

Penyisihan fosfat dari air limbah artifisial laundry memanfaatkan kulit jagung sebagai adsorben

Removal of phosphate from laundry wastewater using maize husk as adsorbent

Shinta Indah*, Denny Helard, dan Siti Lathifatuazzahrah

Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas
Kampus Unand Limau Manis, Padang, Indonesia

* e-mail: shintaindah@eng.unand.ac.id



INFO ARTIKEL

Sejarah artikel:

Diterima :
26 November 2021
Direvisi :
03 Juni 2022
Diterbitkan :
30 Juni 2022

Kata kunci:

adsorben;
adsorpsi;
air limbah laundry;
fosfat;
kulit jagung

ABSTRAK

Air limbah *laundry* mengandung fosfat yang berpotensi mengakibatkan pencemaran air, jika tidak dikelola dengan baik. Penelitian ini bertujuan memanfaatkan kulit jagung sebagai adsorben untuk menyisihkan fosfat dari air limbah *laundry*. Penelitian dilakukan secara *batch* menggunakan larutan artifisial fosfat yang dibuat dari KH_2PO_4 anhidrat untuk mendapatkan kondisi optimum meliputi waktu kontak, pH dan konsentrasi adsorbat serta dosis dan diameter adsorben. Konsentrasi fosfat dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 880 nm. Kondisi optimum yang diperoleh dari proses adsorpsi adalah waktu kontak 60 menit, pH adsorbat 4, konsentrasi adsorbat 35 mg/L, dosis adsorben 20 g/L dan diameter adsorben 0,075-0,127 mm. Efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi pada kondisi optimum adalah 71,28% dan 1,247 mg/g. Persamaan isotherm yang sesuai berdasarkan data penelitian adalah isotherm Freundlich ($R^2=0,9944$) dengan nilai K_f 0,072 L/g dan nilai $1/n$ 2,366. Hal ini menunjukkan adsorpsi fosfat terjadi pada lapisan multilayer permukaan adsorben kulit jagung dan ikatan yang terbentuk adalah ikatan fisika. Hasil secara keseluruhan menunjukkan bahwa kulit jagung dapat dijadikan adsorben dalam penyisihan fosfat dari air limbah *laundry*.

ABSTRACT

Laundry wastewater contains phosphates which have the potential to cause water pollution, if not properly managed. This study aims to utilize corn husk as an adsorbent to remove phosphate from laundry wastewater. Batch experiments were carried out using an artificial phosphate solution to obtain optimum conditions including contact time, pH, and concentration of adsorbate as well as the dose and diameter of the adsorbent. The results showed that the optimum condition of phosphate removal was 60 minutes of contact time, 4 of pH's adsorbate, 35 mg/L of phosphate concentration, 20 g/L of adsorbent dose, and 0.075-0.127 mm of adsorbent's diameter. The removal efficiency and adsorption capacity at optimum conditions were 71.28% and 1.247 mg/g, respectively. Experiment data fitted well to Freundlich's adsorption isotherm within the concentration range studied. It indicates that phosphate adsorption occurs on the multilayer surface of the corn husk reflecting physisorption. Overall results indicate that corn husks has the potential as an adsorbent for the removal of phosphate from laundry wastewater.

Keywords:

adsorbent;
adsorption;
laundry wastewater;
phosphate;
maize husk

1. Pendahuluan

Laundry merupakan salah satu industri jasa yang saat ini tengah berkembang pesat di Indonesia. Jasa *laundry* memberikan banyak dampak positif bagi pelaku industri

dan pengguna jasa. Berdasarkan data Asosiasi *Laundry* Indonesia tahun 2020, hingga saat ini terdapat 20.873 anggota yang tergabung dalam asosiasi ini. Akan tetapi, maraknya jasa *laundry* saat ini juga dapat mengakibatkan peningkatan jumlah air limbah yang

dihasilkan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Nisa et al., (2019), diketahui bahwa rerata volume air limbah pada pembilasan yaitu 13 L/kg cucian dan volume air limbah perhari yang dihasilkan mencapai 2.160 L/hari.

Air limbah *laundry* tersebut dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik dan langsung dibuang ke saluran drainase atau badan air. Hal tersebut disebabkan karena karakteristik limbah *laundry* berupa BOD, COD, TSS, minyak dan lemak, detergen serta fosfat di dalam air limbah *laundry*. Fosfat adalah salah satu dari karakteristik air limbah *laundry* yang dalam detergen berasal dari *sodium tripoly phosphate* (STPP) yang berfungsi sebagai *builders*. *Builders* merupakan komponen terbesar dari detergen yaitu antara 70 – 80% dan merupakan unsur terpenting kedua setelah surfaktan karena kemampuannya menonaktifkan mineral kesadahan dalam air sehingga detergen dapat bekerja secara optimal (Smulders et al., 2007).

Di Indonesia, baku mutu air limbah *laundry* belum diatur secara khusus oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. Sementara itu, Gubernur Sumatera Barat hingga saat ini juga belum menetapkan peraturan khusus mengenai baku mutu air limbah *laundry*. Akan tetapi, Gubernur Jawa Timur telah menetapkan baku mutu untuk air limbah *laundry* yang tercantum dalam Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri dan/atau Kegiatan Usaha Lainnya. Baku mutu untuk fosfat (sebagai P_2O_4) dalam air limbah *laundry* adalah sebesar 10 mg/L.

Menurut Lestari et al., (2017), kadar fosfat dalam air limbah *laundry* di Yogyakarta dilaporkan mencapai 30,2 mg/L. Di samping itu, penelitian yang dilakukan oleh Suharto et al., (2020) menunjukkan bahwa kadar fosfat (sebagai P_2O_4) dalam air limbah *laundry* di Kota Malang, Jawa Timur mencapai 159,32 mg/L. Dapat disimpulkan bahwa kandungan fosfat dalam air limbah *laundry* tersebut tidak memenuhi baku mutu yang ditetapkan. Kandungan fosfat yang tinggi dalam perairan dapat menyebabkan eutrofikasi di mana badan air menjadi kaya akan nutrisi terlarut, menurunnya kandungan oksigen terlarut dan kemampuan daya dukung badan air terhadap biota air.

