

**HIDROKSIAPATIT TERMODIFIKASI Fe DAN
APLIKASINYA UNTUK ADSORPSI ZAT WARNA CONGO RED**

Ni Komang Tria Paramita Septiari*, I Nengah Simpen dan Ni G. A. M. Dwi Adhi Suastuti

Program Studi Kimia FMIPA Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Badung, Bali 80361

**Email: tria_paramita@yahoo.com*

ABSTRAK

Penelitian ini tentang adsorpsi zat warna *congo red* oleh hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C (TA₁) dan hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C termodifikasi Fe (TA₂). Penelitian ini meliputi ekstraksi hidroksiapatit dari tulang secara dekomposisi termal, penentuan jumlah situs aktif hidroksiapatit secara titrasi asam basa, luas permukaan secara metode sorpsi biru metilen, perbandingan unsur Ca/P dianalisis menggunakan *laser induced breakdown spectroscopy*(LIBS), kristalinitas secara difraksi sinar-X (XRD), penentuan waktu setimbang adsorpsi *congo red*, isoterm adsorpsi dan kapasitas adsorpsi *congo red* tanpa dan dengan penambahan H₂O₂ menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah situs aktif hidroksiapatit tertinggi ditunjukkan oleh TA₁ yaitu 19,3493x10²³ situs/gram dan luas permukaan tertinggi ditunjukkan oleh TA₁ yaitu 26,5375 m²/g. Perbandingan unsur Ca/P yang dihasilkan oleh TA₁ yaitu 1,6425 sesuai literatur (1,67). TA₂ menghasilkan puncak XRD yang lebih mendekati puncak hidroksiapatit murni dengan intensitas 100 yang memiliki sudut 2θ 31,99°. Secara umum adsorpsi *congo red* tanpa dan dengan penambahan H₂O₂ terjadi peningkatan kapasitas teradsorpsi seiring dengan bertambahnya konsentrasi *congo red* dan lebih tinggi dibandingkan serbuk tulang kontrol (T₀).

Kata kunci: adsorpsi, *congo red*, dekomposisi termal, hidroksiapatit, H₂O₂

ABSTRACT

This research paper discusses the adsorption of *congo red* by hydroxyapatite resulted from thermal decomposition at 400°C (TA₁) and hydroxyapatite resulted from thermal decomposition at 400°C with Fe modification (TA₂). This studies involved the extraction of hydroxyapatite by thermal decomposition, determinations of the number of hydroxyapatite active sites by acid-base titration, surface area by the sorption of methylene blue, ratio of Ca/P elements analyzed by laser induced breakdown spectroscopy(LIBS), crystallinity by X-ray diffraction (XRD), determination of equilibrium adsorption time, adsorption isotherms and adsorption capacity of *congo red* with and without the addition of H₂O₂ analyzed by UV-Vis spectrophotometer. The results showed that the highest number of hydroxyapatite active sites and surface area of TA₁ were 19.3493x10²³ sites/gram and 26.5375 m²/g, respectively. The ratio of Ca/P elements produced by TA₁ was 1.6425 which was in accordance to the reference. The XRD peak of TA₂ was closer to the pure hydroxyapatite with an intensity 100 which had 2θ angle of 31.99°. Generally, the adsorption of *congo red* with and without the addition of H₂O₂ showed an increase in the amount adsorbed with the increase of the concentrations of *congo red* and this was higher than the control (T₀).

Keywords: adsorption, *congo red*, H₂O₂, hydroxyapatite, thermal decomposition

PENDAHULUAN

Tulang sapi merupakan salah satu bahan dasar yang digunakan untuk membuat kerajinan tangan di Bali. Pembuatan kerajinan tangan

dengan bahan dasar tersebut, menghasilkan limbah tulang dan belum dimanfaatkan, hanya dibuang begitu saja. Limbah tulang yang dihasilkan dari kerajinan tangan, tentunya dapat dimanfaatkan

sebagai adsorben zat warna yang bernilai ekonomis.

Pemanfaatan tulang sapi sebagai adsorben dilakukan oleh Yusnita (2014), bahwa abu tulang sapi digunakan sebagai adsorben dengan penyerapan optimum terhadap ion nitrat berdasarkan pengaruh konsentrasi, dengan efisiensi penyerapan 80,05%. Penelitian Syamberah (2014), menunjukkan bahwa arang tulang sapi dapat digunakan sebagai adsorben ion besi, tembaga, sulfat, dan sianida dengan penyerapan optimum secara berturut-turut 99,96; 99,64; 68,27; dan 69,59%.

