

Uji Efektivitas Resin Penukar Ion Amberlite untuk Penurunan TDS, Angka Permanganat, dan Kadar Warna Air Sungai Bengawan Solo

Alimatum Nashira^{1*}), Lutvia Yuniar Anggraeni¹⁾, Nadhev Fadil Muhammad¹⁾, Neyza Arafahira¹⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Sukoharjo, Indonesia

*Korespondensi: alimatum.nashira@ums.ac.id

Abstrak

Meski sering dilaporkan sebagai sangat tercemar, air dari Sungai Bengawan Solo banyak digunakan untuk irigasi, pertanian, industri, sanitasi, bahkan sebagai bahan baku air minum. Untuk menjamin keamanan dan kesehatan konsumen, beberapa parameter kualitas air seperti COD, TDS, dan warna telah ditetapkan oleh pemerintah Indonesia. Kualitas air dapat ditingkatkan setelah melalui serangkaian proses pengolahan, salah satunya dengan resin penukar ion. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari efektivitas Amberlite, salah satu resin yang paling banyak tersedia, dalam mengolah air Sungai Bengawan Solo. Sampel awal air sungai yang diambil di Surakarta menunjukkan bahwa air tersebut tidak memenuhi syarat untuk keperluan sanitasi dengan nilai TDS 2352 mg/L, kadar warna 84 TCU, angka permanganat 157,6 mg/L, dan pH 5,14. Pengolahan menggunakan resin penukar kation Amberlite HPR 1100 Na menurunkan angka permanganat, TDS, dan kadar warna berturut-turut hingga 21,02%; 34,01%; dan 76,19%, sementara resin penukar anion Amberlite HPR 4800 Cl penurunannya mencapai 10,15%; 32,14% dan 86,9%. Penggunaan resin penukar kation yang diikuti dengan resin penukar anion sedikit meningkatkan efektivitasnya, dengan tingkat penghilangan angka permanganat, TDS, dan kadar warna masing-masing sebesar 25,38%; 38,27%; and 92,86%. Setiap perlakuan tidak mengubah pH secara signifikan, sedangkan perubahan konduktivitas listrik bervariasi. Untuk memperoleh penghilangan polutan yang optimum, resin harus diregenerasi dengan HCl 1,5 N untuk resin kation dan NaOH 1,5 N untuk resin anion. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa resin penukar ion Amberlite efektif hanya untuk pengolahan air tersier, terutama dalam penghilangan warna.

Kata kunci: Amberlite, Bengawan Solo, pertukaran ion, TDS, pengolahan air

Abstract

Despite often being reported as highly polluted, water from the Bengawan Solo River is widely used for irrigation, farming, industry, sanitation, and even as feedstock for drinking water. To ensure the safety and health of the consumer, several parameters for water quality, such as COD, TDS, and color, have been set by the Indonesian government. The quality of the water can be upgraded after a series of treatments, one of which is by ion exchange resin. This research aims to study the effectiveness of Amberlite, one of the most commonly available resins, to treat water from the Bengawan Solo River. The initial river water sample taken in Surakarta shows that it did not qualify for sanitation purposes with TDS 2352 mg/L; color 84 TCU; permanganate number 157,6 mg/L; and pH 5,14. Treatment by cation exchange resin Amberlite HPR 1100 Na decreased the permanganate number, TDS, and color up to 21,02%; 34,01%; and 76,19% respectively, while by anion exchange resin Amberlite HPR 4800 Cl the decreases were up to 10,15%; 32,14% and 86,9%. Using cation exchange followed by anion exchange resin improves the effectiveness slightly, the removal rate of permanganate number, TDS, and color was 25,38%; 38,27%; and 92,86%. Each treatment did not change the pH significantly, while the electrical conductivity change was varied. To get the optimum pollutant removal, the resin had to be treated by HCl 1,5 N for cation resin and by NaOH 1,5 N for anion resin. The results show that Amberlite ion exchange resin was effective only for tertiary water treatment, especially for color removal.

Keywords: Amberlite, Bengawan Solo, ion exchange, TDS, water treatment

1. PENDAHULUAN

Bengawan Solo adalah salah satu sungai terpanjang di Pulau Jawa yang mengalir sepanjang 600 km melintasi dua provinsi yaitu Jawa Tengah dan Jawa Timur. Sungai ini banyak

dimanfaatkan oleh masyarakat dimana bagian hulu sungai Bengawan Solo umumnya diutilisasi untuk irigasi pertanian, bagian tengah dimanfaatkan oleh kegiatan industri, sementara pada bagian hilir marak dengan tambak ikan (Utomo *et al.*, 2006). Banyaknya aktivitas yang memanfaatkan sungai Bengawan Solo mengakibatkan kualitas air sungai ini cenderung mengalami penurunan setiap tahunnya. Menurut Kepala Badan Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Tengah, pencemar sungai Bengawan Solo sekitar 80% berasal dari limbah domestik dan 20% sisanya berasal dari limbah industri dan pertanian (Ermawati, 2014). Kendati demikian, air sungai Bengawan Solo masih digunakan untuk keperluan berenang, mandi, dan mencuci, bahkan untuk menyuplai PDAM. PDAM kota Surakarta masih menginginkan penggunaan air Sungai Bengawan Solo untuk diolah menjadi air minum, meski penggunaan akan dihentikan ketika kualitas air terpantau mengalami penurunan signifikan sehingga pengolahan tidak memadai (Prakoso, 2023).

