



**Penggunaan Radiasi Gelombang Mikro untuk Sintesis Karbon Aktif dari Limbah Biomassa dan Aplikasinya dalam Pengurangan Kadar Congo Red 4BS**  
**Luluk Siti Zulaechah<sup>✉</sup>, Achmad Za'iimul Chanief, dan Deni Tri Wahyudi**

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang  
Gedung E2, Kampus Sekaran Gunungpati, Semarang 50229

---

**Info Artikel**

Diterima Desember 2017  
Disetujui Januari 2018  
Dipublikasikan Februari  
2018

**Keywords:**

*congo red 4BS, karbon aktif,  
daun*

---

**Abstrak**

Indonesia menjadi salah satu negara penghasil utama tekstil dan bahan sejenisnya setelah India dan Pakistan. Limbah tekstil dapat mengakibatkan pencemaran air jika dibuang ke badan air tanpa pengolahan terlebih dahulu. Hal tersebut karena limbah tekstil menggunakan pewarna sintetis seperti congo red 4BS. Bahan kimia ini dapat menyebabkan iritasi dan karsinogenik pada manusia serta dapat menyebabkan kematian organisme dalam air karena bersifat racun. Pencemaran air oleh limbah tekstil tersebut dapat diatasi menggunakan metode adsorpsi dengan karbon aktif yang dapat menyerap congo red 4BS masuk ke dalam pori-porinya. Limbah daun jati (*Tectona grandis*) merupakan bahan yang potensial untuk pembuatan karbon aktif karena memiliki kandungan lignin  $\pm 10\%$ , selulosa  $\pm 28\%$ , dan karbon organik  $\pm 42\%$ . Pada beberapa penelitian sebelumnya, pembuatan karbon aktif dilakukan tanpa aktivator, namun menghasilkan adsorben dengan struktur mikropori. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan digunakan aktivator  $ZnCl_2$  dan microwave. Tujuan dari proses aktivasi ini adalah untuk memperbesar pori karbon aktif sehingga mengoptimalkan kapasitas penyerapan congo red 4BS dari limbah tekstil. Efisiensi penyerapan congo red 4BS tergantung pada pH, konsentrasi aktivator  $ZnCl_2$ , konsentrasi congo red 4BS dan waktu kontak. Karakterisasi karbon aktif yang dihasilkan menggunakan uji Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR), Scanning Electron Microscope (SEM) dan Brunauer, Emmett and Teller (BET). Selanjutnya, percobaan secara batch dilakukan untuk menyelidiki pengaruh pH, waktu kontak dan konsentrasi congo red 4BS pada efisiensi penyerapan yang kemudian diuji menggunakan spektrofotometer UV-VIS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah pori, volume diameter pori, akan meningkat karena reaksi antara karbon dengan  $ZnCl_2$  dan pemanasan menggunakan microwave. Tingkat adsorpsi maksimum terjadi pada pH 2, waktu kontak selama 160 menit, dan konsentrasi awal 40 mg/L.

---

## PENDAHULUAN

Indonesia menjadi salah satu negara penghasil utama tekstil dan bahan sejenisnya setelah India dan Pakistan. Salah satu zat warna tekstil yang sering digunakan adalah *Congo Red* 4BS. Pewarna ini diketahui menyebabkan reaksi alergi dan bersifat karsinogen bagi manusia. Limbah zat warna ini dapat diatasi dengan metode *reverse* osmosis, pertukaran ion, presipitasi kimia, oksidasi, dan karbon aktif. Akan tetapi, metode yang paling efektif adalah karbon aktif karena memiliki efisiensi tinggi serta harga yang relatif murah sehingga lebih efektif untuk digunakan.

