

Reduksi Ion Logam Berat pada Limbah Cair Elektroplating Menggunakan Tablet Effervescent Berbasis Abu Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa*)

Khansa Cahaya Angelia^{1✉}

Prina Kharismawati²

Indra Dwi Suryanto³

¹ Madrasah Aliyah Negeri (MAN) 1 Yogyakarta

ABSTRACT

Heavy metal contamination generated by electroplating industries poses significant environmental and public health risks, necessitating effective, economical, and environmentally friendly wastewater treatment methods. This study aims to develop and evaluate an effervescent tablet adsorbent derived from blood cockle shell ash (*Anadara granosa*) for reducing Cu, Cr, and Ni ion concentrations in electroplating wastewater. The research was conducted through several stages, including shell ash preparation, effervescent tablet formulation using citric acid and sodium bicarbonate, physicochemical characterization (moisture content, ash content, dissolution time, and FTIR analysis), and adsorption experiments with varying contact times. Metal ion concentrations before and after treatment were determined using atomic absorption spectrophotometry (AAS). FTIR analysis revealed absorption bands in the range of 726–651 cm^{-1} , indicating the presence of calcium carbonate (CaCO_3) functional groups. The effervescent tablets exhibited a moisture content of 76%, ash content of 2.46%, and an average dissolution time of 62.16 seconds, while increasing adsorbent mass tended to shift solution pH toward alkaline conditions. The highest Cu removal efficiency reached 60.12% at a contact time of 90 minutes with a dosage of 12 g/L. Meanwhile, exceptionally high Cr removal values were observed under certain conditions. Removal efficiencies exceeding 100% suggest potential procedural or analytical bias, highlighting the need for methodological verification, contamination control, and further testing to accurately determine adsorption capacity. Overall, this study demonstrates the potential of blood cockle shell ash-based effervescent tablets as an alternative adsorbent for electroplating wastewater treatment, while emphasizing the importance of rigorous validation in adsorption performance assessment.

Keywords: *effervescent tablet, blood cockle shell ash, adsorption, electroplating wastewater, heavy metals, AAS*

ABSTRAK

Pencemaran logam berat yang dihasilkan oleh industri elektroplating merupakan permasalahan lingkungan yang berpotensi menimbulkan dampak serius terhadap ekosistem dan kesehatan manusia. Oleh karena itu, diperlukan teknologi pengolahan limbah yang efektif, ekonomis, dan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi kinerja adsorben berbentuk tablet effervescent berbahan dasar abu cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) dalam menurunkan kadar ion logam Cu, Cr, dan Ni pada limbah cair elektroplating. Penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan, meliputi pembuatan abu cangkang, formulasi tablet effervescent menggunakan asam sitrat dan natrium bikarbonat, karakterisasi fisik dan kimia adsorben (kadar air, kadar abu, waktu kelarutan, dan analisis FTIR), serta uji adsorpsi dengan variasi waktu kontak. Konsentrasi ion logam sebelum dan sesudah proses adsorpsi dianalisis menggunakan spektrofotometer serapan atom (AAS). Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan pita serapan pada rentang 726–651 cm^{-1} yang mengindikasikan keberadaan gugus kalsium karbonat (CaCO_3). Tablet effervescent memiliki kadar air 76%, kadar abu 2,46%, dan waktu kelarutan rata-rata 62,16 detik, serta menunjukkan kecenderungan peningkatan pH larutan menuju kondisi basa seiring peningkatan massa adsorben. Efektivitas penurunan ion Cu mencapai 60,12% pada waktu kontak 90 menit dengan dosis 12 g/L, sedangkan penurunan ion Cr tercatat sangat tinggi pada kondisi tertentu. Nilai efisiensi yang melebihi 100% mengindikasikan adanya potensi bias prosedural atau kesalahan pengukuran,



sehingga diperlukan verifikasi metode, pengendalian cemaran, serta pengujian lanjutan untuk menentukan kapasitas adsorpsi yang valid.

Kata Kunci: *tablet effervescent, abu cangkang kerang darah, adsorpsi, limbah electroplating, logam berat, AAS*

OPEN ACCESS **Contact:** [✉ muhammadnurazizx@gmail.com](mailto:muhammadnurazizx@gmail.com)

Pendahuluan

Seiring berkembangnya teknologi khususnya di bidang industri, dampak positif kerap diikuti dampak negatif bagi lingkungan, terutama pencemaran limbah hasil samping produksi. Pengelolaan limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) perlu mendapat perhatian karena dapat membahayakan ekosistem perairan, hewan, dan kesehatan manusia. Logam berat diakui sebagai kontaminan berbahaya dalam jangka panjang karena toksisitasnya tinggi, dapat terakumulasi, dan mengalami retensi di dalam tubuh manusia. Limbah elektroplating merupakan salah satu contoh limbah yang berpotensi mengandung logam berat seperti tembaga (Cu), timbal (Pb), seng (Zn), nikel (Ni), kadmium (Cd), dan kromium (Cr) (Hayati & Sawir, 2017).

