

**PENGARUH KONSENTRASI AKTIVATOR H₂SO₄ DAN UKURAN MEDIA ARANG
SEKAM PADI SEBAGAI ADSORBEN TERHADAP EFEKTIVITAS PENURUNAN
LOGAM BERAT Fe, Zn, DAN WARNA LIMBAH CAIR INDUSTRI GALVANIS
(Studi Kasus PT. Cerah Sempurna – Semarang)**

Syarifah F. D., Hadiwidodo M., Sudarno.

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Uversitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Sudarto, S.H Tembalang - Semarang, Kode Pos 50275 Telp. (024)76480678, Fax (024) 76918157
Website : <http://enveng.undip.ac.id> - Email: fd.syarifah@gmail.com

ABSTRACT

An industry that is growing rapidly and produces heavy metal waste water is called an industrial metal plating with zinc or also often called galvanic industry. Based on the test results in the laboratory, characteristics of industrial wastewater galvanized contains Fe of 140.84 mg/l, Zn of 66.42 mg/l and colors 10,000 mg/l PtCo (BPIK, 2014). This research aims to determine the ability of rice husk charcoal adsorbent in lowering the concentration of Fe, Zn, and color on galvanized industrial waste water is done by batch and continuous processes. Batch experiments using a variation of the activator concentration of 0.5 M sulfuric acid and 1 M for each variation of medium size of 20-35 mesh and 35-60 mesh. Fe removal efficiency of the most high at 63.02% found in variation rice husk size 20-35 mesh with H₂SO₄ activator concentration of 1 M. The removal efficiency were highest Zn is equal to 31.97% occurred on the variation of the size of the rice husk 35-60 mesh with H₂SO₄ activator concentration of 1 M. and color removal efficiency is equal to 98.76% occurred in two variations in the size of the activator concentration of H₂SO₄ 1 M. While the continuous experiment, carried out at 1 inch diameter column with a variation of discharge 25 ml/min and 50 ml/min. Results in metal removal efficiency get total Fe, Zn and color ≥ 90% in the first 30 minutes. Rate constants k_1 value of 0.03164 ml/mg.s for Fe with q_0 0.661 mg/g ; then k_1 0.05245 ml/mg.s for Zn with q_0 of 0.35 mg/g ; and k_1 0.00059 ml/mg.s for color with a capacity q_0 of 10,823 mg/g at discharge of 25 ml/min. To discharge 50 ml/min rate constants k_1 value 0.02985 ml/mg.s for Fe with a capacity of q_0 0,964 mg/g; then k_1 0.04598 ml/mg.s for Zn with q_0 0.513 mg/g; and k_1 0.00081 ml/mg.s for color with a capacity of q_0 15,691 mg/g.

Keywords : industrial galvanized, adsorption, water waste, rice husk

PENDAHULUAN

Salah satu industri yang berkembang pesat dan merupakan penghasil limbah logam berat yaitu industri pelapisan logam dengan seng atau sering disebut industri galvanis. Limbah industri galvanis dapat menimbulkan masalah karena adanya limbah logam Fe, Zn, Ni (Nugroho, 2013 : 3).

Usaha – usaha dalam pengendalian limbah ion logam berat semakin berkembang dan mengarah pada pencarian metode – metode baru yang murah dan efektif. Beberapa metode biologis maupun kimia telah dicoba seperti adsorpsi, pertukaran ion (*ion exchange*), dan pemisahan dengan membran. Proses adsorpsi lebih banyak dipakai karena mempunyai beberapa keuntungan yaitu lebih ekonomis dan tidak menimbulkan efek samping yang beracun (Hasrianti, 2012 : 15).

Adsorpsi adalah proses akumulasi adsorbat pada permukaan adsorben yang dihasilkan oleh gaya tarik menarik antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben. Interaksi yang terjadi pada molekul adsorbat dengan permukaan kemungkinan diikuti lebih dari satu interaksi, tergantung pada struktur kimia masing – masing komponen (Setyaningtyas, 2005).

Karbon aktif banyak digunakan sebagai adsorben yang efektif dalam berbagai aplikasi serta paling banyak digunakan dalam proses adsorpsi untuk perlakuan limbah cair industri (Jusoh, 2007 : 10). Hasil analisis komposisi kimia abu sekam padi menunjukkan kandungan silika (SiO₂) sekitar 90-99% dan sejumlah alkali dan logam pengotor. Silika (SiO₂) merupakan bahan kimia yang pemanfaatannya sangat luas mulai dibidang

elektronik, mekanik, seni, dan pembuatan senyawa-senyawa kimia, termasuk pembuatan karbon aktif sebagai adsorben (Prasad, dkk., 2001).

