

Pengaruh Massa Adsorben Blending CaO Dari Cangkang Telur dan Karbon Teraktivasi untuk Adsorpsi Zat Warna Methylene Blue

Syarifuddin Oko*, Andri Kurniawan, Dewi Angreni

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda
Jl. Dr. Cipto Mangunkusumo Kampus Gunung Lipan PO Box 1293, Indonesia
Email: syarifuddinoko@polnes.ac.id

Abstrak

Industri tekstil merupakan salah satu penyebab pencemaran lingkungan akibat zat warna yang digunakan dalam proses pencelupan tekstil. Limbah zat warna yang dihasilkan oleh industri tekstil merupakan senyawa organik non-biodegradable yang dapat mencemari lingkungan terutama pada lingkungan perairan. Methylene blue merupakan salah satu zat organik pencemar yang tidak dapat terurai karena terdapat gugus benzena yang sulit terdegradasi. Cara yang paling mudah untuk mengolah limbah cair industri tekstil adalah dengan cara adsorpsi. Cangkang telur adalah salah satu adsorben yang murah dan mudah didapat, juga adsorben lain yang digunakan adalah karbon aktif. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh massa adsorben CaO:C terhadap efisiensi adsorpsi dan penurunan konsentrasi zat warna methylene blue. Cangkang telur terlebih dahulu di kalsinasi menggunakan furnace pada suhu 800°C selama 4 jam. Ukuran cangkang telur dan karbon aktif ialah 100 mesh. Adsorpsi dilakukan dengan rasio CaO:C yaitu 2:8 dan memvariasikan massa adsorben yaitu 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 6; 8; 10; 10,5 dan 11 gram. Proses adsorpsi dilakukan selama waktu kontak 60 menit dalam konsentrasi zat warna methylene blue 100 ppm. Hasil penelitian menunjukkan massa adsorben optimum ada pada massa 10 gram dengan konsentrasi akhir methylene blue 0,0139 ppm dan efisiensi adsorpsi 99,9861 %.

Kata kunci : adsorpsi, cangkang telur, karbon aktif, methylene blue

Abstract

The Effect of Mass Blending CaO Adsorbent from Egg Shell And Activated Carbon For Adsorption Of Methylene Blue Dyes

Society need for clothing has increased, which results in an increased number of factories in the textile industry. The textile industry is one of the causes of environmental pollution due to dyes used in the textile dyeing process. Dye waste produced by the textile industry is a non-biodegradable organic compound that can pollute the environment, especially in the aquatic environment. Methylene blue is one of the polluting organic substances that cannot decompose because there is a benzene group that is difficult to degrade. The alternative for handling the dye waste of the textile industry is the adsorption. Egg shells used because abundant amounts and are economical, and other adsorbens used are activated carbon. This study was to determine the effect of cao:c adsorben mass on adsorption efficiency and decreased concentration of methylene blue. The egg shell is first calcined using a furnace at a temperature of 800°C for 4 hours. The size of the egg shell and activated carbon is 100 mesh. Adsorption is carried out with a CaO:C ratio of 2:8 and varies the mass of adsorbens which is 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 6; 8; 10; 10,5 and 11 grams. The adsorption process is carried out during a contact time of 60 minutes at a concentration of methylene blue 100 ppm. The results showed the optimum adsorbens mass was at 10 grams with reduced the methylene blue concentration to 0,0139 ppm and the adsorption capacity obtained was 99,9861%.

Keywords: activated carbon, adsorption, eggshells, methylene blue

PENDAHULUAN

Kebutuhan masyarakat terhadap pakaian semakin bertambah yang mengakibatkan meningkatnya jumlah pabrik yang bergerak di industri tekstil. Perkembangan yang pesat ini ditinjau dari data Kementerian Perindustrian pada tahun 2018 yang menyatakan banyaknya pabrik industri tekstil di Indonesia ada sekitar 25.000 perusahaan tekstil yang terdaftar sebagai komoditas. Banyaknya pelaku di sektor ini juga diikuti dengan peningkatan pencemaran lingkungan. Industri tekstil merupakan salah satu penyebab pencemaran lingkungan akibat zat warna yang digunakan dalam proses pencelupan tekstil. Selain berbahaya bagi lingkungan, limbah cair industri tekstil juga berbahaya bagi makhluk hidup yang terpapar (Jain *et al.*, 2003).