Di Yogyakarta terdapat aktivitas elektroplating khususnya di daerah Kotagede sebagai kawasan pengrajin perak. Proses pelapisan logam bertujuan memberikan perlindungan dari karat dan efek mengkilap pada besi serta baja. Industri pelapisan logam menghasilkan limbah cair dan padat pada proses produksinya. Limbah padat berupa serbuk besi dari penghalusan logam yang akan dilapisi, sedangkan limbah cair berasal dari air bilasan dan larutan pembersih maupun larutan plating yang telah kotor atau jenuh. Sebagian industri kecil dan menengah belum menerapkan sistem pembuangan limbah yang baik, sehingga air limbah elektroplating umumnya masih mengandung logam-logam berat, di antaranya kromium (Cr) (Pratiwi et al., 2019). Menurut Kep-51/MENLH/10/1995, ambang batas konsentrasi yang diperbolehkan untuk krom total (Cr) adalah 2 mg/L.

Berbagai teknik pengolahan limbah telah banyak diteliti, di antaranya adsorpsi (Lelifajri, 2010), pertukaran ion, serta koagulasi-flokulasi (Nurhasni et al., 2013). Adsorpsi merupakan proses penyerapan oleh padatan tertentu terhadap zat tertentu yang terjadi pada permukaan padatan karena adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan, tanpa meresap ke dalam. Sistem adsorpsi dapat diterapkan pada penurunan kadar logam berat pada limbah berbahaya seperti limbah elektroplating. Contoh logam berat pada limbah elektroplating adalah kromium (Cr) dan nikel (Ni), dengan kadar buangan yang diizinkan menurut World Bank Group (1998) untuk kromium dan nikel sebesar 0,5 ppm (Hutauruk, 2018).

Pemilihan adsorben dari biomaterial menjadi salah satu alternatif yang banyak dikembangkan. Berbagai adsorben berbasis sumber daya alam telah diteliti, antara lain kulit buah kakao, cangkang kerang, ampas kopi (Irmanto & Suyata, 2009), kulit singkong (Hasrianti, 2012), dan fly ash (Zakaria, 2012). Pada penelitian ini, adsorben dikembangkan dalam bentuk tablet effervescent berbahan abu cangkang kerang darah. Di wilayah pesisir Yogyakarta terdapat limbah cangkang kerang dari aktivitas konsumsi, sehingga berpotensi dimanfaatkan. Limbah cangkang kerang dilaporkan memiliki kandungan kalsium karbonat yang tinggi, sekitar 98% (Awang-Hazmi et al., 2007), dan cangkang kerang darah juga dilaporkan mengandung CaCO_3 tinggi sehingga berpotensi sebagai adsorben (Surest et al., 2012; Mohamed et al., 2012; Asleni et al., 2016). Dalam bentuk tablet effervescent, reaksi antara senyawa asam dengan karbonat atau bikarbonat menghasilkan gas CO_2 yang dapat membantu

proses pelarutan dan dispersi bahan, dan umumnya berlangsung cepat serta menghasilkan larutan yang jernih.

Hasil-hasil penelitian sebelumnya menunjukkan potensi cangkang sebagai adsorben logam berat. Pridyanti et al. (2018) melaporkan serbuk cangkang kupang (*Corbula faba*) teraktivasi termal dapat menurunkan kadar kromium (Cr^{6+}) dalam limbah cair batik, dan menekankan perlunya pengendalian variabel seperti pH, kecepatan pengadukan, waktu kontak, dan konsentrasi logam untuk memperoleh hasil optimum. La Ifa et al. (2018) juga menunjukkan abu cangkang kerang dan cangkang kepiting efektif menyerap logam Cu, Pb, dan Zn pada limbah pertambangan emas, dengan efisiensi yang berbeda antar ion logam. Temuan-temuan tersebut memperlihatkan bahwa material berbasis cangkang berpotensi digunakan sebagai adsorben alternatif pada berbagai jenis limbah cair. Berangkat dari temuan tersebut, penelitian ini memanfaatkan potensi cangkang kerang dalam bentuk lain, yaitu abu cangkang sebagai adsorben alternatif yang ramah lingkungan, dengan komposisi oksida dominan seperti CaO dan MgO (Maryam, 2014).

