

Pemanfaatan Cangkang Telur Unggas terhadap Penurunan Kadar Fe Air Sumur

Utilization of Poultry Egg Shell Types on the Reduction of Fe Levels in Well Water

Galang Ciptaning Herjuno^{1)*}, Haryono²⁾, Tri Mulyaningsih³⁾, Bambang Suwerda⁴⁾

^{1, 2, 3, 4)} Jurusan Kesehatan Lingkungan, Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Yogyakarta,
Jalan Tatabumi No.3 Banyuraden, Gamping, Sleman, Yogyakarta 55923, Indonesia

Abstrak

Air sumur seringkali mempunyai permasalahan seperti sifat fisik bewarna kuning keruh, memiliki bau menyengat, dan menimbulkan endapan kuning pada dinding sumur. Berdasarkan studi pendahuluan di Dusun Morangan, Sindumartani, Ngemplak, Sleman didapatkan kadar Fe air sumur sebesar 2,0 mg/L. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jenis cangkang telur unggas sebagai media filtrasi terhadap penurunan kadar Fe air sumur di Dusun Morangan. Jenis penelitian Adalah *Quasi Experiment* dengan desain *Pre Test-Post test With Control Group*. Penelitian membandingkan ketiga media cangkang telur unggas yaitu telur ayam, telur bebek, dan telur puyuh. Rata-rata penurunan kadar Fe dengan cangkang telur ayam setelah dilakukan filtrasi dengan ketebalan media 40 cm sebesar 46,43%. Rata-rata penurunan kadar Fe dengan cangkang telur bebek ketebalan 40 cm sebesar 26,59%. Rata-rata penurunan kadar Fe dengan media filtrasi cangkang telur puyuh dengan ketebalan 40 cm sebesar 77,10%. Kesimpulan, Berdasarkan hasil uji *One Way ANOVA* dengan nilai *p-value* 0,000 diketahui terdapat pengaruh jenis cangkang telur unggas sebagai media filtrasi terhadap penurunan kadar Fe pada air sumur. Media filtrasi cangkang telur puyuh dengan ketebalan media 40 cm merupakan media filtrasi yang paling optimal dengan rata-rata persentase penurunan Fe air sumur sebesar 77,10%.

Kata kunci: Air Sumur; Cangkang telur unggas; Kadar Fe

Abstract

Well water often has problems such as a yellowish-brown color, a strong odor, and yellow deposits on the walls of the well. Based on preliminary studies in Morangan Village, Sindumartani, Ngemplak, Sleman, the iron content of well water was found to be 2.0 mg/L. This study aims to investigate the effect of different types of poultry eggshells as filtration media on reducing iron levels in well water in Morangan Village. The study design is a quasi-experimental study with a Pre-test-Post-test With Control Group Design. The study compares three types of poultry eggshells: chicken eggs, duck eggs, and quail eggs. The average reduction in iron content using chicken eggshells after filtration with a media thickness of 40 cm was 46.43%. The average reduction in iron content using duck eggshells with a thickness of 40 cm was 26.59%. The average reduction in iron content using quail eggshells as a filtration medium with a thickness of 40 cm was 77.10%. In conclusion, based on the results of the One-Way ANOVA test with a p-value of 0.000, it was found that the type of poultry eggshell used as a filtration medium significantly affects the reduction in Fe levels in well water. The quail eggshell filtration medium with a thickness of 40 cm is the most optimal filtration medium, with an average reduction in Fe levels in well water of 77.10%.