Peningkatan kemampuan adsorpsi dapat dilakukan dengan cara modifikasi menggunakan Fe. Penelitian Permana (2010), menunjukkan bahwa serbuk tulang sapi teraktivasi larutan NaOH dan termodifikasi Fe₂O₃ memiliki kemampuan adsorpsi yang baik dalam menyerap Cr(III) yaitu sebesar 12,49 mg/g.

Pemanfaatan adsorben dari tulang sapi limbah juga dapat diaplikasikan untuk mengadsorpsi zat warna, karena zat warna kini telah banyak digunakan seperti pada industri tekstil, sehingga dapat menghasilkan dampak positif dan negatif. Dampak positif adalah memberikan kesan terbaik warna produk yang dihasilkan dari industri tekstil. Sedangkan, dampak negatifnya yaitu pembuangan limbah zat warna yang tidak terkontrol, dapat merusak lingkungan. Zat warna dari limbah cair industri tekstil merupakan senyawa organik yang memiliki struktur aromatic, sehingga sulit terdegradasi secara alamiah dan tidak ramah lingkungan (Sugiharto, 1987). Pemanfaatan hidroksiapatit sebagai adsorben zat warna dilakukan oleh Adel *et al.* (2015), yang menunjukkan bahwa sintesis hidroksiapatit yang dimodifikasi secara organik berpotensi untuk menyerap zat warna *Malachite Green*, dengan kapasitas adsorpsi 188,18 mg/g.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian tentang adsorpsi zat warna *congo red* menggunakan adsorben hidroksiapatit, yang diekstraksi secara termal dari tulang sapi limbah kerajinan termodifikasi Fe. Hidroksiapatit termodifikasi Fe ini diharapkan dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi zat warna. Sebelum dilakukan adsorpsi terhadap zat warna *congo red*, tulang sapi tersebut diekstraksi dan dimodifikasi Fe kemudian dikarakterisasi

menggunakan XRD untuk mengetahui kristalinitas hidroksiapatit. LIBS (*Laser Induced Breakdown Spectroscopy*) digunakan untuk mengetahui perbandingan unsur Ca/P dan Fe, metode adsorpsi biru metilen untuk mengetahui luas permukaan spesifik dan titrasi asam basa untuk mengetahui kebasaaan dan situs aktif permukaan, serta menentukan kapasitas adsorpsi dari hidroksiapatit tanpa dan dengan penambahan H₂O₂ dalam adsorbat. Penambahan H₂O₂ dapat berfungsi untuk meningkatkan laju reaksi, sehingga dapat mengoptimalkan adsorpsi zat warna *congo red* (Patnaik, 2002).

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu aseton, hidrogen peroksida (H₂O₂), NaOH, biru metilen, KOH, FeCl₃.6H₂O, akuades, *congo red* dan serbuk tulang sapi yang diambil pada tanggal 30 Januari 2016 di Desa Tampaksiring, Gianyar, Bali.

Peralatan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu oven, labu ukur, pipet volume, Erlenmeyer, mortar, ayakan 400 mesh, *stirrer*, timbangan analitik dan pencatat waktu.

Cara Kerja

Preparasi Serbuk Tulang

Serbuk tulang sapi dicuci menggunakan aseton dan akuades yang bertujuan untuk menghilangkan kandungan lemak serta kotoran yang menempel pada serbuk tulang, kemudian serbuk tulang dikeringkan dalam oven pada suhu 160°C selama 12 jam. Serbuk tulang sapi yang sudah kering diayak menggunakan ayakan 400 mesh, selanjutnya disimpan dalam desikator dan diberi kode T₀.

Ekstraksi Hidroksiapatit dari Serbuk Tulang

Tiga ratus (300) gram serbuk tulang ditempatkan pada cawan porselen kemudian dikalsinasi pada suhu 400°C selama 6 jam. Setelah itu, hidroksiapatit diberi kode TA₁ dan disimpan dalam desikator.

Modifikasi Hidroksiapatit dengan Fe

Lima puluh (50) gram adsorben TA₁ dicampur dengan 25 mL larutan FeCl₃ 10% dan 700 mL larutan KOH 0,1M hingga pH menjadi 10. Campuran diinteraksikan dan suspensi didiamkan selama 20 hari pada suhu kamar. Setelah proses reaksi, suspensi disaring, dibilas dengan akuades dan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C. Hidroksiapatit yang telah termodifikasi Fe disimpan dalam desikator dan diberi kode TA₂.