Penelitian ini bertujuan mengetahui karakteristik adsorben berbentuk tablet effervescent dari abu cangkang kerang darah serta mengetahui daya serap tablet effervescent terhadap ion logam dalam limbah cair elektroplating. Fokus pengujian diarahkan pada ion Cu, Cr, dan Ni, dengan variabel utama berupa waktu kontak adsorben dengan limbah cair, sedangkan efektivitas penurunan kadar ion logam diukur menggunakan spektrofotometer serapan atom (AAS). Variabel waktu kontak dipilih untuk menangkap kecenderungan perubahan penyerapan ion logam seiring meningkatnya durasi interaksi. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi pengembangan adsorben berbasis limbah biomaterial sekaligus memberikan alternatif solusi pengolahan limbah bagi pelaku industri elektroplating.

Metode

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Subjek penelitian adalah adsorben tablet effervescent berbahan abu cangkang kerang darah, sedangkan objek penelitian adalah daya serap tablet effervescent terhadap ion logam Cu, Cr, dan Ni pada limbah cair elektroplating. Alat yang digunakan meliputi timbangan analitik, gelas ukur, beaker glass, labu ukur, erlenmeyer, pipet tetes, desikator, furnace, oven, ayakan, dan spektrofotometer. Bahan yang digunakan meliputi cangkang kerang darah, tanah liat, limbah cair elektroplating, asam sitrat, dan natrium bikarbonat. Proses pembuatan sampel tablet effervescent mengacu pada penelitian sebelumnya, sedangkan pengukuran Cu, Cr, dan Ni mengacu pada seri SNI 6989, yaitu SNI 6989.6:2009 untuk tembaga (Cu), SNI 6989.17:2009 untuk krom total (Cr-T), dan SNI 6989.18:2009 untuk nikel (Ni), dengan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) melalui pengukuran menggunakan AAS.

Pembuatan adsorben dilakukan melalui tahapan pembersihan cangkang kerang darah, pencucian, dan pengeringan di bawah sinar matahari, kemudian cangkang ditumbuk hingga ukuran lebih kecil. Proses pengabuan dilakukan menggunakan *muffle furnace* pada suhu $600^{\circ}C$ selama 6 jam hingga terbentuk abu. Abu didinginkan dalam desikator, kemudian diayak dengan ayakan 200 mesh (La Ifa et al., 2018). Tablet effervescent dibuat dari abu cangkang kerang darah dengan variasi massa 0,2; 0,4; dan 0,6 g, kemudian dicampurkan dengan 1 g asam sitrat dan 1 g natrium bikarbonat. Campuran dicetak dalam bentuk tablet dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu $105^{\circ}C$ selama 5 menit.

Karakterisasi tablet dilakukan melalui uji kadar air, kadar abu, dan kecepatan urai. Kadar air diuji dengan menimbang massa awal tablet, kemudian tablet dioven

pada suhu 105°C selama 1 jam hingga diperoleh massa konstan, selanjutnya dihitung persentase selisih massa tablet. Kadar abu diukur dengan mengabukan tablet pada suhu 600°C selama 2 jam, kemudian kadar abu ditentukan dari selisih massa cawan + isi sebelum dibakar dan sesudah diabukan dibandingkan dengan massa cawan kosong. Kecepatan urai tablet diuji dengan memasukkan tablet ke dalam akuades, kemudian dihitung waktu yang diperlukan hingga tablet melebur sempurna.

Pengujian adsorpsi dilakukan dengan menganalisis kadar awal ion logam (Cu, Cr, dan Ni) pada limbah cair elektroplating menggunakan instrumen AAS. Sebanyak 50 mL limbah cair dimasukkan ke dalam beaker glass 100 mL, dengan variasi massa yang digunakan 0,2 g, 0,4 g, dan 0,6 g mengacu pada Pridyanti et al. (2018). Satu tablet effervescent dimasukkan ke dalam beaker glass yang telah berisi limbah cair, kemudian proses adsorpsi dilakukan dengan variasi waktu kontak 30, 60, dan 90 menit sambil mengamati perubahan yang terjadi. Sampel limbah hasil adsorpsi disaring, kemudian dianalisis kembali kadar ion logamnya untuk menghitung persen ion logam yang teradsorpsi (Fitriani, 2015). Efektivitas adsorben (η) dihitung dengan persamaan $\eta = (A - B) \times 100\% / A$, dengan A sebagai parameter uji sebelum perlakuan dan B sebagai parameter uji setelah perlakuan.