Keywords: Fe content; Poultry eggshell; Well water

1. Pendahuluan

Keberadaan air bersih memberikan dampak besar terhadap kualitas kesehatan masyarakat dengan macam kegiatan sehari-hari manusia seperti mandi, mencuci, memasak, dan menyiram tanaman. Manusia

Corresponding Author* : Galang Ciptaning Herjuno
Email : galangciptaning@gmail.com

dalam upaya untuk memenuhi kebutuhan air bersih cenderung memanfaatkan keberadaan air dari sumber yang dekat dengan lingkungan tempat tinggal, baik itu sumber alami maupun melalui pengolahan terlebih dahulu ¹. Salah satu sumber air yang biasa digunakan oleh masyarakat adalah sumur. Namun disisi lain, air tanah sebagai sumber air dari sumur seringkali terkandung oleh unsur-unsur organik dan anorganik seperti kandungan logam Fe dan mangan (Mn) ². Kandungan komponen organik dan anorganik pada air tanah diketahui berdasarkan keberadaan mineral pembentuk lapisan tanah di suatu wilayah yang dipengaruhi oleh iklim, ketinggian lokasi, dan unsur batuan yang terurai secara biologis. Kandungan logam Fe dalam air bersih berpotensi mengubah warna air menjadi kuning kecoklatan. Setelah beberapa waktu terjalin kontak dengan udara, dapat menimbulkan aroma yang menyengat dan menimbulkan bercak kuning pada pakaian yang dicuci dan dinding sumur ³.

Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Kesehatan Lingkungan untuk Keperluan Higiene dan Sanitasi telah menyatakan kadar Fe terlarut yang terkandung dalam air bersih maksimal sebesar 0,2 mg/L ⁴. Kadar Fe yang melebihi baku mutu dinyatakan tidak aman untuk dimanfaatkan dikarenakan berisiko menyebabkan gangguan kesehatan. Konsentrasi logam Fe seiring berjalannya waktu akan terakumulasi di dalam tubuh sehingga dapat mengakibatkan permasalahan kesehatan seperti diare, anemia, iritasi mata, iritasi kulit, dan kerusakan ginjal ⁵.

Studi pendahuluan dilaksanakan dengan mengambil sampel air di beberapa sumur warga Dusun Morangan, Sindumartani, Ngemplak, Sleman. Hasil pengukuran diketahui kadar Fe dalam air sumur mencapai 2 mg/L jauh melebihi baku mutu yang telah ditetapkan. Tingginya kadar Fe di Dusun Morangan dapat disebabkan dari lahar dingin yang mengalir melewati Dusun Morangan akibat kejadian erupsi Gunung Merapi pada tahun 2010 sehingga lahar dingin mempengaruhi mineral yang terkandung di dalam tanah.

Kadar Fe melebihi baku mutu di salah satu sumur warga Dusun Morangan memerlukan suatu upaya pengolahan supaya dapat dimanfaatkan tanpa menimbulkan gangguan kesehatan. Teknik pengolahan yang mampu untuk menurunkan kadar Fe pada air sumur adalah filtrasi. Filtrasi adalah proses penyaringan untuk menghilangkan zat tersuspensi dari air melalui media berpori dengan melewati air pada media penyaring sehingga partikel padatan yang ada pada air dapat terpisah ⁶.

Wilayah Kecamatan Ngemplak juga memiliki sumber daya alam berupa limbah cangkang telur unggas yang sehari – hari hanya dibuang dan tidak dimanfaatkan. Dalam wilayah Dusun Morangan sendiri, terdapat usaha catering yang sehari – hari menggunakan telur sebagai bahan baku. Ditambah, terdapat peternakan ayam, bebek, dan burung puyuh yang menghasilkan limbah cangkang telur dan berserakan di area peternakan. Limbah cangkang telur unggas yang dibuang begitu saja tanpa adanya pengolahan atau pemanfaatan berisiko untuk mencemari tanah dan merusak estetika lingkungan. Padahal di sisi lain, cangkang telur unggas merupakan limbah yang dapat dimanfaatkan sebagai media adsorben yang dapat diaplikasikan ke dalam filtrasi air sumur.