Limbah zat warna yang dihasilkan oleh industri tekstil merupakan senyawa organik non-biodegradable yang dapat mencemari lingkungan terutama pada lingkungan perairan (Wijaya *et al.*, 2006). Methylene blue merupakan salah satu zat organik pencemar yang tidak dapat terurai karena terdapat gugus benzena yang sulit terdegradasi. Senyawa dengan golongan benzena bersifat karsinogenik dan mutagenik, sehingga limbah cair harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang (Saptaaji, 2007). Limbah cair dari industri tekstil dapat diolah dengan berbagai proses, termasuk kimia, fisika dan biologi, ataupun kombinasi dari ketiga proses tersebut. Beberapa metode yang sudah dikembangkan antara lain metode koagulasi, sedimentasi, adsorpsi dan lumpur aktif. Cara yang paling mudah diterapkan adalah cara adsorpsi, yaitu suatu proses yang terjadi ketika suatu fluida terikat pada suatu padatan dan akhirnya membentuk suatu film pada permukaan padatan tersebut (Widjajanti *et al.*, 2011). Salah satu metode alternatif adsorben yang murah dan mudah di dapatkan yaitu cangkang telur ayam.

Potensi limbah cangkang telur di Indonesia cukup besar. Menurut Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan, produksi telur Indonesia pada tahun 2020 mencapai 2.084.641 ton. Cangkang telur terdiri dari 94-97 % CaCO_3 , sedangkan sisanya adalah bahan organik dan pigmen. Cangkang telur memiliki pori-pori dengan jumlah pori pada telur ayam pedaging berkisar antara 7.000 sampai 17.000 yang berfungsi untuk

pertukaran gas. Pori tersebut berukuran 0,01-0,07 μm dan tersebar pada seluruh permukaan telur. Cangkang telur di sisi tumpul memiliki lebih banyak pori per satuan luas daripada pori-pori di bagian lain (Kurtini *et al.*, 2011). Namun, Pori-pori bukanlah satu-satunya indikator cangkang telur dapat menjadi adsorben tetapi juga adanya gugus fungsional pada permukaan adsorben. Gugus pada permukaan adsorben yang dapat bereaksi dengan zat warna adalah gugus hidroksil, amina dan sulfonat (Koumanova *et al.*, 2002).

Selain itu karbon aktif merupakan adsorben yang banyak digunakan karena kapasitas adsorpsinya yang besar Penggunaannya cukup luas di dunia industri seperti pembersih air limbah industri, menghilangkan bau, pemurnian gas dan katalis. (Lestari *et al.*, 2021). Hasil studi literatur menyatakan bahwa cangkang telur dan karbon aktif berpotensi untuk dikembangkan sebagai adsorben pewarna tekstil karena kelimpahannya, gugus reaktifnya, dan keuntungan ekonomisnya.