Untuk memantau kualitas air dalam suatu perairan, termasuk sungai, dapat dilakukan analisis dengan parameter secara fisika maupun kimia. Setelah analisis kualitas air dilakukan maka akan dapat diketahui mutu air di perairan tersebut. Dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, klasifikasi mutu air dibagi menjadi empat kelas sebagaimana tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi mutu air sungai

Kelas Baku Mutu Air	Penggunaan
Kelas I	Dapat menjadi air minum tanpa pengolahan
Kelas II	Dapat menjadi air baku air minum
Kelas III	Untuk peternakan, perikanan
Kelas IV	Untuk pertanian dan usaha di perkotaan

Kualitas air sungai dapat ditingkatkan hingga menjadi sanitasi maupun air minum melalui serangkaian pengolahan yang biasanya diklasifikasikan menjadi pengolahan primer, sekunder, dan tersier untuk memperbaiki parameter fisika dan kimia. Koagulasi-flokulasi dan sedimentasi termasuk dalam pengolahan primer, sedangkan reaksi kimia baik aerob maupun anaerob termasuk dalam pengolahan sekunder. Adapun pengolahan tersier menghilangkan sisa-sisa nutrient dan partikel polutan sesuai dengan kebutuhan (Silva, 2023). Pertukaran ion adalah salah satu metode pengolahan tersier yang memiliki keunggulan karena dapat diregenerasi, bekerja lebih cepat dibandingkan adsorben, tahan lama, tidak mudah rusak oleh tekanan atau pengaruh asam-basa, serta memiliki kapasitas pertukaran yang tinggi (Partuti, 2014). Resin

penukar ion sering digunakan sebagai pengolahan terakhir bagi air demineralisasi dengan bekerja menurunkan nilai TDS menjadi nol (Sutopo, 2019).

Beberapa studi telah melakukan penelitian terkait penggunaan resin penukar ion untuk pengolahan air atau air limbah. Partuti menemukan bahwa resin kation asam kuat 70-90% efektif untuk menurunkan *Total Dissolved Solid* (TDS) limbah air terproduksi (Partuti, 2014). Sani dkk. meneliti penggunaan resin penukar anion untuk penurunan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) limbah industri rumput laut, yang dapat mencapai penurunan 50% (Sani *et al.*, 2019). Wahid dkk. menggunakan resin Amberlite IR120 Na untuk menurunkan kadar kromium limbah batik (Wahid *et al.*, 2022). Hingga tulisan ini dibuat, belum ada publikasi yang mempelajari efektivitas resin penukar kation Amberlite HPR 1100 Na dan resin penukar anion Amberlite HPR 4800 Cl dalam mengolah air sungai. Selain itu, pengaruh dari *pre-treatment* resin tersebut juga belum dibahas. Oleh karena itu, dilakukan studi pengujian efektivitas kedua resin tersebut dengan berbagai variasi *pre-treatment* dalam menurunkan angka permanganate (COD_{Mn}), TDS, dan kadar warna pada air sungai Bengawan Solo di daerah Surakarta.

2. METODOLOGI PENELITIAN

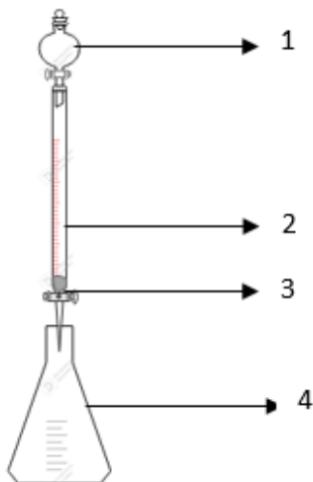
Sampel dari penelitian ini adalah air sungai Bengawan Solo yang diambil di Pucangsawit, Kecamatan Jebres, kota Surakarta. Sampel tersebut diambil pada tanggal 15 September 2023 menggunakan gayung dan disimpan di jerigen plastik. Bahan utama pada penelitian ini adalah resin penukar kation Amberlite HPR 1100 Na dan resin penukar anion Amberlite HPR 4800 Cl. Bahan lainnya adalah aqua dm, larutan HCl, larutan NaOH, dan kertas saring. Sampel air sungai disaring dengan bantuan pompa vakum (metode Buchner) untuk menghilangkan padatan tersuspensi. Filtrat hasil penyaringan ditampung dan diukur pHnya kemudian digunakan sebagai umpan dalam proses pertukaran ion.

2.1. *Pre-Treatment* Resin

Resin ditimbang dengan neraca analitik sebanyak 60 gram. Resin tersebut direndam selama 1 jam dalam larutan *pre-treatment*, kemudian dibilas dengan 200 ml aquades. Larutan *pre-treatment* untuk resin kation adalah HCl dengan konsentrasi 0,5 N; 1,0 N; dan 1,5 N. Sedangkan larutan *pre-treatment* untuk resin anion adalah NaOH dengan konsentrasi 1,5 N. Sebagai pembanding, dilakukan *pre-treatment* dengan menggunakan aqua dm sebagai konsentrasi larutan 0 N.