Cangkang Telur Unggas merupakan limbah yang dapat dimanfaatkan sebagai media adsorben yang dapat diaplikasikan ke dalam filtrasi air sumur. Setiap cangkang telur unggas memiliki 10.000-20.000 pori-pori sehingga diperkirakan dapat menyerap suatu solute dan dapat digunakan sebagai adsorben ⁷. Selain itu cangkang telur juga mengandung protein atau asam amino sebagai senyawa aktif dalam proses adsorpsi dan memiliki kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) yang tinggi. Setiap cangkang telur unggas memiliki kandungan kalsium karbonat sebesar 87% - 97% ⁸. Kalsium karbonat merupakan adsorben polar yang mampu mengikat kadar logam seperti Fe dan mangan (Mn) pada air ⁹.

Penelitian Athirah, menunjukan pemanfaatan media cangkang telur unggas sebagai bioadsorben untuk menurunkan kadar Fe pada limbah cair industri didapatkan efektivitas tertinggi sebesar 91,07% menggunakan cangkang telur ayam, dan 95,67% menggunakan cangkang telur bebek dengan dosis koagulan 35 g/L. Hasil penurunan Fe juga ditunjukan pada penelitian Auliah tentang filtrasi menggunakan serbuk cangkang kerang yang mengandung kalsium karbonat (CaCO_3) dengan ukuran media 100 mesh diketahui rata-rata efektivitas penurunan kadar Fe pada air sumur sebesar 75,37% ¹⁰. Pada penelitian Pangesti, 2022 diketahui efektivitas penurunan kadar Fe menggunakan media cangkang telur ayam dalam sistem filtrasi dengan ketebalan media 60 cm dan ukuran media 60-85 mesh sebesar 53% ¹¹.

Kajian mengenai pemanfaatan cangkang telur sebagai media filtrasi kontinu untuk pengolahan air bersih domestik masih sangat terbatas. Selain itu, penelitian yang mengintegrasikan cangkang telur dengan media filtrasi konvensional seperti pasir silika, zeolit, dan karbon aktif, serta mengevaluasi aspek hidrolika, umur pakai media, regenerasi, dan kelayakan ekonomi, masih jarang dilakukan. Penelitian dilakukan dengan memanfaatkan limbah cangkang telur unggas di Dusun Morangan menjadi media filtrasi kadar Fe pada air sumur. Pemanfaatan cangkang telur unggas dilakukan dengan menjadikan media dalam bentuk serbuk dengan pertimbangan luas permukaan media yang semakin besar akan lebih mampu untuk menyerap parameter pencemar dalam air.

2. Metode

Penelitian dilakukan menggunakan jenis *Quasi Experiment* dengan desain penelitian *Pre Test-Post Test with Control Group Design*. Objek penelitian adalah sampel air yang diperoleh dari sumur salah satu warga Dusun Morangan, Sindumartani, Ngemplak, Sleman yang diambil sebanyak 200 liter dengan teknik pengambilan sampel *purposive sampling*. Penentuan pengulangan pada penelitian ini berdasarkan referensi¹² dengan jumlah pengulangan minimal 3 kali pengulangan untuk penelitian eksperimen. Media filtrasi yang digunakan adalah cangkang telur unggas terdiri dari cangkang telur ayam, bebek, dan puyuh. Pembuatan media filtrasi dilakukan dengan cara menghancurkan cangkang telur unggas dengan *blender* untuk mendapatkan bentuk seperti serbuk. Kemudian serbuk diaktivasi secara *thermal* dimasukkan ke dalam oven pada suhu 105°C selama 1 jam.

Serbuk cangkang telur diaplikasikan ke dalam *housing filter* berukuran 20 inch dengan ketebalan media setiap jenis cangkang 40 cm. Kecepatan aliran disamakan dengan mengatur debit kran inlet sebesar 2 liter/menit. Kelompok kontrol menggunakan saringan pasir sederhana dengan ketebalan sama seperti kelompok perlakuan. Pada saat transisi pengulangan, setiap media filter dibiarkan selama 60 menit tanpa adanya perlakuan *backwash* sebelum digunakan kembali untuk filtrasi. Pemeriksaan kadar Fe sebelum dan sesudah perlakuan filtrasi dilakukan menggunakan metode titrimetric di laboratorium. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif dan dibandingkan dengan baku mutu Permenkes RI No. 2 Tahun 2023 dan membandingkan kelompok perlakuan dengan kelompok kontrol. Pada analisis inferensial, pengolahan data menggunakan program SPSS *for Windows* dengan melakukan Uji normalitas data, Uji One Way ANOVA, dan Uji LSD.

