Semakin lama waktu adsorpsi maka semakin meningkat efisiensi adsorpsi hingga pada suatu saat efisiensi adsorpsi tidak berubah lagi atau proses adsorpsi telah mencapai kesetimbangan. Gambar 13 menunjukkan bahwa efisiensi adsorpsi zat warna baik dengan geopolimer biasa maupun geopolimer berpori relatif konstan setelah 90 menit.

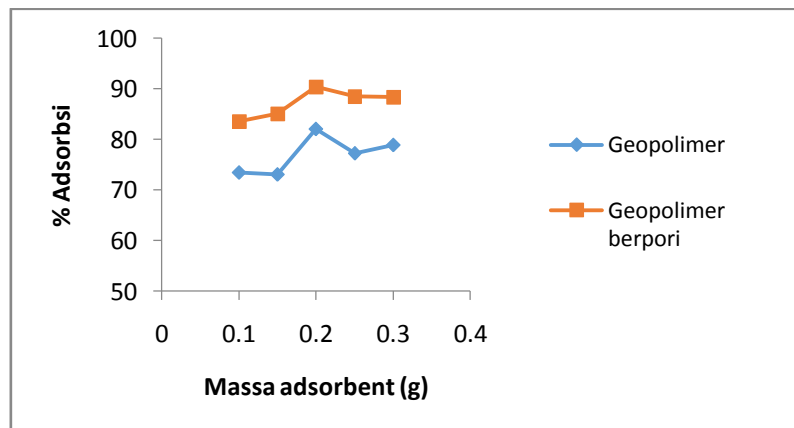


Gambar 13. Pengaruh waktu terhadap efisiensi adsorpsi zat warna MO oleh geopolimer dan geopolimer berpori.

d. EBT

- Pengaruh jumlah adsorben

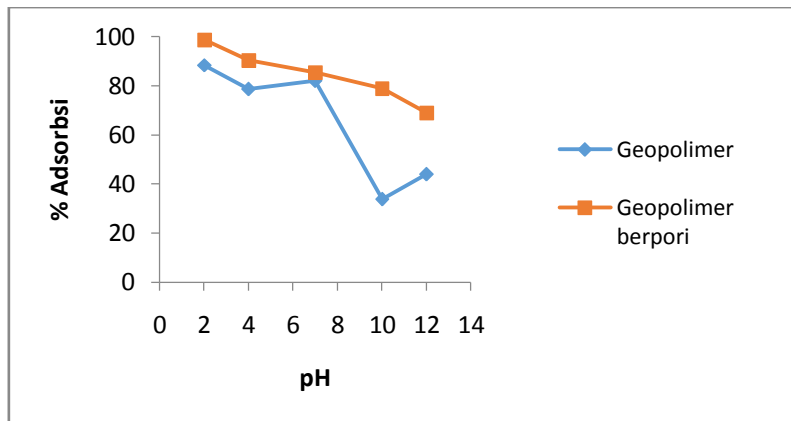
Pada variasi penambahan jumlah adsorben, larutan zat warna dengan konsentrasi 50 ppm sebanyak 100 ml, pH 7, suhu kamar, dan waktu 2 jam merupakan variabel operasi yang dibuat tetap. Gambar 14 menunjukkan adsorpsi zat warna baik dengan gopolimer biasa maupun geopolimer berpori diperoleh efisiensi adsorpsi optimum pada penggunaan adsorben 0,2 g. Efisiensi adsorpsi yang diperoleh pada geopolimer berpori lebih tinggi dibandingkan geopolimer biasa seperti halnya efisiensi adsorpsi zat warna lainnya (MB, MV, dan MO).



Gambar 14. Pengaruh massa adsorbent terhadap efisiensi adsorpsi zat warna EBT oleh geopolimer dan geopolimer berpori.

- Pengaruh pH

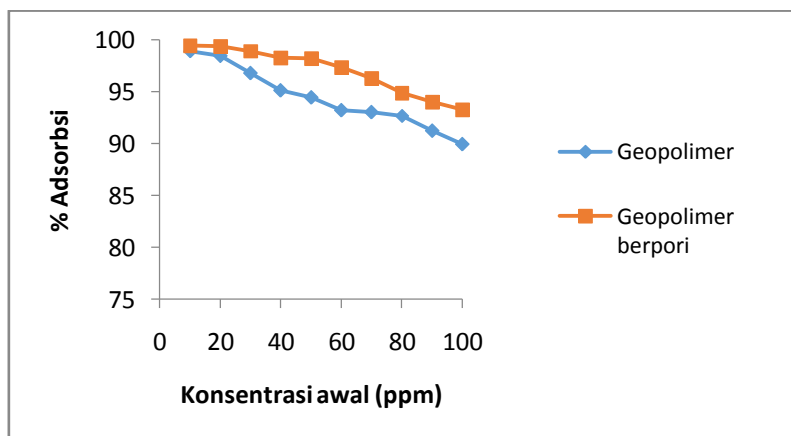
Pada variasi pH, variabel operasi yang dibuat tetap adalah larutan zat warna dengan konsentrasi 50 ppm sebanyak 100 ml, jumlah adsorben 0,2 g, suhu kamar, dan waktu 2 jam. Efisiensi adsorpsi paling besar diperoleh pada pH 2 baik dengan geopolimer biasa maupun geopolimer berpori seperti ditunjukkan Gambar 15. Zat warna EBT merupakan zat warna anionik seperti halnya zat warna MO sehingga semakin rendah pH larutan akan semakin mudah teradsorpsi pada permukaan adsorben yang bermuatan positif [8,9].



Gambar 15. Pengaruh pH terhadap efisiensi adsorpsi zat warna EBT oleh geopolimer dan geopolimer berpori.

- Pengaruh konsentrasi awal

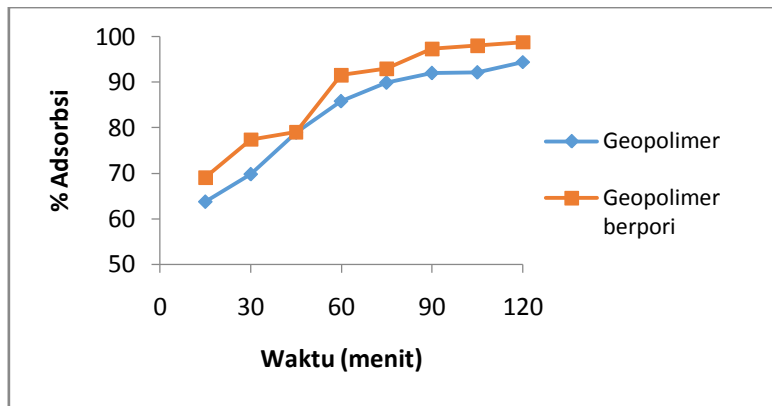
Pada variasi konsentrasi awal, variabel operasi yang dibuat tetap adalah larutan zat warna sebanyak 100 ml, jumlah adsorben 0,2 g, pH 2, suhu kamar, dan waktu 2 jam. Efisiensi adsorpsi dipengaruhi konsentrasi awal zat warna, yaitu semakin tinggi konsentrasi zat warna maka efisiensi adsorpsi akan semakin menurun. Hal ini berlaku baik dengan geopolimer biasa maupun geopolimer berpori seperti ditunjukkan Gambar 16.