Pada penelitian ini, karbon aktif berasal dari limbah daun jati karena memiliki kandungan lignin  $\pm 10\%$ , selulosa  $\pm 28\%$ , dan karbon organik  $\pm 42\%$ . Penelitian sebelumnya, karbon aktif tanpa aktivasi menghasilkan ukuran pori mikropori sehingga kurang maksimal dalam penyerapan *Congo Red* 4BS yang memiliki ukuran mesopori. Di sisi lain, perendaman menggunakan  $ZnCl_2$  adalah salah satu aktivasi kimia yang dapat memperbesar ukuran pori mencapai ukuran mesopori. Selain aktivasi kimia, dilakukan juga aktivasi fisika dengan pemanasan *furnace*, namun penggunaan alat ini membutuhkan suhu tinggi dan waktu aktivasi lama sehingga menyebabkan energi sangat besar. Oleh karena itu, digunakan metode pemanasan *microwave* yang memancarkan panas melalui gelombang mikro. Apabila dibandingkan dengan teknik pemanasan konvensional, penggunaan *microwave* memberikan keuntungan diantaranya energi yang dibutuhkan relatif kecil, pemanasan lebih cepat, pemanasan merata, dan tingkat *safety* tinggi. Didasarkan pada alasan-alasan tersebut, maka pada penelitian ini digunakan adsorben berupa karbon aktif dari daun jati dengan aktivasi *microwave* dan  $ZnCl_2$  untuk memaksimalkan ukuran pori sehingga kandungan *Congo Red* 4BS pada limbah tekstil dapat diminimalisasi.

## METODE EKSPERIMEN

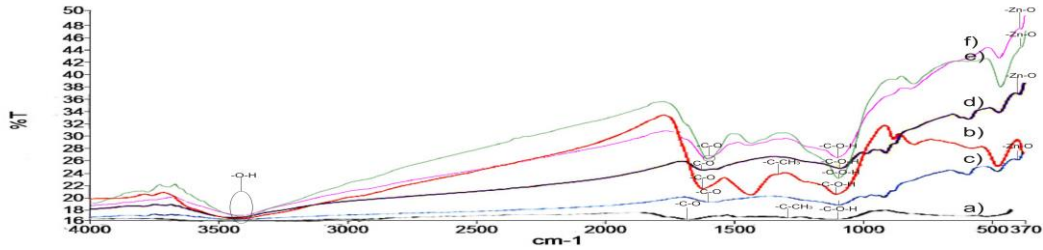
Limbah daun jati dibersihkan, dicuci dan dipanaskan  $110^\circ C$  dalam oven hingga berat konstan. Sampel kering tersebut kemudian dihaluskan hingga menjadi serbuk. Karbonisasi dilakukan dengan pemanasan di dalam furnace pada  $500^\circ C$  selama 2 jam. Karbon yang dihasilkan dicampur  $ZnCl_2$  20% dan 30%. Campuran yang dihasilkan kemudian diaktivasi fisika dengan 2 metode yaitu pemanasan *furnace* dengan  $700^\circ C$  selama 1,5 jam dan *microwave* dengan daya 600 W selama 10 menit. Karbon aktif yang diperoleh kemudian dicuci dengan HCl, dibilas dengan akuades hingga pH netral dan dipanaskan dalam oven pada  $110^\circ C$ . Karbon aktif selanjutnya dianalisis menggunakan BET, SEM, dan FT-IR. Pada proses adsorpsi, karbon aktif sebanyak 100 mg dimasukkan ke dalam erlenmeyer berisi larutan *Congo Red* 4Bs dengan konsentrasi 10-100 mg/L sebanyak 50 mL.

Derajat keasamaan (pH) larutan divariasikan dengan penambahan larutan HCl atau NaOH 1M pada pH 2, 4, 6, 8, dan 10. Larutan kemudian di shaker dengan kecepatan 120 rpm dan variasi waktu adsorpsi 10-240 menit. Setelah waktu adsorpsi tercapai, larutan disaring dan dianalisis kadar *Congo Red* 4Bs dengan Spektrofotometer UV-Vis.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh Aktivasi terhadap Karakteristik Karbon Aktif Berbasis Limbah Daun Jati

Karakteristik dari karbon aktif berbasis limbah daun jati yang perlu diamati terdiri dari 3 hal, yaitu kandungan gugus fungsi, distribusi ukuran pori, dan luas permukaan yang dihasilkan oleh masing-masing proses aktivasi. Pengaruh aktivasi terhadap gugus fungsi dapat dilihat melalui uji FT-IR dengan panjang gelombang  $370-4000\text{ cm}^{-1}$  dengan hasil spectra disajikan pada **Gambar 1**.