3. Hasil dan Pembahasan

Tabel 1, diketahui hasil pemeriksaan kadar Fe pada filtrasi menggunakan serbuk cangkang telur ayam diketahui rata – rata kadar Fe air sumur sebelum perlakuan filtrasi sebesar 3,03 mg/L dan rata – rata kadar Fe sesudah filtrasi sebesar 1,62 mg/L. Rata – rata selisih kadar Fe antara sebelum dan sesudah filtrasi dengan serbuk cangkang telur ayam diperoleh 1,40 mg/L (46,43%).

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Fe Sebelum dan Sesudah Filtrasi Serbuk Cangkang Telur Ayam

Pengulangan	Kadar Fe (mg/L)			
	Pre	Post	Selisih	Presentase (%)
1	3,08	1,48	1,60	51,95 %
2	3,1	1,9	1,20	38,71 %
3	2,9	1,49	1,41	48,62 %
Rata - rata	3,03	1,62	1,40	46,43 %

Sumber : Data Primer Terolah, 2025

Berdasarkan tabel 2, diketahui hasil pemeriksaan kadar Fe pada filtrasi menggunakan serbuk cangkang telur bebek, rata-rata kadar Fe air sumur sebelum perlakuan filtrasi sebesar 2,93 mg/L dan rata - rata kadar Fe sesudah filtrasi sebesar 2,15 mg/L. Rata - rata selisih kadar Fe antara sebelum dan sesudah filtrasi dengan serbuk cangkang telur bebek diperoleh 0,77 mg/L (26,59 %).

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Fe Sebelum dan Sesudah Filtrasi Serbuk Cangkang Telur Bebek

Pengulangan	Kadar Fe (mg/L)			
	Pre	Post	Selisih	Presentase (%)
1	2,73	1,88	0,85	31,14 %
2	3,01	2,14	0,87	28,90 %
3	3,04	2,44	0,60	19,74 %
Rata - rata	2,93	2,15	0,77	26,59 %

Sumber : Data Primer Terolah, 2025

Diketahui hasil pemeriksaan kadar Fe berdasarkan tabel 3, pada filtrasi menggunakan serbuk cangkang telur puyuh, rata-rata kadar Fe air sumur sebelum filtrasi sebesar 3,02 mg/L dan rata - rata kadar

Fe sesudah filtrasi sebesar 0,69 mg/L. Rata - rata selisih kadar Fe antara sebelum dan sesudah filtrasi dengan serbuk cangkang telur puyuh diperoleh 2,33 mg/L (77,10 %).

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Fe Sebelum dan Sesudah Filtrasi Serbuk Cangkang Telur Puyuh

Pengulangan	Kadar Fe (mg/L)			
	Pre	Post	Selisih	Presentase (%)
1	3,11	0,67	2,44	78,46 %
2	3,03	0,7	2,,33	76,90 %
3	2,91	0,7	2,21	75,95 %
Rata - rata	3,02	0,69	2,33	77,10 %