2.2. Proses Pertukaran Ion

Resin yang sudah di-*treatment* dimasukkan ke dalam kolom dengan diameter 30 mm. Bagian bawah kolom diberi kapas. Dilakukan pembilasan dengan aqua dm sambil dilakukan pengaturan bukaan keran hingga mencapai kecepatan aliran yang stabil sebesar 12 ml/menit. Setelah pembilasan dan pengaturan bukaan keran selesai, sebanyak 500 ml sampel air sungai yang sudah disaring dilewatkan melalui resin. Air yang keluar dari resin ditampung dalam labu Erlenmeyer dan diukur pHnya. Skema rangkaian peralatan yang digunakan dalam percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema rangkaian peralatan dalam percobaan: 1) penampung sampel air, 2) kolom berisi resin, 3) kapas, 4) penampung air olahan

2.3. Pengujian Parameter

Dilakukan pengukuran parameter angka permanganat, TDS, dan warna terhadap air hasil keluaran resin dan air sampel awal. Angka permanganat atau sering disebut dengan COD_{Mn} diukur dengan metode SNI 06-6989.22-2004. TDS diukur dengan metode gravimetri sesuai SNI 6989.27:2019. Sementara warna diukur dengan metode SNI 06-6989.80-2011 dengan satuan *True Color Unit* (TCU).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel air sungai Bengawan Solo yang diteliti memiliki nilai parameter angka permanganat, TDS, warna, dan pH sebagaimana tersaji dalam Tabel 2. Nilai COD_{Mn} dari air sungai ini melebihi ambang batas perairan kelas IV (100 mg/l) yang artinya air sungai Bengawan Solo di titik tersebut bahkan sudah tidak layak untuk menjadi sumber air irigasi maupun usaha di perkotaan. Adapun nilai parameter warna dan TDS tidak menjadi parameter untuk penggolongan kelas perairan, namun ada kriteria yang harus dipenuhi untuk menjadi air sanitasi seperti keperluan mandi dan mencuci. Berdasarkan Permenkes no. 492 tahun 2010, standar

maksimum nilai TDS air sanitasi adalah 1000 mg/l dan warna maksimum 50 TCU. Setelah berlakunya Permenkes no. 2 tahun 2023, standar tersebut menjadi semakin ketat dengan TDS maksimum 300 mg/l dan warna maksimum 10 TCU. Dengan menggunakan peraturan lama yang lebih longgar sekalipun, air sungai masih belum memenuhi standar untuk air sanitasi.

Tabel 2. Nilai parameter air Sungai Bengawan Solo dibandingkan dengan nilai baku mutu menurut Peraturan Menteri Kesehatan no.2 tahun 2023

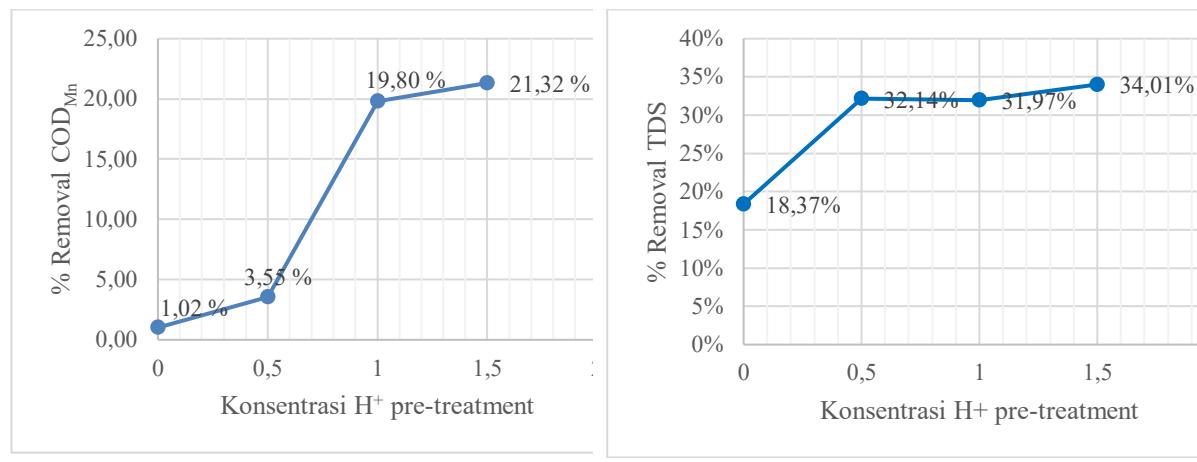
Parameter	Nilai	
	Air sungai	Baku mutu
COD _{Mn} (mg/l)	157,6	-
TDS (mg/l)	2352	300
Warna (TCU)	84	10
pH	5,14	6,5-8,5

Nilai COD_{Mn} yang diukur pada penelitian ini bukan merupakan parameter yang diatur baku mutunya. Terdapat peraturan baku mutu COD untuk air sungai yang dibagi menjadi 4 kelas sebagaimana sebelumnya disebutkan dalam Tabel 1. COD yang dijadikan baku mutu di Indonesia adalah COD dengan pengukuran SNI metode bikromat atau COD_{Cr}, sehingga bukan menggunakan angka permanganat atau COD_{Mn}. Pengukuran COD_{Mn} lebih direkomendasikan untuk badan perairan dengan pencemaran rendah sedangkan COD_{Cr} direkomendasikan sebagai parameter air limbah karena kekuatan daya oksidasi dari bikromat (Li *et al.*, 2018). Beberapa negara memiliki standar COD_{Mn} bagi perairan dan air minumannya (Geerdink, Sebastiaan van den Hurk and Epema, 2017). Selain itu, berdasarkan beberapa penelitian terdahulu terdapat korelasi proporsional antara COD_{Mn} dengan COD, di mana COD_{Mn} cenderung lebih kecil dibandingkan COD_{Cr} (Choi *et al.*, 2014; Hasanah, Mukaromah and Sitomurni, 2019). Karena itu, jika COD_{Mn} belum memenuhi baku mutu, pastilah COD_{Cr} juga belum memenuhi. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, nilai COD maksimum untuk air sungai kelas 1, 2, 3, dan 4 berturut-turut adalah 10, 25, 40, dan 80 mg/l.