Beberapa penelitian terkait upaya menyisihkan fosfat di perairan telah pernah dilakukan seperti dengan koagulasi flokulasi menggunakan koagulan tawas (Sisyanreswari et al., 2017) dan elektrokoagulasi (Lestari et al., 2017). Dalam beberapa tahun terakhir, banyak penelitian telah berfokus pada proses adsorpsi karena dinilai lebih efektif, preparasi mudah dan pembiayaan yang relatif murah dibandingkan metode lain serta terbukti memiliki efisiensi tinggi (William et al., 2008).

Adsorpsi adalah proses pengumpulan suatu substansi pada permukaan padatan adsorben. Proses adsorpsi ini melibatkan dua komponen utama yaitu adsorben yang merupakan padatan di mana di permukaannya terjadi pengumpulan substansi yang disisihkan dan adsorbat yaitu substansi yang akan disisihkan dari cairan. Kinerja proses adsorpsi dipengaruhi oleh dosis adsorben, luas permukaan adsorben, pH dan konsentrasi adsorbat serta

waktu kontak adsorben dengan adsorbat. Pada adsorpsi juga dapat ditentukan isoterm adsorpsi yang akan memberikan gambaran bagaimana interaksi adsorben dan adsorbat terjadi (Tchobanoglous et al., 2014).

Dewasa ini telah banyak dilakukan penelitian adsorpsi menggunakan adsorben dari biomaterial berupa limbah pertanian untuk menyerap bahan beracun. Biomaterial dipertimbangkan sebagai adsorben karena memiliki komponen kimia kayu seperti selulosa yang berpotensi dalam proses adsorpsi karena mengandung situs aktif seperti gugus hidroksil (OH^-). Gugus hidroksil tersebut dapat dengan mudah membentuk serangkaian reaksi kimia dan melakukan pengikatan dengan senyawa kationik maupun anionik (Khodaie et al., 2013). Penggunaan biomaterial sebagai adsorben mendapat perhatian khusus karena mudah didapatkan, mudah diregenerasi dan tersedia dalam jumlah melimpah.

Salah satu biomaterial yang dapat digunakan sebagai adsorben yaitu kulit jagung. Kulit jagung memiliki kadar selulosa yang cukup tinggi sehingga dapat dimanfaatkan sebagai adsorben. Menurut (Fagbemigun et al., 2014), komposisi kimia kulit jagung meliputi 15% lignin, 5,09% abu, 4,57% alkohol-sikloheksana, dan 44,08% selulosa. Berdasarkan penelitian terdahulu diketahui bahwa kulit jagung terbukti dapat dijadikan adsorben untuk menyisihkan parameter kimia organik dan anorganik kualitas air. Penelitian tersebut di antaranya yaitu penyisihan *Chemical Oxygen Demand* (COD) serta minyak dan lemak dari limbah hotel, di mana didapatkan efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi berturut-turut pada larutan artifisial yaitu 63,74% dan 19,95 mg COD/g (Abuzar et al., 2014) serta 70,44% dan 7 mg/g untuk minyak dan lemak (Abuzar et al., 2012). Selain itu kulit jagung juga telah dimanfaatkan untuk menyisihkan logam besi dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,499 mg Fe/g (Indah et al., 2016).

Berdasarkan uraian di atas untuk menguji kemampuan kulit jagung lebih lanjut, pada penelitian ini kulit jagung dimanfaatkan sebagai adsorben untuk menyisihkan fosfat dari air limbah *laundry*. Kulit jagung yang digunakan adalah yang alami tanpa aktivasi untuk mengetahui kemampuan alami kulit jagung. Sejauh ini, belum ada penelitian terkait dengan hal tersebut. Penentuan persamaan isoterm adsorpsi yang sesuai dengan proses adsorpsi fosfat dengan kulit jagung juga dilakukan untuk mempelajari interaksi dan mekanisme adsorpsi yang terjadi pada proses adsorpsi fosfat oleh adsorben kulit jagung. Hasil penelitian ini diharapkan dapat melengkapi informasi kemampuan kulit jagung sebagai adsorben untuk menyisihkan fosfat dan menjadi alternatif teknologi pengolahan limbah *laundry* bagi masyarakat.

2. Metode

2.1. Persiapan adsorben dan adsorbat

Bahan baku adsorben berupa kulit jagung didapatkan dari usaha makanan olahan jagung di Kota Padang. Kulit jagung dipotong dan dicuci dengan air untuk menghilangkan kotoran dan dikering-anginkan pada temperatur kamar (25°C). Kulit jagung yang sudah kering digiling dengan grinder menjadi serbuk dan diayak menggunakan *shieve shaker* untuk mendapatkan

diameter yang divariasikan. Analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM) juga dilakukan untuk mengetahui struktur morfologi permukaan kulit jagung.

Adsorbat berupa larutan artifisial yang dibuat dari kalium dihidrogen fosfat anhidrat (KH₂PO₄). Untuk mendapatkan variasi konsentrasi adsorbat, dilakukan pengenceran. Variasi konsentrasi fosfat didapat dari studi karakteristik air limbah *laundry* di Kota Padang.