Rencana analisis data dilakukan dengan membandingkan kadar ion logam dalam limbah cair sebelum dan sesudah perlakuan pada variasi waktu kontak untuk memperoleh persen ion terserap. Hasil perhitungan selanjutnya ditampilkan dalam grafik hubungan waktu kontak (x) dan ion logam terserap (y). Data terlebih dahulu ditelaah secara deskriptif untuk melihat kecenderungan dan kemungkinan anomali pengukuran. Untuk mengetahui signifikansi perubahan kadar ion logam dilakukan uji statistik menggunakan SPSS.

Hasil

Pembuatan adsorben diawali dengan mengumpulkan cangkang kerang darah (*Anadara granosa*), kemudian cangkang dibersihkan dengan air bersih dan dipanaskan di bawah terik matahari untuk mengurangi kadar air. Pengeringan dilakukan agar pada tahap pengayakan serbuk cangkang tidak menggumpal dan menempel pada saringan. Cangkang yang telah kering kemudian digerus hingga menjadi serbuk dan diayak menggunakan ayakan gantung berukuran 200 mesh untuk memperoleh luas permukaan yang lebih besar (Khan, 2016).

Gambar 1. Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa*).



Proses aktivasi dilakukan melalui kalsinasi serbuk cangkang menggunakan *muffle furnace* pada suhu 600°C selama 6 jam, kemudian abu didinginkan dalam desikator selama 30 menit dan diayak kembali dengan ayakan 200 mesh (La Iffa et al., 2018). Aktivasi fisika bertujuan menghilangkan kadar air yang masih terkandung dan

membuka pori-pori pada permukaan adsorben; pada penelitian serupa, serbuk cangkang kerang dapat diaktivasi secara fisika pada suhu 500°C selama 4 jam (Rahimawati et al., 2019). Pada proses aktivasi menggunakan *muffle furnace*, terjadi reaksi $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ (Jenti & Nurhayati, 2017), sehingga CaCO_3 pada kerang darah berubah menjadi CaO yang membawa sifat basa. Perubahan fisik terjadi karena selama aktivasi fisika berlangsung pelepasan CO_2 (Setiadji et al., 2017).

Gambar 2. Serbuk Cangkang Kerang Darah 200 mesh teraktivasi.



Tablet effervescent dibuat dari abu cangkang kerang darah dengan variasi massa 0,2; 0,4; dan 0,6 g, kemudian dicampurkan dengan 1 g asam sitrat dan 1 g natrium bikarbonat. Campuran dicetak dalam bentuk tablet dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 5 menit. Seluruh tablet disiapkan pada kondisi yang sama untuk menjaga konsistensi perlakuan antar variasi massa. Keberadaan asam sitrat dalam komposisi penyusun tablet effervescent memberikan kendala karena bersifat reaktif terhadap molekul air; kondisi kelembaban ruang yang tinggi dapat membuat tablet lebih mudah bereaksi pada udara terbuka.

Karakterisasi tablet meliputi kadar air, kadar abu, dan identifikasi gugus fungsi. Kadar air dihitung dari perbedaan massa sebelum dan sesudah pengovenan hingga massa konstan. Pengovenan dilakukan berulang sampai diperoleh massa konstan untuk menjaga ketelitian. Hasil pengukuran disajikan pada tabel berikut.

Tabel 1. Hasil uji kadar air tablet effervescent setelah pengovenan (105°C).

No	Berat cawan dan tablet sebelum di oven	Berat cawan dan tablet setelah oven
1	32,3	31,67
2	32,45	31,9
3	32,4	31,3
Rata-rata	32,38	31,62

Kadar air dihitung sebagai $32,38 / 31,62 \times 100\%$ dan diperoleh nilai 76%. Nilai ini menunjukkan bahwa tablet masih memiliki sisa kelembaban setelah proses pengeringan. Kondisi kelembaban dapat memengaruhi kestabilan tablet selama penyimpanan dan kemudahan tablet bereaksi pada udara terbuka. Oleh karena itu, suhu dan waktu pengovenan dijaga konsisten pada seluruh sampel.

Kadar abu ditentukan melalui pengabuan dan penimbangan massa cawan dan sampel. Perhitungan mengacu pada rumus Kadar Abu = $((W1 - W0) - (W2 - W0)) \times 100\% / (W1 - W0)$, dengan $W0$ sebagai berat cawan kosong, $W1$ sebagai berat cawan + isi, dan $W2$ sebagai berat cawan + isi setelah dikeringkan. Perhitungan ini digunakan untuk menggambarkan residu anorganik yang tersisa setelah pemanasan. Data penimbangan disajikan pada tabel berikut. Nilai kadar abu dipakai sebagai salah satu indikator karakter fisik adsorben.

