

REMOVAL KANDUNGAN TOKSIK LIMBAH PENCELUPAN MENGUNAKAN NANO-SORBEN BERBASIS LIMBAH KERAJINAN TULANG SAPI

I Nengah Simpen*, Ni Gusti Ayu Made Dwi Adhi Suastuti

Program Studi Kimia, Fakultas MIPA Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Bali-Indonesia

*ngahsimpen@yahoo.com

ABSTRAK: Penelitian tentang removal kandungan toksik limbah pencelupan (organik sintetik toksik dan logam berat) menggunakan nano-sorben dari limbah kerajinan tulang sapi telah dilakukan. Tulang sapi dari limbah kerajinan diekstraksi untuk mendapatkan hidroksiapatit (HA) dengan karakteristik berpori, inert, ramah lingkungan, dan *renewable*. Selanjutnya HA tersebut disalut (*coated*) dengan oksida Fe dan oksida Fe-Al untuk membentuk HA bersitus aktif Fe dan Al kemudian dikarakterisasi dengan difraksi sinar-X (XRD) dan *scanning electron microscopy* (SEM). Adsorben berpori nano (nanopori-sorben) tersebut diaplikasikan untuk minimalisasi kandungan toksik limbah pencelupan. Optimasi waktu interaksi nanopori-sorben dengan limbah diperoleh dari interaksi antara nano-sorben dengan model limbah campuran *methylene blue* (MB) dan Cr(VI). Keberhasilan removal kandungan toksik limbah pencelupan ditentukan dengan memvariasikan volume limbah sebesar 15, 25, 35, dan 50 mL. Hasil penelitian menunjukkan bahwa oksida Fe dan oksida Fe-Al telah masuk ke dalam struktur kristalin HA dan telah membentuk lipatan-lipatan baru oleh oksida tersebut. Waktu optimum interaksi nano-sorben dengan limbah model campuran MB dan Cr(VI) adalah 15 menit. pH menurun dari 10,29 menjadi 8,31. Intensitas warna menurun dari absorbansi 0,0186 a.u menjadi 0,0000 a.u oleh nano-sorben HA-oksida Fe-Al dan HA-oksida Fe pada semua volume limbah, sedangkan nano-sorben HA belum mampu menurunkan intensitas warna pada volume limbah 35 dan 50 mL. Urutan kemampuan adsorpsi logam Cr dan kemampuan menurunkan COD berturut-turut adalah HA-oksida Fe-Al > HA-oksida Fe > HA. Penelitian ini menunjukkan bahwa HA tersalut oksida Fe dan oksida Fe-Al dapat menurunkan kandungan toksik limbah pencelupan optimum pada volume 35 mL.

Kata kunci: *nano-sorben, tulang sapi tersalut oksida Fe-Al, hidroksiapatit, limbah pencelupan*

ABSTRACT: A research of removal toxic content of dyes wastewater (toxic syntetic organic and heavy metals) by using nano-sorbent from waste of bovine bone handicraft has been carried out. The porous, inert, environmentally benign, and renewable material of hydroxyapatite (HA) was extracted from the bones. Further, the HA was coated with Fe oxide and Fe-Al oxide to form active sites of Fe and Al. The characterizations of the nanoporous sorbent of were carried out by X ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM). The nanoporous adsorbent was applied to minimize the toxic content of dyes wastewater. Optimization of nano-sorbent contact time with wastewater was obtained by contacting the nano-sorbent with wastewater model of methylene blue (MB) and Cr(VI) mixture. A successful removal of dye wastewater toxic content was confirmed by varying the waterwaste volume of 15, 25, 35, and 50 mL. The characterization showed that Fe oxide and Fe-Al oxide were inserted into the hydroxiapatite crystal structure and form new coated layers. Optimum contact time of nano-sorbent with wastewater simulation of methylene blue (MB) and Cr(VI) mixture was 15 menit. pH decreased from 10.29 to 8.31. The colour intensity decreased from absorbance of 0.0186 a.u to 0,0000 a.u using nano-sorben HA-Fe-Al

oxide and HA-Fe oxide in all volume variations. Whereas, the HA has yet to decrease on 35 and 50 mL. The adsorption capability upon Cr(VI) as follows: HA-Fe-Al oxide > HA-Fe oxide > HA. The lowest final COD after adsorption was obtained by HA-Fe-Al oxide > HA-Fe oxide > HA. We conclude that the Fe and Al oxide-coated HA could reduce dyes wastewater toxic content with optimum volume of 35 mL.