Tujuan

1. Menganalisis pengaruh variasi ukuran media adsorben dan konsentrasi aktivator terhadap penurunan konsentrasi logam berat besi (Fe), seng (Zn) dan warna pada percobaan batch.
2. Menganalisis pengaruh variasi debit terhadap penurunan konsentrasi logam berat besi (Fe), seng (Zn) dan warna pada percobaan kontinyu.
3. Mengetahui nilai konstanta kecepatan adsorpsi dan kapasitas jerap arang sekam padi sebagai media adsorpsi terhadap penurunan logam berat besi (Fe), seng (Zn) dan warna

Ruang Lingkup Kajian

Menganalisa penurunan kandungan logam Fe, Zn dan warna pada limbah cair industri galvanis menggunakan adsorben bahan baku arang sekam padi.

METODOLOGI PENELITIAN

Tipe Penelitian

Berdasarkan tujuannya, penelitian ini tergolong dalam jenis penelitian penelitian terapan. Dimana sudah terdapat ilmu dasar yang ditemukan oleh para ahli tentang teori yang berkaitan dengan penelitian ini. Sehingga peneliti akan menerapkan, menguji, dan mengevaluasi kemampuan dari suatu teori. Sedangkan berdasarkan tingkat kealamiahannya tempatnya, penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental dimana terdapat perlakuan dalam kondisi yang terkontrol di laboratorium untuk menguji hubungan antar variabelnya.

Tujuan Operasional

Berdasarkan tujuan dari penelitian yang dibuat, terdapat beberapa tujuan operasional. Untuk mempermudah penyampaian tujuan operasional dapat dilihat pada tabel 1 dibawah ini :

Tabel 1
Tujuan Operasional

No	Tujuan Operasional	Data yang Dibutuhkan
1	Menganalisis pengaruh variasi konsentrasi aktivator	- Pengambilan sampel air limbah saat <i>running</i> pada

Tabel 1

Tujuan Operasional (Lanjutan)

No	Tujuan Operasional	Data yang Dibutuhkan
	dan ukuran adsorben terhadap penurunan logam berat Besi (Fe), Seng (Zn) dan Warna	waktu yang telah ditetapkan - Data hasil analisis konsentrasi logam berat dengan AAS dan spektrofotometri
2	Menganalisis hubungan antara penurunan adsorbat dan media adsorben dengan metode batch dan kontinyu	- Pengambilan sampel air limbah saat <i>running</i> pada waktu yang telah ditetapkan - Data hasil analisis konsentrasi logam berat dengan AAS dan spektrofotometri
3	Mengetahui nilai konstanta kecepatan adsorpsi dan kapasitas jerap arang sekam padi sebagai media adsorpsi terhadap penurunan logam berat Besi (Fe), Seng (Zn) dan warna	- Data hasil analisis konsentrasi logam berat dengan AAS dan spektrofotometri - Persamaan pada percobaan batch dan percobaan kontinyu

Alat dan Bahan

Alat: Furnace, timbangan elektrik, oven, pH meter, Atomic Absorbtion Spectrometer (AAS), hotplate, desikator, JarTest, erlenmeyer, gelas beker, kertas saring, dan corong.

Bahan: H₂SO₄, limbah cair galvanis, aquades, sekam padi, aluminium foil.

Cara Kerja

Sekam padi dipanaskan menggunakan Furnace dengan suhu 400⁰ C selama 2 Jam (YC. Danarto dan Samun T, Teknik Kimia Universitas Surakarta),. Setelah itu arang sekam diaktifkan dengan H₂SO₄ 0,5 M dan 1 M selama 24 jam. Setelah 24 jam karbon yang telah direndam, disaring dan dicuci sampai netral dan kemudian dikeringkan.

a. Pengujian Batch 1

Pengujian dengan batch dilakukan menggunakan jar test dimana 3 gram adsorben diujikan ke limbah cair galvanis selama 1 jam dengan kecepatan 150 rpm. Diambil sampel sampai waktu 2 jam.