Penentuan Waktu Setimbang, Isoterm, dan Kapasitas Adsorpsi

Sebanyak 0,10 gram hidroksiapatit (T₀, TA₁ dan TA₂) masing – masing ditambahkan 20 mL *congo red* 50 mg/L. Campuran diaduk dengan pengaduk magnet dengan waktu interaksi 10, 15, 30, dan 60 menit. Selanjutnya, disaring dan filtratnya diukur dengan spektrofotometer UV-Vis. Absorbansi yang terbaca kemudian dimasukkan ke dalam persamaan regresi linier, sehingga konsentrasi *congo red* dalam filtrat dapat ditentukan. Untuk mengetahui waktu setimbang adsorpsi, dibuat grafik antara banyaknya *congo red* yang teradsorpsi tiap gram adsorben terhadap waktu interaksi. Waktu setimbang ditentukan dari waktu interaksi minimal yang memberikan konsentrasi *congo red* teradsorpsi tertinggi.

Penentuan isoterm adsorpsi pada adsorben tanpa dan dengan penambahan H₂O₂ dilakukan pada masing–masing adsorben (T₀, TA₁ dan TA₂) menggunakan 4 variasi konsentrasi larutan *congo red* yaitu 40, 50, 60, dan 70 mg/L, masing–masing sebanyak 25 mL dimasukkan ke dalam erlenmeyer. Sebanyak 0,10 gram masing–masing adsorben (T₀, TA₁ dan TA₂) dimasukkan ke dalam setiap Erlenmeyer, diinteraksikan selama waktu yang diperoleh dari penentuan waktu setimbang.

Kemudian, campuran disaring dan absorbansi filtrat diukur menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Cara yang sama dilakukan pula pada penambahan H₂O₂, dengan cara sebanyak 5,0 mL larutan H₂O₂ variasi konsentrasi 0,5; 1,0; 1,5; dan 2,0% ditambahkan pada larutan *congo red* dan diaduk hingga homogen kemudian ditambahkan dengan 0,10 gram adsorben.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Situs Aktif Permukaan

Penentuan situs aktif permukaan dilakukan untuk mengetahui jumlah situs aktif yang terdapat pada hidroksiapatit. Jumlah asam dan basa hidroksiapatit merupakan jumlah situs aktif per satuan luas permukaan atau tiap gram hidroksiapatit tersebut. Situs aktif pada hidroksiapatit ditentukan secara tirasi asam basa. Adapun nilai keasaman, kebasaan, dan situs aktif permukaan hidroksiapatit terangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan bahwa hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C termodifikasi Fe (TA₂) memiliki nilai kebasaan lebih tinggi dibandingkan serbuk tulang (T₀) dan hasil dekomposisi termal 400°C (TA₁), namun situs aktif hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C termodifikasi Fe (TA₂) lebih rendah dari hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C (TA₁). Adanya penurunan jumlah situs aktif diduga disebabkan oleh tertutupnya pori akibat modifikasi Fe, yang dibarengi dengan penutupan beberapa situs aktif yang terbentuk sebelum modifikasi dengan Fe.

Tabel 1. Nilai Keasaman, Kebasaan, dan Situs Aktif Permukaan Hidroksiapatit

Adsorben	Keasaman permukaan (mmol/gram)	Kebasaan permukaan (mmol/gram)	Jumlah situs aktif (situs/gram)
T ₀	0,9012 ± 5,24 x 10 ⁻²	0,5721 ± 5,1730 x 10 ⁻²	8,8721 x 10 ²³
TA ₁	0,9361 ± 1,5122 x 10 ⁻²	2,2770 ± 5,9805 x 10 ⁻²	19,3493 x 10 ²³
TA ₂	0,8051 ± 1,5126 x 10 ⁻²	2,3268 ± 4,5716 x 10 ⁻²	18,8602 x 10 ²³

Keterangan : serbuk tulang (T₀), hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C (TA₁), hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C termodifikasi Fe (TA₂)

Luas Permukaan Hidroksiapatit

Luas permukaan hidroksiapatit disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Luas permukaan Adsorben

Adsorben	S (m ² /g)
T ₀	26,2166
TA ₁	26,5375
TA ₂	23,9949

Keterangan : serbuk tulang (T₀), hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C (TA₁), hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C termodifikasi Fe (TA₂)

Tabel 2 menunjukkan bahwa luas permukaan hidroksiapatit yang dimiliki oleh hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C (TA₁) dan serbuk tulang (T₀) lebih tinggi dari hidroksiapatit hasil dekomposisi termal termodifikasi Fe (TA₂). Hal ini disebabkan oleh telah terjadinya penutupan pori akibat termodifikasi Fe, sehingga biru metilen yang tersorpsi oleh hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C termodifikasi Fe (TA₂) lebih kecil daripada hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C (TA₁) dan serbuk tulang (T₀).

Perbandingan Ca/P dan Kelimpahan Fe

Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) digunakan untuk mengetahui kelimpahan atom dalam hidroksiapatit, sehingga perbandingan atom dapat diketahui. Perbandingan yang diidentifikasi dari hidroksiapatit adalah perbandingan unsur Ca dan P dan kelimpahan unsur Fe.