Gambar 16. Pengaruh konsentrasi awal terhadap efisiensi adsorpsi zat warna EBT oleh geopolimer dan geopolimer berpori.

- Pengaruh waktu

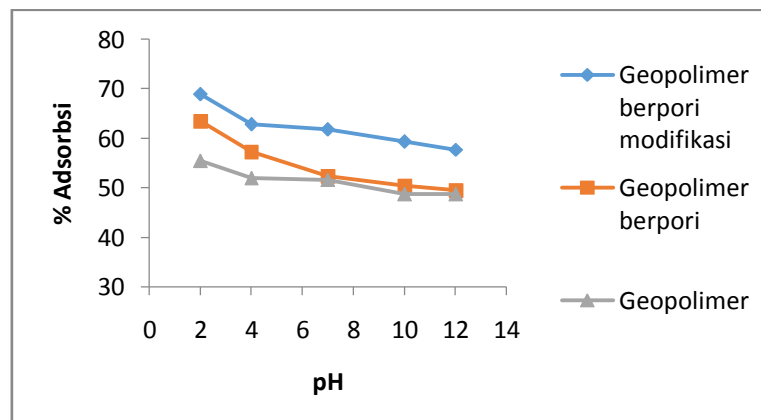
Variabel operasi yang dibuat tetap pada variasi waktu adsorpsi, adalah larutan zat warna dengan konsentrasi 50 ppm sebanyak 100 ml, jumlah adsorben 0,2 g, pH 2, dan suhu kamar. Semakin lama waktu adsorpsi maka semakin meningkat efisiensi adsorpsi hingga pada suatu saat efisiensi adsorpsi tidak berubah lagi atau proses adsorpsi telah mencapai kesetimbangan. Gambar 17 menunjukkan bahwa efisiensi adsorpsi zat warna baik dengan geopolimer biasa maupun geopolimer berpori relatif konstan setelah 90 menit.



Gambar 17. Pengaruh waktu terhadap efisiensi adsorpsi zat warna EBT oleh geopolimer dan geopolimer berpori.

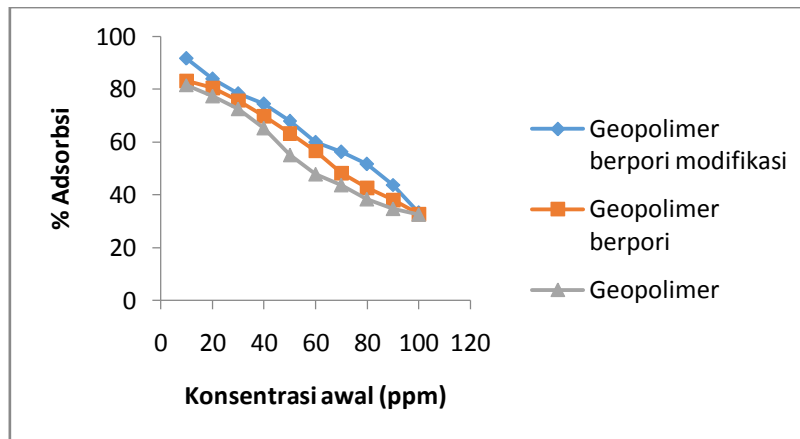
Kajian pengaruh jumlah adsorben, pH, konsentrasi awal, dan waktu pada adsorpsi zat warna menggunakan geopolimer biasa dan geopolimer berpori menunjukkan hasil bahwa efisiensi adsorpsi dengan geopolimer berpori lebih besar dibandingkan geopolimer biasa. Efisiensi adsorpsi zat warna MB, MV, dan EBT oleh geopolimer berpori dapat mencapai >90%, sedangkan efisiensi adsorpsi zat warna MO oleh geopolimer berpori hanya mencapai sekitar 60%. Pemakaian adsorben sebanyak 0,2 g rata-rata memberikan hasil adsorpsi yang terbaik. Zat warna kationik (MB, MV) akan teradsorpsi lebih baik pada pH tinggi (12), sementara zat warna anionik (EBT, MO) pada pH rendah (2). Peningkatan konsentrasi awal zat warna dapat menurunkan efisiensi adsorpsi. Sementara itu kondisi kesetimbangan rata-rata diperoleh setelah 90 menit.

Untuk meningkatkan efisiensi adsorpsi zat warna MO maka dilakukan modifikasi terhadap geopolimer berpori dengan surfaktan CTAB (Cetyltrimethylammonium Bromida) yang merupakan surfaktan kationik sehingga diharapkan efisiensi adsorpsi zat warna MO yang merupakan zat warna anionik akan meningkat. Hasil adsorpsi zat warna MO dengan geopolimer berpori modifikasi pada variasi pH, konsentrasi awal, dan waktu masing-masing ditunjukkan oleh Gambar 18, 19, dan 20. Pada variasi pH, adsorpsi dilakukan pada 100 ml larutan MO 50 ppm dengan massa adsorbent 0,2 gram selama 2 jam. Sementara pada pengaruh konsentrasi awal, adsorpsi dilakukan pada 100 ml larutan MO dengan massa adsorbent 0,2 gram, pH 2, dan waktu 2 jam. Adapun pada pengaruh waktu, adsorpsi dilakukan pada 100 ml larutan MO 50 ppm dengan massa adsorbent 0,2 gram dan pH 2.

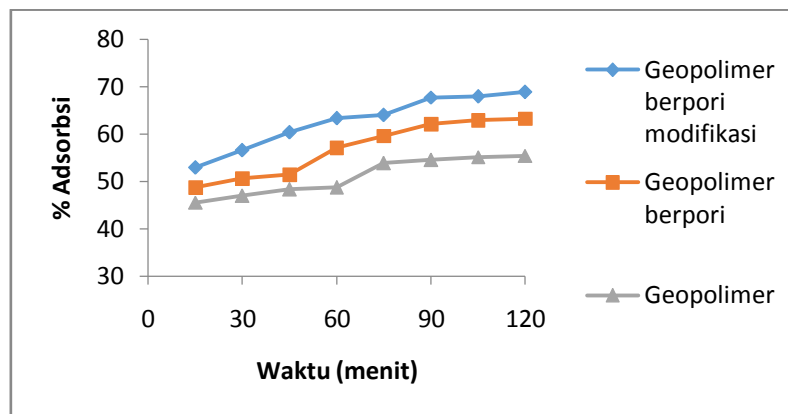


Gambar 18. Pengaruh pH terhadap efisiensi adsorpsi zat warna MO oleh geopolimer, geopolimer berpori, dan geopolimer berpori modifikasi.