Tabel 2. Data penimbangan untuk perhitungan kadar abu.

Berat cawan	Berat cangkang kerang (sebelum di furnace)	Berat cangkang kerang (setelah di furnace)	Berat cawan + cangkang (sebelum)	Berat cawan + cangkang (sesudah)
93,9405	100,0012	97,5401	193,9417	191,4806

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, kadar abu diperoleh sebesar 2,46%. Nilai ini menunjukkan fraksi residu anorganik yang tersisa setelah proses pengabuan. Informasi kadar abu digunakan untuk melengkapi karakterisasi bahan sebelum uji adsorpsi.

Identifikasi gugus fungsi dilakukan menggunakan FTIR. Pada adsorben cangkang kerang setelah diaktivasi suhu 600°C selama 6 jam, hasil FTIR menunjukkan adanya pita serapan pada bilangan gelombang 726–651 cm⁻¹ yang terdeteksi dan dikategorikan sebagai gugus kalsium karbonat (CaCO₃). Berdasarkan hasil tersebut, serbuk cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) dinyatakan memiliki gugus fungsi yang mendukung kemampuan adsorpsi logam berat. Pita serapan tersebut digunakan sebagai dasar identifikasi komponen utama adsorben pada tahap karakterisasi.

Gambar 3. Hasil uji FTIR sampel cangkang kerang darah (furnace).

(Tambahkan Gambar 3 di sini.)

Pengujian adsorpsi logam Cu, Cr, dan Ni dilakukan menggunakan larutan limbah elektroplating dari industri di wilayah Kotagede, Provinsi Yogyakarta. Pengujian konsentrasi dilakukan secara spektrofotometri menggunakan AAS dengan mengacu pada seri SNI 6989, yaitu SNI 6989.6:2009 (Cu), SNI 6989.17:2009 (Cr-T), dan SNI 6989.18:2009 (Ni), dengan metode Spektrofotometri Serapan Atom (SSA). Selama pengujian, parameter pH, suhu, dan waktu kelarutan juga dicatat untuk membantu interpretasi proses adsorpsi.

Tabel 3. Hasil uji AAS, parameter proses, dan persentase *removal* Cu, Cr, serta Ni pada variasi massa dan waktu kontak.

Kondisi	Waktu	Variasi Massa	Cu (ppm)	Cr (ppm)	Ni (ppm)	pH	Suhu	Kelarutan (t)	Removal Cu (%)	Removal Cr (%)	Removal Ni (%)
Tanpa Perlakuan (Kontrol)	-	-	10737550	0,0871	0,014	2,85	27	0	0	0	0
Perlakuan	30 menit	0,2	4297900	0,0622	-0,314	3,34	27	62,16	59,97	28,58	2267,58
Perlakuan	30 menit	0,4	4308400	0,0722	0,060	3,68	27	279,27	59,87	17,10	-317,24

Perlakuan	30 menit	0,6	4305720	0,0796	-0,057	4,08	27	544,05	59,90	8,61	499,31
Perlakuan	60 menit	0,2	4296060	-0,0026	0,330	3,5	27	276,91	59,99	102,98	-2177,24
Perlakuan	60 menit	0,4	4292560	0,0173	0,152	3,91	27	223,90	60,02	80,13	-952,41
Perlakuan	60 menit	0,6	4301620	0,0373	0,119	4,46	27	156,31	59,93	57,17	-725,51
Perlakuan	90 menit	0,2	4300580	0,0722	0,080	3,47	27	113,43	59,94	17,10	-453,79
Perlakuan	90 menit	0,4	4295840	0,0298	-0,025	3,88	27	104,95	59,99	65,78	272,41
Perlakuan	90 menit	0,6	4292760	0,0198	-0,031	4,25	27	184,13	60,12	77,26	317,24

Catatan Tabel 3: Satuan konsentrasi pada tabel dituliskan sesuai keluaran instrumen dan lembar kerja pengukuran. Nilai Cu pada kondisi kontrol (10737550) merupakan nilai sebelum pengenceran, sehingga interpretasi pada satuan ppm atau mg/L memerlukan informasi faktor pengenceran yang digunakan. Pada beberapa kondisi, terdapat nilai konsentrasi negatif dan persentase *removal* yang melebihi 100%; nilai tersebut disajikan apa adanya dan dapat dipengaruhi oleh koreksi blanko, batas deteksi instrumen, variasi pengenceran, atau kontaminasi sampel. Verifikasi melalui replikasi, kontrol blanko, dan pelaporan faktor pengenceran diperlukan agar perhitungan efektivitas lebih akurat. Istilah SSA pada judul standar SNI merujuk pada pengukuran menggunakan spektrofotometri serapan atom (AAS).