Penelitian mengenai cangkang telur sebagai adsorben telah dilakukan oleh Nurlaili *et al.* (2017) yakni pemanfaatan limbah cangkang telur ayam sebagai adsorben zat warna methyl orange dalam larutan dengan perolehan hasil adsorpsi terbaik pada massa adsorben 11 gram dengan waktu kontak 60 menit dan pH 1 memiliki efisiensi adsorpsi yang diperoleh sebesar 41,46 % dan kapasitas adsorpsi sebanyak 59,55 mg/g. Ratnasari *et al.* (2017) juga telah melakukan penelitian terkait penggunaan cangkang telur sebagai adsorben untuk menurunkan kadar tembaga (Cu) pada limbah cair industri elektroplating yang terlebih dahulu telah diaktivasi secara fisika dengan hasil yang didapat adalah konsentrasi serbuk cangkang telur ayam 30 g/L yang menunjukkan penurunan tertinggi pada kadar Cu sebesar 69,23%. Selain itu Lestari *et al.* (2021) juga telah melakukan penelitian tentang adsorpsi methylene blue dengan memanfaatkan cangkang telur dan sekam padi sebagai bioadsorben pada limbah tekstil yang diperoleh kondisi optimal untuk mengadsorpsi 20 ppm methylene blue adalah 0,2:0,8 dalam 1 gram rasio adsorben CaO:C, waktu kontak 80 menit, dan pH 3 dengan adsorpsi kapasitas yang diperoleh sebesar 98,817% dan dapat menurunkan konsentrasi methylene blue menjadi 0,237 ppm.

Berdasarkan penelitian Nurlaili *et al.* (2017), Ratnasari *et al.* (2017), dan Lestari *et al.* (2021)

membuktikan bahwa penggunaan CaO dari cangkang telur dapat digunakan sebagai adsorben. Kelemahan pada penelitian Nurlaili *et al.* (2017) adalah adsorben yang digunakan belum teraktivasi sehingga hasil efisiensi adsorpsi yang diperoleh belum mencapai maksimal dan penggunaan massa adsorben yang terlalu besar sehingga mengakibatkan kepadatan adsorben, kepadatan yang terjadi mengakibatkan luas permukaan pada adsorben menjadi lebih kecil dan sisi aktif adsorben berkurang. Pada penelitian Ratnasari *et al.* (2017) kelemahannya terdapat pada massa adsorben yang digunakan terlalu sedikit.

Untuk memperbaiki kelemahan tersebut pada penelitian ini akan menggunakan campuran cangkang telur dengan karbon teraktivasi sebagai adsorben dengan cangkang telur yang diaktivasi secara fisika. Pada penelitian ini akan dilakukan juga variasi pada massa adsorben dengan rasio massa CaO:C optimum yang diperoleh dari penelitian Lestari *et al.* (2021) yaitu 0,2:0,8 dengan massa adsorben sebanyak 1 gram. Menurut Nurlaili *et al.* (2017), semakin banyak massa adsorben maka semakin banyak pula jumlah zat terlarut yang terserap sehingga proses adsorpsinya akan berlangsung secara optimal.

METODOLOGI

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya cangkang telur ayam yang diperoleh dari penjual nasi goreng di samarinda seberang, karbon aktif komersial, aquades, methylene blue. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya shaker, gelas kimia 100 mL, corong kaca, pipet ukur 10 ml, pipet volume 50 ml, oven, furnace, desikator, neraca analitik, hot plate, magnetic stirrer, cawan krusibel, ayakan dan spektrofotometer uv-vis.

Preparasi Bahan Baku Cangkang Telur

Cangkang telur dibersihkan dari pengotor yang menempel dengan menggunakan air. Selanjutnya dikeringkan dengan cara dijemur di bawah sinar matahari hingga kering. Kemudian dikecilkan ukuran cangkang telur ± 1 cm kemudian dihaluskan kembali dengan blender. Cangkang telur yang telah di blender lalu diayak menggunakan ayakan -100 ± 120 mesh.

Pembuatan Adsorben CaO dari Cangkang Telur

Cangkang telur yang telah dihaluskan dioven pada suhu 105°C selama 1,5 jam dan dimasukkan ke dalam desikator selama 30 menit dan diaktivasi secara fisika dengan furnace pada suhu 800°C selama 4 jam. Produk disimpan didesikator.