Gambar 19. Pengaruh konsentrasi awal terhadap efisiensi adsorpsi zat warna MO oleh geopolimer, geopolimer berpori, dan geopolimer berpori modifikasi.



Gambar 20. Pengaruh waktu terhadap efisiensi adsorpsi zat warna MO oleh geopolimer, geopolimer berpori, dan geopolimer berpori modifikasi.

Berdasarkan Gambar 18, efisiensi adsorpsi zat warna MO paling tinggi diperoleh pada pH 2 dengan adsorben geopolimer berpori modifikasi dibandingkan geopolimer berpori dan geopolimer. Bertambahnya konsentrasi awal larutan zat warna MO akan menurunkan efisiensi adsorpsi baik dengan adsorben geopolimer berpori modifikasi, geopolimer berpori, maupun geopolimer seperti ditunjukkan Gambar 19. Sementara itu Gambar 20 menunjukkan bahwa adsorpsi zat warna MO dengan geopolimer berpori modifikasi mencapai kesetimbangan setelah 90 menit seperti dengan geopolimer berpori dan geopolimer tetapi dengan hasil efisiensi adsorpsi yang lebih tinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa modifikasi geopolimer berpori dengan surfaktan kationik CTAB dapat meningkatkan efisiensi adsorpsi zat warna anionik MO seperti yang diperoleh Huang dkk [11] dan Selkala dkk [12].

**D. STATUS LUARAN:** Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan pada tahun pelaksanaan penelitian. Jenis luaran dapat berupa publikasi, perolehan kekayaan intelektual, hasil pengujian atau luaran lainnya yang telah dijanjikan pada proposal. Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran sesuai dengan luaran yang dijanjikan. Lengkapi isian jenis luaran yang dijanjikan serta unggah bukti dokumen ketercapaian luaran wajib dan luaran tambahan melalui Simlitabmas mengikuti format sebagaimana terlihat pada bagian isian luaran

Luaran wajib penelitian ini adalah artikel ilmiah di jurnal internasional terindeks Scopus. Saat ini draft manuskrip sedang dalam tahap penyelesaian.

E. **PERAN MITRA:** Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* (jika ada). Bukti pendukung realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra dilaporkan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra diunggah melalui Simlitabmas mengikuti format sebagaimana terlihat pada bagian isian mitra

-

F. **KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN:** Tuliskan kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan, termasuk penjelasan jika pelaksanaan penelitian dan luaran penelitian tidak sesuai dengan yang direncanakan atau dijanjikan.

Hambatan yang dialami dalam melakukan penelitian ini adalah karena penelitian ini dilakukan pada masa pandemi Covid 19 dimana akses laboratorium terbatas dan analisis yang menggunakan bantuan pihak ketiga juga terbatas.

**G. RENCANA TINDAK LANJUT PENELITIAN:** Tuliskan dan uraikan rencana tindak lanjut penelitian selanjutnya dengan melihat hasil penelitian yang telah diperoleh. Jika ada target yang belum diselesaikan pada akhir tahun pelaksanaan penelitian, pada bagian ini dapat dituliskan rencana penyelesaian target yang belum tercapai tersebut.

Recana tindak lanjut penelitian selanjutnya adalah submit artikel ilmiah pada jurnal internasional terindeks Scopus.

**H. DAFTAR PUSTAKA:** Penyusunan Daftar Pustaka berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan akhir yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

1. Sherly, R. dan Kumar, S.S. (2011): Valuable products from fly ash – A review, *Journal of Industrial Pollution Control*, **27**(2), 113–120.
2. Bai, C. dan Colombo, P. (2018): Processing, properties and applications of highly porous geopolymers: A review, *Ceramics International*, **44**, 16103–16118.
3. Barbosa, T.R., Foletto, E.L., Dotto, G.L., dan Jahn, S.L. (2018): Preparation of mesoporous geopolymer using metakaolin and rice husk ash as synthesis precursors and its use as potential adsorbent to remove organic dye from aqueous solutions, *Ceramics International*, **44**, 416–423.
4. Rattanasak, U dan Chindaprasirt, P. (2009): Influence of NaOH solution on the synthesis of fly ash geopolymer, *Minerals Engineering*, **22**, 1073.
5. Skvára, F., Kopecky, L., Smilauer, V, dan Bittnar, Z. (2009): Material and structural characterization of alkali activated low-calcium brown coal fly ash, *Journal of Hazardous Materials*, **168**, 711-720.
6. Purbasari, A., Samadhi, T.W., dan Bindar, Y. (2018): The Effect of Alkaline Activator Types on Strength and Microstructural Properties of Geopolymer from Co-Combustion Residuals of Bamboo and Kaolin, *Indonesian Journal of Chemistry*, **18**, 397-402.
7. Ariffin, N., Abdullah, M.M.A.B., Zainol, M.R.R.M.A., Murshed, M.F., Zain, H., Faris, M.A., dan Bayuaji, R. (2017): Review on Adsorption of Heavy Metal in Wastewater by Using Geopolymer, *MATEC Web of Conferences*, **97**, 01023.
8. Kushwaha, S., Soni, H., Ageetha, V. Dan Padmaja, P. (2013): An Insight into the Production, Characterization, and Mechanisms of Action of Low-Cost Adsorbents for Removal of Organics from Aqueous Solution, *Critical Reviews In Environmental Science And Technology*, **43**, 443-549.
9. Salleh, M.A.M., Mahmoud, D.K., Karim, W.A.W.A., dan Idris, A. (2011): Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: A comprehensive review, *Desalination*, **280**, 1–13.
10. Duan, P., Yan, C., Zhou, W., dan Ren, D. (2016): Development of fly ash and iron ore tailing based porous geopolymer for removal of Cu(II) from wastewater, *Ceramics International*, **42**, 13507–13518.
11. Huang, Z., Li, Y., Chen, W., Shi, J., Zhang, N., Wang, X., Li, Z., Gao, L., dan Zhang, Y. (2017): Modified bentonite adsorption of organic pollutants of dye wastewater, *Materials Chemistry and Physics*, **202**, 266-276.
12. Selkala, T., Suopajarvi, T., Sirvio, J.A., Luukkonen, T., Kinnunen, P., de Carvalho, A.L.C.B., dan Liimatainen, H. (2020), Surface Modification of Cured Inorganic Foams with Cationic Cellulose Nanocrystals and Their Use as Reactive Filter Media for Anionic Dye Removal, *ACS Applied Materials and Interfaces*, **12**, 27745-27757.