Data AAS menunjukkan konsentrasi awal logam Cu, Cr, dan Ni berturut-turut yaitu 10737550 (nilai hasil sebelum pengenceran), 0,0871, dan 0,014. Perubahan pH pada tiap larutan menunjukkan bahwa semakin bertambah massa abu cangkang maka nilai pH cenderung bergerak mendekati netral; hal ini dijelaskan melalui keterlibatan CO₃⁻ yang berikatan dengan unsur dalam larutan dan dapat mengarah pada suasana basa karena gugus ikatan C=O. Suhu tidak menunjukkan perubahan signifikan dan berlangsung pada kondisi kamar. Berdasarkan waktu kelarutan, hasil terbaik diperoleh pada konsentrasi massa abu cangkang terendah 0,2 g.

Efektivitas kemampuan daya serap adsorben menunjukkan kecenderungan bahwa semakin lama waktu kontak, ion akan terserap lebih banyak dibandingkan waktu kontak yang singkat. Efektivitas penyerapan Cu diperoleh pada variasi massa 0,6 dengan waktu kontak 90 menit. Pada ion logam Cr, nilai terbaik tercatat pada massa 0,2 g dengan durasi waktu penyerapan 90 menit. Pada penyerapan ion logam Ni, hasil belum konsisten dan dapat dipengaruhi oleh kemungkinan cemaran ion pada pelarut atau lingkungan penelitian. Secara umum, cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) berpotensi dimanfaatkan sebagai biosorben untuk menyerap ion Cu(II) karena mengandung kalsium dan gugus fungsional seperti -OH, C=O, dan NH₂ (Khan, 2016).

Diskusi

Hasil FTIR yang menunjukkan pita serapan pada 726–651 cm^{-1} menguatkan keberadaan komponen berbasis kalsium karbonat, yang pada proses kalsinasi dapat mengalami perubahan menuju bentuk oksida (CaO) dan berkontribusi pada sifat basa (Jenti & Nurhayati, 2017; Setiadji et al., 2017). Kecenderungan perubahan pH yang lebih tinggi pada massa abu yang lebih besar dapat dipahami sebagai konsekuensi meningkatnya kontribusi spesies berbasis kalsium dan karbonat pada sistem, sehingga kondisi larutan bergerak ke suasana yang lebih basa. Kondisi pH ini relevan karena dapat memengaruhi spesiasi ion logam dan interaksi permukaan antara adsorben dan adsorbat. Dengan demikian, karakter material berbasis kalsium perlu dipertimbangkan sebagai faktor yang memengaruhi kinerja adsorpsi.

Bentuk tablet effervescent berpotensi membantu proses dispersi adsorben dalam larutan karena reaksi asam sitrat dengan natrium bikarbonat menghasilkan CO_2 , sehingga tablet cepat terurai dan memperluas kontak antara permukaan adsorben dan larutan. Pada saat yang sama, sifat higroskopis atau reaktivitas asam sitrat terhadap kelembaban dapat menjadi sumber variasi proses, misalnya pada kestabilan tablet sebelum digunakan dan konsistensi laju urai, sehingga pengendalian kondisi penyimpanan menjadi penting untuk memperoleh hasil yang lebih reproduksibel. Standarisasi kondisi pencetakan dan penyimpanan diperlukan agar laju urai tablet lebih seragam antar ulangan. Pengendalian ini membantu mengurangi variasi yang tidak berasal dari perlakuan utama.

Pada data AAS, terdapat nilai konsentrasi negatif serta nilai *removal* yang melampaui 100% pada beberapa kondisi. Secara analitis, nilai negatif dan *removal* di atas 100% tidak sejalan dengan konsep penurunan konsentrasi yang berbasis selisih kadar sebelum dan sesudah perlakuan, sehingga sangat mungkin berkaitan dengan faktor prosedural dan instrumentasi, misalnya pengenceran, penggunaan blanko, kontaminasi pada pelarut atau alat, batas deteksi instrumen, atau ketidakterulangan pengukuran. Temuan ini konsisten dengan catatan perlunya penyaringan menggunakan kertas Whatman dan akuades untuk mencegah cemaran, serta perlunya verifikasi lanjutan terhadap kapasitas adsorpsi, termasuk replikasi, kontrol blanko, dan pelaporan konsentrasi pada satuan dan kondisi pengenceran yang konsisten. Langkah verifikasi ini penting agar perhitungan efektivitas tidak dipengaruhi oleh variasi blanko dan prosedur preparasi sampel.