Keywords: nano-sorbent, Fe-Al oxide-coated bovine bone, hydroxyapatite, dyes wastewater

1. PENDAHULUAN

Bali merupakan salah satu tujuan wisatawan dalam negeri dan dunia, sehingga masyarakat dan pengusaha terdorong untuk memenuhi kebutuhan pariwisata. Akibatnya, berdiri industri rumah tangga (*home industry*) antara lain pencelupan; penyepuhan (*elektroplating*) emas, perak, dan krom; serta kerajinan patung untuk cinderamata. Dampak positif dari tumbuhnya industri pencelupan adalah terjadi peningkatan ekonomi masyarakat, tetapi di sisi lain muncul juga dampak negatif yaitu dihasilkan limbah yang belum terkelola dan cenderung langsung dibuang ke lingkungan perairan, sehingga menimbulkan penurunan kualitas lingkungan [1]. Disisi lain, kerajinan patung untuk cinderamata dari tulang sapi saat ini berkembang pula di Bali. Pada tahap akhirnya, dihasilkan limbah berupa serbuk tulang minimal 2 kilogram perhari di setiap tempat pengerajin dan umumnya dibuang ke sungai. Serbuk tulang sapi hasil limbah kerajinan telah berhasil diekstraksi secara hidrolisis alkali hidrotermal dan dekomposisi-termal menghasilkan hidroksiapatit $[Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2]$ [2-4], selanjutnya hidroksiapatit (HA) disalut dengan oksida besi (Fe_2O_3) dan kombinasi oksida besi dan aluminium ($Fe-Al_2O_3$). Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa HA tersalut Fe_2O_3 dan $Fe-Al_2O_3$ memiliki keasaman permukaan dan jumlah situs aktif lebih tinggi dari hidroksiapatit tanpa tersalut. Begitu pula untuk *Langmuir surface area* dan porositas berukuran nano (diameter pori $\leq 58,182$ nm). Ini berarti hidroksiapatit tersalut Fe_2O_3 dan $Fe-Al_2O_3$ berpotensi digunakan sebagai nano-sorben. Potensi nano-sorben telah pula diuji pada penelitian Simpen dan Suastuti [4] yang diaplikasikan untuk mengadsorpsi limbah simulasi *methylene blue* (MB). Ini dilakukan sebagai dasar aplikasi nano-sorben dalam mengadsorpsi kandungan limbah pencelupan. Oleh karena limbah pencelupan mempunyai

beberapa karakteristik dan komposisi, meliputi pH dan COD yang tinggi, mengandung logam berat Pb dan/atau Cr melewati ambang batas, serta mempunyai kandungan warna yang sulit terurai (mengandung pewarna sintetik dominan *methylene blue*) [5-7]. Semua karakteristik dan komposisi limbah tersebut bersifat toksik, sehingga apabila limbah pencelupan (*dyes*) masuk ke dalam perairan dapat menimbulkan pencemaran dan berefek karsinogenik, mutagenik, dan terogenik bagi kehidupan akuatik termasuk juga terhadap manusia [1,6]. Oleh karena itu, dilakukan aplikasi nano-sorben untuk removal kandungan toksik limbah pencelupan. Keberhasilan removal kandungan toksik limbah pencelupan dengan variasi volume 15, 25, 35, dan 50 mL sangat ditentukan oleh derajat keasaman (pH), penurunan intensitas warna dan kandungan Pb dan/atau Cr dan penurunan nilai *chemical oxygen demand* (COD).

2. PERCOBAAN

Ekstraksi Hidroksiapatit

Tulang sapi bali (berupa serbuk) yang diambil dari lokasi (Desa Tampak Siring, Gianyar), dicuci dan dibersihkan dari pengotor yang masih melekat kemudian ditiriskan untuk menghilangkan air pencucian dan dikeringkan dalam *oven* pada suhu 110-120°C selama 12 jam. Tulang yang telah kering dihancurkan (*digerus*) hingga berupa serbuk dan diayak dengan ukuran lubang 0,50-0,25 mm. Selanjutnya, tulang sapi (serbuk) tersebut direndam dengan 10% natrium hipoklorit (NaOCl) selama 24 jam, dicuci dengan aquades sampai bersih, lalu dididihkan dalam larutan 5% natrium hidroksida (NaOH) pada suhu 60-65°C selama tiga jam. Setelah dididihkan, dicuci dengan aquades hingga

bersih dan direndam lagi dalam larutan 10% hidrogen peroksida (H_2O_2) selama 24 jam. Serbuk tulang selanjutnya dikalsinasi pada suhu $650^\circ C$ selama tiga jam. Serbuk hidroksiapatit yang diperoleh disterilisasi pada suhu $100-150^\circ C$ [2], selama 3 jam [4]. Setelah itu, hidroksiapatit diberi kode HA dan disimpan dalam desikator untuk eksperimen lebih lanjut.

