

Pengaruh PH Terhadap Kapasitas Efisiensi Penyisihan Komposit Adsorben untuk Pengolahan Limbah Industri Penyamakan Kulit

Aulia Diva Satriavi¹, Denny Dermawan^{1*}, Novi Eka Mayangsari¹

¹Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

*E-mail: denny.dermawan@ppns.ac.id

Abstrak

Logam kromium heksavalen (Cr(VI)) merupakan salah satu polutan berbahaya yang sering ditemukan dalam air limbah industri, terutama dari industri penyamakan kulit. Cr(VI) sangat toksik dan karsinogenik, bahkan pada konsentrasi rendah, serta dapat menyebabkan kerusakan lingkungan dan membahayakan kesehatan manusia. Salah satu metode yang efektif dan ekonomis untuk menghilangkan Cr(VI) dari air limbah adalah melalui proses adsorpsi. Biochar dari ampas tebu dan *nano zero-valent iron* (nZVI) merupakan kombinasi adsorben yang menunjukkan potensi besar dalam menghilangkan Cr(VI) dari air limbah. Ampas tebu, dengan kandungan lignin tinggi sebesar 25-28%, berpotensi menjadi biochar bermutu tinggi. *Nano zero valent iron* (nZVI) memiliki magnetisasi tinggi sehingga efektif dalam mengikat logam berat. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kemampuan komposit biochar-nZVI sebagai adsorben untuk menghilangkan logam Cr(VI). Ampas tebu diubah menjadi biochar melalui metode pirolisis plasma dan dikompositkan dengan nZVI. Adsorpsi diuji secara *batch* dengan variasi konsentrasi awal Cr(VI), waktu kontak, pH, dan dosis adsorben. Adsorpsi optimum terjadi pada konsentrasi awal Cr(VI) 175 mg/L, waktu kontak 180 menit, dan massa adsorben 1 g/L pada pH 2, dengan kapasitas adsorpsi maksimum sebesar 118.09 mg/g.

Keywords: pH, Komposit, Adsorpsi, Kapasitas, Industri Penyamakan Kulit

1. PENDAHULUAN

Kromium heksavalen (Cr(VI)) adalah salah satu logam berat yang paling berbahaya bagi lingkungan. Cr(VI) dapat terakumulasi di tanah dan air limbah, serta berpotensi menimbulkan dampak buruk bagi kesehatan manusia dan lingkungan (Fu et al., 2015). Limbah Cr(VI) masih menjadi masalah utama dalam industri penyamakan kulit. Sebagaimana diklaim oleh beberapa studi (El-Gawad, 2023; Lei et al., 2023; Ullah et al., 2013), penggunaan garam kromium dalam proses penyamakan kulit menyumbang sekitar 90% dari produksi kulit secara global. Industri ini menghasilkan air limbah yang mengandung kromium dengan konsentrasi mencapai 49 mg/L (Oktiawan et al., 2009).

Penerapan teknologi adsorpsi dalam pengendalian dan penanggulangan pencemaran logam berat telah diakui sebagai solusi yang efektif karena sifatnya yang mudah dioperasikan, efisiensi tinggi, serta biaya perawatan yang rendah. Adsorpsi adalah proses di mana substansi terlarut dalam larutan digumpalkan oleh permukaan zat penyerap, di mana terjadi interaksi kimia-fisika antara substansi tersebut dengan penyerapnya (Leng et al., 2021). *Nano Zero Valent Iron* (nZVI) merupakan partikel yang digunakan untuk mengolah polutan dalam air tanah dan memfasilitasi remediasi lingkungan. Namun, nZVI memiliki kelemahan, yaitu kecenderungan untuk saling menarik dan membentuk aglomerat yang lebih besar, sehingga mengurangi luas permukaan spesifik dan efisiensinya (Shan et al., 2021).

Salah satu solusi untuk mengatasi kelemahan nZVI adalah dengan menstabilkannya menggunakan material yang dapat mengurangi aglomerasi partikel. Material karbon, seperti biochar, telah terbukti meningkatkan stabilitas dan kinerja degradasi nZVI terhadap berbagai polutan (Xue et al., 2023). Biochar yang dihasilkan dari ampas tebu melalui metode pirolisis plasma merupakan salah satu pilihan yang menjanjikan.