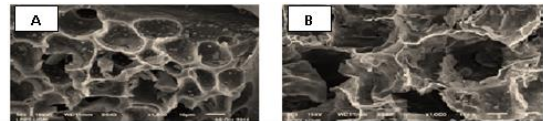


**Gambar 1.** Hasil Uji FT-IR: a) Daun Jati b) Karbon Tanpa Aktivasi c) Karbon Aktivasi  $ZnCl_2$  20% dan *Furnace* d) Karbon Aktivasi  $ZnCl_2$  30% dan *Furnace* e) Karbon Aktivasi  $ZnCl_2$  20% dan *Microwave* f) Karbon Aktivasi  $ZnCl_2$  30% dan *Microwave*

Hasil analisis uji FTIR menunjukkan aktivasi kimia dengan  $ZnCl_2$  dan aktivasi fisika dengan *microwave* menghasilkan karakter paling baik dibandingkan perlakuan yang lain karena gugus fungsi Zn-O paling tinggi. Gugus ini menunjukkan adanya impregnasi kation  $Zn^{2+}$  pada situs aktif karbon yang berfungsi untuk menyerap zat yang bermuatan negatif seperti zat warna *Congo Red* 4BS.

Identifikasi luas permukaan karbon dianalisis menggunakan metode BET. Hasil analisis menunjukkan karbon tanpa aktivasi memiliki luas permukaan spesifik  $15,312 \text{ m}^2/\text{g}$ , sedangkan karbon dengan aktivasi *microwave* memiliki luas permukaan spesifik  $821 \text{ m}^2/\text{g}$ . Makin besar luas permukaan yang dihasilkan makin banyak kandungan adsorbat yang melekat pada permukaan karbon, sehingga aktivasi fisika menggunakan *microwave* berpotensi untuk meningkatkan penyerapan *Congo Red* 4BS.

Morfologi permukaan karbon tanpa aktivasi dan aktivasi *microwave* dianalisis menggunakan metode SEM dengan perbesaran 1000 kali. Hasil analisis menggunakan metode tersebut disajikan pada **Gambar 2**.



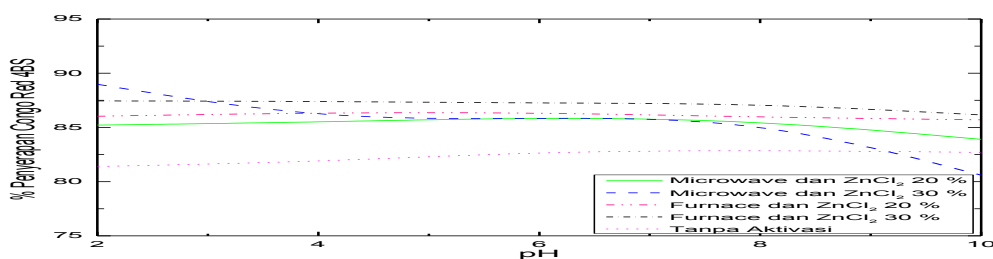
**Gambar 2.** Hasil Uji SEM: a) Karbon Tanpa Aktivasi b) Karbon Aktivasi *Microwave*

Hasil uji SEM menunjukkan karbon limbah daun jati tanpa aktivasi (**Gambar 2a**) sudah memiliki pori, namun ukuran porinya kecil, sedangkan karbon aktif dengan aktivasi *microwave* (**Gambar 2b**) memiliki ukuran pori lebih besar. Makin besar pori karbon aktif makin besar kadar *Congo Red* 4BS yang terjerap karena area penyerapan karbon aktif akan makin luas.