2.2. Percobaan adsorpsi

Percobaan optimasi dilakukan untuk menentukan kondisi optimum proses adsorpsi fosfat secara *batch* meliputi waktu kontak, pH dan konsentrasi adsorbat serta dosis dan diameter adsorben. Variasi percobaan setiap kondisi dapat dilihat pada Tabel 1. Untuk variasi konsentrasi, dilakukan studi pendahuluan tentang karakteristik air limbah *laundry* di Kota Padang. Pengambilan sampel langsung diambil pada pipa efluen dari dua buah usaha *laundry*. Analisis kadar fosfat dalam air limbah *laundry* dilakukan di Laboratorium Air, Teknik Lingkungan, Universitas Andalas dengan metode spektrofotometri pada panjang gelombang 880 nm (SNI 06-6989.31-2005). Hasil analisis didapatkan konsentrasi fosfat dalam air limbah *laundry* berkisar 16,26-33,65 mg/L.

Percobaan adsorpsi dilakukan dengan mengontakan larutan air limbah *laundry* artifisial dengan adsorben dalam erlenmeyer menggunakan *shaker* dengan kecepatan 120 rpm selama waktu yang ditetapkan. Adsorben kemudian disisihkan dari larutan dengan cara disaring menggunakan kertas saring. Konsentrasi fosfat sebelum dan setelah proses adsorpsi diukur dengan spektrofotometer pada panjang gelombang 880 nm (SNI 06-6989.31-2005).

Tabel 1.

Variasi percobaan untuk mendapatkan kondisi optimum

No.	Parameter	Variasi
1.	Dosis Adsorben (g/L)	20; 30; 40; 50; 60
2.	Diameter Adsorben (mm)	(<0,075); (0,075-0,127); (0,127-0,181); (0,181-0,254); (0,254-0,3175)
3.	pH Adsorbat	3;4;5;6;7
4.	Konsentrasi Adsorbat (mg/L)	15; 20; 25; 30; 35
5.	Waktu Kontak (menit)	30; 60; 90; 120; 150;

Efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi dapat dihitung dengan persamaan (1) dan (2):

$$E = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

$$q = \frac{E}{100} \times C_0 \times \frac{V}{m} \dots\dots\dots(2)$$

Di mana E adalah efisiensi penyisihan; C_0 serta C_e adalah konsentrasi awal (mg/L) dan konsentrasi akhir (mg/L); q adalah kapasitas adsorpsi (mg/g); V dan m adalah volume larutan (L) dan berat adsorben (g) yang digunakan.

2.3. Penentuan persamaan isoterm adsorpsi

Persamaan isoterm menjadi dasar dalam penentuan sistem adsorpsi, karena menggambarkan interaksi yang terjadi antara adsorbat dengan adsorben. Penentuan persamaan isoterm adsorpsi pada penelitian ini menggunakan data variasi konsentrasi adsorbat. Pada penelitian ini, ada dua jenis isoterm yang diuji yaitu isoterm *Langmuir* dan isoterm *Freundlich*.

Isoterm *Langmuir* menunjukkan bahwa adsorben memiliki permukaan yang homogen dengan proses adsorpsi monolayer. Persamaan Isoterm *Langmuir* yaitu (Tchobanoglous *et al.*, 2014):

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_{max}} + \frac{1}{K_L q_{max}} \dots\dots\dots(3)$$

Di mana: C_e adalah konsentrasi akhir adsorbat saat kesetimbangan setelah adsorpsi (mg/L), q_e adalah massa substansi yang diadsorpsi (adsorbat) per massa adsorben (mg/g). q_{max} adalah kapasitas adsorpsi maksimum dari adsorben (mg/g) dan K_L adalah konstanta adsorpsi *Langmuir* (L/mg). Konstanta isoterm *Langmuir* dapat ditentukan dengan plot data C_e/q_e pada sumbu y terhadap C_e .

Isoterm *Freundlich* menunjukkan bahwa adsorben memiliki permukaan yang heterogen dan tiap molekul mempunyai potensi penjerapan yang berbeda-beda terhadap senyawa dengan proses adsorpsi multilayer. Persamaan isoterm adsorpsi *Freundlich*:

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \dots\dots\dots(4)$$

Di mana: q_e adalah massa substansi yang diadsorpsi (adsorbat) per massa adsorben (mg/g); K_F adalah kapasitas adsorpsi relatif *Freundlich*; C_e adalah konsentrasi akhir adsorbat saat kesetimbangan setelah adsorpsi (mg/L) dan $1/n$ adalah intensitas parameter *Freundlich*.

Konstanta pada isoterm *Freundlich* (K_F dan n) dapat ditentukan dengan plot data pada grafik, di mana $\log q_e$ pada sumbu y terhadap $\log C_e$ pada sumbu x, dan diperoleh persamaan (5) (Tchobanoglous *et al.*, 2014):

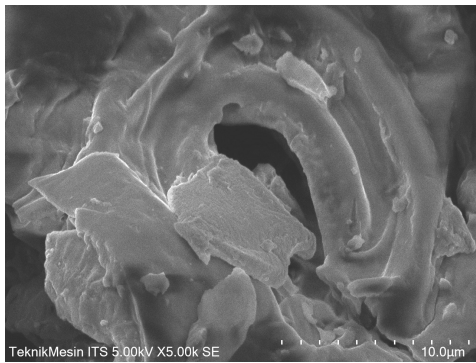
$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \dots\dots\dots(5)$$

Kurva linear dibentuk antara C_e dan C_e/q_e untuk persamaan *Langmuir* dan antara $\log C_e$ dan $\log q_e$ untuk persamaan *Freundlich*. Koefisien determinasi (R^2) yang diperoleh dari masing-masing persamaan yang digunakan untuk menilai persamaan isoterm yang sesuai dengan percobaan ini.