Proses Adsorpsi Zat Warna

Larutan sampel zat warna methylene blue 100 ppm disiapkan sebanyak 50 mL ke dalam erlenmeyer 100 mL. kemudian dimasukkan adsorben dengan rasio massa CaO:C yaitu 2:8 sebanyak 0,5 gram ke dalam 50 mL larutan methylene blue 100 ppm lalu ditutup dengan aluminium foil. Selanjutnya dilakukan proses adsorpsi selama 60 menit pada suhu kamar disertai pengadukan dengan kecepatan shaker 130 rpm. Setelah selesai proses adsorpsi, selanjutnya disaring untuk memisahkan adsorben dari larutan zat warna methylene blue dengan menggunakan kertas saring dan produk larutan zat warna hasil adsorpsi dimasukkan ke dalam botol kaca. Prosedur diulang dengan variasi jumlah adsorben 1 g, 1,5 g, 2 g, 2,5 g, 3 g, 3,5 g, 4 g, 6 g, 8 g, 10 g, 10,5 g, dan 11 g kemudian di analisis dengan spektrometer UV-Vis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penurunan konsentrasi zat warna methylene blue dilakukan dengan menggunakan metode adsorpsi. Adsorben yang digunakan untuk menurunkan konsentrasi zat warna methylene blue adalah campuran antara CaO dari cangkang telur ayam dengan karbon aktif. Sebelum digunakan sebagai adsorben, cangkang telur ayam diaktivasi terlebih dahulu secara fisika dengan dipanaskan dalam furnace pada suhu 800°C selama 4 jam. Proses pemanasan ini dikenal dengan istilah proses kalsinasi dimana proses ini bertujuan untuk memperbesar pori-pori dengan cara memutuskan ikatan kimia atau mengoksidasi molekul pada permukaan sehingga luas permukaan bertambah besar dan dapat mempengaruhi daya adsorpsi (Napitupulu, 2009). Pada proses inilah CaO terbentuk dari yang awal mulanya berupa senyawa CaCO_3 . Hal ini ditandai dengan perubahan warna serbuk cangkang telur sebelum dipanaskan berwarna putih kecoklatan dan setelah dipanaskan

menjadi berwarna putih dan abu kehitaman. Sifat fisik adsorben pada campuran warna putih dan abu kehitaman menunjukkan masih adanya reaksi sisa karbonisasi bahan organik menjadi karbon, reaksi oksidasi dengan adsorben menghasilkan abu yang merubah warna dari abu menjadi abu kehitaman, sedangkan warna putih tersebut berasal dari kandungan CaCO_3 dan CaO (Jasinda, 2013). Sedangkan untuk karbon aktif yang digunakan diperoleh secara komersial yang telah siap digunakan. Adsorpsi dilakukan dengan memvariasikan massa adsorben yang akan digunakan dengan rasio optimum antara CaO dan karbon aktif adalah 2:8 yang diperoleh dari penelitian Lestari *et al.* (2021).

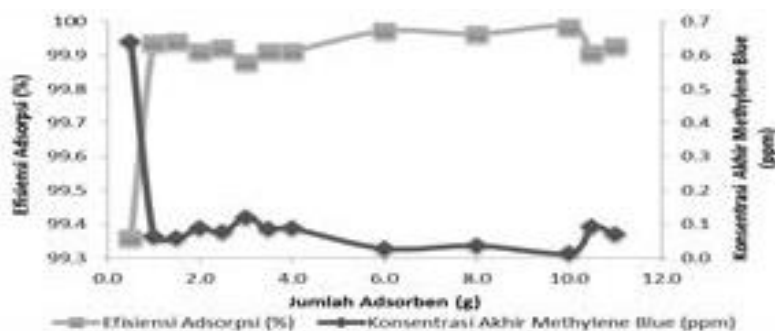
Adsorpsi zat warna methylene blue dilakukan dengan memvariasikan massa adsorben. Tujuannya adalah untuk mengetahui pengaruh massa adsorben terhadap konsentrasi akhir zat warna methylene blue dan efisiensi adsorpsi dengan konsentrasi awal zat warna Methylene blue adalah 100 ppm.