Dokumen pendukung luaran Wajib #1

Luaran dijanjikan: Artikel di Jurnal Internasional Terindeks di Pengindeks Bereputasi

Target: Accepted

Dicapai: Submitted

Dokumen wajib diunggah:

1. Naskah artikel
2. Bukti submit

Dokumen sudah diunggah:

1. Naskah artikel
2. Bukti submit

Dokumen belum diunggah:

- Sudah lengkap

Nama jurnal: Journal of Engineering Research

Peran penulis: first author | EISSN: 2307-1877/2307-1885

Nama Lembaga Pengindek: Scopus

URL jurnal: <https://kuwaitjournals.org/jer/index.php/JER/home>

Judul artikel: ADSORPTION OF CATIONIC AND ANIONIC DYES FROM AQUEOUS SOLUTION ON FLY ASH-BASED POROUS GEOPOLYMER

# ADSORPTION OF CATIONIC AND ANIONIC DYES FROM AQUEOUS SOLUTION ON FLY ASH-BASED POROUS GEOPOLYMER

Aprilina Purbasari, Dessy Ariyanti, and Evi Fitriani

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Diponegoro  
Semarang 50275, Indonesia

Corresponding author: [aprilina.purbasari@che.undip.ac.id](mailto:aprilina.purbasari@che.undip.ac.id)

## Abstract

Fly ash, solid waste from coal-fired power plant, had been utilized as raw material for porous geopolymer with blowing agent hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ). Porous geopolymer was applied as adsorbent for cationic dyes Methyl Violet (MV) and anionic dyes Eriochrome Black T (EBT) from aqueous solution. In this paper, factors affecting adsorption process such as adsorbent dosage, pH, time, and initial concentration were studied, in addition to kinetics and isotherm adsorption studies. Adsorbent dosage, time, and initial concentration factors had the same effect on adsorption process for both MV and EBT dyes. For pH factors, adsorption of MV dyes was better at high pH, while adsorption of EBT dyes was better at low pH. Both adsorption of MV and EBT dyes by porous geopolymer followed pseudo-second-order kinetics model and Langmuir isotherm model with maximum adsorption capacity of  $45.454 \text{ mg.g}^{-1}$  and  $49.261 \text{ mg.g}^{-1}$ , respectively.

**Keywords:** adsorption; Methyl Violet; Eriochrome Black T; porous geopolymer

## Introduction

Waste water containing dyes apart from causing aesthetic problems also causes health problems for living organisms. Dyes can act as allergic, mutagenic, carcinogenic, and toxic agents (Berradi et al., 2019; Lellis et al., 2019). In general, dyes can be classified as cationic, anionic, and nonionic dyes. Cationic dyes include azo basic, anthraquinone disperse, reactive dyes; and anionic dyes include acid, direct, reactive dyes. As for nonionic dyes include disperse dyes (Saini, 2017).

The removal of dye pollutants in waste water can be done by physical, chemical, and biological methods. Adsorption is one of physical methods that widely used because the process is simple and effective with low cost. The commonly adsorbents for dyes removal are activated carbon, zeolite, and fly ash (Gita et al., 2017; Dutta et al., 2021).

Geopolymer, inorganic polymer consisting of Si-O-Al bonds, has potential to be used as adsorbent for dyes removal such as zeolite. The preparation of geopolymer is simpler than zeolite so that the use of geopolymer as dyes adsorbent deserves to be studied further (Siyal et al., 2018; Luukkonen et al., 2019). To improve the performance of geopolymer as adsorbent, blowing agents such as aluminum powder, silicon powder,  $H_2O_2$ , and NaOCl can be added to the preparation of geopolymer. The blowing agents will form gases ( $H_2$  or  $O_2$ ) in geopolymer slurry so that geopolymer porosity will increase (Barbosa et al., 2018; Bai and Colombo, 2018).

In this research, geopolymer was prepared from fly ash which is solid waste from coal-fired power plant with hydrogen peroxide ( $H_2O_2$ ) as blowing agent. Porous geopolymer was applied as adsorbent for dyes removal, namely cationic dyes Methyl Violet and anionic dyes Eriochrome Black T from aqueous solution. Factors affecting adsorption process like adsorbent dosage, pH, time, and initial concentration were studied. Furthermore, kinetics and isotherm adsorption studies were also conducted.

## **Methods**

Materials used in this research were fly ash, NaOH flakes (98%), Na-silicate solution (35%),  $H_2O_2$  solution (30%),  $HNO_3$  solution (65%), Methyl Violet (MV) and Eriochrome Black T (EBT) dyes. Fly ash obtained from power plant in East Java, Indonesia had oxides composition as shown in Table 1 based on X-ray fluorescence (XRF) analysis. Fly ash was sieved with 100 mesh standard sieve before used.

Geopolymer was prepared by mixing of fly ash and alkaline activator with mass ratio of 2.5:1 in planetary mixer. The mixture was stirred at low speed for 10 minutes. Alkaline activator consisted of 10 N NaOH solution and Na-silicate solution with ratio of 1:1. For porous geopolymer,  $H_2O_2$  as blowing agent was added to the mixture as much as 1 %-mass and stirred for 2 minutes. Geopolymer and porous geopolymer pastes were each casted in 5 cm x 5 cm x 5 cm molds. After 24 hours, geopolymer and porous geopolymer were removed from molds and

heated in oven at 60 °C for 6 hours. Geopolymer and porous geopolymer were crushed and sieved with 100 mesh standard sieve.

Characterization of fly ash, geopolymer, and porous geopolymer comprised Brunauer-Emmett-Teller (BET) surface area and pores size analysis using Quantachrome Instrument and scanning electron microscope (SEM) analysis using JEOL JSM 6510 LA instrument.

Table 1. Oxides composition of fly ash.

| Oxides                         | %-mass |
|--------------------------------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 32.452 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 16.453 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 23.782 |
| CaO                            | 19.307 |
| MgO                            | 2.564  |
| K <sub>2</sub> O               | 1.760  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.280  |
| SO <sub>3</sub>                | 0.828  |
| TiO <sub>2</sub>               | 1.732  |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.124  |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.069  |
| MnO                            | 0.274  |
| NiO                            | 0.029  |
| CuO                            | 0.031  |
| ZnO                            | 0.028  |
| Rb <sub>2</sub> O              | 0.018  |
| SrO                            | 0.215  |
| ZrO <sub>2</sub>               | 0.054  |

Geopolymer and porous geopolymer were used as adsorbent of MV and EBT dyes. Adsorption were performed in batch process with 100 ml dyes solution at various adsorbent mass (0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3 g), pH (2, 4, 7, 10, 12), time (15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120 minutes), and initial concentration of dyes (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 ppm) at room temperature with stirring rate of 200 rpm. Concentration of dyes solution was measured using Thermo Scientific Genesys 10S UV-Vis spectrophotometer.