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM) terhadap kulit jagung

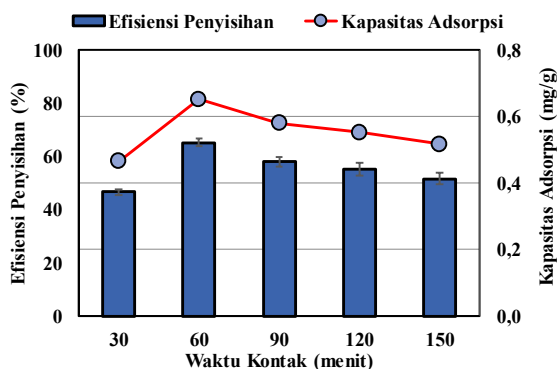
Hasil analisis SEM dari kulit jagug dapat pada Gambar 1. Gambar 1 menunjukkan bahwa kulit jagung mempunyai permukaan yang halus, berpori, tekstur seluler dan tidak teratur dengan rongga yang besar, sehingga menyediakan situs yang cocok untuk adsorpsi.



Gambar 1. Hasil analisis SEM kulit jagung perbesaran 5000x)

3.2. Penentuan waktu kontak optimum

Penentuan waktu kontak optimum dilakukan dengan memvariasikan waktu kontak yaitu 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Empat parameter lainnya diatur tetap, meliputi konsentrasi adsorbat 20 mg/L, dosis adsorben 20 g/L, pH 5, dan diameter adsorben kulit jagung (0,127–0,181) mm. Hasil efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi fosfat oleh kulit jagung dapat dilihat pada Gambar 2. Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa waktu kontak 60 menit menghasilkan efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi terbaik yaitu 65,26% dan 0,466 mg/g.



Gambar 2. Efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi fosfat oleh kulit jagung pada variasi waktu kontak

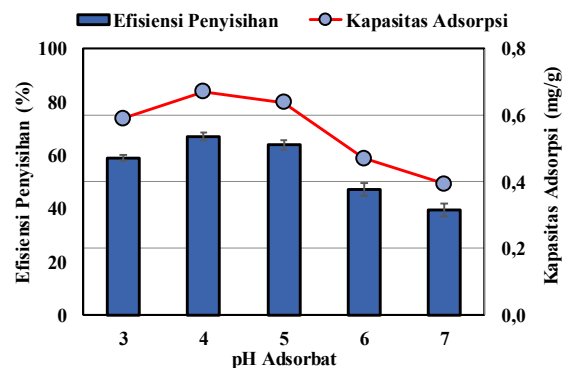
Pada 30 menit pertama, penyerapan yang terjadi oleh adsorben belum maksimal. Kapasitas adsorpsi terus bertambah seiring berjalannya waktu kontak hingga terjadi kesetimbangan (Abuzar et al., 2012). Pada waktu kontak 60 menit, kinerja adsorpsi berjalan dengan efektif yang terlihat dari efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi yang tinggi. Pada waktu tersebut, telah tercapai titik kesetimbangan dan pada waktu kontak selanjutnya konsentrasi fosfat cenderung konstan dan menurun. Hal ini disebabkan karena adsorben kulit jagung yang telah menuju jenuh dalam mengadsorpsi fosfat. Apabila adsorben sudah jenuh, terjadi penurunan kinerja adsorpsi sehingga efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi menurun. Waktu kontak 60 menit digunakan untuk percobaan selanjutnya.

3.3. Penentuan pH adsorbat optimum

Variasi pH yang dicobakan adalah 3, 4, 5, 6 dan 7. Pada penentuan pH optimum ini, parameter lainnya diatur dalam kondisi tetap yaitu konsentrasi adsorbat 20 mg/L, dosis adsorben 20 g/L, waktu kontak 60 menit, dan diameter adsorben kulit jagung (0,127–0,181) mm. Hasil percobaan optimasi variasi pH dapat dilihat pada Gambar 3 di mana terjadi peningkatan efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi dari pH 3 ke pH 4, dan terjadi penurunan pada pH selanjutnya yaitu 5 sampai 7.

Efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi fosfat tertinggi terjadi pada pH 4 yaitu sebesar 67,09% dan 0,671 mg/g. Berdasarkan penelitian adsorpsi fosfat dengan karbon aktif dari kulit singkong oleh Sailah et al. (2020) juga didapatkan pH optimum 4, yang merupakan kondisi asam. Hal ini disebabkan karena pada pH asam, larutan adsorbat bermuatan positif akibat keberadaan ion H^+ sehingga gugus $-OH$ pada permukaan adsorben terprotonasi menjadi $-OH_2^+$. Muatan positif pada permukaan adsorben yang terbentuk akan berinteraksi dan mengalami ikatan elektrostatis dengan senyawa fosfat yang bermuatan negatif (Yan et al., 2015).

Pada pH larutan yang semakin tinggi yaitu di atas pH 5, kapasitas adsorpsi fosfat oleh adsorben kulit jagung semakin berkurang. Hal ini disebabkan karena pada pH yang lebih tinggi, permukaan adsorben menjadi lebih negatif karena banyaknya muatan OH^- sehingga secara signifikan lebih menolak spesies yang bermuatan negatif dalam larutan. Situs permukaan adsorben yang bermuatan negatif tidak mendukung adsorpsi anion fosfat karena tolakan elektrostatis (Namasivayam and Sangeetha, 2004). Sedangkan pada larutan dengan pH di bawah 4 terjadi kelebihan jumlah proton pada larutan yang menyebabkan berkurangnya jumlah spesies $H_2PO_4^-$ dengan mulai terbentuknya spesies H_3PO_4 yang tidak bermuatan sehingga berinteraksi lemah dengan adsorben dan mengakibatkan kemampuan adsorpsinya menurun (Saha et al., 2009). Untuk percobaan selanjutnya, pH 4 digunakan pada proses adsorpsi.



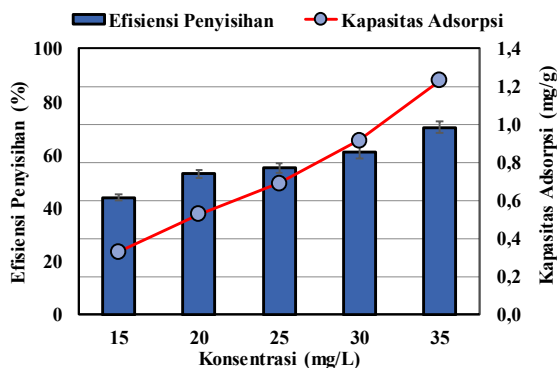
Gambar 3. Efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi fosfat oleh kulit jagung pada variasi pH adsorbat.