Pada gambar 1 ditunjukkan bahwa seiring dengan adanya penambahan massa adsorben maka konsentrasi akhir zat warna methylene blue juga akan menurun, hal ini berbanding terbalik dengan efisiensi adsorpsi, dimana semakin banyak massa adsorben maka kurva efisiensi adsorpsi semakin naik. Adsorben dapat menyerap zat warna methylene blue karena adsorben yang digunakan memiliki pori-pori yang jumlahnya melimpah yang membuat zat warna dapat menempel pada permukaan adsorben dan membuat lapisan film tipis saat proses adsorpsi terjadi.

Pada gambar 1, massa 0,5 gram ke 1,5 gram mengalami penurunan konsentrasi yang drastis begitu juga untuk kurva efisiensi adsorpsinya yang mengalami peningkatan drastis. Hal ini

dikarenakan pada mulanya laju adsorpsi berlangsung cepat karena seluruh permukaan pori masih kosong dan molekul zat warna akan saling menempel dan membentuk lapisan pada permukaan. Namun, setelah massa adsorben diperbesar, pori kosong yang awalnya kurang karena massa adsorbennya kecil setelah massa adsorben diperbesar akan membuat pori yang kosong juga ikut bertambah, sehingga kapasitas adsorpsi zat warna dari adsorben pun meningkat. Pada massa 0,5 gram efisiensi adsorpsi yang diperoleh adalah 99,3597 % dengan konsentrasi akhir methylene blue 0,6403 ppm lalu penyerapan zat warna methylene blue meningkat drastis pada massa 1,5 gram dengan efisiensi adsorpsi 99,9418 % dan konsentrasi akhir methylene blue 0,0582 ppm.

Pada gambar 1, massa 1,5 gram hingga 3 gram kurva yang dihasilkan terlihat naik turun. Di massa 1,5 gram konsentrasi akhir methylene blue ialah 0,0582 ppm lalu naik kembali pada massa 2 gram dengan konsentrasi akhir methylene blue adalah 0,0866 ppm. Selanjutnya, kurva terlihat turun lagi pada massa 2,5 gram dengan konsentrasi akhir methylene blue 0,0765 ppm dan kurva naik kembali pada massa 3 gram dengan konsentrasi akhir methylene blue sebesar 0,1195 ppm. Hal ini terjadi karena adsorben belum stabil selama berlangsungnya proses adsorpsi. Pada proses adsorpsi ini terjadi adsorpsi fisika yang disebabkan adanya gaya van der Waals yaitu gaya tarik-menarik antara adsorben dengan adsorbatnya, dimana pada gaya ini juga terjadi reaksi reversible yang memungkinkan masih bisa terjadi pelepasan kembali zat warna methylene blue yang telah diserap oleh adsorben ke larutan methylene blue, sehingga menghasilkan hasil kurva yang tidak stabil.



Gambar 1. Hubungan massa adsorben terhadap konsentrasi akhir methylene blue dan efisiensi adsorpsi

Kurva yang ditampilkan untuk konsentrasi akhir methylene blue pada massa 3 gram hingga 10 gram mengalami penurunan kembali, sebaliknya untuk nilai efisiensi adsorpsi zat warna methylene blue terjadi peningkatan. Pada massa 3 gram efisiensi adsorpsi yang diperoleh adalah 99,8805 % lalu meningkat perlahan hingga massa 10 gram dengan efisiensi adsorpsi sebesar 99,9861 %. Nilai yang sama berlaku juga terhadap konsentrasi akhir methylene blue, namun untuk nilai kebalikannya. Pada massa 3 hingga 10 gram menyatakan bahwa adanya penambahan massa adsorben akan terjadi penambahan sisi aktif pada permukaan adsorben, sehingga semakin besar jumlah adsorben maka semakin banyak methylene blue yang akan diserap (Bhaumik *et al.*, 2012). Pada massa 10 gram juga diketahui merupakan massa optimum pada proses adsorpsi ini karena pada titik ini terjadi keseimbangan antara methylene blue yang diadsorpsi oleh adsorben dan jumlah methylene blue yang tertinggal dalam larutan, akibatnya adsorben telah mengikat methylene blue dan mencapai efisiensi adsorpsi dengan maksimal.