Penyalutan (*coating*) Hidrosiapatit dengan Oksida Fe-Al

Sebelum proses penyalutan, diawali dengan aktivasi dalam larutan NaOH 0,4 M (Adhi *et al.* 2017) [8]. Lima ratus (500) g HA dimasukkan ke dalam gelas Beaker, lalu ditambahkan larutan NaOH 0,4 M rasio 1:1,5 dan dipanaskan pada suhu $60-65^\circ C$ sambil diaduk dengan pengaduk magnet selama 2,5 jam. Setelah diinteraksikan selama 2,5 jam, campuran disaring dan residu dicuci berulang-ulang dengan aquades sampai terbebas dari basa (tes negatif oleh phenolphthalein). Residu yang didapat, dikeringkan dalam oven pada suhu $105-110^\circ C$ sampai diperoleh berat konstan, kemudian didinginkan, dan bila menggumpal dilakukan penggerusan, lalu diayak dan digunakan untuk eksperimen selanjutnya. Gelas Beaker ukuran 250 mL, diisi dengan 100 g HA teraktivasi dan ditambahkan $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ rasio massa 100:1. Ke dalam campuran tersebut ditambahkan aquades rasio 22:5 dan setelah diinteraksikan selama dua menit, dikalsinasi pada suhu $200^\circ C$ selama 5 jam [9]. Setelah proses kalsinasi dilakukan pendinginan, bila menggumpal digerus serta terakhir diayak (produk diberi kode HA-oksida Fe).

Gelas Beaker ukuran 100 mL, diisi 50 g HA-oksida Fe lalu ditambahkan $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ rasio massa 100:1. Ke dalam campuran tersebut ditambahkan aquades rasio 22:5 dan setelah diinteraksikan selama dua menit, dikalsinasi pada suhu $350^\circ C$ selama 12 jam. Setelah proses kalsinasi, kemudian didinginkan dan bila menggumpal dilakukan penggerusan serta terakhir diayak (produk diberi kode HA-

oksida Fe-Al). Untuk memastikan oksida Fe dan oksida Fe-Al benar-benar masuk ke dalam struktur HA dikarakterisasi menggunakan XRD dan SEM.

Waktu Kontak Optimum dan Kapasitas Adsorpsi Adsorben Terhadap Limbah Simulasi Campuran