3.4. Penentuan konsentrasi adsorbat optimum

Pada penentuan konsentrasi adsorbat optimum, variasi konsentrasi adsorbat yang dicobakan adalah 15 mg/L, 20 mg/L, 25 mg/L, 30 mg/L, dan 35 mg/L. Variasi konsentrasi ini dipilih berdasarkan hasil studi

karakteristik air limbah *laundry* di Kota Padang, di mana didapatkan konsentrasi fosfat berkisar 16,26-33,65 mg/L. Kondisi parameter lainnya diatur tetap untuk masing-masing yaitu pH optimum 4, waktu kontak optimum 60 menit, dosis adsorben 20 g/L, dan diameter adsorben kulit jagung (0,127–0,181) mm.

Efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi tertinggi, dapat dilihat pada Gambar 4, di mana terjadi pada konsentrasi 35 mg/L yaitu sebesar 70,36% dan 0,330 mg/g. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa semakin tinggi konsentrasi adsorbat maka efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi fosfat juga semakin tinggi. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Sinta *et al.* (2015) tentang adsorpsi fosfat oleh lempung teraktivasi asam sulfat yang menjelaskan bahwa semakin besar konsentrasi larutan fosfat maka semakin banyak partikel-partikel adsorben yang bertumbukan dan berinteraksi dengan fosfat, sehingga kemampuan adsorpsinya meningkat.

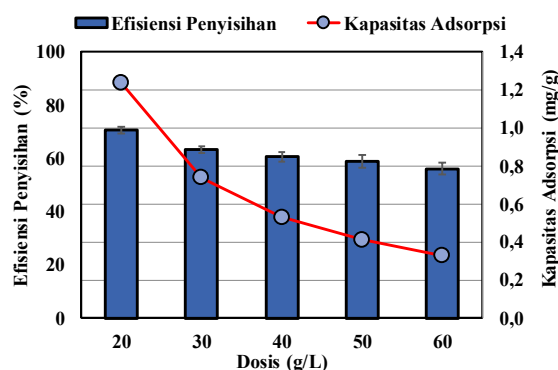


Gambar 4. Efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi fosfat oleh kulit jagung pada variasi konsentrasi adsorbat.

Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Darmadinata *et al.* (2019) tentang adsorpsi fosfat dengan adsorben bentonit teraktivasi asam sulfat juga menunjukkan hal serupa di mana kapasitas adsorpsi meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi fosfat. Pada suatu titik akan terjadi penurunan dan cenderung konstan dari jumlah fosfat teradsorpsi yaitu jika adsorben mencapai kejenuhan. Pada penelitian ini, dari range konsentrasi fosfat yang dicobakan yaitu 15-35 mg/L, didapatkan efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi tertinggi adalah pada 35 mg/L. Konsentrasi ini diterapkan pada percobaan selanjutnya.

3.5. Penentuan dosis adsorben optimum

Dosis (g/L) merupakan perbandingan antara berat adsorben yang digunakan dengan volume kerja larutan adsorbat pada saat proses adsorpsi. Penentuan dosis adsorben optimum dilakukan pada kondisi parameter lainnya diatur tetap yaitu pH optimum 4, waktu kontak optimum 60 menit, konsentrasi adsorbat optimum 35 mg/L, dan diameter adsorben kulit jagung (0,127–0,181) mm.



Gambar 5. Efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi fosfat oleh kulit jagung pada variasi dosis adsorbat.

Pada Gambar 5 terlihat bahwa efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi fosfat tertinggi yaitu 70,54% dan 1,234 mg/g didapatkan pada variasi dosis adsorben terendah yaitu 20 g/L. Efisiensi penyisihan ini menurun seiring dengan pertambahan dosis adsorben dan sejalan dengan penurunan kapasitas adsorpsinya. Dosis optimum didapatkan pada dosis paling rendah karena semakin tinggi dosis adsorben maka dapat menyebabkan terjadinya penggumpalan pada adsorben yang mengakibatkan berkurangnya situs aktif untuk menyerap fosfat. Hal ini dapat terjadi karena rasio volume larutan dan berat adsorben yang semakin besar. Hasil ini didukung oleh penelitian Apriliani *et al.* (2017) tentang adsorpsi fosfat dengan adsorben kulit jagung yang diaktivasi dengan NaOH. Dosis optimum juga diperoleh dari variasi dosis terendah. Dosis optimum 20 g/L ini digunakan untuk percobaan selanjutnya.

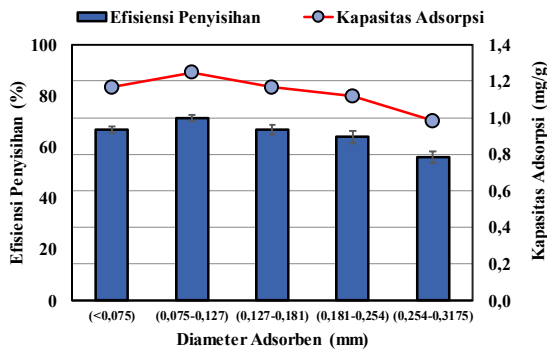
3.6. Penentuan diameter adsorben optimum

Hasil percobaan optimasi diameter adsorben dapat dilihat pada Gambar 6. Pada percobaan ini, parameter lainnya diatur tetap yaitu menggunakan kondisi optimum yang didapatkan dari percobaan sebelumnya berupa pH optimum 4, waktu kontak optimum 60 menit, konsentrasi adsorbat optimum 35 mg/L, dan dosis optimum 20 g/L.