Setelah massa 10 gram pada gambar 1 yang dihasilkan untuk nilai konsentrasi akhir methylene blue kembali meningkat hingga akhir, sebaliknya kurva pada nilai efisiensi adsorpsi zat warna methylene blue mengalami penurunan. Konsentrasi akhir methylene blue pada massa 10 gram adalah 0,0139 ppm, sedangkan pada massa 11 gram konsentrasi akhir methylene blue adalah 0,0702 ppm yang membuat kurva menjadi menurun. Hal tersebut terjadi karena ketika massa adsorben melebihi massa optimumnya akan menyebabkan terbentuknya gumpalan yang

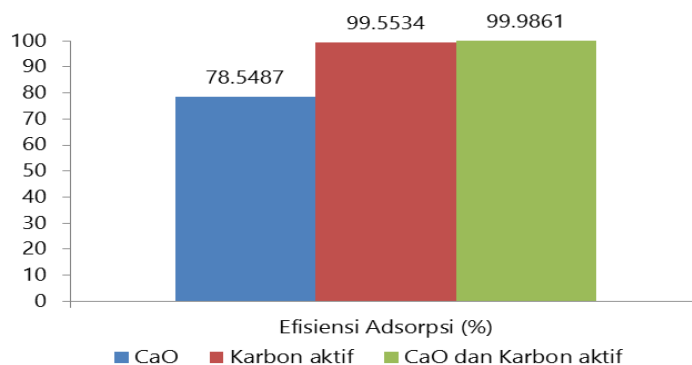
mengurangi luas permukaan adsorben sehingga menyebabkan penurunan kapasitas adsorpsi juga ikut menurun.

Pada gambar 1, massa 0,5 gram dan 10 gram hasil efisiensi adsorpsi yang dihasilkan yaitu 99,3597 % dan 99,9861 %. Hasil efisiensi adsorpsi yang diperoleh hanya terjadi selisih 0,6264 % dikarenakan adsorben yang digunakan memiliki daya serap yang tinggi sehingga menghasilkan efisiensi yang cukup tinggi pada massa awalnya. Namun, daya serap ini masih bisa ditingkatkan dengan menambah massa adsorbennya sampai proses adsorpsi mengalami kesetimbangan, dimana kesetimbangan ini diperoleh pada massa optimumnya yaitu 10 gram.

Perbandingan antara CaO dari Cangkang Telur Dengan Karbon Teraktivasi Tanpa Blending dan Blending Terhadap Efisiensi Adsorpsi

Pada penelitian ini telah diketahui massa adsorben optimum adalah 10 gram, selanjutnya yang ingin diketahui adalah membandingkan efisiensi dalam menyerap zat warna methylene blue antara CaO dari cangkang telur dan karbon teraktivasi tanpa blending dan juga di blending atau dicampur.

Berdasarkan Gambar 2 dengan massa adsorben yang sama yaitu 10 gram diperoleh bahwa efisiensi adsorpsi zat warna methylene blue pada CaO dari cangkang telur saja adalah 78.5487 %, pada karbon teraktivasi saja adalah 99.5534 % dan pada campuran CaO dari cangkang telur dengan karbon teraktivasi adalah 99,9861 %. Dari ketiga percobaan ini diketahui bahwa efisiensi adsorpsi



Gambar 2. Perbandingan CaO dari cangkang telur dan karbon teraktivasi tanpa blending dan blending terhadap efisiensi adsorpsi