Walaupun demikian, kecenderungan peningkatan efisiensi pada waktu kontak yang lebih lama dan pada variasi massa tertentu dapat dibaca sebagai indikasi bahwa proses adsorpsi berlangsung dan dipengaruhi oleh ketersediaan situs aktif serta durasi interaksi. Variasi respons antar ion (Cu, Cr, Ni) juga wajar karena perbedaan karakter ion, kondisi pH, dan kemungkinan kompetisi antar ion pada larutan limbah. Oleh karena itu, pengujian lanjutan dengan pengendalian variabel kunci seperti pH, waktu kontak, massa adsorben, serta prosedur preparasi sampel AAS diperlukan agar interpretasi hasil menjadi lebih kuat dan dapat dibandingkan dengan temuan penelitian terdahulu (Pridyanti et al., 2018; La Ifa et al., 2018). Temuan pada penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar penyempurnaan rancangan eksperimen pada tahap berikutnya.

Keterbatasan penelitian ini terletak pada pelaporan satuan dan faktor pengenceran data AAS yang belum dinyatakan secara eksplisit, sehingga interpretasi nilai konsentrasi dan perhitungan *removal* perlu kehati-hatian. Selain itu, belum dicantumkan informasi ulangan pengukuran dan kendali blanko secara rinci, padahal kedua aspek tersebut berpengaruh pada kemunculan nilai negatif dan *removal* di atas 100%. Variabel proses seperti pH awal limbah, pengadukan, serta kemungkinan kompetisi antar ion dalam limbah nyata juga belum dikendalikan secara ketat. Penelitian lanjutan disarankan menggunakan desain ulangan yang

memadai, pelaporan faktor pengenceran, serta prosedur QA/QC analitik untuk meningkatkan reproduktibilitas.

Simpulan

Dari kegiatan penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa karakteristik adsorben berbentuk tablet effervescent dari cangkang kerang darah memiliki pita serapan pada bilangan gelombang 726–651 cm^{-1} yang terdeteksi dan dikategorikan sebagai gugus kalsium karbonat, kadar air 76%, kadar abu 2,46%, serta kelarutan dalam air 62,16 detik. Semakin tinggi massa abu, kondisi pH larutan cenderung berada dalam suasana basa. Daya serap tablet effervescent terhadap ion logam dari limbah cair industri elektroplating untuk limbah Cu sebesar 60,12% pada durasi waktu penyerapan 90 menit dengan konsentrasi 12 g/L, sedangkan ion logam Cr sebesar 102,98% pada durasi waktu penyerapan 60 menit dengan konsentrasi 4 g/L, sementara penyerapan ion logam Ni masih tergolong kurang baik; sebagai tindak lanjut, perlu dilakukan penyaringan dengan kertas Whatman dan akuades untuk menghindari adanya cemaran ion logam dalam pelarut uji, serta perlu diketahui lebih lanjut mengenai kapasitas adsorpsi tablet effervescent terhadap ion logam dari limbah cair industri elektroplating.

Referensi

- Asleni, Itnawita, & Kartika, G. F. (2016). Potensi abu cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) dengan variasi waktu kalsinasi sebagai adsorben ion Cu^{2+} , Sn^{2+} , CN^- , dan NO_3^- . *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau*.
- Awang-Hazmi, A. J., Zuki, A. B. Z., Noordin, M. M., Jalila, A., & Norimah, Y. (2007). Mineral composition of the cockle (*Anadara granosa*) shells of West Coast of Peninsular Malaysia and its potential as biomaterial for use in bone repair. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 6(5), 591–594.
- Badan Standardisasi Nasional. (2009). *SNI 6989.6:2009: Air dan air limbah – Bagian 6: Cara uji tembaga (Cu) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – nyala*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2009). *SNI 6989.17:2009: Air dan air limbah – Bagian 17: Cara uji krom total (Cr-T) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – nyala*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2009). *SNI 6989.18:2009: Air dan air limbah – Bagian 18: Cara uji nikel (Ni) secara Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) – nyala*.
- Fitriani, I. N. (2015). *Uji keefektifan adsorben dari ampas tebu berbentuk effervescent untuk mereduksi ion logam krom dalam limbah cair industri batik* [Tugas akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember]. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hasrianti. (2012). *Adsorpsi ion Cd^{2+} dan Cr^{6+} pada limbah cair menggunakan kulit singkong* [Tesis, Universitas Hasanuddin]. Universitas Hasanuddin.
- Hayati, U. P., & Sawir, H. (2017). Pemanfaatan limbah kulit buah kakao sebagai adsorben untuk penyerapan ion logam kromium (VI) pada limbah elektroplating di Bukittinggi. *Jurnal Sains dan Teknologi: Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknologi Industri*, 17(1), 36–42.