Dari Gambar 6 diperoleh efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi tertinggi menggunakan adsorben kulit jagung dengan diameter berukuran (0,075–0,127) mm yaitu sebesar 71,28% dan 1,247 mg/g. Akan tetapi, dari hasil yang didapatkan, efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi relatif sama untuk kedua variasi diameter terkecil. Perbedaan efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi yang didapat hanya sekitar 4,54% dan 0,079 mg/g. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung relatif sama pada kedua variasi diameter terkecil yang dicobakan.

Hasil yang sesuai dengan hasil penelitian Eberhardt and Min (2008) tentang adsorpsi fosfat pada adsorben dari partikel kayu di mana diperoleh penyisihan fosfat tertinggi juga pada diameter atau ukuran partikel adsorben yang lebih kecil. Semakin halus ukuran partikel atau diameter adsorben, semakin luas area permukaannya, sehingga memungkinkan terjadi interaksi antara larutan adsorbat dengan adsorben lebih banyak. Hal ini berarti adsorpsi dari material yang mempunyai

ukuran partikel lebih kecil akan mengadsorpsi substansi lebih banyak dibandingkan dengan partikel berukuran lebih besar (Khodaie et al., 2013).



Gambar 6. Efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi fosfat oleh kulit jagung pada variasi diameter adsorben.

3.7. Rekapitulasi kondisi optimum

Setelah percobaan optimasi dengan larutan artifisial dilakukan maka diperoleh kondisi optimum waktu kontak, pH dan konsentrasi adsorbat serta dosis dan diameter adsorben. Rekapitulasi kondisi optimum larutan artifisial dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan Tabel 2 diperoleh hasil bahwa kondisi optimum untuk menyisihkan fosfat mencapai efisiensi penyisihan 71,28% dengan kapasitas adsorpsi sebesar 1,247 mg/g.

Tabel 2.
Rekapitulasi kondisi optimum penyisihan fosfat dengan adsorben kulit jagung

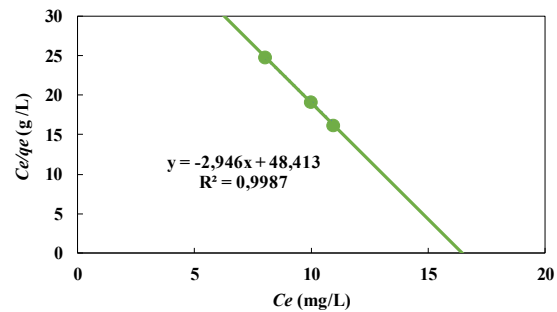
Paramater percobaan	Kondisi optimum	Efisiensi penyisihan (%)	Kapasitas adsorpsi (mg/g)
Waktu Kontak (menit)	60		
pH Adsorbat	4		
Konsentrasi Adsorbat (mg/L)	35	71,28	1,247
Dosis Adsorben (g/L)	20		
Diameter Adsorben (mm)	0,075 – 0,127		

3.8. Penentuan persamaan isoterm adsorpsi

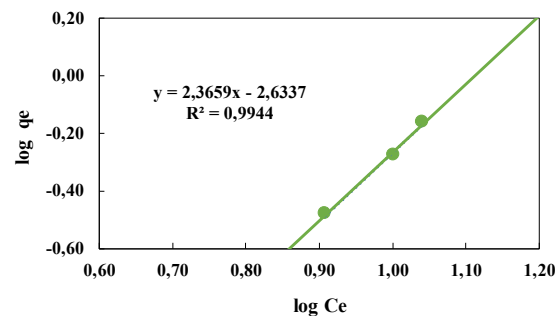
Persamaan isoterm adsorpsi sangat penting dalam sistem adsorpsi. Secara umum, isoterm adsorpsi menggambarkan bagaimana adsorbat berinteraksi dengan adsorben (Khodaie et al., 2013). Untuk mempelajari model isoterm adsorpsi fosfat pada kulit jagung, persamaan isoterm yang diuji adalah persamaan isoterm *Langmuir* dan *Freundlich*. Data yang digunakan dalam penentuan isotherm adsorpsi ini adalah data dari percobaan variasi konsentrasi adsorbat (Tchobanoglous et al., 2014). Gambar 7 dan Gambar 8 menampilkan plot isotherm *Langmuir* dan *Freundlich* untuk adsorpsi fosfat dan adsorben kulit jagung.

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa berdasarkan perbandingan nilai koefisien determinasi (R^2) antara isoterm *Langmuir* dan isoterm *Freundlich*, didapatkan

bahwa nilai R^2 isoterm *Langmuir* lebih besar dan lebih mendekati 1 dibandingkan isoterm *Freundlich*. Akan tetapi, pada isoterm *Langmuir* diperoleh nilai kapasitas maksimum (q_m) dan nilai konstanta Langmuir (K_L) bernilai negatif yang menunjukkan bahwa model isoterm *Langmuir* tidak cukup memadai untuk menggambarkan interaksi yang terjadi pada adsorpsi fosfat menggunakan adsorben kulit jagung. Hal ini berarti bahwa isoterm *Freundlich* lebih sesuai mengikuti model kesetimbangan untuk adsorpsi fosfat menggunakan adsorben kulit jagung.



Gambar 7. Isoterm *Langmuir* untuk adsorpsi fosfat dengan adsorben kulit jagung.



Gambar 8. Isoterm *Freundlich* untuk adsorpsi fosfat dengan adsorben kulit jagung.