Berdasarkan latar belakang ini, penelitian mengenai pemanfaatan limbah ampas tebu (*Saccharum officinarum L.*) yang dikompositkan dengan nZVI sebagai adsorben logam berat, khususnya Cr(VI), sangat diperlukan. Penelitian ini akan mempertimbangkan faktor-faktor seperti pH larutan, konsentrasi Cr(VI), waktu kontak, serta massa adsorben. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas adsorpsi Cr(VI) menggunakan komposit biochar ampas tebu yang disintesis dengan nZVI.

2. METODE

2.1 Ampas Tebu

Ampas tebu adalah sisa padat dari industri gula tebu yang tersusun dari serat-serat lignin, selulosa dan hemiselulosa yang didapat dari ekstraksi tanaman tebu. Menurut analisis kimia, komposisi kimia ampas tebu rata-rata adalah, abu 3,28 %, lignin 22,09 %, selulosa 37,65 %, sari 1,81 %, pentosan 27,97 % dan SiO₂ 3,01

% (Setiati, 2016). Dari hal tersebut ampas tebu sangat berpotensi untuk dijadikan bahan pembuatan media filter aktif dengan cara karbonasi dan aktivasi dikarenakan ampas tebu memiliki biomassa lignoselulosa yang memiliki kadar karbon tinggi (Nurbaeti et al., 2018).

2.2 Biochar

Biochar merupakan suatu padatan yang berpori mengandung karbon sebanyak 85– 95%. Biochar dapat digunakan sebagai adsorben (penyerap). Daya serap biochar ditentukan oleh luas permukaan partikel dan kemampuan penyerapan dapat digunakan lebih tinggi apabila arang hayati tersebut dilakukan aktivasi dengan bahan-bahan kimia dan dengan pembakaran pada temperatur tinggi (Syafitra, 2020).

2.3 Nano Zero Valent Iron (nZVI)

Nano zero-valent iron (nZVI) partikel besi dengan valensi nol yang memiliki ukuran partikel yang sangat kecil dan luas permukaan yang cukup besar, sehingga dapat berinteraksi dengan banyak jenis zat melalui reaksi kimia seperti reduksi, oksidasi dan adsorpsi, baik dengan logam berat, anorganik maupun organik (Sivasuriyan dkk., 2023).

2.4 Komposit

Zat komposit diproduksi melalui kombinasi banyak komponen dengan karakteristik berbeda, mereka tidak larut atau bercampur bersama. Sifat karakteristik komposit ini adalah sebagai hasil dari sifat individu dari bagian-bagian penyusunnya dan fraksi volume masing-masing dan pengaturan dalam sistem material. Tergantung pada aplikasi yang dimaksudkan, komposit dapat dirancang untuk memenuhi persyaratan geometris, struktural, mekanik, kimia, dan terkadang estetika tertentu (Egbo, 2021).

2.5 Pembuatan Larutan Induk Logam Berat Cr(VI)

Larutan induk Cr(VI) 200 mg/L dibuat dengan melarutkan 2,828 gram $K_2Cr_2O_7$ pada 1000 mL aquadest. Selanjutnya larutan induk akan diencerkan sesuai konsentrasi yang dikehendaki.

2.6 Kurva Kalibrasi

Kurva kalibrasi Cr(VI) dibuat 10 titik yaitu 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 dan 1.0 mg/L. Kemudian, pengukuran dilakukan menggunakan Spektrofotometri UV-Vis pada panjang gelombang 530 nm. Kurva kalibrasi merupakan grafik yang menghubungkan antara konsentrasi larutan dan nilai absorbansi. Linieritas suatu kurva dikatakan memenuhi persyaratan apabila nilai koefisien korelasi (r) yang diperoleh mendekati 1. Nilai r yang mendekati 1 menandakan adanya hubungan linier antara konsentrasi analit dengan absorbansi yang terukur (Chakti, dkk, 2019).