Tabel 3. Perbandingan unsur Ca/P dan kelimpahan Fe

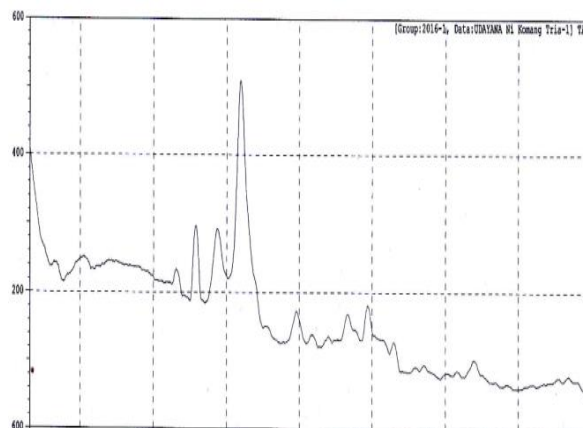
Adsorben	Fe (a.u.)	Ca/P (a.u.)
T ₀	206	1,1598
TA ₁	194	1,6425
TA ₂	311	1,4913

Keterangan : Serbuk tulang (T₀), hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C (TA₁), hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C termodifikasi Fe (TA₂)

Tabel 3 diperoleh bahwa perbandingan Ca/P terendah pada serbuk tulang (T₀), sementara terbesar pada hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C (TA₁) yaitu 1,6425 sesuai dengan hasil perbandingan Ca/P hidroksiapatit penelitian Parahita (2016) dan mendekati nilai perbandingan Ca/P sesuai literatur yaitu 1,67 (Ooi, *et al.*, 2007). Kandungan Fe mengalami peningkatan dari serbuk tulang (T₀), hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C (TA₁) dan hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C termodifikasi Fe (TA₂) sesuai dengan hasil perbandingan Ca/P menurun menjadi 1,4913. Ini berarti, telah terjadi substitusi antara Fe dengan Ca atau Fe telah masuk ke dalam struktur hidroksiapatit.

Kristalinitas Hidroksiapatit

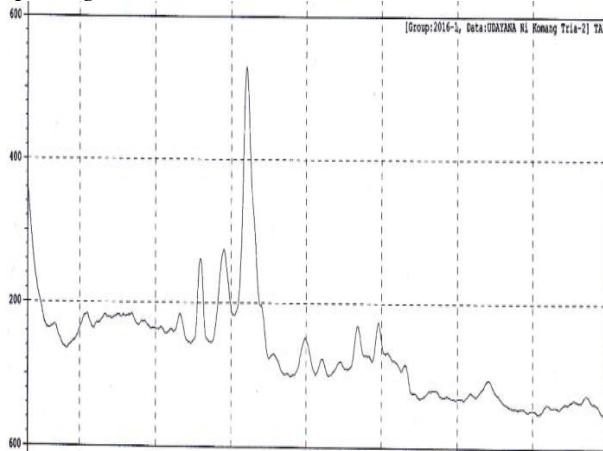
Karakterisasi hidroksiapatit dengan XRD digunakan untuk mengetahui fasa kristalinitas hidroksiapatit. Ini dilakukan dengan cara membandingkan data intensitas puncak-puncak difraktogram yang diperoleh dengan database XRD JCPDS No. 9-432, yang menunjukkan pola XRD dari hidroksiapatit. Pola XRD serbuk tulang (T₀) ditampilkan pada Gambar 1.



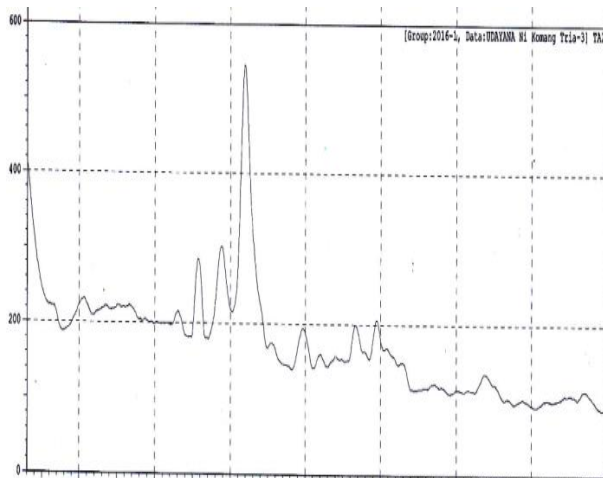
Gambar 1. Difraktogram XRD serbuk tulang (T₀)

Pola XRD serbuk tulang (T₀) pada Gambar 1 menunjukkan puncak-puncak terbentuk dengan *peak* melebar. Ini diduga cenderung membentuk kristal berukuran kecil atau mengarah ke fasa padatan amorf. Puncak tertinggi yang terdeteksi adalah puncak dengan intensitas 100 pada 2θ 32,01° (*d-spacing* 0,279 nm).