Tabel 3.
Konstanta isoterm adsorpsi fosfat dengan kulit jagung

Isoterm <i>Langmuir</i>			Isoterm <i>Freundlich</i>			
R^2	q_m	K_L	R^2	n	$1/n$	K_f
0,9987	-0,34	-0,061	0,9944	0,423	2,366	0,072

Berdasarkan hal ini dapat diasumsikan bahwa sisi aktif permukaan kulit jagung dalam mengadsorpsi fosfat adalah heterogen dan adsorpsi dapat terjadi secara *multilayer*. Selain itu, terpilihnya isoterm *Freundlich* pada penelitian ini menunjukkan bahwa mekanisme adsorpsi yang terjadi adalah adsorpsi fisika yang mana dapat diasumsikan bahwa interaksi terjadi dengan cara fosfat memasuki pori-pori adsorben melalui interaksi elektrostatik atau berinteraksi dengan energi ikatan lemah yakni ikatan *Van der Waals* (Atkins et al., 2018).

Menurut Atkins et al. (2018) nilai n dalam isoterm *Freundlich* yang berada dalam rentang 1-10 pada proses adsorpsi dikatakan menguntungkan. Selain itu, nilai $1/n$, yang menunjukkan intensitas adsorpsi, lebih kecil dari 1

juga menunjukkan kondisi adsorben yang menguntungkan (*favourable*) untuk digunakan sebagai adsorben karena interaksi antara adsorbat dan adsorben kuat sehingga adsorbat tidak mudah terlepas dari permukaan adsorben. Nilai n pada penelitian ini yaitu 0,423 dengan nilai $1/n$ sebesar 2,366 sehingga kulit jagung sebagai adsorben dalam proses adsorpsi fosfat kurang menguntungkan (*unfavourable*). Hal ini menggambarkan interaksi yang lemah antara adsorbat (fosfat) dengan adsorben kulit jagung sehingga adsorbat

mudah lepas dari permukaan adsorben dan menyebabkan proses adsorpsi kurang optimal.

Beberapa penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa isoterm *Freundlich* lebih sesuai untuk adsorpsi fosfat oleh adsorben yang berbeda, seperti ditampilkan pada Tabel 4 dengan nilai K_f dan $1/n$ masing-masing penelitian. Berdasarkan hal tersebut dapat diasumsikan bahwa adsorpsi fosfat yang terjadi disebabkan oleh interaksi lateral antara molekul yang teradsorpsi serta energi yang bersifat heterogen pada permukaan adsorben.

Tabel 4.

Perbandingan nilai K_f dan $1/n$ pada penyisihan fosfat dengan adsorben yang berbeda

No.	Adsorben	K_f (L/g)	$1/n$	Referensi
1.	<i>Ferrihydrite</i>	26,9	5	(Mallet <i>et al.</i> , 2013)
2.	Cangkang tiram teraktivasi hidrotermal	0,714	0,459	(Chen <i>et al.</i> , 2013)
3.	Karbon karat hijau besi (<i>Carbonated ferric green rust</i>)	17,5	6,329	(Barthélémey <i>et al.</i> , 2012)
4.	Serbuk batu bara	0,112	0,599	(Mekonnen <i>et al.</i> , 2020)
5.	<i>Carbon nanotubes</i> (CNTs)	2,58	0,386	(Gu <i>et al.</i> , 2019)
6.	Kulit jagung	0,072	2,366	Penelitian ini (2021)

Dari Tabel 4 juga dapat dilihat bahwa nilai K_f yang menunjukkan kapasitas adsorpsi relatif adsorben terkecil didapat dari penelitian ini yaitu 0,072 L/g. Hal ini dapat disebabkan karena adsorben kulit jagung yang digunakan pada penelitian ini adalah kulit jagung alami tanpa aktivasi. Nilai $1/n$ yang lebih besar dari 1 atau kondisi adsorben kurang menguntungkan (*unfavourable*) juga didapatkan pada adsorpsi fosfat menggunakan adsorben *ferrihydrite* dan karbon karat hijau besi (*green rust*). Untuk meningkatkan kemampuan adsorben kulit jagung dalam mengadsorpsi fosfat maka dapat dilakukan aktivasi. Salah satunya yaitu dengan perendaman dengan NaOH (Apriliani *et al.*, 2017).

4. Kesimpulan

Pemanfaatan kulit jagung sebagai adsorben untuk menyisihkan fosfat dari larutan telah dilakukan. Dari percobaan optimasi diperoleh kondisi optimum proses adsorpsi secara *batch* menggunakan larutan artifisial adalah pada waktu kontak 60 menit, pH adsorbat 4, konsentrasi adsorbat 35 mg/L, dosis adsorben 20 mg/L dan diameter adsorben (0,075-0,127) mm. Pada kondisi tersebut didapatkan efisiensi penyisihan dan kapasitas adsorpsi sebesar 71,28% dan 1,247 mg/g. Persamaan isoterm yang sesuai dengan adsorpsi fosfat menggunakan adsorben kulit jagung adalah isoterm *Freundlich* dengan nilai K_f sebesar 0,072 L/g dan nilai $1/n$ sebesar 2,366. Hal ini menunjukkan bahwa adsorpsi fosfat terjadi pada lapisan multilayer dari permukaan adsorben kulit jagung yang menggambarkan terjadinya adsorpsi secara fisika.

Ucapan terima kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas atas bantuan finansial untuk terlaksananya penelitian ini.