3.1. Pengaruh *Pre-Treatment* Resin Kation

Setelah melewati resin Amberlite HPR 100 Na, terjadi penurunan nilai COD_{Mn} dan TDS yang dapat dilihat pada Gambar 2. Perbedaan pre-treatment resin memberikan hasil yang berbeda pula. Hal ini karena *pre-treatment* resin mempengaruhi jenis ion yang dapat bergerak dalam kolom penukar ion, atau disebut juga *mobile ion*. Amberlite HPR 1100 Na adalah jenis resin asam kuat yang memiliki gugus sulfonat namun dijual dalam bentuk Na⁺ form, di mana ion

Na^+ bertindak sebagai *mobile ion*. Ketika dilakukan *pre-treatment* dengan larutan asam, terjadi konversi mobile ion dari Na^+ menjadi H^+ (Bashir *et al.*, 2010). *Pre-treatment* menggunakan aqua dm atau konsentrasi H^+ 0 N adalah kondisi di mana semua resin berada dalam bentuk Na^+ form. Resin dalam bentuk Na^+ form hanya dapat menurunkan COD_{Mn} sebesar 1,02% yang artinya tidak efektif. Semakin tinggi konsentrasi H^+ yang digunakan dalam larutan treatment, semakin besar penurunan COD_{Mn} air sungai, dengan penurunan maksimum sebesar 21,32% yang terjadi pada penggunaan konsentrasi H^+ 1,5 N.

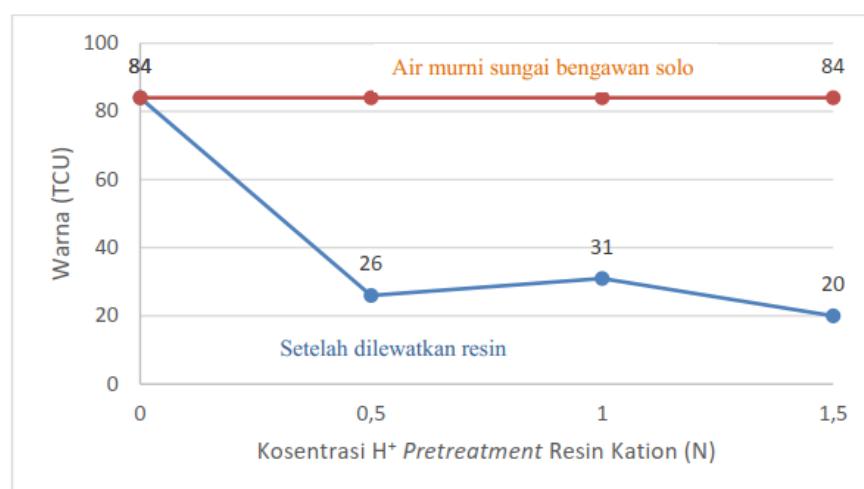


Gambar 2. Pengaruh konsentrasi H^+ pre-treatment resin kation terhadap penurunan angka permanganat dan TDS

Penurunan COD_{Mn} baru dapat terjadi dengan *pre-treatment* asam karena resin dalam bentuk H^+ dapat menurunkan pH larutan. Kondisi asam memudahkan terbentuknya radikal bebas OH yang mampu mengoksidasi senyawa organik dalam air sungai (Wang *et al.*, 2016). Meski terjadi peningkatan tajam ketika menaikkan konsentrasi HCl *pre-treatment* dari 0,5 N ke 1 N, peningkatan konsentrasi selanjutnya tidak memberikan hasil yang signifikan. Hal ini kemungkinan besar terjadi karena hampir semua ion Na^+ dalam resin telah digantikan oleh ion H^+ , sehingga telah tercapai kejemuhan. Pola yang sama ditemui oleh Bashir dkk. yang mempelajari resin INDION 225 Na, di mana efektivitas resin menurunkan COD_{Mn} tidak meningkat dengan meningkatnya normalitas asam setelah 0,8 N (Bashir *et al.*, 2010). Perbedaan konsentrasi H^+ yang dibutuhkan untuk secara efektif mengkonversi Na^+ form menjadi H^+ form bergantung pada kapasitas resin. Hal ini menjadi temuan menarik karena banyak penelitian menggunakan asam untuk mengaktifkan (Suryohendrasworo, 2021) atau meregenerasi resin kation (Mulyati *et al.*, 2023). Penelitian tersebut tidak meneliti terlebih dahulu konsentrasi yang dibutuhkan untuk menggantikan kation pada resin dengan ion H^+ secara optimal tetapi menggunakan satu nilai tertentu.