Dyes removal efficiency (%) can be calculated with the equation:

$$\text{Dyes removal efficiency (\%)} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

$C_0$  is the initial dyes concentration (mg/L) and  $C_e$  is the dyes concentration at equilibrium (mg/L).

Adsorption kinetics studies in this research were conducted using pseudo-first order, pseudo-second order, and Elovich models which can be stated by these equations:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (2)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (3)$$

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln \alpha \beta + \frac{1}{\beta} \ln t \quad (4)$$

where  $q_t$  is the adsorption capacity at time  $t$  (mg/g) and  $q_e$  is the adsorption capacity at equilibrium (mg/g). Calculation of adsorption capacity can use this equation:

$$q = \frac{(C_0 - C_e)V}{W} \quad (5)$$

where  $V$  is volume of solution (L) and  $W$  is mass of adsorbent (g) (Benjelloun et al., 2021; Nizam et al., 2021).

Moreover, adsorption isotherm studies were carried out using Langmuir, Freundlich, and Temkin models. Each of these models can be expressed by following equations:

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (6)$$

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (7)$$

$$q_e = \frac{RT}{b} \ln(K_T C_e) \quad (8)$$

where  $q_m$  is the maximum adsorption capacity (Al-Ghouti and Al-Absi, 2020; Wang and Guo, 2020).

## Results and Discussion

### Characteristics of fly ash based geopolymer

Physical properties of fly ash, geopolymer, and porous geopolymer comprising surface area, average radius, and total pore volume are shown in Table 2. Alkaline activation of fly ash into geopolymer can increase surface area and total pore volume of fly ash. Furthermore, the addition of blowing agent  $H_2O_2$  in geopolymer formation can increase surface area total pore volume of geopolymer. These physical properties support the application of porous geopolymer as adsorbent.



Table 2. Physical properties of fly ash, geopolymer, and porous geopolymer.

| Materials         | Surface area<br>(m <sup>2</sup> /g) | Average pore radius<br>(nm) | Total pore volume<br>(cc/g) |
|-------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Fly ash           | 1.745                               | 7.270                       | 0.006                       |
| Geopolymer        | 4.983                               | 5.081                       | 0.013                       |
| Porous geopolymer | 21.523                              | 5.569                       | 0.060                       |

SEM micrographs with 1000x magnification for fly ash, geopolymer, and porous geopolymer are shown in Figure 1. Fly ash mostly has spherical structure of various sizes. After alkaline activation of fly ash into geopolymer, there is continuous phase that covers fly ash to form amorphous and porous structure (Kisku et al., 2015; El Alouani et al., 2019; Purbasari et al., 2018).

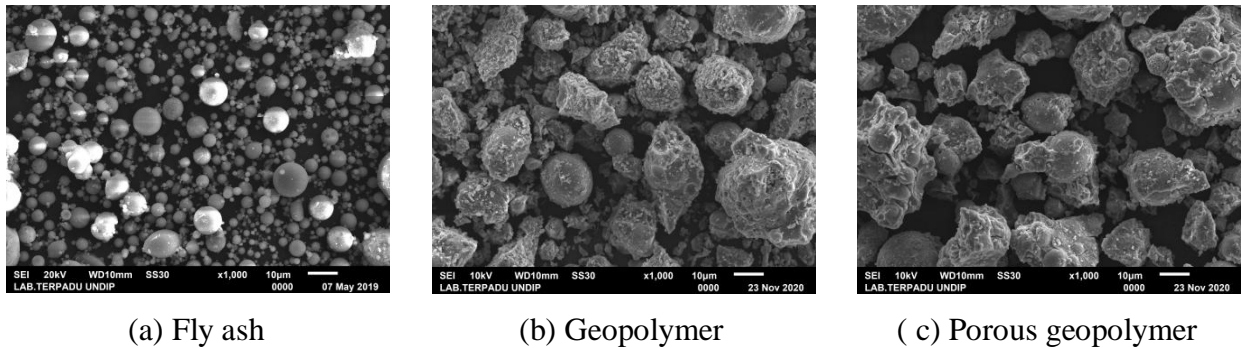


Figure 1. Scanning electron micrographs of fly ash, geopolymer, and porous geopolymer.

### Adsorption of Dyes using Porous Geopolymer

The obtained porous geopolymer was applied as adsorbent for MV and EBT dyes. The effect of adsorbent dosage on the dyes removal efficiency was studied using 100 ml dyes solution with concentration of 50 ppm and pH of 7 for 2 hours. Figure 2 shows the usage of 0.2 g adsorbent give the optimum removal efficiencies for both MV and EBT dyes. Therefore, 0.2 g porous geopolymer was used in the next adsorption process with variation of pH, time, and initial concentration.

The effect of pH on the dyes removal efficiency can be observed from Figure 3. In this adsorption process, 100 ml dyes solution with concentration of 50 ppm was adsorbed by 0.2 g porous geopolymer for 2 hours. The removal efficiency of MV dyes tends to increase up to pH 10 and after that the removal efficiency slightly increases. Different result is shown by EBT

dyes. The removal efficiency of EBT dyes tends to increase with the decrease of pH. The highest removal efficiency of EBT dyes is obtained at pH 2. In high pH or basic solution, adsorbent surface becomes negatively charged from hydroxyl ( $\text{OH}^-$ ) ions so that cationic dyes (MV) can be adsorbed easily on adsorbent surface. Meanwhile, low pH or acidic solution causes adsorbent surface to be positively charged from hydrogen ( $\text{H}^+$ ) ions and is able to adsorb anionic dyes (EBT) (Kushwaha et al., 2013; Salleh et al., 2011).

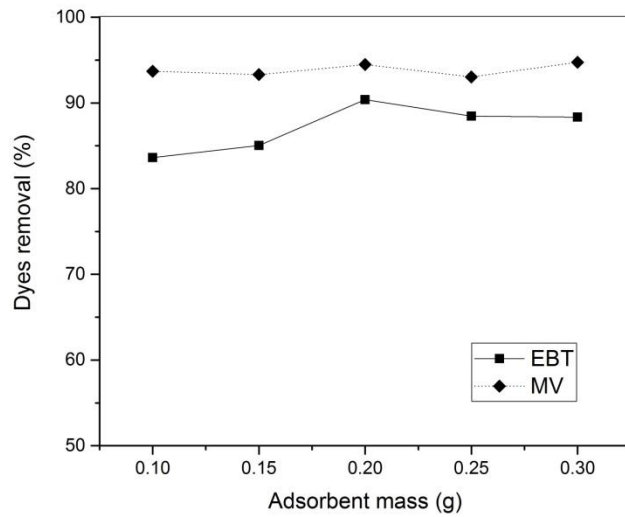


Figure 2. The effect of adsorbent mass on the dyes removal efficiency.