2.7 Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses di mana zat yang disebut adsorbat terkonsentrasi pada zat padat yang disebut adsorben di antarmuka dua fase. Adsorben adalah bahan padat yang dapat menangkap molekul tertentu dari fase fluida (Rahman, 2022). Adsorpsi terjadi ketika molekul menempel pada permukaan bahan padat karena adanya gaya antara fase padat dan cair. Adsorpsi juga merupakan metode untuk menghilangkan polutan dengan konsentrasi rendah dari volume besar air limbah atau air larutan (Delaroza, 2018).

2.8 Uji Statistika

Terdapat 2 metode pengujian statistika yang dilakukan yaitu uji normalitas dan uji MANOVA. jenis uji normalitas yang dilakukan adalah metode *Kolmogrov Smirnov*. Uji MANOVA atau *Multivariate Analysis of Variance* adalah salah satu teknik statistika yang digunakan untuk menghitung pengujian signifikansi perbedaan rata-rata secara bersamaan antara kelompok untuk dua atau lebih variabel terikat (Sutrisno & Wulandari, 2018).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Pengaruh pH larutan terhadap Proses Adsorpsi Logam Cr(VI)

Penentuan pH optimum dalam penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh derajat keasaman terhadap proses adsorpsi logam Cr(VI) menggunakan adsorben komposit biochar ampas tebu dan nano Zero Valent Iron (nZVI). Dalam eksperimen ini, variasi pH larutan logam Cr(VI) yang digunakan mencakup pH 2, 4, 6, 8, 10, dan 12. Pengaruh pH terhadap penyerapan logam Cr(VI) dianalisis dengan menambahkan 0,05 g adsorben ke dalam 50 mL larutan $K_2Cr_2O_7$ berkonsentrasi 175 ppm, yang pH-nya telah diatur sesuai dengan variasi yang ditentukan. Larutan ini kemudian diaduk selama 180 menit untuk memastikan kontak yang optimal antara adsorben dan larutan logam.

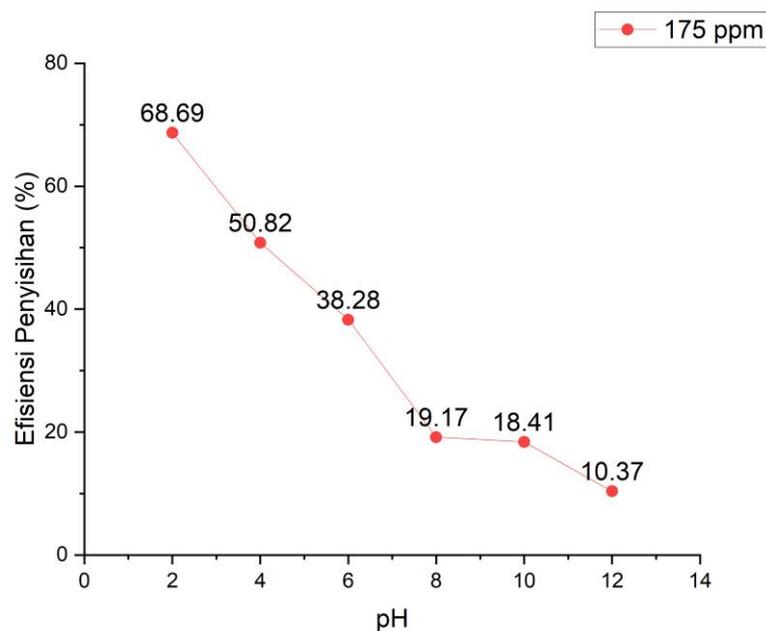
Pengaruh kondisi pH terhadap penyerapan logam Cr(VI) dianalisis melalui hasil uji konsentrasi akhir logam berat Cr(VI). Hasil pengujian menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan logam Cr(VI) mengalami penurunan

seiring dengan meningkatnya kadar basa larutan. Pada pH 2, perhitungan efisiensi penyisihan logam Cr(VI) menghasilkan nilai tertinggi, yaitu sebesar 68.69% dengan kapasitas adsorpsi sebesar 118.09 mg/g. Sebaliknya, peningkatan pH mengakibatkan penurunan efisiensi penyisihan, dengan nilai efisiensi pada pH 12 hanya mencapai 10.37% dan kapasitas adsorpsi sebesar 17.82 mg/g, menunjukkan penurunan efisiensi hingga 6.6 kali lipat. Berdasarkan hasil ini, dapat disimpulkan bahwa kondisi pH optimum untuk adsorpsi logam Cr(VI) menggunakan adsorben komposit berada pada kondisi asam, yaitu pada pH 2 (Shan et al., 2021).