Dalam hal penghilangan TDS, resin kation yang diberi *pre-treatment* asam juga menunjukkan performa lebih baik dibandingkan resin kation yang direndam aqua dm. Resin yang tidak diberi *pre-treatment* asam sudah memiliki kemampuan mengurangi TDS meski hanya 18,37%. Hal ini menunjukkan bahwa ada spesi-spesi kimia yang berkontribusi terhadap TDS namun tidak dapat teroksidasi oleh permanganat. Spesi-spesi inilah menggantikan ion Na^+ terikat pada resin karena memiliki afinitas yang lebih tinggi terhadap gugus sulfonat dibandingkan Na^+ (Zagorodni, 2007).

Gambar 4 menunjukkan bahwa kadar warna air sungai Bengawan Solo dapat diturunkan dari 84 TCU menjadi 20 TCU menggunakan resin Amberlite HPR 1100Na yang sudah diberi perlakuan dengan asam. Sebagaimana pada kasus COD_{Mn} dan TDS, secara teori semakin tinggi konsentrasi asam larutan *pre-treatment*, kemampuan penghilangan warna akan lebih baik. Pada penelitian ini, didapati performa penghilangan warna pada konsentrasi *pre-treatment* 0,5 N justru sedikit lebih baik dibandingkan konsentrasi 1 N. Hal tersebut mungkin diakibatkan terjadi kontaminasi saat pengukuran kadar warna atau kurang homogennya sampel. Pengujian efektivitas penurunan TDS dan warna memiliki kesamaan di mana sudah tidak terjadi perubahan signifikan ketika menaikkan konsentrasi larutan *pre-treatment* di atas 0,5 N. Temuan ini berbeda dengan kemampuan penurunan COD_{Mn} yang masih terus meningkat dengan bertambahnya konsentrasi asam hingga konsentrasi 1 N. Penurunan COD_{Mn} memang memiliki mekanisme yang berbeda dengan adanya oksidasi yang dibantu suasana asam, sehingga dibatasi oleh kapasitas resin. Adapun penurunan TDS dan warna lebih diatur oleh reaksi kesetimbangan pertukaran ion (Kilislioglu, 2012).



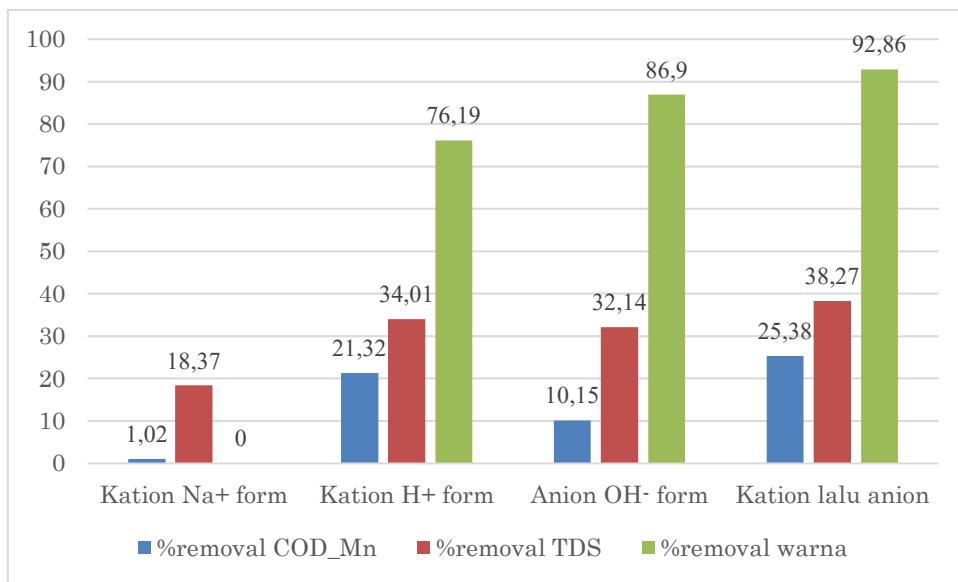
Gambar 3. Pengaruh konsentrasi H^+ *pre-treatment* resin kation terhadap warna air

Berdasarkan Gambar 2 dan 3, resin kation Amberlite sudah dapat dianggap berada dalam bentuk H^+ setelah perlakuan dengan HCl 1,5 N. Performa maksimum penghilangan TDS

menggunakan resin tersebut hanyalah 34,01% dan penghilangan COD_{Mn} hanya 21,32%. Hal ini menunjukkan bahwa masih banyak spesi polutan yang tidak dapat terikat pada gugus sulfonat, namun spesi berwarna sudah mayoritas terikat. Polutan yang bermuatan negatif tidak dapat terikat pada gugus ini, karena kesamaan muatan. Selain itu gugus sulfonat merupakan gugus yang bersifat basa sangat lemah, akibat merupakan anion dari asam kuat. Sifat ini menyulitkan spesi yang berukuran besar dan cenderung hidrofobik untuk terikat kepadanya meski bermuatan positif sekalipun. Penelitian terdahulu mendapati bahwa resin kation dengan gugus sulfonat lebih cocok digunakan untuk menghilangkan logam berat dari air (Tran *et al.*, 2020). Sementara penelitian Bashir *et.al.* (2010) berhasil menggunakan resin kation bergugus sulfonat untuk mengurangi warna, COD, dan NH₃-N dari air lindi hingga 76,8%; 47,0%; dan 92,8%.