Pola XRD hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C (TA₁) pada Gambar 2, memiliki puncak tertinggi yang terdeteksi adalah puncak dengan intensitas 100 pada 2 θ 32,00° atau *d-spacing* 0,279 nm.



Gambar 2. Difraktogram XRD hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C (TA₁)



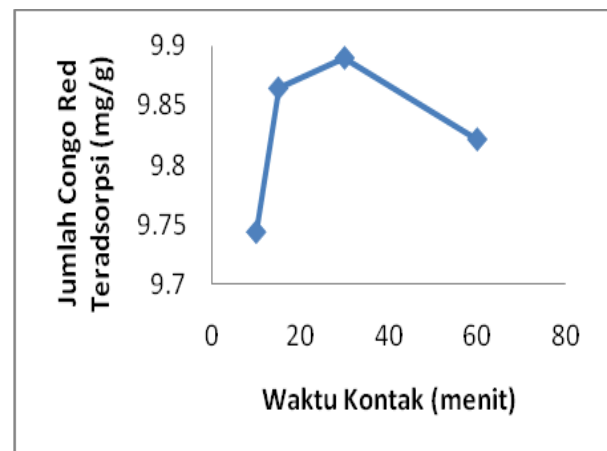
Gambar 3. Difraktogram XRD hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C termodifikasi Fe (TA₂)

Pola XRD hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C termodifikasi Fe (TA₂) (Gambar 3) memiliki puncak tertinggi yang terdeteksi adalah puncak dengan intensitas 100 pada 2 θ 31,99° atau *d-spacing* 0,279 nm. Dari ketiga jenis adsorben, puncak yang dihasilkan oleh hidroksiapatit hasil dekomposisi termal termodifikasi Fe (TA₂) tersebut lebih mendekati dengan database JCPDS No. 9-432, daripada puncak yang

dihasilkan oleh serbuk tulang (T₀) dan hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C (TA₁). Puncak tertinggi hidroksiapatit murni dengan intensitas 100 memiliki pada 2 θ 31,77° atau *d-spacing* 0,281 nm. Puncak lain yang tidak sesuai dengan database diduga karena masih adanya kontaminan pada hidroksiapatit. Adanya modifikasi dengan Fe dapat meningkatkan intensitas yang dihasilkan dan puncak yang dihasilkan lebih mendekati puncak tertinggi hidroksiapatit murni (Park *et al.*, 2012). Adanya modifikasi dengan Fe dalam hidroksiapatit dapat menyebabkan tergantikannya ion Ca pada struktur hidroksiapatit oleh kation Fe²⁺, sehingga mengakibatkan pergeseran difraksi Fe pengganti Ca dalam struktur tersebut.

Waktu Setimbang, Isoterm, dan Kapasitas Adsorpsi tanpa dan dengan Penambahan H₂O₂

Penentuan waktu setimbang adsorpsi bertujuan untuk mengetahui waktu minimum yang dibutuhkan oleh adsorben dalam mengadsorpsi zat warna *congo red* secara maksimum hingga mencapai keadaan setimbang (jenuh).

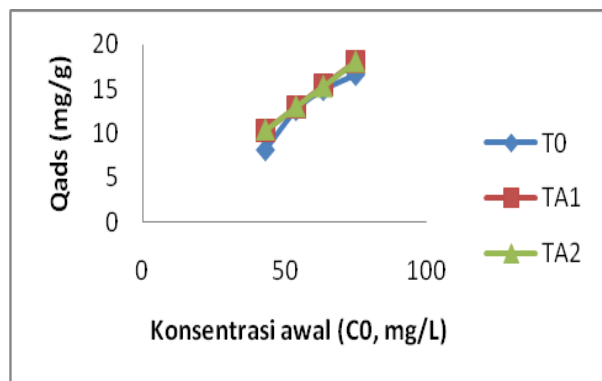


Gambar 4. Waktu kontak optimum dari adsorben

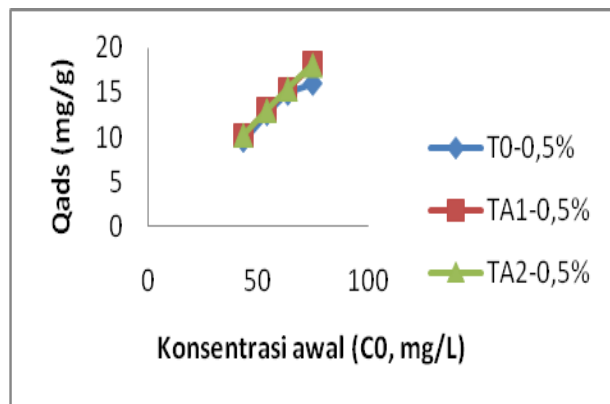
Berdasarkan pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa jumlah *congo red* yang teradsorpsi meningkat sampai waktu kontak 30 menit, kemudian mengalami penurunan setelah diinteraksikan selama 60 menit. Hal ini menunjukkan bahwa waktu kontak 30 menit merupakan