Daftar pustaka

- Abuzar, S.S., Afrianita, R., Notrilauvia, N., 2012. Penyisihan minyak dan lemak limbah cair hotel menggunakan serbuk kulit jagung. *J. Tek. Lingkung. UNAND* 9, 13–25.
- Abuzar, S.S., Dewilda, Y., Stefani, W., 2014. Analisis penyisihan Chemical Oxygen Demand (COD) limbah cair hotel menggunakan serbuk kulit jagung. *J. Tek. Lingkung. UNAND* 11, 18–27.
- Apriliani, D.E., Narwati, Triastuti, E., 2017. Bioadsorben kulit jagung (*Zea Mays ssp. mays*) untuk menurunkan fosfat (PO_4^{3-}) pada limbah cair. *J. Penelit. Kesehat. Suara Forikes* VIII, 235–240.
- Atkins, P., Paula, J. De, Keeler, J., Atkins, P., Paula, J. De, 2018. *Physical Chemistry*, 11th ed. Oxford University Express.
- Barthélémey, K., Naille, S., Despas, C., Ruby, C., Mallet, M., 2012. Carbonated ferric green rust as a new material for efficient phosphate removal. *J. Colloid Interface Sci.* 384, 121–127. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2012.06.038>
- Chen, J., Cai, Y., Clark, M., Yu, Y., 2013. Equilibrium and kinetic studies of phosphate removal from solution onto a hydrothermally modified oyster shell material. *PLoS One* 8, 1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0060243>
- Darmadinata, M., Jumaeri, Sulistyaningsih, T., 2019. Pemanfaatan bentonit teraktivasi asam sulfat sebagai adsorben anion fosfat dalam air. *Indones. J. Chem. Sci.* 8, 1–8.
- Eberhardt, T.L., Min, S.H., 2008. Biosorbents prepared from wood particles treated with anionic polymer and iron salt: Effect of particle size on phosphate adsorption. *Bioresour. Technol.* 99, 626–630. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2006.12.037>
- Fagbemigun, T.K., Fagbemi, O.D., Otitoju, O., Mgbachiuzor, E., Igwe, C.C., 2014. Pulp and paper-making potential of corn husk. *Int. J. AgriScience* 4, 209–213.

- Gu, Y., Yang, M., Wang, W., Han, R., 2019. Phosphate adsorption from solution by zirconium-loaded carbon nanotubes in batch mode. *J. Chem. Eng. Data* 64, 2849–2858. <https://doi.org/10.1021/acs.jced.9b00214>
- Indah, S., Helard, D., Sasmita, A., 2016. Utilization of maize husk (*Zea mays* L.) as low-cost adsorbent in removal of iron from aqueous solution. *Water Sci. Technol.* 73, 2929–2935. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.154>
- Khodaie, M., Ghasemi, N., Moradi, B., Rahimi, M., 2013. Removal of methylene blue from wastewater by adsorption onto ZnCl₂ activated corn husk carbon equilibrium studies. *J. Chem.* 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/383985>
- Lestari, P., Amri, C., Sudaryanto, S., 2017. Efektifitas jumlah pasangan elektroda aluminium pada proses elektrokoagulasi terhadap penurunan kadar fosfat limbah cair laundry. *Sanitasi J. Kesehat. Lingkung.* 9, 38. <https://doi.org/10.29238/sanitasi.v9i1.36>
- Mallet, M., Barthélémy, K., Ruby, C., Renard, A., Naille, S., 2013. Investigation of phosphate adsorption onto ferrihydrite by X-ray photoelectron spectroscopy. *J. Colloid Interface Sci.* 407, 95–101. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2013.06.049>
- Mekonnen, D.T., Alemayehu, E., Lennartz, B., 2020. Removal of phosphate ions from aqueous solutions by adsorption onto leftover coal. *Water (Switzerland)* 12, 1–15. <https://doi.org/10.3390/W12051381>
- Namasivayam, C., Sangeetha, D., 2004. Equilibrium and kinetic studies of adsorption of phosphate onto ZnCl₂ activated coir pith carbon. *J. Colloid Interface Sci.* 280, 359–365. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.08.015>
- Nisa, A.H., Firdaust, M., Purnomo, B.C., 2019. Deskripsi kualitas dan kuantitas limbah cair usaha laundry di Kelurahan Sumampir Kecamatan Purwokerto Utara Kabupaten Banyumas tahun 2018. *Bul. Keslingmas* 38, 174–182. <https://doi.org/10.31983/keslingmas.v38i2.4875>
- Saha, B., Chakraborty, S., Das, G., 2009. A mechanistic insight into enhanced and selective phosphate adsorption on a coated carboxylated surface. *J. Colloid Interface Sci.* 331, 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2008.11.007>
- Sailah, I., Mulyaningsih, F., Ismayana, A., Puspaningrum, T., Adnan, A.A., Indrasti, N.S., 2020. Kinerja karbon aktif dari kulit singkong dalam menurunkan konsentrasi fosfat pada air limbah laundry. *J. Teknol. Ind. Pertan.* 30, 180–189.
- Sinta, I.N., Suarya, P., Santi, S.R., 2015. Adsorpsi ion fosfat oleh lempung teraktivasi asam sulfat (H₂SO₄). *J. Kim.* 9, 217–225.
- Sisyanreswari, H., Oktawan, W., Rezagama, A., 2017. Penurunan TSS, BOD, dan fosfat pada limbah laundry menggunakan koagulan tawas dan media zeolit. *J. Tek. Lingkung.* 3, 1–11.
- Smulders, E., Rähse, W., von Rybinski, W., Steber, J., Sung, E., Wiebel, F., 2007. *Laundry detergents*. Wiley_VCH Verlag. <https://doi.org/10.1002/3527600450>
- Suharto, B., Anugroho, F., Putri, F.K., 2020. Degradation phosphate level of laundry wastewater using column adsorption with granular activated carbon (GAC) media. *J. Sumberd. Alam dan Lingkung.* 7, 36–46.
- Tchobanoglous, H., Stensel, R.T. and F.B., 2014. *Wastewater engineering: treatment and resource recovery*, 5th ed. McGraw Hill.
- William, D., Connell, O., Birkinshaw, C., Francis, T., Dwyer, O., 2008. Heavy metal adsorbents prepared from the modification of cellulose: A review. *J. Bioresources Technol.* 99, 6709–6724. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.01.036>
- Yan, L. guo, Yang, K., Shan, R. ran, Yan, T., Wei, J., Yu, S. jun, Yu, H. qin, Du, B., 2015. Kinetic, isotherm and thermodynamic investigations of phosphate adsorption onto core-shell Fe₃O₄@LDHs composites with easy magnetic separation assistance. *J. Colloid Interface Sci.* 448, 508–516. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2015.02.048>