3.2. Perbandingan Efektivitas Jenis Resin

Performa resin kation Amberlite dibandingkan dengan resin anion Amberlite dan kombinasi resin kation-anion sebagaimana tersaji pada Gambar 4. Percobaan pendahuluan menunjukkan bahwa performa resin anion yang direndam NaOH 1,0 N dan 1,5 N tidak memiliki perbedaan signifikan sehingga dianggap pada penggunaan NaOH 1,5 N semua gugus Cl⁻ sudah tergantikan dengan gugus OH⁻. Resin kation dua kali lebih baik dari resin anion dalam penurunan COD_{Mn}, namun resin anion sedikit lebih baik performanya dalam penghilangan warna. Hal ini sejalan dengan hasil studi terdahulu bahwa resin anion umumnya lebih efektif untuk penghilangan warna (Huang *et al.*, 2021). Secara teori, resin anion sering diasumsikan lebih efektif untuk penghilangan COD karena polutan organik, yang merupakan senyawa hidrokarbon, cenderung memiliki muatan negatif (Jamil *et al.*, 2019). Studi terdahulu juga mendapati bahwa pengurangan COD yang diperoleh dari resin anion (60%) sedikit lebih tinggi dari resin kation (47%) (Bashir *et al.*, 2010). Perbedaan hasil penelitian ini dibandingkan penelitian terdahulu mengindikasikan setidaknya salah satu dari 2 kondisi. Kondisi pertama adalah lebih banyak polutan dalam air sungai Bengawan Solo yang bermuatan positif daripada negatif. Sementara kondisi kedua adalah polutan air sungai yang bermuatan negatif memiliki sifat hidrofobik yang tinggi sehingga sulit untuk dipertukarkan dengan resin anion basa kuat (*Strong Base Anion*, SBA) seperti Amberlite HPR 4800 Cl⁻.



Gambar 4. Perbandingan performa berbagai jenis resin dalam penurunan angka permanganat, TDS, dan warna

Temuan mengenai kondisi muatan dan sifat hidrofobik polutan di limbah batik adalah temuan penting. Muatan polutan dan sifat hidrofobiknya akan sangat menentukan jenis pengolahan limbah yang tepat. Pengolahan dengan metode adsorbsi menggunakan penjerap karbon aktif misalnya, lebih cocok digunakan pada limbah dengan kandungan spesi hidrofobik karena karbon aktif memiliki permukaan yang didominasi gugus hidrofobik (Kim *et al.*, 2018). Sebaliknya, spesi hidrofilik akan lebih mudah dihilangkan menggunakan resin anion, sementara spesi koloid dapat dihilangkan baik dengan resin maupun adsorben asalkan pemilihannya tepat (Hailan *et al.*, 2024). Dilihat dari efektivitas penurunan TDS yang hanya sekitar 30% baik untuk resin anion dan kation, mendukung indikasi sebelumnya yaitu polutan terlarut dalam air sungai Bengawan Solo di area Surakarta memiliki sifat hidrofobik yang tinggi.

Kombinasi pengolahan dengan resin kation diikuti resin anion menghasilkan penurunan COD_{Mn}, warna, dan TDS yang lebih baik dibandingkan dengan pengolahan satu jenis resin. Peningkatan yang terjadi kurang dari penjumlahan performa individu masing-masing jenis resin. Hal ini umum ditemui dalam pengolahan yang melibatkan penggunaan kombinasi resin kation dan anion (Bashir *et al.*, 2010; Madu *et al.*, 2021). Fenomena ini disebabkan oleh perubahan profil muatan spesi polutan setelah melewati resin kation terlebih dahulu, di mana ion H⁺ yang dilepas oleh resin dapat memprotonasi sebagian polutan sehingga menghilangkan muatan negatifnya. Penelitian lain juga melaporkan bahwa nilai pH larutan memainkan peran penting terhadap presentase penghilangan polutan yang diakibatkan pengaruh pada sifat permukaan resin dan derajat ionisasi (Sheha and El-Zahhar, 2008).

Nilai pH dan konduktivitas air sungai sebelum dan setelah melewati resin juga diamati untuk memahami lebih dalam proses yang terjadi dalam pertukaran ion. Hasil pengukuran tersaji pada Tabel 3. Air sungai yang dilewarkan ke resin kation mengalami penurunan pH dari 5,14 menjadi 4,57 sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3, mengindikasikan H^+ yang dipertukarkan cukup banyak dan melebihi jumlah yang dibutuhkan untuk memprotonasi polutan bermuatan negatif. Hal ini didukung oleh nilai konduktivitas listrik (EC) yang sedikit meningkat setelah melewati resin kation. Ion hidronium dalam air memiliki nilai konduktivitas yang lebih tinggi dibanding ion positif lain karena ukurannya yang kecil memudahkan mobilitas. Menariknya, pengolahan menggunakan resin anion basa kuat dengan *mobile ion* OH^- tidak menaikkan pH air sungai namun meningkatkan konduktivitas secara signifikan. Hal ini mungkin terjadi karena ion hidroksida yang dilepas oleh resin bereaksi dengan polutan, sehingga tidak terlepas sebagai ion bebas di larutan (Höll, 2000). Reaksi tersebut mungkin melepas ion bebas lain ke larutan, misalnya karbonat atau fosfat, sehingga meningkatkan konduktivitas. Fenomena serupa diamati oleh penelitian lain di mana konduktivitas air olahan meningkat akibat lepasnya garam yang terbentuk dari reaksi anion-kation (Utomo *et al.*, 2013).