waktu kontak optimum adsorpsi dengan penyerapan *congo red* tertinggi 9,8901 mg/g.

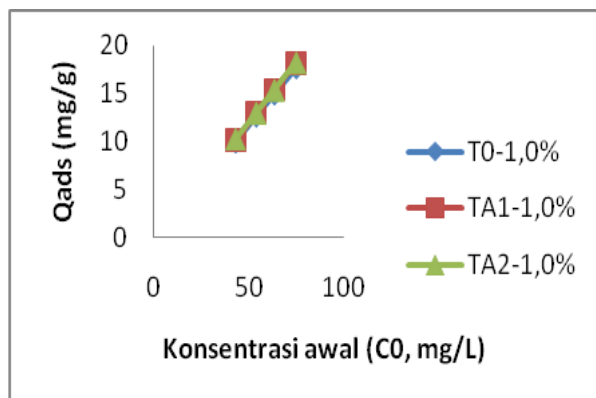
Pengaruh variasi konsentrasi *congo red* awal tanpa dan dengan penambahan H₂O₂ terhadap jumlah yang teradsorpsi (Q_{ads}) disajikan dalam grafik pada Gambar 5-9.



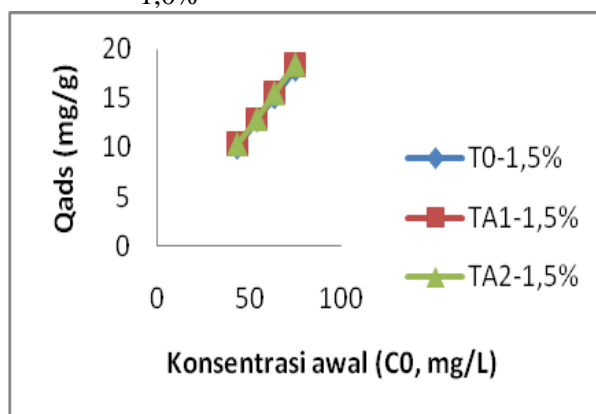
Gambar 5. Grafik variasi konsentrasi *congo red* awal terhadap jumlah yang teradsorpsi tanpa penambahan H₂O₂



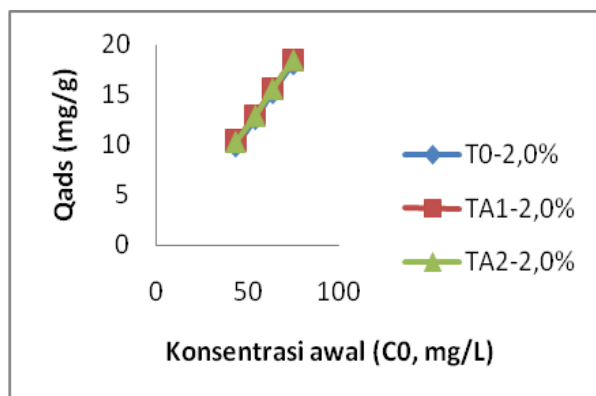
Gambar 6. Grafik variasi konsentrasi *congo red* awal terhadap jumlah yang teradsorpsi pada penambahan H₂O₂ 0,5%



Gambar 7. Grafik variasi konsentrasi *congo red* awal terhadap jumlah yang teradsorpsi pada penambahan H₂O₂ 1,0%



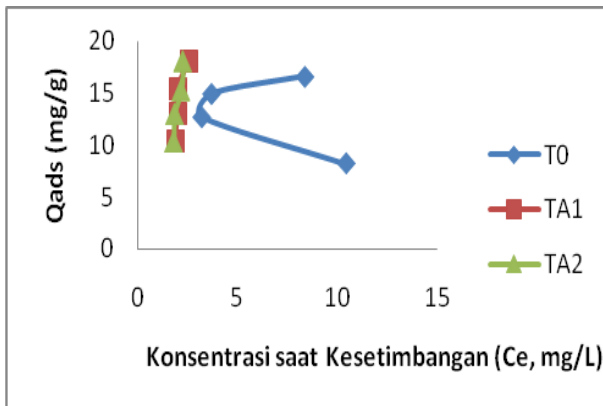
Gambar 8. Grafik variasi konsentrasi *congo red* awal terhadap jumlah yang teradsorpsi pada penambahan H₂O₂ 1,5%