Berdasarkan hasil uji FTIR, SEM, dan BET dapat disimpulkan karakter karbon aktif yang paling baik dihasilkan oleh karbon dengan aktivasi  $ZnCl_2$  30% dan *microwave*.

### Pengaruh pH terhadap Adsorpsi *Congo Red* 4BS

Pengaruh pH terhadap kemampuan adsorpsi karbon aktif disajikan pada **Gambar 3**. Pengaruh pH yang diamati pada pH 2, 4, 6, 8, 10.

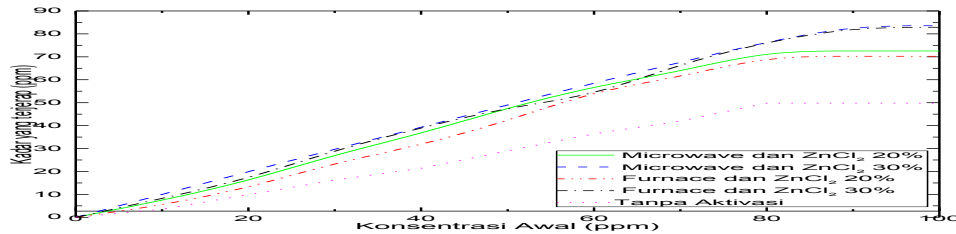


**Gambar 3.** Pengaruh pH terhadap Persentase Penyerapan Kadar *Congo Red* 4BS

Hasil adsorpsi pengaruh pH menunjukkan bahwa penyerapan *Congo Red*

4BS optimum pada pH 2 menggunakan karbon aktivasi  $ZnCl_2$  30% dan *microwave*. Hal ini karena karbon aktif pada pH rendah cenderung

bermuatan positif menyebabkan gaya tarik menarik dengan zat warna yang bermuatan negatif seperti *Congo Red* 4BS menjadi lebih kuat<sup>[11]</sup>. Hasil adsorpsi tersebut dapat disimpulkan pH optimal untuk penyerapan kadar *Congo Red* 4BS adalah pH 2 dengan efisiensi penyerapan sebesar 88,938 %.



**Gambar 4.** Pengaruh Konsentrasi Awal terhadap Kadar *Congo Red* 4BS Terjerap

Hasil adsorpsi pengaruh konsentrasi awal menunjukkan makin besar konsentrasi awal makin besar kadar *Congo Red* 4BS yang terjerap namun akan konstan setelah mencapai konsentrasi tertentu. Hal ini karena konsentrasi *Congo Red* 4BS akan mengisi situs aktif kosong pada karbon. Setelah mencapai titik jenuhnya kesetimbangan akan terjadi sehingga penyerapan konstan. Hasil adsorpsi tersebut dapat disimpulkan konsentrasi awal optimal 90

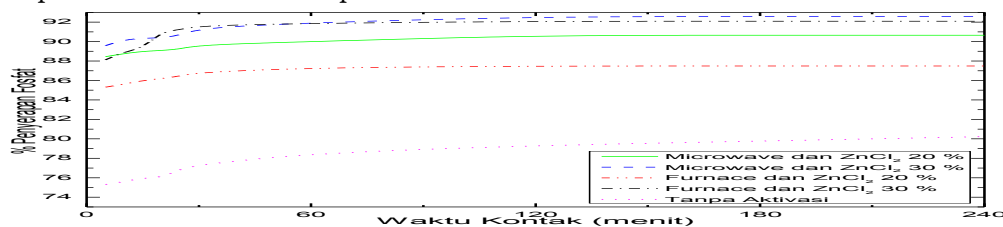
### Pengaruh Konsentrasi Awal terhadap Adsorpsi Congo Red 4BS

Pengaruh konsentrasi awal terhadap kadar *Congo Red* 4BS yang teradsorpsi dilakukan pada variasi waktu disajikan pada **Gambar 4**. Kadar *Congo Red* 4BS yang digunakan yaitu 10-100 ppm.

ppm dengan kadar *Congo Red* 4BS yang terjerap 83,588 ppm.