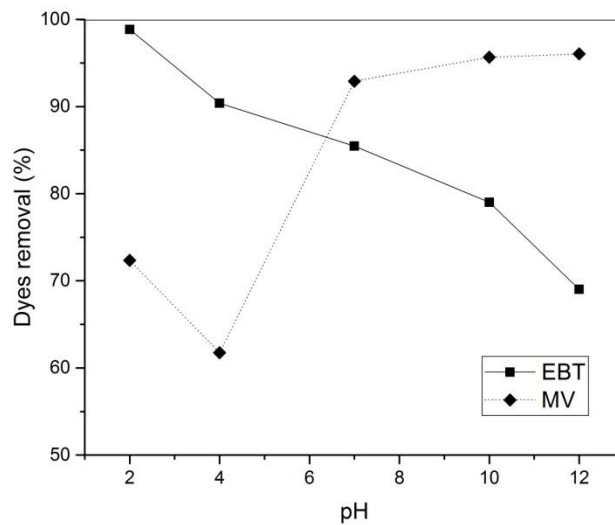


Figure 3. The effect of pH on the dyes removal efficiency.

Figure 4 represents the effect of time on dyes adsorption by porous geopolymer. The dyes removal efficiency was observed using 100 ml dyes solution with concentration of 50 ppm and adsorbent mass of 0.2 g for 2 hours with an interval of 15 minutes. Adsorption of MV dyes was done at pH 10, while adsorption of EBT dyes was done at pH 2. The dyes removal efficiencies for both MV and EBT dyes increase with the increase of time and reach equilibrium after 90 minutes. At the initial stage of adsorption process, there are still many available active sites on adsorbent surface so that the rate of dyes removal is high. At equilibrium stage, the rate of dyes removal becomes slower due to fewer active sites are available on adsorbent surface (Fernandes et al., 2020; Huang et al., 2017).

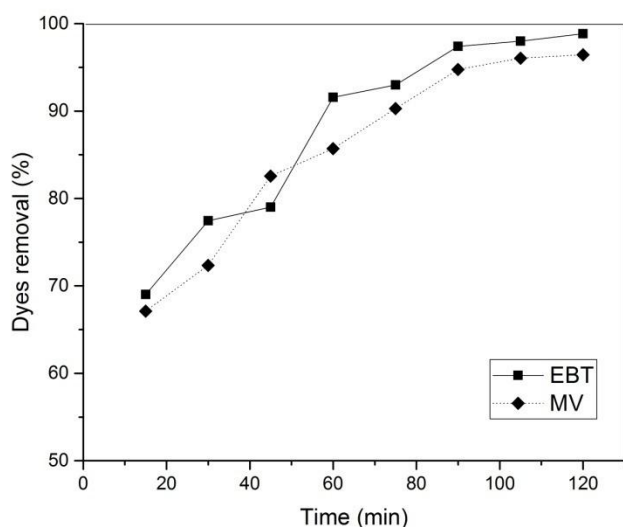


Figure 4. The effect of time on the dyes removal efficiency.

Furthermore, the effect of initial concentration on dyes removal efficiency was studied using 100 ml dyes solution with concentration of 50 ppm and 0.2 g adsorbent for 2 hours. Adsorption of MV dyes was carried out at pH 10, while adsorption of EBT dyes was done at pH 2. Figure 5 shows that the higher initial concentration of dyes solution, the lower dyes removal efficiency for both MV and EBT dyes. At low initial concentration, the number of active sites on the porous geopolymer surface can accommodate dyes adsorption process. However, the active sites on the

porous geopolymer surface become insufficient to adsorb dyes at high initial concentration (Fernandes et al., 2020; Huang et al., 2017).

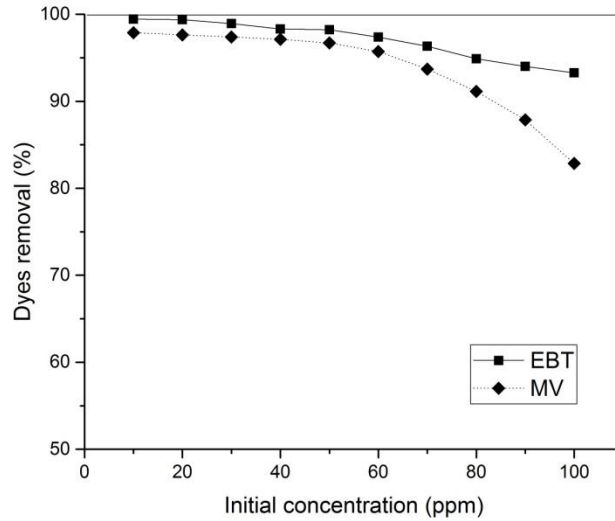


Figure 5. The effect of initial concentration on the dyes removal efficiency.

### Kinetics studies on Dyes Adsorption using Porous Geopolymer

Kinetics studies on MV and EBT adsorption by porous geopolymer were conducted using pseudo first order kinetics model, pseudo second order kinetics model, and Elovich kinetics model. In pseudo first order kinetics model, adsorption process is considered to be controlled by diffusion. Kinetics parameters for pseudo-first-order model can be obtained by plotting linear equation (2), i.e.  $\ln(q_e - q_t)$  versus  $t$ . As for pseudo-second-order kinetics model, adsorption process is considered to be controlled by chemical adsorption. Kinetics parameters for pseudo-second-order model can be obtained by plotting linear equation (3), i.e.  $\frac{t}{q_t}$  versus  $t$ . Meanwhile, in Elovich kinetics model, adsorption process is considered to be controlled by chemical adsorption on heterogeneous surface and kinetics parameters for Elovich model can be obtained by plotting linear equation (4), i.e.  $q_t$  versus  $\ln t$  (Benjelloun et al., 2021; Nizam et al., 2021). Table 3 shows kinetics parameters and correlation coefficients for each kinetics model. Pseudo-second-order kinetics model has highest correlation coefficient for both MV and EBT

adsorption. This result indicates that adsorption of cationic and anionic dyes by porous geopolymer follows pseudo-second-order kinetics model or is controlled by chemical adsorption.