pada CaO dari cangkang telur memperoleh hasil yang paling rendah. Hal ini bisa saja karena luas permukaan yang dimiliki CaO dari cangkang telur lebih rendah jika dibandingkan dengan karbon teraktivasi, sehingga daya serap yang dimiliki CaO dari cangkang telur lebih rendah daripada karbon teraktivasi, ini juga menunjukkan bahwa karbon teraktivasi lebih unggul dalam menyerap zat warna methylene blue dikarenakan memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar. Nilai efisiensi adsorpsi zat warna methylene blue yang tertinggi ditunjukkan pada campuran CaO dari cangkang telur dan karbon teraktivasi. Hal ini juga menunjukkan bahwa ketika CaO dari cangkang dan karbon teraktivasi dicampur akan memperoleh nilai efisiensi yang lebih tinggi, sehingga membuat kedua adsorben ini berkerja lebih maksimal dalam proses adsorpsi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh disimpulkan bahwa semakin banyak massa adsorben dalam proses adsorpsi maka nilai efisiensi adsorpsi dan penurunan konsentrasi zat warna methylene blue juga semakin meningkat. Massa adsorben terbaik untuk adsorpsi zat methylene blue adalah 10 gram blending Cao dari cangkang telur dengan karbon teraktivasi dengan konsentrasi akhir zat warna methylene blue adalah 0,0139 ppm dan efisiensi adsorpsi zat warna methylene blue adalah 99,9861 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada P3M POLNES atas dukungannya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bhaumik, R., Mondal, N.K., Das, B., Roy, P., Pal, K.C., Das, C. & Baneerjee, A. 2012. Eggshell powder as an adsorbent for removal of fluoride from aqueous solution: equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *E-Journal of Chemistry*, 9(3):1457–1480.
- Jain, R., Bhargava, M. & Sharma, N. 2003. Electrochemical studies on a pharmaceutical azo dye: Tartrazine. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 42(2):243–247.
- Jasinda. 2013. Pembuatan Dan Karakterisasi Adsorben Cangkang Telur Bebek Yang Diaktivasi Secara Termal. Universitas Sumatera Utara.
- Koumanova, B., Peeva, P., Allen, S.J. & Gallagher, K. A. & Healy, M.G. 2002. Biosorption from aqueous solutions by eggshell membrane and *Rhizopus oryzae*: Equilibrium and kinetic studies. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 77:539–545.
- Kurtini, T., Nova, K. & Septinova, D. 2011. Produksi Ternak Unggas. Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Lestari, N.C., Budiawan, I. & Fuadi, A.M. 2021. Pemanfaatan cangkang telur dan sekam padi sebagai bioadsorben metilen biru pada limbah tekstil. *Jurnal Riset Kimia*, 12(1), 36–43. doi: 10.25077/jrk.v12i1.396.
- Napitupulu, A. (2009). Impregnasi Karbon Aktif dengan Natrium Sulfida untuk Mengikat Ion Tembaga (II) dan Kadmium (II) di Dalam Air. Repositori Universitas Sumatera Utara.
- Nurlaili, T., Kurniasari, L. & Ratnani, R.D. 2017. Pemanfaatan limbah cangkang telur ayam sebagai adsorben zat warna methyl orange dalam larutan. *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 2(2):11-14
- Ratnasari, N.D., Moelyaningrum, A.D. & Ellyke, E. 2017. Penurunan Kadar Tembaga (Cu) pada Limbah Cair Industri Elektroplating Menggunakan Cangkang Telur Ayam Potong Teraktivasi Termal. *Sanitasi: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 9(2):56–62.
- Saptaaji, R. 2007. Studi Pendahuluan Mengenai Degradasi Zat Warna Azo (Metil Orange) dalam Pelarut Air Menggunakan Mesin Berkas Elektron 350 keV/10 mA. *Jurnal Forum Nuklir*, 1(1):31–44.
- Widjajanti, E., Regina, T.P. & Utomo, M.P. 2011. Pola adsorpsi zeolit terhadap pewarna azo metil merah dan metil jingga. Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan Dan Penerapan MIPA. Hal K115-K122, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Wijaya, K., Sugiharto, E., Fatimah, I., Sudiono, S. & Kurniaysih, D. 2006. Utilisasi TiO₂-zeolit dan sinar uv untuk fotodegradasi zat warna congo red. *Teknoin*, 11(3):199-209. doi: 10.20885/v11i3.88