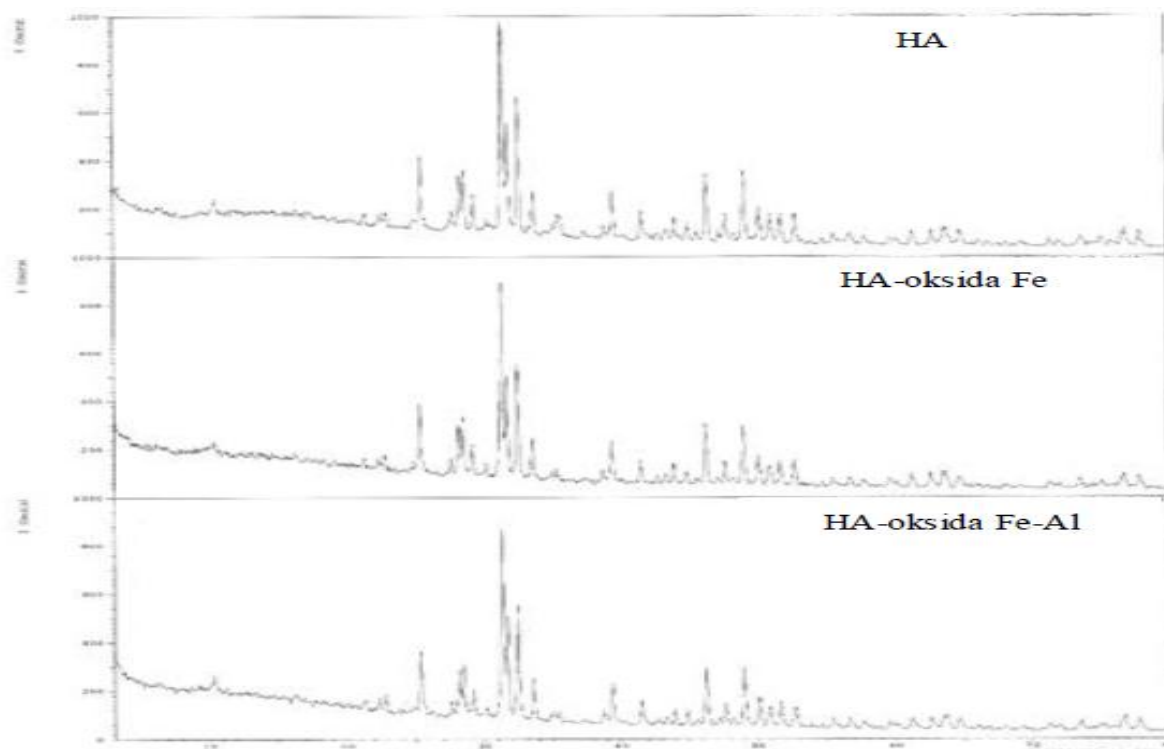
Sepuluh buah erlenmeyer 100 mL masing-masing diisi 0,3 gram adsorben HA-oksida Fe dan HA-oksida Fe-Al. Pada masing-masing erlenmeyer, ditambahkan 25 mL larutan MB dan Cr(VI) pada perbandingan konsentrasi 1:0; 1:3; 1:1; 3:1; dan 0:1 kemudian dibiarkan kontak selama 15 dan 60 menit sambil diaduk dengan pengaduk magnet [10]. Setiap waktu tertentu, campuran disaring dengan kertas saring *Whatman* 42 dan filtrat yang diperoleh dianalisis jumlah Cr(VI) dan MB yang tersisa dengan SSA dan UV-vis. Dengan mengetahui jumlah Cr(VI) dan MB yang tersisa, maka jumlah Cr(VI) dan MB yang teradsorpsi dapat dihitung menggunakan persamaan

$$q_{ads} = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} = q_e,$$

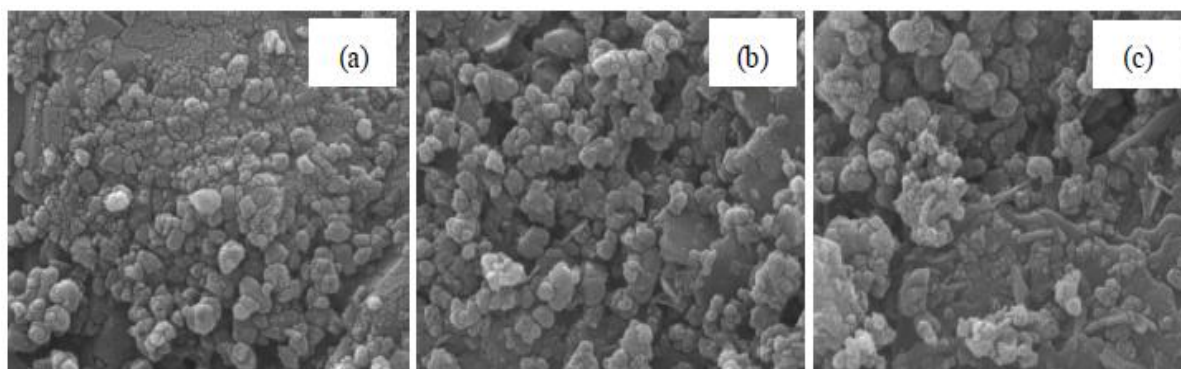
dengan C_0 dan C_e adalah konsentrasi Cr(VI) atau *methylene blue* mula-mula dan pada saat kesetimbangan tercapai, V adalah volume larutan, serta q_{ads} sebagai jumlah Cr(VI) (mg) atau *methylene blue* (mg) yang teradsorpsi oleh massa (g) adsorben, sehingga kemampuan adsorpsi (mg Cr(VI)/g adsorben) dan mg MB/g adsorben) dapat ditentukan [4,11,12,13]. Sebagai pembandingan dilakukan pula terhadap hidroksiapatit yang tidak termodifikasi (HA).