Persamaan Freundlich

$$q = K_f C_e^{1/n}$$

Dimana:

q = Banyaknya solut yang terserap per satuan massa adsorben (mg/g)

C_e = Konsentrasi solut pada saat kesetimbangan (mg/L)

n = Kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)

K_f = Konstanta Freundlich (L/mg)

Persamaan Langmuir

$$q = q_m \frac{K_{ads} \cdot C}{1 + K_{ads} \cdot C}$$

Dimana:

q = Banyaknya solut yang terserap per satuan massa adsorben (mg/g)

C_e = Konsentrasi solut pada saat kesetimbangan (mg/L)

q_m = Kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)

K_{ads} = Konstanta Langmuir (L/mg)

Persamaan BET

$$q = \frac{q_m k_B C_e}{(C_0 - C_e) \left[1 + (k_B - 1) \left(\frac{C_e}{C_0} \right) \right]}$$

Dimana :

q : jumlah adsorbate yang terserap per unit massa adsorben

C_0 : konstanta awal larutan

q_m : kapasitas adsorpsi maksimum

k_B : konstanta BET

(Metcalf & Eddy, 2003)

b. Percobaan Batch 2

Pengujian dengan batch dilakukan menggunakan jar test dengan melakukan variasi berat adsorben, 1, 2, 3, 4, 5, 6 gram adsorben diujikan ke 250 ml limbah cair galvanis selama 1 jam dengan kecepatan 150 rpm. Diambil sampel pada selang waktu 1 jam.

c. Percobaan Kontinyu

Arang yang telah aktif siap diujikan dengan cara dipasangkan pada reaktor. Berikut langkah pengujian Adsorben pada reaktor :

- Kolom diisi dengan adsorben setinggi 65 cm
- Alat dioperasikan dengan mengalirkan sampel limbah secara gravitasi kebawah secara terus menerus dari bak penampung limbah.
- Sampel diambil dengan volume 25 mL tiap selang waktu yang telah ditentukan sampai adsorben jenuh.
- Pada setiap pengambilan sampel, larutan sampel terlebih dahulu disaring menggunakan kertas saring yang bertujuan untuk menyisihkan adsorben

yang ikut terambil pada saat pengambilan sampel larutan tersebut.

- Setelah disaring, dilakukan pengukuran konsentrasi larutan sampel dengan menggunakan *Atomic Absorption Spectrophotometer* merek Buck Scientific (Uji AAS) dan catat nilai konsentrasi yang telah diukur dan uji warna menggunakan spektrofotometri.
- Ulangi langkah dengan variasi debit yang berbeda
- Setelah itu data diolah dengan persamaan Thomas agar mendapatkan hasil kinetika adsorpsi dan kapasitas adsorpsi.

Persamaan Thomas ini merupakan penurunan dari rumus Bohart dan Adams (1920). Berikut ini adalah rumus Thomas untuk kolom adsorpsi (Reynold, 1982):

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + e^{\frac{K_1}{Q}(q_0 M - C_0 V)}}$$

Dalam hubungan di atas :

C = konsentrasi solut keluar kolom

C_0 = konsentrasi solut masuk kolom

K_1 = konsentrasi laju

q_0 = konsentrasi solut teradsorpsi

maksimum fase padat, misal, garam solut per gram karbon

M = massa adsorben, misal gram

V = volume yang dilewatkan, misal liter

Q = laju alir, misal liter/jam

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Adsorben

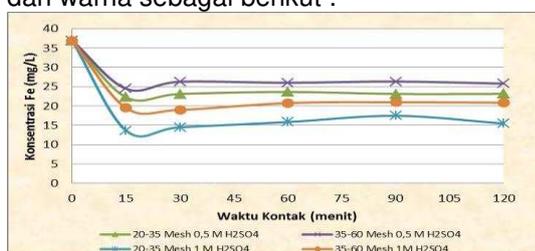
Adsorben dibuat melalui proses karbonisasi sekam padi dengan menggunakan *furnace* pada suhu 400°C selama 2 jam. Di dalam *furnace* tersebut akan terjadi degradasi thermal terhadap sekam padi dengan suhu tinggi tanpa oksigen. Karbon yang terbentuk kemudian ditumbuk lalu diayak menggunakan ayakan mesh, ayakan yang digunakan adalah ayakan No 20 (0,841 mm), ayakan No 35 (0,42 mm), dan ayakan No 60 (0,25 mm). Ayakan-ayakan ini disusun dari atas ke bawah dari ayakan No 20, No 35, No 60, lalu diayak menggunakan mesin atau secara manual. Arang yang lolos ayakan No 20 dan tertahan pada ayakan No 35 merupakan variasi ukuran adsorben 20-35 mesh. Sedangkan arang yang lolos dari ayakan No 35 dan tertahan pada ayakan No 60 merupakan variasi ukuran adsorben 35-60 mesh.