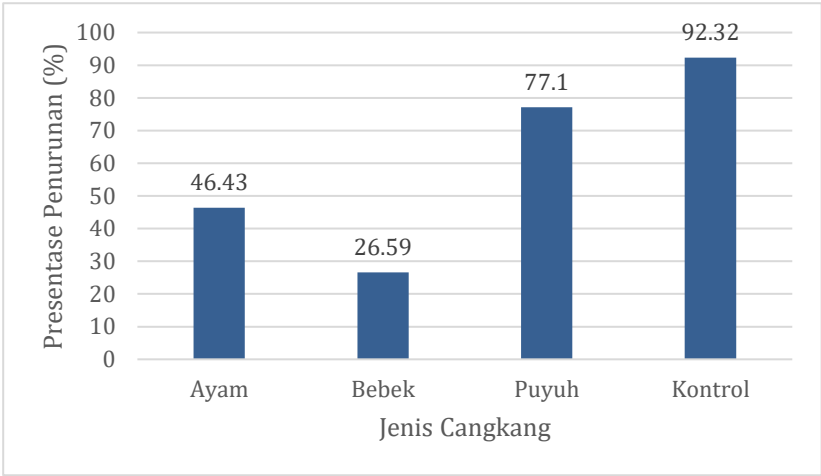
Sumber : Data Primer Terolah, 2025

Berdasarkan tabel 4, diketahui hasil pemeriksaan kadar Fe pada perlakuan filtrasi menggunakan pasir, rata - rata kadar Fe air sumur sebelum filtrasi menggunakan pasir sebesar 3,10 mg/L dan rata - rata kadar Fe sesudah filtrasi sebesar 0,24 mg/L. Rata - rata selisih kadar Fe antara sebelum dan sesudah filtrasi diperoleh 2,86 mg/L (92,32 %).

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Fe Sebelum dan Sesudah Filtrasi Kontrol Pasir

Pengulangan	Kadar Fe (mg/L)			
	Pre	Post	Selisih	Presentase (%)
1	2,94	0,16	2,78	94,56 %
2	3,18	0,42	2,76	86,79 %
3	3,18	0,14	3,04	95,60 %
Rata - rata	3,10	0,24	2,86	92,32 %

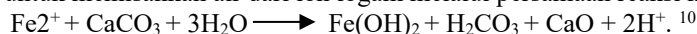
Sumber : Data Primer Terolah, 2025



Gambar 1. Presentase Penurunan Fe

Berdasarkan hasil pengujian kadar Fe terhadap 3 kelompok filtrasi menggunakan jenis media serbuk cangkang telur ayam, bebek, dan puyuh. Presentase penurunan kadar Fe tertinggi ditunjukkan pada kelompok perlakuan filtrasi serbuk cangkang telur puyuh dengan rata-rata presentase penurunan sebesar 77,10 % yang menghasilkan kadar Fe dari sebelum perlakuan sebesar 3,02 mg/L menjadi 0,69 mg/L setelah perlakuan. Sedangkan penurunan terendah ditunjukkan pada kelompok perlakuan filtrasi serbuk cangkang telur bebek dengan rata-rata presentase penurunan sebesar 26,59 % yang menghasilkan kadar Fe dari sebelum perlakuan sebesar 2,93 mg/L menjadi 2,15 mg/L setelah perlakuan. Hasil penurunan yang dihasilkan oleh kelompok perlakuan masih berada di atas nilai baku mutu air bersih menurut peraturan yang berlaku. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 yaitu 0,2 mg/L.

Berdasarkan hasil Uji *One Way ANOVA* yang menunjukkan nilai signifikansi $< 0,05$, dengan persamaan perlakuan yang terdiri dari penyamaan ukuran media, ketebalan media, waktu kontak, dan debit aliran terdapat perbedaan signifikan terhadap penurunan kadar Fe antara kelompok perlakuan. Setiap penurunan kadar Fe pada sampel air sumur yang diolah menggunakan jenis media serbuk cangkang telur ayam, cangkang telur bebek, dan cangkang telur puyuh dapat terjadi dikarenakan kadar kalsium karbonat (CaCO_3) yang menjadi sebagian besar unsur pembentuk cangkang telur. Kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) yang terdapat pada cangkang telur berada dalam kisaran 87 % - 97 %⁸. Kalsium karbonat (CaCO_3) dalam cangkang telur unggas merupakan suatu adsorben polar. Konsentrasi tinggi kalsium karbonat (CaCO_3) dapat untuk memisahkan air dari ion logam melalui persamaan reaksi kimia