Volume Interaksi Optimum Adsorben Terhadap Limbah Pencelupan

Ke dalam 5 buah erlenmeyer 100 mL masing-masing dimasukkan 0,3 gram adsorben HA-oksida Fe. Pada Erlenmeyer tersebut ditambahkan sampel limbah pencelupan dengan volume bervariasi, yaitu 15, 25, 35, dan 50 mL kemudian diaduk dengan pengaduk magnet selama 15



Gambar 1. Difraktogram sinar-X dari adsorben



Gambar 2. Morfologi permukaan adsorben (a) HA, (b) HA-oksida Fe, dan (c) HA-oksida Fe-Al yang dianalisis menggunakan SEM dengan pembesaran 80.000 kali.

menit (waktu interaksi optimum dari penentuan waktu kontak optimum limbah simulasi campuran). Selanjutnya, campuran disaring dengan kertas saring *Whatman 42* dan filtrat yang diperoleh diukur (dianalisis) pH, COD, intensitas warna, serta kandungan Pb dan Cr. Cara yang sama dilakukan juga untuk adsorben HA-oksida Fe-Al dan HA (sebagai pembanding).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi kristalinitas dan morfologi permukaan adsorben

Berdasarkan difraktogram sinar-X (Gambar 1) menunjukkan bahwa, Fe pada HA-oksida Fe dan Al pada HA-oksida Fe-Al telah masuk ke dalam struktur kristal hidroksiapatit (HA). Substitusi Ca oleh logam lain (Fe dan Al) dalam struktur hidroksiapatit terjadi pada 2θ 31,8 sampai

Tabel 1. Jumlah MB dan Cr(VI) yang Teradsorpsi (q_{ads} , mg/g) oleh Adsorben

Waktu interaksi (menit)	Jumlah adsorbat yang teradsorpsi (mg/g) pada rasio konsentrasi:									
	1:0		1:3		1:1		3:1		0:1	
	MB	Cr(VI)	MB	Cr(VI)	MB	Cr(VI)	MB	Cr(VI)	MB	Cr(VI)
Adsorben HA										
15	1,1783	0	0,6276	0,5872	0,9241	0,3419	1,1218	0,1729	0	1,3214
60	1,1699	0	0,6020	0,4388	0,8912	0,3297	1,0428	0,1606	0	1,6568
Adsorben HA-oksida Fe										
15	2,5171	0	1,2511	1,2132	2,3451	0,9517	2,1965	0,4324	0	3,0943
60	2,1768	0	1,2087	1,0086	2,2972	0,9089	2,0286	0,4097	0	3,6802
Adsorben HA-oksida Fe-Al										
15	2,2744	0	1,4690	1,5121	1,9012	1,2185	2,0523	0,4566	0	3,4712
60	2,2331	0	1,3818	1,5079	1,7987	1,2001	2,0042	0,4413	0	3,7008

Tabel 2. Nilai Parameter dari Limbah Pencelupan Awal

Parameter	Nilai
pH	10,29
Intensitas warna (a.u)	0,0186
Cr (ppm)	0,4987
Pb (ppm)	0,0000
COD (ppm)	173,40

30,1° [14]. Hasil analisis morfologi permukaan menggunakan SEM (Gambar 2), diperoleh bahwa terjadi perbedaan morfologi antara adsorben HA dengan HA-oksida Fe dan HA-oksida Fe-Al. Pori-pori pada adsorben HA-oksida Fe dan HA-oksida Fe-Al lebih kelihatan dibandingkan HA (pori-pori masih tertutup). Ini berarti, pelapisan (*coating*) oleh oksida Fe dan oksida Fe-Al telah terjadi. Sementara pada adsorben HA-oksida Fe-Al, pelapisan oleh oksida Fe-Al lebih banyak terjadi, yang ditunjukkan dengan lempengan-lempengan yang terlihat lebih jelas dan lebih banyak jumlahnya. Ini berarti, telah terbentuk lipatan-lipatan baru akibat *coating*.