### Pengaruh Waktu Kontak terhadap Adsorpsi Congo Red 4BS

Pengaruh waktu kontak terhadap kadar *Congo Red* 4BS yang teradsorpsi diamati pada variasi waktu selama 10-240 menit. Hasil pengamatan tersebut disajikan pada **Gambar 5**.



**Gambar 5.** Pengaruh Waktu Kontak terhadap Persentase Penyerapan Kadar *Congo Red* 4BS

Hasil adsorpsi pengaruh waktu kontak menunjukkan adsorpsi *Congo Red* 4BS makin besar apabila waktu kontak yang digunakan makin besar hingga menit ke 120 dan kemudian konstan. Hal ini karena situs aktif kosong pada karbon makin lama makin banyak terisi oleh molekul adsorbat. Setelah mencapai waktu optimal situs aktif menjadi jenuh. Berdasarkan hasil adsorpsi tersebut menunjukkan waktu kontak optimal 120 menit dengan efisiensi penyerapan 92,568%.

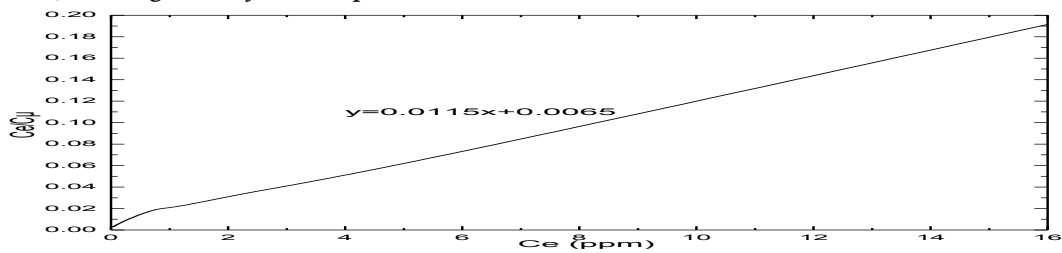
### Kapasitas Maksimum Adsorpsi dan Laju Adsorpsi Congo Red 4BS oleh Karbon Aktif Berbasis Limbah Daun Jati

Kondisi optimal untuk penyerapan kadar *Congo Red* 4BS yaitu pH 2, konsentrasi awal 90 ppm, dan waktu kontak 120 menit (Gambar 3- Gambar 5) digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi dan laju adsorpsi menggunakan isoterm Langmuir yang dituliskan pada persamaan (1).

$$\frac{C_e}{C_\mu} = \frac{1}{C_{\mu max}} C_e + \frac{1}{kL \cdot C_\mu} \quad (1)$$

$C_\mu$  merupakan konsentrasi adsorbat yang terjerap, sedangkan  $C_e$  merupakan konsentrasi adsorbat di larutan setelah terjadinya proses adsorpsi. Dari persamaan di atas, jika dibuat kurva dengan nilai  $y = C_e/C_\mu$  dan nilai  $x = C_e$  maka akan diperoleh garis lurus dengan  $slope =$

$1/C_{\mu\max}$  serta intersep =  $1/kL \cdot C_{\mu\max}$ . Kapasitas adsorpsi *isotherm* Langmuir sama dengan nilai  $C_{\mu\max}$  atau  $1/\text{slope}$  dari kurva yang dihasilkan, sedangkan laju adsorpsi adalah



**Gambar 6.** Korelasi dengan Isoterm Langmuir

Berdasarkan korelasi dengan *isotherm* Langmuir tersebut maka didapatkan kapasitas adsorpsi sebesar 86,79 mg/gram adsorben dan laju adsorpsi sebesar 0,723 mg/gram menit.