Tabel 3. Perbandingan pH dan konduktivitas air sungai sebelum dan setelah melewati resin

Tipe Resin	pH		Konduktivitas (mS/cm)	
	inlet	outlet	inlet	outlet
Kation Na^+ form	5,14	5,06	530	376
Kation H^+ form	5,14	4,57	530	592
Anion OH^- form	5,14	5,11	530	840
Kation (H^+) dilanjutkan	5,14	4,9	530	168
Anion				

Sesuai dengan teori, penurunan konduktivitas tertinggi dicapai dengan penggunaan resin kation dilanjutkan dengan resin anion. Namun, pada setiap skema, pH air hasil pengolahan masih belum memenuhi baku sebagai air sanitasi. Perubahan pH yang tidak terlalu signifikan menunjukkan bahwa resin penukar ion lebih cocok dijadikan pengolahan tersier atau terakhir di saat pH sudah disesuaikan hingga mendekati baku mutu yang disyaratkan.

4. KESIMPULAN

Telah dilakukan pengujian efektivitas resin kation Amberlite HPR 1100 Na dan resin anion Amberlite HPR 4800 Cl dalam mengolah air Sungai Bengawan Solo di area Surakarta. Resin kation dapat menurunkan angka permanganat, TDS, dan kadar warna berturut-turut sebesar 21,02%; 34,01%; dan 76,19% sementara resin anion dapat menurunkan sebesar 10,15%; 32,14% dan 86,9%. Untuk memperoleh nilai optimum ini, diperlukan *pre-treatment* dengan

perendaman menggunakan larutan HCl 1,5 N bagi resin kation dan NaOH 1,5 N bagi resin anion. Meningkatkan konsentrasi larutan *pre-treatment* lebih dari 1,0 N tidak memberi pengaruh signifikan. Hasil pengolahan terbaik didapat dengan melewatkannya air sungai ke resin kation lalu resin anion, namun selain kadar warna, parameter COD dan TDS belum memenuhi standar baku mutu untuk air sanitasi. Air Sungai Bengawan Solo di area Surakarta mengandung polutan terlarut dengan sifat hidrofobik yang tinggi. Penggunaan resin Amberlite cocok untuk penghilangan warna, namun untuk menghilangkan COD dan TDS perlu dilengkapi dengan pengolahan di awal terlebih dahulu untuk menurunkan kandungan polutan hidrofobik.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai oleh dana Pengembangan Individual Dosen (PID) Universitas Muhammadiyah Surakarta

DAFTAR PUSTAKA

- Bashir, M.J.K., Aziz, H.A., Yusoff, M.S., Huqe, A.A.M. and Mohajeri, S. (2010) 'Effects of ion exchange resins in different mobile ion forms on semi-aerobic landfill leachate treatment', *Water Science and Technology*, 61(3), pp. 641–649. Available at: <https://doi.org/10.2166/wst.2010.867>.
- Choi, J., Oh, S., Park, J.-H., Hwang, I., Oh, J.-E., Hur, J., Shin, H.-S., Huh, I.-A., Kim, Y.-H. and Shin, W.S. (2014) 'Evaluation of CODsed Analytical Methods for Domestic Freshwater Sediments: Comparison of Reliability and Correlation between COD Mn and COD Cr Methods', *Journal of Environmental Science International*, 23(2), pp. 181–192. Available at: <https://doi.org/10.5322/JESI.2014.23.2.181>.
- Ermawati, R. (2014) 'PENCEMARAN AIR: Waduh, Air Bengawan Solo Tercemar Berat!', *Solopos*, 22 October.
- Geerdink, R.B., Sebastiaan van den Hurk, R. and Epema, O.J. (2017) 'Chemical oxygen demand: Historical perspectives and future challenges', *Analytica Chimica Acta*, 961, pp. 1–11. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2017.01.009>.
- Hailan, S., Ghosh, P., Sobolciak, P., Kasak, P., Popelka, A., Ouederni, M., Adham, S., Chehimi, M., McKay, G. and Krupa, I. (2024) 'Purification of colloidal oil in water emulsions by cationic adsorbent prepared from recycled polyethylene waste', *Process Safety and Environmental Protection*, 183, pp. 771–781. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.01.042>.