- Hutauruk, L. S. (2018). *Kemampuan adsorpsi CaSiO₃-PEG dalam menurunkan kadar logam Cr dan Ni dari limbah elektroplating dengan metode kolom dan batch* [Skripsi, Universitas Sumatera Utara]. Universitas Sumatera Utara.
- Irmanto, I., & Suyata, S. (2009). Penurunan kadar amonia, nitrit, dan nitrat limbah cair industri tahu menggunakan arang aktif dari ampas kopi. *Molekul*, 4(2), 105–114. <https://doi.org/10.20884/1.jm.2009.4.2.68>
- Jenti, U. B., & Nurhayati, I. (2017). Pengaruh penggunaan media filtrasi terhadap kualitas air sumur gali di Kelurahan Tambak Rejo Wani Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Teknik Waktu*, 12(2), 34–38.
- Khan, A. A. A. (2016). *Efektivitas pemanfaatan limbah cangkang kerang darah (Anadara granosa) sebagai media adsorben logam Cu(II)* [Disertasi doktor, Universitas Islam Indonesia]. Universitas Islam Indonesia.
- La Ifa, Akbar, M., Ramli, A. F., & Wiyani, L. (2018). Pemanfaatan cangkang kerang dan cangkang kepiting sebagai adsorben logam Cu, Pb dan Zn pada limbah industri pertambangan emas. *Journal of Chemical Process Engineering*, 3(1), 33–37.
- Lelifajri. (2010). *Adsorpsi ion logam Cu(II) menggunakan lignin dari limbah serbuk kayu gergaji Banda Aceh* [Skripsi, Universitas Syiah Kuala]. Universitas Syiah Kuala.
- Maryam, S. (2014). *Pengaruh serbuk cangkang kerang sebagai filter terhadap sifat-sifat mortar* [Skripsi, Universitas Sumatera Utara]. Universitas Sumatera Utara.
- Menteri Negara Lingkungan Hidup. (1995, 23 Oktober). *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor KEP-51/MENLH/10/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri*.
- Mohamed, M., Yusup, S., & Maitra, S. (2012). Decomposition study of calcium carbonate in cockle shell. *Journal of Engineering Science and Technology*, 7(1), 1–10.
- Nurhasni, Salimin, Z., & Nurifitriyani, I. (2013). Pengolahan limbah industri elektroplating dengan proses koagulasi flokulasi. *Jurnal Kimia Valensi*, 3(1), 41–47. <https://doi.org/10.15408/jkv.v3i1.328>
- Pratiwi, Y., Sunarsih, S., & Dewi, K. P. (2019). Pengolahan limbah cair industri elektroplating dengan fitoremediasi menggunakan *Azolla microphylla*. *Jurnal Teknologi*, 12(1), 54–62.
- Pridyanti, D. D., Moelyaningrum, A. D., & Ningrum, P. T. (2018). Pemanfaatan limbah cangkang kupang (*Corbula faba*) teraktivasi termal sebagai adsorben logam kromium (Cr⁶⁺) pada limbah cair batik. *Hibualamo: Seri Ilmu-Ilmu Alam dan Kesehatan*, 2(2), 78–83.
- Rahimawati, R., Nurhasanah, N., & Nurhanisa, M. (2019). Pengaruh penambahan massa cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) teraktivasi pada peningkatan kualitas air sumur bor. *Prisma Fisika*, 7(3), 312–318.
- Setiadji, S., Nila, T. B., Tety, S., Eko, P. H., & Bebeh, W. N. (2017). Alternatif pembuatan biodisel melalui transesterifikasi minyak castor (*Ricinus communis*)

menggunakan katalis campuran cangkang telur ayam dan kaolin. *Jurnal Kimia Valensi*, 3(1), 1–10.

Surest, A. H., Wardani, A. R., & Fransiska, R. (2012). Pemanfaatan limbah kulit kerang untuk menaikkan pH pada proses pengelolaan air rawa menjadi air bersih. *Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya*, 3(18), 10–15.

World Bank Group. (1998). *Summary of air emission and effluent discharge requirements presented in the industry guidelines* (Effective July 1998). In *Pollution Prevention and Abatement Handbook*. International Finance Corporation.

Zakaria, A., Rohaeti, E., Batubara, I., Sutisna, & Purwamargapratala, Y. (2012, 3 Oktober). Adsorpsi Cu(II) menggunakan zeolit sintetis dari abu terbang batubara. Dalam *Prosiding Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan 2012* (Serpong, Indonesia).