Dalam penentuan waktu kontak optimum (Tabel 1), waktu interaksi 15 menit menunjukkan jumlah adsorbat yang teradsorpsi tertinggi pada semua jenis adsorben (HA, HA-oksida Fe, dan HA-oksida Fe-Al) dan pada semua rasio konsentrasi, sehingga waktu interaksi tersebut dipilih untuk penentuan adsorpsi adsorben terhadap limbah sebenarnya. Berdasarkan jumlah yang teradsorpsi (q_{ads}) MB dan Cr(VI), pada adsorpsi MB tunggal (1:0) dan Cr(VI) tunggal (0:1) jumlah yang

teradsorpsi Cr(VI) pada waktu interaksi 15 dan 60 menit, lebih tinggi jumlah Cr(VI) yang teradsorpsi dibandingkan MB, dengan waktu interaksi efektif Cr(VI) 60 menit dan MB 15 menit. Sementara saat adsorpsi campuran dilakukan, semakin tinggi jumlah MB dalam campuran semakin tinggi pula jumlah MB yang teradsorpsi begitu pula terhadap Cr(VI). Namun, secara keseluruhan jumlah Cr(VI) yang teradsorpsi relatif rendah dibandingkan saat adsorpsi tunggal. Fenomena ini menunjukkan pada campuran MB dan Cr(VI) rasio 1:1, MB lebih mudah diadsorpsi dibandingkan Cr(VI).

Volume interaksi optimum adsorben terhadap limbah pencelupan

Berdasarkan analisis karakteristik fisiko-kimia limbah pencelupan awal (Tabel 2), pH berkategori basa (lebih tinggi dari baku mutu kualitas air, pH 6-9), intensitas warna absorbansi relatif rendah (tidak pekat) namun tidak memenuhi baku mutu kualitas air, kandungan Cr lebih tinggi dari baku mutu kualitas air berdasarkan PP nomor 82 tahun 2001 (0,05 ppm). Sedangkan, logam Pb (timbal) tidak terdeteksi.

Berdasarkan Tabel 3, nilai pH setelah adsorpsi oleh adsorben mengalami penurunan secara signifikan dibandingkan pH limbah awal. Adsorben setelah modifikasi (HA-oksida Fe dan HA-oksida Fe-Al) dapat menurunkan nilai pH dari

10,29 menjadi terendah 8,31 dibandingkan adsorben tanpa modifikasi (HA) menjadi terkecil 9,14. Artinya, modifikasi adsorben dengan oksida Fe dan oksida Fe-Al dapat menurunkan pH menuju basa lemah atau mendekati pH netral (pH 7).

Berdasarkan Tabel 4, intensitas warna limbah setelah diadsorpsi oleh adsorben tanpa dan termodifikasi mengalami penurunan secara signifikan dari intensitas warna pada absorbansi 0,0186 a.u menjadi 0,0000 a.u. Namun, untuk adsorben T₀ masih menyisakan nilai intensitas warna absorbansi 0,0035-0,0040 a.u yang berarti kemampuan adsorben termodifikasi lebih tinggi dalam

mengadsorpsi zat warna dibandingkan adsorben kontrol (HA).

Dari Tabel 5, diperoleh jumlah Cr yang teradsorpsi relatif rendah namun adsorben termodifikasi (HA-oksida Fe dan HA-oksida Fe-Al) relatif lebih tinggi mengadsorpsi dibandingkan tanpa modifikasi (HA). Fenomena ini, sejalan dengan adsorpsi campuran (Tabel 1) bahwa zat warna lebih mudah teradsorpsi dibandingkan Cr. Semakin tinggi volume limbah yang diinteraksikan, maka semakin tinggi pula kemampuan adsorpsinya, dengan jumlah Cr yang teradsorpsi tertinggi pada volume limbah pencelupan 35 mL.

Tabel 3. Nilai pH pada Variasi Volume Limbah Pencelupan Setelah Kontak dengan Adsorben Selama 15 Menit

pH limbah awal	Jenis adsorben	pH limbah akhir pada variasi volume:			
		15 mL	25 mL	35 mL	50 mL
10,29	HA	9,14	9,25	9,26	9,45
	HA-oksida Fe	8,53	8,52	8,54	8,88
	HA-oksida Fe-Al	8,31	8,33	8,37	8,46

Tabel 4. Intensitas Warna pada Variasi Volume Limbah Pencelupan setelah Kontak dengan Adsorben Selama 15 Menit

Intensitas warna limbah awal (a.u)	Jenis adsorben	Intensitas warna limbah akhir (a.u) pada variasi volume:			
		15 mL	25 mL	35 mL	50 mL
0,0186	HA	0,0000	0,0000	0,0035	0,0040
	HA-oksida Fe	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	HA-oksida Fe-Al	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Tabel 5. Jumlah Cr yang Teradsorpsi (q_{ads} , mg/g) pada Variasi Volume Limbah Pencelupan setelah Kontak dengan Adsorben Selama 15 Menit