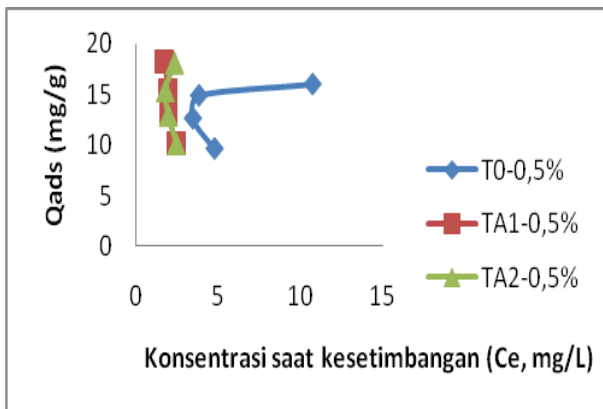
Gambar 9. Grafik variasi konsentrasi *congo red* awal terhadap jumlah yang teradsorpsi pada penambahan H₂O₂ 2,0%

Grafik pada Gambar 5, 6, 7, 8, dan 9 menunjukkan bahwa secara umum adsorpsi *congo red* tanpa dan dengan penambahan H_2O_2 mengalami peningkatan jumlah yang teradsorpsi seiring dengan bertambahnya konsentrasi *congo red*. Hal ini berarti, peningkatan konsentrasi awal berpengaruh terhadap peningkatan kemampuan adsorpsi *congo red*. Jumlah *congo red* yang teradsorpsi secara umum relatif lebih tinggi pada adsorben TA_1 dan TA_2 dibandingkan T_0 . Penambahan konsentrasi H_2O_2 juga menyebabkan peningkatan jumlah konsentrasi *congo red* yang teradsorpsi.

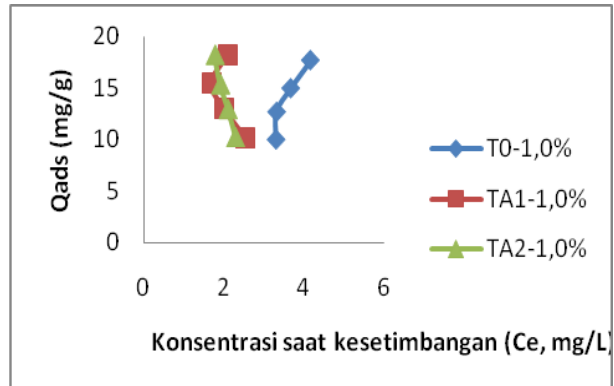
Isoterm adsorpsi memiliki tipe-tipe berdasarkan klasifikasi Gilles yang dapat diketahui melalui grafik pengaruh antara konsentrasi kesetimbangan terhadap jumlah yang teradsorpsi (Q_{ads}) tanpa dan dengan penambahan H_2O_2 seperti pada gambar berikut.



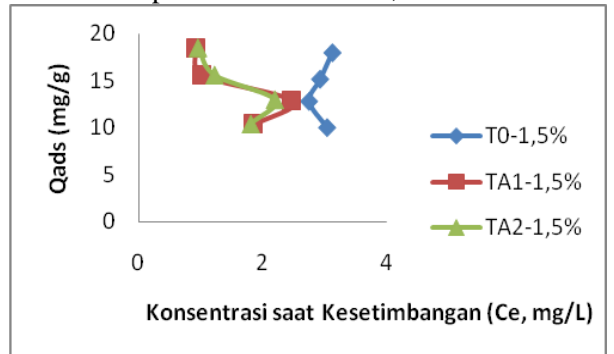
Gambar 10. Grafik model adsorpsi *congo red* tanpa penambahan H_2O_2



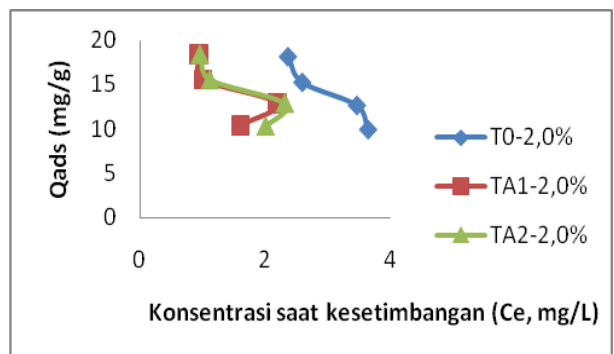
Gambar 11. Grafik model adsorpsi *congo red* pada penambahan H_2O_2 0,5%