Table 3. Kinetics parameters and correlation coefficients for MV and EBT adsorption by porous geopolymer.

| Kinetics model      | Parameter   | Value  |        | R <sup>2</sup> |       |
|---------------------|---|--------|--------|----------------|-------|
|                     |   | MV     | EBT    | MV             | EBT   |
| Pseudo-first-order  | $k_1$ (min <sup>-1</sup> )                        | 0.045  | 0.041  | 0.895          | 0.936 |
|                     | $q_e$ (mg.g <sup>-1</sup> )                       | 24.264 | 20.086 |                |       |
| Pseudo-second-order | $k_2$ (min <sup>-1</sup> )                        | 0.003  | 0.003  | 0.997          | 0.995 |
|                     | $q_e$ (g.mg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )    | 27.027 | 27.778 |                |       |
| Elovich             | $\alpha$ (mg.g <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> ) | 17.041 | 19.145 | 0.974          | 0.949 |
|                     | $\beta$ (g.mg <sup>-1</sup> )                     | 0.257  | 0.255  |                |       |

### Isotherm studies on Dyes Adsorption using Porous Geopolymer

Isotherm studies to understand interaction between dyes adsorbate and porous geopolymer adsorbent were carried out using Langmuir isotherm model, Freundlich isotherm model, and Temkin isotherm model. Langmuir isotherm model describes that adsorbent surface is homogeneous so that there is monolayer adsorbate on the adsorbent surface, while Freundlich isotherm model describes that adsorbent surface is heterogeneous that has different adsorption abilities. Furthermore, Temkin isotherm model describes that there is uniform distribution of binding energies at adsorbent surface (Al-Ghouti and Al-Absi, 2020; Wang and Guo, 2020). Isotherm parameters for Langmuir isotherm model, Freundlich isotherm model, and Temkin isotherm model can be obtained by plotting linear equation (6-8), namely  $C_e/q_e$  versus  $C_e$ ,  $\log q_e$  versus  $\log C_e$ , and  $q_e$  versus  $\ln C_e$ , respectively. Isotherm parameters and correlation coefficients for each isotherm model are presented on Table 4. Based on correlation coefficient, adsorption of MV and EBT by porous geopolymer tends to follow Langmuir isotherm model. Thus, there is only one layer of dyes adsorbate formed on surface of porous geopolymer adsorbent.

The maximum adsorption capacity ( $q_m$ ) of porous geopolymer for MV and EBT are 45.454 mg.g<sup>-1</sup> and 49.261 mg.g<sup>-1</sup>, respectively. For MV adsorption, this value is higher compared to zeolite and magnetic composite adsorbent, i.e. 19.6 mg.g<sup>-1</sup> and 20.04 mg.g<sup>-1</sup>, respectively (Bertolini et al., 2013; Bonetto et al., 2015). Likewise for EBT adsorption, this value is higher compared to MnO<sub>2</sub>-coated zeolite adsorbent and NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> magnetic nanoparticle, i.e. 12.35 mg.g<sup>-1</sup> and 47.0 mg.g<sup>-1</sup>, respectively (Aguila and Ligaray, 2015; Moeinpour et al., 2014).

Table 4. Isotherm parameters and correlation coefficients for MV and EBT adsorption by porous geopolymer.

| Isotherm model | Parameter   | Value   |         | R <sup>2</sup> |       |
|----------------|---|---------|---------|----------------|-------|
|                |   | MV      | EBT     | MV             | EBT   |
| Langmuir       | $K_L$ (L.mg <sup>-1</sup> )                                       | 0.629   | 1.194   | 0.999          | 0.984 |
|                | $q_m$ (mg.g <sup>-1</sup> )                                       | 45.454  | 49.261  |                |       |
| Freundlich     | $K_F$ (mg.g <sup>-1</sup> .(L.mg <sup>-1</sup> ) <sup>1/n</sup> ) | 14.825  | 22.182  | 0.899          | 0.972 |
|                | $1/n$   | 0.463   | 0.432   |                |       |
| Temkin         | $K_T$ (L.g <sup>-1</sup> )  | 7.780   | 22.713  | 0.987          | 0.972 |
|                | $b$ (J.mol <sup>-1</sup> )  | 279.462 | 293.159 |                |       |

Adsorption of cationic and anionic dyes by porous geopolymer that follows Langmuir isotherm model can be classified as favorable, unfavorable, linear, or irreversible adsorption from dimensionless separation factor ( $R_L$ ):

$$R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0} \quad (9)$$

which  $K_L$  is Langmuir constant and  $C_0$  is initial concentration. The  $R_L$  value in the range 0-1 indicates favorable adsorption,  $R_L > 1$  indicates unfavorable adsorption,  $R_L = 1$  indicates linear adsorption, and  $R_L = 0$  indicates irreversible adsorption (Amin et al., 2015). Adsorption of MV by porous geopolymer with initial concentration of 10-100 ppm has  $R_L$  values of 0.137-0.016 and adsorption of EBT by porous geopolymer with initial concentration of 10-100 ppm has  $R_L$  values of 0.077-0.008. These results indicate that adsorption of cationic and anionic dyes by porous geopolymer is favorable adsorption.

## Conclusion

Porous geopolymer had been prepared from fly ash with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> as blowing agent and applied as adsorbent for cationic dyes MV and anionic dyes EBT from aqueous solution. Factors affecting adsorption process had been studied and the results showed that optimum adsorbent dosage was 2 g.L<sup>-1</sup>, optimum time adsorption was 90 minutes, and dyes removal efficiencies decreased with increasing initial concentration. Meanwhile, optimum pH for MV dyes adsorption was 10 and for EBT dyes adsorption was 2. Adsorption of MV and EBT dyes by porous geopolymer followed pseudo-second-order kinetics model and Langmuir isotherm model. Maximum adsorption

capacities of porous geopolymer on MV and EBT dyes were 45.454 mg.g<sup>-1</sup> and 49.261 mg.g<sup>-1</sup>, respectively.

### **Acknowledgement**

The authors would like to thank *DRPM Deputi Risbang Ristekbrin Republik Indonesia* for funding this research through *PDUPT 2021*.