Perbedaan kemampuan adsorpsi pada berbagai kondisi pH tentu memiliki alasan yang mendasarinya. Permukaan adsorben yang digunakan dalam penelitian ini mengandung gugus fungsional Fe-OH yang berlimpah, yang dapat berinteraksi dengan ion H^+ dari medium. Interaksi ini menyebabkan permukaan partikel menjadi bermuatan positif dan terprotonasi, yang pada gilirannya memungkinkan terbentuknya interaksi elektrostatik dengan anion kromium yang terdapat dalam larutan berair (Zeng et al., 2021).

Ketika pH larutan meningkat, permukaan partikel komposit biochar ampas tebu-nZVI mengalami deprotonasi, sehingga meningkatkan muatan negatif pada permukaan. Selain itu, peningkatan konsentrasi ion OH^- dalam larutan berair juga terjadi. Kombinasi faktor-faktor ini menghasilkan tolakan elektrostatik dan kompetisi adsorpsi dengan anion kromium, yang mengakibatkan penurunan kapasitas adsorpsi (Shi et al., 2022).

Dalam kondisi asam kuat, seperti pada pH 2, Cr(VI) berpotensi mengalami reduksi menjadi Cr(III). Sebaliknya, pada pH tinggi, larutan mengandung Cr(III) yang dapat bergabung dengan OH^- pada konsentrasi yang sangat rendah, menghasilkan endapan $Cr(OH)_3$ (Wen et al., 2022). Proses-proses ini dapat mempengaruhi studi mekanisme adsorpsi secara keseluruhan. Berdasarkan keadaan pH larutan dan kemampuan adsorben komposit biochar ampas tebu dan nZVI, pH optimal untuk proses adsorpsi ini berada pada pH 2.



Grafik 1. Pengaruh pH terhadap Efisiensi Penyisihan



Gambar 1 Perbandingan Hasil Adsorpsi dari pH Asam ke Basa

3.2 Analisis Uji Statistika

Analisis uji statistika dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari variasi yang digunakan yaitu waktu kontak dan konsentrasi larutan, pH dan massa adsorben. Uji yang dilakukan adalah uji normalitas dengan metode Kolmogorov Smirnov dengan nilai signifikan yang diperoleh $< 0,05$. Selanjutnya, uji MANOVA diperoleh nilai signifikan $< 0,05$ sehingga variasi waktu kontak dan konsentrasi larutan, pH dan massa adsorben memberikan pengaruh penyisihan logam berat Cr(VI).

4. KESIMPULAN

Variasi waktu kontak, konsentrasi larutan, pH, dan massa adsorben berpengaruh signifikan terhadap efisiensi penyisihan logam berat Cr(VI). Pada kondisi konsentrasi Cr(VI) sebesar 175 mg/L dengan waktu kontak selama 180 menit, pH 2 menunjukkan efisiensi penyisihan tertinggi dibandingkan dengan pH lainnya. Pada pH 2, efisiensi penyisihan mencapai 68.69%, dengan kapasitas adsorpsi sebesar 118.09 mg/g. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa komposit biochar ampas tebu dan nZVI berpotensi digunakan sebagai adsorben alternatif untuk meremoval logam berat Cr(VI).