Gambar 12. Grafik model adsorpsi *congo red* pada penambahan H_2O_2 1,0%



Gambar 13. Grafik model isoterm adsorpsi *congo red* pada penambahan H_2O_2 1,5%



Gambar 14. Grafik model isoterm adsorpsi *congo red* pada penambahan H_2O_2 2,0%

Berdasarkan grafik pada Gambar 10, 11, 12, 13, dan 14, serbuk tulang (T_0), serbuk tulang (T_0) dengan penambahan H_2O_2 0,5; 1,0; dan 1,5%, hidroksiapatit hasil dekomposisi termal $400^\circ C$ (TA_1) dengan penambahan H_2O_2 1,0% dan hidroksiapatit hasil dekomposisi termal $400^\circ C$ termodifikasi Fe (TA_2) dengan penambahan H_2O_2

0,5% mengikuti isotherm adsorpsi tipe-L yang dikenal dengan isotherm adsorpsi Langmuir. Tipe ini mengindikasikan adanya afinitas yang relatif tinggi antara adsorben dengan zat terlarut pada tahap awal. Sementara, hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C termodifikasi Fe (TA₂) dengan penambahan H₂O₂ 1,0% mengikuti model isotherm adsorpsi tipe-C. Ini terjadi karena zat terlarut dalam adsorbat lebih mudah masuk ke dalam pori adsorben daripada berinteraksi dengan pelarut. Hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C (TA₁), hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C termodifikasi Fe (TA₂), serbuk tulang (T₀) dengan penambahan H₂O₂ 2,0%, hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C (TA₁) dengan penambahan H₂O₂ 0,5; 1,5; dan 2,0%, hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C termodifikasi Fe (TA₂) dengan penambahan H₂O₂ 1,5 dan 2,0% mengikuti model isotherm adsorpsi tipe-S. Model adsorpsi tipe-S biasanya terjadi jika adsorben mempunyai afinitas yang tinggi terhadap pelarut, dengan arah kurva menunjukkan bahwa adsorpsi lebih mudah terjadi pada kenaikan konsentrasi awal zat yang teradsorpsi (Khan, 1980).

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa situs aktif dan luas permukaan adsorben tertinggi dimiliki oleh hidroksiapatit hasil dekomposisi termal 400°C (TA₁) secara berturut-turut yaitu sebesar $19,3493 \times 10^{23}$ situs/gram dan 26,5375 m²/g. Secara umum adsorpsi *congo red* dengan penambahan H₂O₂ memiliki peningkatan jumlah teradsorpsi seiring dengan bertambahnya konsentrasi *congo red*.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai kemampuan adsorpsi hidroksiapatit terhadap limbah simulasi campuran maupun aplikasi pada limbah sebenarnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis sampaikan ucapan terima kasih kepada Ketut Gede Dharma Putra, I Made Oka Adi Parwata, dan I Wayan Suarsa dan semua pihak yang telah membantu sehingga tulisan ini dapat terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adel, A., El-Zahhar, N.S., and Awwad, 2015, Removal of Malachite Green Dye from Aqueous Solution Using Organically Modified Hydroxyapatite, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4 : 633-638
- JCPDSCard File No. 9-432 (Hydroxyapatite), 1996, *Joint Committee on Powder Diffractions Standards*. Swatmore, PA
- Khan, S.U., 1980, *Pesticides in The Soil Environment*, Elsevier Scientific Publishing Company, New York
- Ooi, C.Y., Hamdi, M., and Ramesh, S. 2007, Properties of Hydroxyapatite Produced By Annealing of Bovine Bone. *Ceramics International*, 33 : 1171-1177
- Parahita, I. G. A. A., Simpen, IN., dan Suastuti, N.G.A.M.A., 2016, Ekstraksi dan Karakterisasi Hidroksiapatit dari Limbah Kerajinan Tulang Sapi Menggunakan Metode Alkali Hidrotermal dan Dekomposisi Termal, *Jurnal Kimia*, 10 (2) : 229-235
- Park, J.H., Lee, D.W., Im, S.W., Lee, Y.H., Suh, D.J., Jun, K.W., and Lee, K.Y., 2012, Oxidative Coupling of Methane using Non-stoichiometric Lead Hydroxyapatite Catalyst Mixtures, *Fuel*, 94 : 433-439
- Patnaik, P, 2002, *Handbook of Inorganic Chemical*, McGraw-Hill, New York
- Permana, C. R. I., 2010, Adsorpsi-Desorpsi Ion Cr(III) Pada Arang Tulang Sapi Teraktivasi NaOH dan Tersulut Fe₂O₃, *Skrripsi*, Universitas Udayana, Denpasar