### **References**

- Aguila, D.M.M. and Ligaray, M.V., 2015, Adsorption of Eriochrome Black T on MnO-coated zeolite, *International Journal of Environmental Science and Development*, 6(11), 824-827. doi: 10.7763/IJESD.2015.V6.706
- Al-Ghouti, M.A. and Al-Absi, R.S., 2020, Mechanistic understanding of the adsorption and thermodynamic aspects of cationic methylene blue dye onto cellulosic olive stones biomass from wastewater, *Scientific Reports*, 10, 15928 . doi:10.1038/s41598-020-72996-3
- Amin, M.T., Alazba, A.A., and Shafiq, M., 2015, Adsorptive removal of Reactive Black 5 from wastewater using bentonite clay: Isotherms, kinetics and thermodynamics, *Sustainability*, 7, 15302-15318. doi:10.3390/su71115302
- Barbosa, T.R., Foletto, E.L., Dotto, G.L., and Jahn, S.L., 2018, Preparation of mesoporous geopolymer using metakaolin and rice husk ash as synthesis precursors and its use as potential adsorbent to remove organic dye from aqueous solutions, *Ceramics International*, 44(1), 416-423. doi: 10.1016/j.ceramint.2017.09.193
- Bai, C. and Colombo, P., 2018, Processing, properties and applications of highly porous geopolymers: A review, *Ceramics International*, 44(14), 16103–16118. doi: 10.1016/j.ceramint.2018.05.219
- Benjelloun, M., Miyah, Y., Evrendilek, G.A., Zerrouq, F., and Lairini, S., 2021, Recent advances in adsorption kinetic models: Their application to dye types, *Arabian Journal of Chemistry*, 14(4), 103031. doi: 10.1016/j.arabjc.2021.103031
- Berradi, M., Hsissou, R., Khudhair, M., Assouag, M., Cherkaoui, O., El Bachiri, A., and El Harfi, A., 2019, Textile finishing dyes and their impact on aquatic environs, *Heliyon*, 5(11), e02711. doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02711

- Bertolini, T.C.R., Izidoro, J.C., Magdalena, C.P., and Fungaro, D.A., 2013, Adsorption of Crystal Violet Dye from Aqueous Solution onto Zeolites from Coal Fly and Bottom Ashes, *Orbital: The Electronic Journal of Chemistry*, 5(3), 179-191.
- Bonetto, L.R., Ferrarini, F., de Marco, C., Crespo, J.S., Guégan, R., and Giovanela, M., 2015, Removal of methyl violet 2B dye from aqueous solution using a magnetic composite as an adsorbent, *Journal of Water Process Engineering*, 6, 11-20. doi: 10.1016/j.jwpe.2015.02.006
- Dutta, S., Gupta, B., Srivastava, S.K., and Gupta, A.K., 2021, Recent advances on the removal of dyes from wastewater using various adsorbents: A critical review, *Materials Advances*, 2, 4497–4531. doi: 10.1039/D1MA00354B
- El Alouani, M., Alehyen, S., El Achouri, M. and Taibi, M., 2019, Comparative studies on removal of textile dye onto geopolymeric adsorbents, *EnvironmentAsia*, 12(1), 143-153. doi: 10.14456/ea.2019.16
- Fernandes, J.V., Rodrigues, A.M., Menezes, R.R., and Neves, G.A., 2020, Adsorption of anionic dye on the acid-functionalized bentonite, *Materials*, 13, 3600. doi:10.3390/ma13163600
- Gita, S., Hussan, A., and Choudhury, T.G., 2017, Impact of textile dyes waste on aquatic environments and its treatment, *Environment & Ecology*, 35(3C), 2349-2353.
- Huang, Z., Li, Y., Chen, W., Shi, J., Zhang, N., Wang, X., Li, Z., Gao, L., and Zhang, Y., 2017, Modified bentonite adsorption of organic pollutants of dye wastewater, *Materials Chemistry and Physics*, 202, 266-276. doi: 10.1016/j.matchemphys.2017.09.028
- Kisku, G.C., Markandeya, M., Shukla, S.P., Singh, D. S., and Murthy, R.C., 2015, Characterization and adsorptive capacity of coal fly ash from aqueous solutions of disperse blue and disperse orange dyes, *Environmental Earth Sciences*, 74, 1125-1135. doi: 10.1007/s12665-015-4098-z
- Kushwaha, S., Soni, H., Ageetha, V, and Padmaja, P., 2013, An insight into the production, characterization, and mechanisms of action of low-cost adsorbents for removal of organics from aqueous solution, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 43(5), 443-549. doi: 10.1080/10643389.2011.604263
- Lellis, B., Fávaro-Polonio, C.Z., Pamphile, J.A., and Polonio, J.C., 2019, Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms, *Biotechnology Research and Innovation*, 3(2), 275-290. doi: 10.1016/j.biori.2019.09.001



Luukkonen, T., Heponiemi, A., Runtti, H., Pesonen, J., Yliniemi, J., and Lassi, U., 2019, Application of alkali-activated materials for water and wastewater treatment: A review, *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 18, 271-297. doi: 10.1007/s11157-019-09494-0

Moeinpour, F., Alimoradi, A., and Kazemi, M., 2014, Efficient removal of Eriochrome black-T from aqueous solution using NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> magnetic nanoparticles, *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 12, 112. doi:10.1186/s40201-014-0112-8

Nizam, N.U.M., Hanafiah, M.M., Mahmoudi, E., Halim, A.A. and Mohammad, A.W., 2021, The removal of anionic and cationic dyes from an aqueous solution using biomass-based activated carbon, *Scientific Reports*, 11, 8623. doi: 10.1038/s41598-021-88084-z

Purbasari, A., Samadhi, T.W., and Bindar, Y., 2018, The effect of alkaline activator types on strength and microstructural properties of geopolymer from co-combustion residuals of bamboo and kaolin, *Indonesia Journal of Chemistry*, 18(3), 397-402. doi: 10.22146/ijc.26534

Salleh, M.A.M., Mahmoud, D.K., Karim, W.A.W.A., and Idris, A., 2011, Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: A comprehensive review, *Desalination*, 280, 1-13. doi:10.1016/j.desal.2011.07.019

Saini, R.D., 2017, Textile organic dyes: Polluting effects and elimination methods from textile waste water, *International Journal of Chemical Engineering Research*, 9(1), 121-136.

Siyal, A.A., Shamsuddin, M.R., Khan, M.I., Rabat, N.E., Zulfqar, M., Man, Z., Siame, J., and Azizli, K.A. (2018): A review on geopolymers as emerging materials for the adsorption of heavy metals and dyes, *Journal of Environmental Management*, 224, 327-339. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.07.046

Wang, J. and Guo, X., 2020, Adsorption isotherm models: Classification, physical meaning, application and solving method, *Chemosphere*, 258, 127279. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.127279


Journal of Engineering Research    Tasks 0    English    View Site    aprilina\_purbasari

### Submit an Article

1. Start    2. Upload Submission    3. Enter Metadata    4. Confirmation    5. Next Steps

#### Submission Files

Search    Upload File

|   |  |                   |              |
|---|--|-------------------|--------------|
|  76751-1 | aprilina_purbasari, manuscript_jer_AprilinaP etal.docx | November 19, 2021 | Article Text |
|---|--|-------------------|--------------|

Save and continue    Cancel

Platform & workflow by OJS / PKP

6:34 AM 11/20/2021