Berdasarkan persamaan reaksi kimia diatas, secara teori dapat diinterpretasikan bahwa setiap 1 mg/L CaCO_3 dapat mengikat 0,558 mg/L Fe dalam air. Proses aktivasi juga mempunyai peranan penting dalam penurunan kadar Fe air sumur yang diolah. Kalsium karbonat akan terpecah menjadi kalsit (CaO) akibat adanya proses kalsinasi pada cangkang telur unggas dengan proses oven dengan suhu 105°C. Hal ini salah satunya dipengaruhi oleh jumlah kalsium yang terdapat pada masing-masing jenis cangkang telur unggas. Namun hasil penurunan pada kelompok perlakuan ini berbanding terbalik dengan penelitian hasil kadar kalsium yang diteliti oleh¹³ yang menyatakan cangkang telur ayam memiliki kadar kalsium sebesar 20,50 %, cangkang telur bebek memiliki kadar kalsium 21,10 %, dan cangkang telur puyuh memiliki kadar kalsium sebesar 18,84%.

Hasil dari penelitian ini juga berbanding terbalik dengan hasil penelitian kadar kalsium yang diteliti oleh¹⁴ yang menunjukkan kadar kalsium pada cangkang telur ayam sebesar 6,41%, kadar kalsium pada cangkang telur bebek sebesar 10,11%, dan kadar kalsium pada cangkang telur puyuh sebesar 9,46%. Dengan demikian kadar kalsium yang terkandung pada jenis cangkang telur yang digunakan pada penelitian ini tidak berpengaruh terhadap hasil perlakuan pada penelitian ini, yaitu filtrasi menggunakan serbuk cangkang telur unggas yang terdiri dari serbuk cangkang telur ayam, serbuk cangkang telur bebek, dan serbuk cangkang telur puyuh.

Selain kalsium, faktor lain yang mempengaruhi terjadinya penurunan kadar Fe pada air sumur adalah keberadaan pori-pori pada permukaan cangkang telur unggas yang berperan dalam pengikatan partikel-partikel berukuran nano seperti Fe. Setiap cangkang telur memiliki kurang lebih 10.000 – 20.000 struktur pori-pori yang dapat mengikat suatu solute⁷. Cangkang telur unggas juga terdiri dari bagian protein mukopolisakarida yang memiliki kandungan seperti karboksil, amina, dan sulfat yang berperan dalam mengikat ion logam berat dan membentuk suatu ikatan ion¹⁵.

Sedangkan pada kelompok kontrol dengan media pasir, kadar Fe dapat diturunkan mencapai 0,24 mg/L dengan rata-rata presentase penurunan sebesar 92,32 %. Kelompok kontrol jauh lebih baik dalam menurunkan kadar Fe pada air sumur dengan sistem filtrasi jika dibandingkan dengan kelompok perlakuan. Hal ini disebabkan karena pasir merupakan salah satu media terbaik dalam menurunkan parameter pencemar seperti Fe pada air. Hal ini dibuktikan dengan hasil penelitian¹⁶ bahwa presentase efektivitas penurunan kadar Fe rata-rata sebesar 98,5%.

Hasil penurunan kadar Fe pada kelompok perlakuan filtrasi menggunakan jenis media serbuk cangkang telur ayam, serbuk cangkang telur bebek, dan serbuk cangkang telur puyuh yang dibandingkan dengan perlakuan kontrol diketahui bahwa penggunaan jenis media serbuk cangkang telur ayam, serbuk cangkang telur bebek, dan serbuk cangkang telur puyuh ternyata kurang maksimal apabila digunakan ke dalam sistem filtrasi.¹⁹ Hal ini kemungkinan terjadi karena sifat koagulan cangkang telur lebih besar dibandingkan dengan sifat adsorpsinya. Kadar kalsium karbonat (CaCO_3) yang terdapat pada serbuk cangkang telur ayam dapat lebih mudah bereaksi dengan air pada saat perlakuan dengan metode koagulasi dengan bantuan pengadukan daripada dimanfaatkan dengan proses filtrasi.