5. DAFTAR PUSTAKA

- Chakti, A. S., Eva, S. S., Rani, D. P., (2019). Analisis Merkuri Dan Hidrokuinon Pada Krim Pemutih Yang Beredar Di Jayapura. *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 8(1).
- Delarozza, R. 2018. Adsorpsi Logam Berat Menggunakan Adsorben Alami pada Air Limbah Industri. <https://doi.org/DOI:10.31227/osf.io/jw76n>
- Egbo, M.K. (2021) 'A Fundamental Review On Composite Materials And Some Of Their Applications In Biomedical Engineering', *Journal Of King Saud University - Engineering Sciences*. King Saud University, Pp. 557–568. Available At: <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2020.07.007>
- El-Gawad, H.A. Et Al. (2023) 'Chromium Disarmament From Veritable Tanneries Sewer Water Utilizing Carbonic Rice Straw As A Sorbent: Optimization And Carbonic Rice Straw Characteristics', *Water, Air, And Soil Pollution*, 234(10). Available At: <https://doi.org/10.1007/S11270-023-06644-7>.
- Fu, R. Et Al. (2015) 'The Removal Of Chromium (Vi) And Lead (Ii) From Groundwater Using Sepiolite-Supported Nanoscale Zero-Valent Iron (S-Nzvi)', *Chemosphere*, 138, Pp. 726–734. Available At: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.07.051>.
- Lei, B. Et Al. (2023) 'One-Step Removal Of Hexavalent Chromium In Wide Ph Range Using Thiourea Dioxide: The Role Of Reactive Species', *Rsc Advances*, 13(16), Pp. 10693–10702. Available At: <https://doi.org/10.1039/D3ra00520h>.
- Leng, L. Et Al. (2021) 'An Overview On Engineering The Surface Area And Porosity Of Biochar', *Science Of The Total Environment*. Elsevier B.V. Available At: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144204>.
- Nurbaeti, L., Prasetya, A. T., & Kusumastuti, E. 2018. Arang Ampas Tebu (Bagasse) Teraktivasi Asam Klorida sebagai Penurun Kadar Ion H₂PO₄. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(2)
- Syafitra, Dinda., Yusuf, Tefan Gilang Maulana., Utami, Lucky Indrati., Wahyusi, Kindriari Nurma. 2020. Pemanfaatan Biochar Dari Sabut Siwalan Sebagai Adsorben Larutan Cu. *Chempro Journal*. 1(2). 1-7.
- Sivasuriyan, Krithika Shree., Namasiviyam, Karthick Raja., Pandian, Arjun. 2023. Sustainable Developmental Measures for The Treatment of Pharmaceutical Industry Effluent Using Nano Zero Valent Iron Technology (Nzvi) – A Review. *Journal of Water Process Engineering*. 56. 1-14
- Oktiawan, Dan W. Et Al. (2009) Pengurangan Chrom (Cr) Dalam Limbah Cair Industri Kulit Pada Proses Tannery Menggunakan Senyawa Alkali Ca(OH)₂, Naoh Dan Nahco₃ (Studi Kasus Pt. Trimulyo Kencana Mas Semarang), Cr) Dalam Limbah Cair Industri Kulit
- Rahman, T., Muis, L., & Suryadri, H. 2022. Pengaruh Berat Unggun terhadap Efisiensi dan Kapasitas Adsorpsi Zat Warna Rhodamin B dengan Sistem Kontinyu. *Jurnal Engineering*, 4(1), 32-38.
- Shan, A. Et Al. (2021) 'Synthesis Of Nzvi-Ni@Bc Composite As A Stable Catalyst To Activate Persulfate: Trichloroethylene Degradation And Insight Mechanism', *Journal Of Environmental Chemical Engineering*, 9(1). Available At: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104808>
- Soedarti, T., Surtiningsih, T., & Oktavetri, N. I. (2018). Bioremediasi Logam Berat Dan Campurannya Oleh Diatom Laut *Skeletonema Sp.*
- Ullah, I. Et Al. (2013) 'Biosorption Of Chromium Onto Native And Immobilized Sugarcane Bagasse Waste Biomasa', *Ecological Engineering*, 60, Pp. 99–107. Available At: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.028>.
- Xue, Y. Et Al. (2023) 'A Walnut Shell Biochar-Nano Zero-Valent Iron Composite Membrane For The Degradation Of Carbamazepine Via Persulfate Activation', *Science Of The Total Environment*, 899. Available At: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165535>