## SIMPULAN

Kesimpulan penelitian ini yaitu ; karakter yang optimal untuk pembuatan karbon aktif dihasilkan oleh aktivasi  $ZnCl_2$  30% dan *microwave*; pH optimal untuk penyerapan zat warna Congo Red 4BS yaitu pH 2; konsentrasi awal optimal untuk penyerapan Congo Red 4BS yaitu 90 ppm; waktu kontak optimal untuk penyerapan Congo Red 4BS yaitu 120 menit; dalam menyerap zat warna Congo Red 4BS karbon aktif berbasis limbah daun jati memiliki kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 86,79 mg/g adsorben dan laju adsorpsi sebesar 0,723 mg/gram.menit.

## DAFTAR PUSTAKA

- Han, R., et al. 2008. *Use of rice husk for adsorption of congo red from aqueous solution in column mode*. Bioresour. Technol, Vol. 99, pp. 2938–2946.
- Blackburn, R.S. 2004. *Natural polysaccharides and their interactions with dye molecules: applications in effluent treatment*. Environ. Sci Technol, Vol. 38, pp. 4905– 4909.
- Emilia Agustina, Tuty, dkk. 2014. *Application of Karbon aktif and Natural Zeolite for Phosphate Removal from Laundry Wastewater*. Jurnal Ilmiah. Palembang, Indonesia : Universitas Sriwijaya.
- Manna, M.C., et al. 2003. *Comparative efficacy of three epigeic earthworms under different deciduous forest litters decomposition*. Indian

kapasitas adsorpsi adsorben per satuan waktu optimal<sup>[14]</sup>. Kurva Isoterm Langmuir yang dihasilkan disajikan pada **Gambar 6**.

- Institute of Soil Science, Nabibagh, Berasia road, Bhopal 462038, India.
- Kaustubha Mohantya, D. Dasb, and M.N. Biswas. 2005. *Adsorption of phenol from aqueous solutions using karbon aktifs prepared from Tectona grandis sawdust by ZnCl<sub>2</sub> activation*. Chemical Engineering Journal 115:121–131
- P. King, P. Srinivas, Y. Prasanna Kumar, V.S.R.K. Prasad. 2006. *Sorption of copper(II) ion from aqueous solution by Tectona grandis l.f. (teak leaves powder)*. Journal of Hazardous Materials B136 Vol. 560–566.
- Foo, K. Y. and B. H. Hameed. 2012. *Preparation, characterization and evaluation of adsorptive properties of orange peel based karbon aktif via microwave induced K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> activation*. Bioresource Technology, Vol. 104, pp 679-686.
- Menéndez, et al. 2010. *Microwave heating processes involving carbon materials*. Fuel Processing Technology. Volume 91, Issue 1, pp 1–8.
- King, P., Y. Srinivas, and Prasanna Kumar. 2009. “Sorption of copper(II) ion from aqueous solution by *Tectona grandis* l.f. (teak leaves powder)”, *Journal of Hazardous Material*, B136(1), pp. 560–566.
- Astuti, W., et al. 2016. *Chemically modified kapok sawdust as adsorbent of methyl violet dye from aqueous solution*. Jurnal Teknologi, Vol. 78, No.9. pp. 35–42..
- Esterlita, M. O., dan Netti Herlina. 2015. “Pengaruh Penambahan Aktivator  $ZnCl_2$ , KOH, dan  $H_3PO_4$  dalam Pembuatan Karbon Aktif dari Pelelah Aren (*Arenga pinnata*)”, *Jurnal Teknik Kimia USU*, Vol 4, No. 1, pp 47-52.
- Owamah, H.I., et al. 2012. *Sorption Model and Kinetic Assesment of Ultramarine Blue Removal using Modified Cassava Pells Biomass*. Journal Civil Environ Eng, Vol 2, No.121.
- King, P., Y. Srinivas, and Prasanna Kumar. 2009. “Sorption of copper(II) ion from

aqueous solution by *Tectona grandis* l.f. (teak leaves powder)", *Journal of Hazardous Material*, B136(1), pp. 560–566.

Lando, J.B., and S.H. Maron. 2010. *Fundamental of Physical Chemistry*, Macmillan Publishing Co., Inc., New York.