Setelah dilakukan variasi ukuran adsorben, tahap berikutnya adalah proses aktivasi. Arang diaktivasi dengan cara

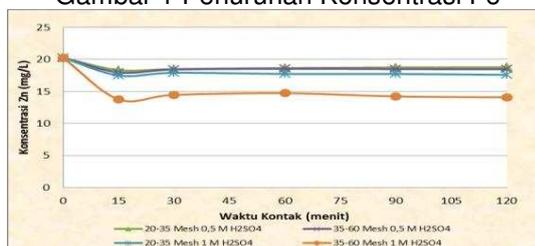
direndam menggunakan larutan asam kuat H_2SO_4 0,5 M dan 1 M selama 24 jam. Yang dimaksud dengan aktivasi adalah suatu perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi. Kemudian arang yang sudah aktif dinetralkan dengan cara mencucinya dengan aquades hingga pH netral lalu dikeringkan. Setelah semua kering, arang aktif siap digunakan.

Percobaan Batch

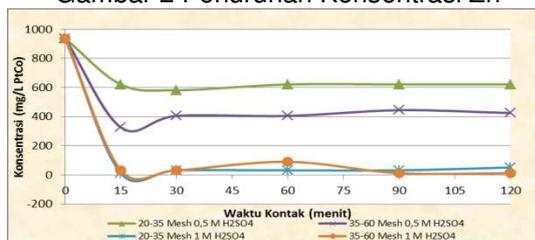
Dari hasil pengujian percobaan batch didapat grafik persentasi penyisihan Fe, Zn, dan warna sebagai berikut :



Gambar 1 Penurunan Konsentrasi Fe



Gambar 2 Penurunan Konsentrasi Zn



Gambar 3 Penurunan Konsentrasi Warna

Kecepatan penurunan konsentrasi Fe total, Zn, dan warna terbesar terjadi pada 15 menit pertama karena pada saat itu proses penyerapan ion paling optimal, disebabkan pada 15 menit pertama terjadi kontak langsung antara limbah cair galvanis dan adsorben arang sekam padi yang masih segar.

Efisiensi penyisihan Fe yang paling tinggi yaitu sebesar 63,02 % terdapat pada variasi arang sekam padi ukuran 20 - 35 mesh

dengan konsentrasi aktivator H_2SO_4 1 M. Sedangkan efisiensi penyisihan Zn yang paling tinggi yaitu sebesar 31,97 % terjadi pada variasi arang sekam padi ukuran 35 - 60 mesh dengan konsentrasi aktivator H_2SO_4 1 M. Dan efisiensi penyisihan warna yaitu sebesar 98,76 % terjadi pada dua variasi ukuran dengan konsentrasi aktivator H_2SO_4 1 M.

Menurut teori, ukuran partikel yang lebih kecil, memiliki luas permukaan yang lebih besar sehingga kapasitas adsorpsi untuk menyerap adsorbat lebih besar, tetapi pada penelitian ini untuk parameter Fe tidak membuktikan hal tersebut. Hal itu dimungkinkan karena ukuran ion Fe terhidrat lebih besar daripada lebar kolom/ sheet pada arang aktif sekam padi 35-60 mesh, sehingga tidak bisa terjerap. Dalam medium air, ion logam khususnya untuk kation logam transisi dengan elektronegativitas yang relatif tinggi cenderung membentuk kation terhidrat dengan H_2O , kation-kation tersebut membentuk ikatan kovalen (koordinasi) dengan H_2O dalam bentuk ion kompleks akuo yang larut dalam air. Kompleks H_2O yang terbentuk memiliki ukuran yang cukup besar sehingga kemampuan untuk terperangkap dalam adsorben menjadi kecil (Andreas et.al., 2006). Rendahnya daya serap pada arang aktif ukuran 35-60 mesh juga dapat dimungkinkan karena masih adanya senyawa-senyawa pengotor non karbon seperti abu, air, nitrogen dan sulfur yang menempel pada permukaan arang aktif dan menutupi pori-pori arang aktif sehingga menurunkan daya serapnya (Widayanti et. al., 2010).

Kecepatan penurunan konsentrasi Fe, Zn, dan warna terbesar terjadi pada 15 menit pertama karena pada saat itu proses penyerapan paling optimal. Hal ini terjadi karena pada 15 menit pertama terjadi kontak langsung antara limbah cair galvanis dan adsorben arang sekam padi yang masih segar.