Pernyataan ini didukung dengan perbandingan penelitian terdahulu yang menggunakan media cangkang telur dalam metode filtrasi dengan metode adsorpsi dan koagulasi. Pada penelitian¹¹ yang menggunakan cangkang telur ayam sebagai media filtrasi didapatkan presentase penurunan kadar Fe tertinggi sebesar 53,1% dengan ketebalan media 60 cm. Kemudian pemanfaatan cangkang telur bebek pada penelitian¹⁷ diperoleh presentase penurunan kadar Fe tertinggi sebesar 64,98% dengan ketebalan media 40 cm. Sedangkan pemanfaatan biokoagulan cangkang telur pada penelitian⁹ diperoleh penurunan kadar Fe tertinggi sebesar 88,29 % dengan dosis koagulan 30 mg/L dan waktu pengadukan selama 60 menit. Didukung dengan penelitian dari¹⁸ yang memanfaatkan cangkang telur ayam sebagai media adsorben dengan massa adsorben 1,5 gram dengan waktu pengadukan 60 menit diperoleh presentase penurunan kadar Fe sebesar 99,65%. Berdasarkan perbandingan tersebut semakin menegaskan bahwa pengaplikasian media serbuk cangkang telur unggas kurang maksimal apabila digunakan sebagai media filtrasi, namun mempunyai potensi maksimal apabila dimanfaatkan sebagai biokoagulan dan adsorben²⁰.

4. Simpulan dan Saran

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan media filtrasi serbuk cangkang telur unggas mampu menurunkan kadar Fe air sumur, dengan efektivitas tertinggi pada media cangkang telur puyuh sebesar 77,10%. Namun demikian, efektivitas tersebut masih lebih rendah dibandingkan media filtrasi pasir yang mencapai penurunan sebesar 92,32%. Hal ini menunjukkan bahwa cangkang telur unggas memiliki potensi sebagai media alternatif, namun penggunaannya dalam sistem filtrasi tunggal belum optimal untuk menurunkan kadar Fe hingga memenuhi baku mutu air bersih.

Saran bagi penelitian selanjutnya yaitu melakukan filtrasi menggunakan bak equalisasi dengan debit aliran lebih kecil dari 2 liter/menit atau dapat menggunakan metode adsorpsi dan koagulasi dengan pemanfaatan media cangkang telur unggas. Selain itu penelitian selanjutnya dapat mengkombinasikan secara seri dengan media pasir untuk mendapatkan hasil penurunan yang lebih maksimal.