- Hasanah, U., Mukaromah, A.H. and Sitomurni, D.H. (2019) 'Perbandingan Metode Analisis Permanganometri dan Bikromatometri pada Penentuan Kadar Chemical Oxygen Demand (COD)', in *Prosiding Seminar Nasional Unimus*, pp. 59–62.
- Höll, W.H. (2000) WATER TREATMENT | Anion Exchangers: Ion Exchange', in *Encyclopedia of Separation Science*. Elsevier, pp. 4477–4484. Available at: <https://doi.org/10.1016/B0-12-226770-2/04241-1>.
- Huang, R., Zhang, Q., Yao, H., Lu, X., Zhou, Q. and Yan, D. (2021) 'Ion-Exchange Resins for Efficient Removal of Colorants in Bis(hydroxyethyl) Terephthalate', *ACS Omega*, 6(18), pp. 12351–12360. Available at: <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c01477>.
- Jamil, S., Loganathan, P., Kandasamy, J., Listowski, A., Khourshed, C., Naidu, R. and Vigneswaran, S. (2019) 'Removal of dissolved organic matter fractions from reverse osmosis concentrate: Comparing granular activated carbon and ion exchange resin adsorbents', *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(3), p. 103126. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103126>.
- Kilislioglu, A. (2012) Thermodynamics of Ion Exchange', in *Ion Exchange Technologies*. InTech. Available at: <https://doi.org/10.5772/53558>.
- Kim, S.-G., Son, H.-J., Hwang, Y.-D., Yoom, H.-S. and Park, H.-K. (2018) 'Evaluation of Water Treatment Efficiency according to Number of Regeneration of GACs For Efficient Operation of GAC Process', *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 40(4), pp. 179–184. Available at: <https://doi.org/10.4491/KSEE.2018.40.4.179>.
- Li, J., Luo, G., He, L., Xu, J. and Lyu, J. (2018) 'Analytical Approaches for Determining Chemical Oxygen Demand in Water Bodies: A Review', *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 48(1), pp. 47–65. Available at: <https://doi.org/10.1080/10408347.2017.1370670>.
- Madu, I.E., Kamaruddin, M.A., Yusof, M.S.M., Niza, N.M., Shadi, A.M.H., Norashiddin, F.A. and Hossain, Md.S. (2021) 'Isotherm, kinetics, and thermodynamics modelling for the removal of chemical oxygen demand, colour, and NH₃-N from coffee processing wastewater by ion exchange resins', *DESALINATION AND WATER TREATMENT*, 237, pp. 77–87. Available at: <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.27728>.
- Mulyati, S.A., Sunarti, T.C., Juliandi, B. and Syaefurrosad, M. (2023) 'Evaluasi Performa Regenerasi Resin Penukar Ion Pada Mixed Bed Demineralizer', *Jurnal Sains Terapan: Wahana Informasi Dan Ailih Teknologi Pertanian*, 2(1), pp. 16–25.

- Partuti, T. (2014) 'Efektivitas Resin Penukar Kation Untuk Menurunkan Kadar Total Dissolved Solid (TDS) Dalam Limbah Air Terproduksi Industri Migas', *Jurnal Integrasi Proses*, 5(1), pp. 1–7.
- Prakoso, W. (2023) PDAM Solo Pakai 3 Jenis Sumber Air, Air dari Bengawan Rawan Tercemar', *Solopos*, 13 September.
- Sani, S., Istiqomah, U.A., Prabowo,, Nina Sari and Astuti, D.H. (2019) 'Penurunan BOD dan COD Pada Limbah Cair Industri Rumput Laut dengan Metode Ion Exchange', *Jurnal Teknik Kimia*, 13(2). Available at: <https://doi.org/10.33005/tekkim.v13i2.1413>.
- Sheha, R.R. and El-Zahhar, A.A. (2008) 'Synthesis of some ferromagnetic composite resins and their metal removal characteristics in aqueous solutions', *Journal of Hazardous Materials*, 150(3), pp. 795–803. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.05.042>.
- Silva, J.A. (2023) Wastewater Treatment and Reuse for Sustainable Water Resources Management: A Systematic Literature Review', *Sustainability*, 15(14), p. 10940. Available at: <https://doi.org/10.3390/su151410940>.
- Suryohendrasworo, S.D. (2021) Penyisihan Kontaminan dari Air Limbah Hasil Daur Ulang Baterai LiFePO₄ (LFP) Menggunakan Penukar Ion Resin Kation Amberlite HPR1100 Na dan Resin Anion Dowex Marathon A', *Jurnal Rekayasa Proses*, 15(2), p. 231. Available at: <https://doi.org/10.22146/jrekpros.69847>.
- Sutopo, E.H. (2019) 'Proses Demineralisasi Air Tanah Menjadi Air TDS 0 Ppm Menggunakan Metode Resin Penukar Ion Tunggal (Single Ionic Resin Exchange Method)', *Jurnal Inovasi Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 1(1), pp. 33–38.
- Tran, A.T.K., Pham, T.T., Nguyen, Q.H., Hoang, N.T.T., Bui, D.T., Nguyen, M.T., Nguyen, M.K. and Van der Bruggen, B. (2020) From waste disposal to valuable material: Sulfonating polystyrene waste for heavy metal removal', *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), p. 104302. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104302>.
- Utomo, A.D., Susilo, A., Muflikah, N. and Wibowo, A. (2006) 'Distribusi Jenis Ikan dan Kualitas Perairan di Bengawan Solo', *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 12(2), pp. 89–103.
- Utomo, S.B., Lestari, D.E., Pujiarta, S. and Royadi, R. (2013) 'Analisis dan Pengendalian Konduktivitas Air pada Kolom Resin Campuran (Mix-Bed) Sistem Air Bebas Mineral (GCA 01)', *Buletin Pengelolaan Reaktor Nuklir*, 9(2), pp. 27–34.

- Wahid, A., Lifiana, N.N., Soemargono, S. and Erliyanti, N.K. (2022) Reduction of Chromium Ion (Cr₆₊) with Ion Exchange Resin in Liquid Waste of Batik', *Konversi*, 11(1). Available at: <https://doi.org/10.20527/k.v11i1.12768>.
- Wang, N., Zheng, T., Zhang, G. and Wang, P. (2016) 'A review on Fenton-like processes for organic wastewater treatment', *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(1), pp. 762–787. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.12.016>.
- Zagorodni, A.A. (2007) *Ion Exchange Materials: Properties and Applications*. Elsevier. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=OVsbnwEACAAJ>.