Jenis adsorben	Jumlah Cr yang teradsorpsi (q_{ads} , mg/g) pada variasi volume:			
	15 mL	25 mL	35 mL	50 mL
HA	0,0242	0,0399	0,0556	0,0501
HA-oksida Fe	0,0243	0,0399	0,0564	0,0507
HA-oksida Fe-Al	0,0243	0,0400	0,0567	0,0508

Tabel 6. Nilai COD Akhir (ppm) pada Variasi Volume Limbah Pencelupan setelah Kontak dengan Adsorben Selama 15 Menit

COD limbah awal (ppm)	Jenis adsorben	COD limbah akhir (ppm) pada variasi volume:			
		15 mL	25 mL	35 mL	50 mL
173,40	HA	119,77	121,38	110,98	114,49
	HA-oksida Fe	100,65	104,04	56,70	76,30
	HA-oksida Fe-Al	90,12	93,64	52,02	72,83

Sementara pada volume limbah 50 mL, jumlah Cr yang teradsorpsi relatif lebih kecil dibandingkan volume limbah 35 mL. Ini diduga bahwa pada volume limbah 50 mL, adsorben telah mengalami kejenuhan (kesetimbangan adsorpsi telah tercapai) sehingga adsorben tidak mampu lagi meningkatkan jumlah Cr yang diadsorpsi.

Penurunan nilai *chemical oxygen demand* (COD) dari limbah pencelupan (Tabel 6) disebabkan oleh adanya adsorpsi senyawa kimia penyusunnya (organik dan anorganik) [15] oleh adsorben, sehingga kandungan senyawa tersebut menurun. Situs aktif, luas permukaan spesifik, dan porositas dari adsorben bertanggungjawab mempengaruhi kapasitas adsorpsi terhadap senyawa kimia yang terdapat dalam limbah. Semakin banyak situs aktif dan luas permukaan spesifik semakin besar, maka kemampuan adsorben untuk menjerap adsorbat akan semakin besar pula. Pada volume limbah 35 mL, adsorben paling efektif menurunkan COD hingga nilai terendah 52,02 ppm diadsorpsi oleh adsorben HA-oksida Fe-Al dan paling kurang efektif terhadap HA (110,98 ppm). Hal ini disebabkan adsorben HA mempunyai situs aktif, luas permukaan spesifik, dan porositas relatif lebih sedikit dibandingkan HA-oksida Fe-Al dan HA-oksida Fe [4]. Dari hasil tersebut, adsorben hidroksiapatit tersalut Fe-Al-oksida paling dapat menurunkan kandungan toksik limbah pencelupan pada volume optimum 35 mL. Hasil penelitian ini sejalan dengan Adhi *et al.* (2017), bahwa nilai pH, Cr, tingkat kekeruhan atau intensitas warna, dan COD lebih efektif dapat diminimalkan oleh adsorben teraktivasi NaOH 0,4 M dibandingkan tanpa aktivasi, namun kapasitas adsorpsi dan volume interaksi

optimum lebih rendah (20 mL) dengan waktu interaksi optimum lebih tinggi (90 menit) [8].