5. Daftar Pustaka

1. Pratiwi DI, Rasman. Efektivitas Metode Gabungan Media Filter Cangkang Kerang (*Andara granosa*) dan Karbon Aktif Untuk Menurunkan Fe dan Zat Organik Air Bersih. J Sulolipu Media Komun Sivitas Akad dan Masy. 2020;20(1):48–54.
2. Pradana TD, Suharno S, Kamarullah A. Efektivitas Koagulan Bubuk Kapur dan Filtrasi dengan Metode Up Flow dan Down Flow untuk Menurunkan Fe. J Kesmas (Kesehatan Masyarakat) Khatulistiwa. 2018;5(1):32.
3. Athirah F, Amin I, Yusuf AAIS. Analisa Perbandingan Adsorpsi Logam Besi (Fe) Dalam Limbah Cair Industri Menggunakan Bioadsorben Cangkang Telur Ayam Dan Telur Itik. J Teknol Kim Miner. 2023;2(2):103–7.
4. Kemenkes Republik Indonesia. Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 tentang Kesehatan Lingkungan. Kemenkes Republik Indonesia. 2023. hal. 1–175.
5. Rahmawanti N, Dony N. Studi Arang Aktif Tempurung Kelapa Dalam Penjernihan Air Sumur Perumahan Baru Daerah Sungai Andai. Al Ulum J Sains Dan Teknol. 2016;1(2):84–8.
6. Vegatama MR, Willard K, Saputra RH, Ramadhan MA, Tinggi S, Migas T, dkk. Rancang Bangun Filter Air Dengan Filtrasi Sederhana menggunakn Energi Listrik Tenaga Surya. Petrogas. 2020;2(2):1–10.
7. Hajar EWI, Sitorus RS, Mulianingtias N, Welan FJ. Efektivitas Adsorpsi Logam Pb²⁺ dan Cd²⁺ menggunakan Media Adsorben Cangkang Telur Ayam. Konversi. 2016;5(1):1.
8. Villarreal-Lucio DS, Rivera-Armenta JL, Martínez-Hernández AL, Zednik R, Moreno, Estrada IA. Effect of Nano CaCO₃ Particles from Eggshell on Mechanical and Thermal Properties in PP/Eggshell Composites. J Eng Technol [Internet]. 2018;6(2):456–68.
9. Marwanto A, Mulyati S. Pengaruh Variasi Biokoagulan Cangkang Telur Ayam Terhadap Penurunan Parameter Fe Air Sumur Gali. J Nurs Public Heal. 2022;10(2):178–83.
10. Auliah IN, Khambali, Sari E. Efektivitas Penurunan Kadar Besi (Fe) pada Air Sumur dengan Filtrasi Serbuk Cangkang Kerang Variasi Diameter Serbuk Intan Noer Auliah. J Penelit Kesehat Suara Forkes. 2019;10(1):25–33.
11. Pangesti AA. Pengaruh Variasi Ketebalan Media Cangkang Telur Ayam Ras terhadap Penurunan Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Air Sumur Gali dengan Sistem Filtrasi. Respository Poltekkes Kemenkes Yogyakarta. 2022.
12. Malau S. Perancangan Percobaan Pedoman Praktis yang Dilengkapi Contoh-Contoh [Internet]. Medan: Universitas HKBP Nommensen Medan; 2005. 1–204 hal. Tersedia pada: https://repository.uhn.ac.id/bitstream/handle/123456789/2051/Sabam_Malau_Buku_Perancangan_Percobaan.pdf
13. Aminah S, Meikawati W. Calcium Content and Flour Yield of Poultry Eggshell With Acetic Acid Extraction. Universty Res Coloquium. 2016;4:49–53.
14. Yonata D, Yonata S, Aminah S, Hersoelistyorini W. Kadar Kalsium dan Karakteristik Fisik Tepung Cangkang Telur Unggas dengan Perendaman Berbagai Pelarut. J Pangan dan Gizi. 2017;7(2):82–93.

15. Faradila W. Pemanfaatan Cangkang Telur Puyuh sebagai Media Adsorben Logam Berat Timbal (Pb). Digital Repository Universitas Jember. 2019.
16. Kurniawati SD, Santjoko H, Husein A. Pasir Vulkanik sebagai Media Filtrasi dalam Pengolahan Air Bersih Sederhana untuk Menurunkan Kandungan Besi (Fe), Mangan (Mn) dan Kekeruhan Air Sumur Gali. *Sanitasi J Kesehat Lingkung*. 2017;9(1):20.
17. Pradopo RJ, Hamzani S, A S. Saringan Cangkang Telur Bebek Efektif Memperbaiki Kualitas Ph Dan Besi Air Sumur Bor. *J Kesehat Lingkung*. 2021;18(1):13–8.
18. Amalia VN, Oktorina S, Setyowati RDN. Efisiensi Penyerapan Logam Besi (Fe) Menggunakan Adsorben Cangkang Telur Ayam dengan Sistem Batch. *Teknol Technoscientia*. 2022;14(2):91–6.
19. Partha Sarathi Guru, Sukalyan Dash, Sorption on eggshell waste—A review on ultrastructure, biomineralization and other applications, *Advances in Colloid and Interface Science*, 2014;209:49-67.
<https://doi.org/10.1016/j.cis.2013.12.013>.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001868613001942>)
20. Buksh N, Yun C, Ping X, Jhatial GH, Yanhai S. Chicken Eggshell as a Potential Eco-friendly, Low-cost Sorbent: A Mini Review. *Journal of Environment and Earth Science* [Internet]. 2018 [cited 2026 Jun 29];8(10):29–39. Available from: <https://www.iiste.org/Journals/index.php/JEES/article/view/44648>