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Fe dan Al telah masuk ke dalam struktur hidroksiapatit dan penyalutan telah terjadi, yang ditandai dengan bertambahnya lempengan-lempengan pada adsorben HA-oksida-Fe-Al. Waktu kontak optimum diperoleh pada menit ke 15 sehingga waktu tersebut dipilih untuk adsorpsi adsorben terhadap limbah sebenarnya. Adsorpsi adsorben termodifikasi terhadap limbah pencelupan telah dapat menurunkan pH (dari pH basa ke pH netral), intensitas warna limbah, jumlah Cr, dan COD secara signifikan dengan nilai relatif lebih tinggi dibandingkan tanpa modifikasi (HA). Adsorben HA-oksida Fe dan HA-oksida Fe-Al dapat menurunkan kandungan toksik limbah pencelupan pada volume optimum 35 mL.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Diucapkan terima kasih kepada DRPM Ristekdikti melalui LPPM Universitas Udayana atas pemberian dana penelitian Hibah Bersaing Desentralisasi tahun 2016, sehingga pelaksanaan penelitian dapat berjalan sesuai rencana. Selain itu, diucapkan pula kepada Jurusan Kimia Fakultas MIPA Universitas Udayana atas fasilitas laboratorium pendukung kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Oladoja, N.A., Aboluwaye, C.O. and Oladimeji, Y.B. 2008. Kinetiks and Isoterm Studies on Methylen Blue Adsorption onto Ground Palm Kernel Coat. *Turkish J. Eng. Sci.* **32**. 303-312.
- [2] Wahl, D.A. and Czernuszka, J.T. 2006. Collagen-Hydroxyapatite Composites for Hard Tissue Repair. *European Cell and Materials*. Vol. 11. 43-56.
- [3] Barakat, N.A.M., Khil, M.S., Omran, A.M., Sheikh, F.H. and Kim, H.Y. 2009. Extraction of Pure Natural Hydroxyapatite From The Bovine Bones Bio Waste by Three Different Methods. *Journal of Materials Processing Technology*. **209**. 3408–3415.
- [4] Simpen, IN., dan Suastuti, N.G.A.M.A., 2016. Modifikasi Limbah Tulang Sapi Bali dan Pemanfaatannya untuk Adsorpsi Methylene Blue. *Jurnal Veteriner*. Vol. 17. No. 4. pp. 597-606.
- [5] Reichert, J. and Binner, J.G.P. 1996. An Evaluation of Hydroxyapatite-based Filters for Removal of Heavy Metal Ions from Aqueous Solutions. *Journal of Materials Science*. 31: 1231-1241.
- [6] Fuqiang, L., Jinlong, C., Aimin, L., Zhenghao, F, Junjie, G. And Quanxing, Z. 2004. Equilibrium Adsorption of Single Component and Binary Mixtures of Aromatic Compound onto a Polyfunctional Hypercrosslinked Polymetric Adsorbent. *Journal of Adsorption Science and Technology*. 22 (1). 13-24.
- [7] Mahdy, T., Mohamed, G. and Elhawary, A. 2008. Effect Methylene Blue on Intra-abdominal Adhesion Formation in Rats. *International Journal of Surgery*. **6**. 452-455.
- [8] Adhi, N.G.A.S., Simpen, IN. dan Putra, A.A.B. 2017. Reduksi Komponen Toksik dari Limbah Cair Garmen Menggunakan Bio-Anorganik-Sorben Arang Tulang. *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*. 5(1). 18-25.
- [9] Satpathy, K. and Chaudhuri, M. 1997. Treatment of Cadmium-Plating and Chromium-Plating Wastes by Iron Oxide-Coated Sand, *Environ. Sci. Technol.* **31**. 1452-1462.
- [10] Simpen, IN. dan Adhi, N.G.A.M.D.S. 2015. Pengembangan Nano-sorben Berbasis Limbah Karajinan Tulang: Modifikasi, Karakterisasi dan Aplikasi Untuk Minimalisasi Kandungan Limbah Pencelupan dan Penyepuhan Krom. *Laporan Akhir Penelitian Hibah Bersaing Tahun ke-1*. Universitas Udayana. Denpasar.
- [11] Babarinde, N.A.A., Oyesiku, O.O. and Dairo, O.F. 2007. Isoterm and Thermodynamic Studies of the Biosorption of Cooper (II) Ions by *Erythrodontium barteri*. *International Journal of Physical Sciences*. Vol. 2. (11). 300-304.
- [12] Hong, S., Wen, C., He, J., Gan, F. and Ho, Y-H. 2009. Adsorption Thermodynamics of Methylene Blue onto Bentonite. *Journal of Hazardous Materials*. **167**. 630-633.
- [13] Kongsri, S., Janpradit, K., Buapa, K., Techawongstien, S., and Chanthai, S. 2013. Nanocrystalline Hydroxyapatite from Fish Scale Waste: Preparation, Characterization and Application for Selenium Adsorption in Aqueous Solution. *Chemical Engineering Journal*. 215-216. 522-532.
- [14] Park, J.H., Lee, D-W., I.M., 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.
- [15] Pujar, A.S., Yadawe, M.S., Pujeri, U.S., Hiremath, S.C., Balappanavar, V., Hiremath, S., Hiremath, V., Mathapati, S., and Hiremath, D. 2014. Determination of BOD, COD, DO and Other Pysico-Chemical Properties of Sugar and Cement Industries. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical*. 5(6). 1075-1078.