Pengaruh berbagai faktor kondisi operasional terhadap penurunan konsentrasi Fe, Zn, dan warna yang paling penting adalah waktu detensi atau waktu kontak. Percobaan batch diatas menggunakan waktu kontak selama 120 menit (2 jam), sehingga waktu detensi yang digunakan pada penelitian ini sesuai dengan pernyataan Reynold (1982) yaitu 1-4 jam. Selanjutnya dapat dilihat bahwa seiring dengan bertambahnya waktu kontak maka terjadi penurunan konsentrasi Fe, Zn dan warna, dan didapatkan kesetimbangan pada menit ke 60-120. Peristiwa tersebut sesuai dengan pernyataan dari Eckenfelder (2000) yakni bahwa semakin lama waktu

kontak yang terjadi antara adsorben dan adsorbat maka semakin setimbang larutan tersebut.

Didasarkan pada pertimbangan penyisihan yang paling besar yaitu penyisihan Fe yang paling tinggi, maka variasi yang terpilih untuk digunakan pada percobaan selanjutnya adalah arang sekam padi ukuran 20 - 35 mesh dengan konsentrasi aktivator H₂SO₄ 1 M. Dari variasi yang terpilih tersebut, nantinya akan digunakan pada proses batch dengan variasi massa dan percobaan kontinyu.

Tabel 2
Hasil Uji Batch Variasi Massa

Berat Adsorban (g)	Fe (mg/l)	Zn (mg/l)	Warna (mg/l PtCo)
1	26,47	13,48	247,62
2	19,04	12,21	149,29
3	15,57	11,46	129,62
4	12,19	10,05	90,29
5	10,38	9,33	70,62
6	8,65	8,43	50,96

Dari data diatas maka dilakukan perhitungan dan pelinieran kurva, kemudian didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 3
Persamaan Freundlich, Langmuir, dan BET
Parameter Fe

Isoterm	Freundlich	Langmuir	BET
Persamaan	$y = 0,7956x - 3,6584$	$y = 6180x + 110,67$	$y = 1102,9x - 53,355$
Slope	0,7956	6180	1102,9
Intercept	-3,6584	110,67	-53,355
R ²	0,993	0,9928	0,931
K _{ads}	4554,07	56,47	21,62
q _m	1,257	0,00016	0,00086

Dari ketiga model persamaan yang digunakan pada proses adsorpsi secara batch diatas, dapat dihitung nilai q (konsentrasi Fe yang terjerap dalam arang aktif sekam padi 20-35 mesh) dari persamaan Freundlich, Langmuir, dan BET.

Perhitungan pada persamaan Freundlich :

$$\begin{aligned}
 - K_f &= \text{antilog. Intercept} & n &= 1/\text{Slope} \\
 &= \text{antilog. (3,6584)} & &= 1/0,7956 \\
 &= 4554,07 & &= 1,257 \\
 - q &= K_f \cdot C^{1/n} \\
 &= 4554,07 C^{1/1,257}
 \end{aligned}$$

Perhitungan pada persamaan Langmuir:

$$\begin{aligned}
 - \text{intercept} &= 1/q_m \cdot K_{ads} & \text{slope} &= 1/q_m \\
 110,67 &= 1/0,00016 K_{ads} & 6180 &= 1/q_m
 \end{aligned}$$

$$K_{ads} = 56,47 \quad q_m = 0,00016$$

$$\begin{aligned}
 - q &= q_m \frac{K_{ads} \cdot C}{1 + K_{ads} \cdot C} \\
 &= \frac{0,00016 \times 56,47 C}{1 + 56,47 C}
 \end{aligned}$$

Perhitungan pada persamaan BET :

$$\begin{aligned}
 - \text{Intercept} &= \frac{1}{k_B \cdot q_m} & \text{slope} &= \frac{k_B - 1}{k_B \cdot q_m} \\
 53,355 &= \frac{1}{k_B \cdot q_m} & 1102,9 &= \frac{k_B - 1}{0,0187} \\
 k_B \cdot q_m &= 0,0187 & k_B - 1 &= 20,62 \\
 & & k_B &= 21,62 \\
 q_m &= 0,00086 \\
 q &= \frac{0,00086 \times 21,62 C_e}{(C_o - C_e) \left[1 + (21,62 - 1) \left(\frac{C_e}{C_o} \right) \right]}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, diperoleh hasil untuk parameter Zn dan warna sebagai berikut:

Tabel 4
Hasil Perhitungan Isoterm Batch

Parameter	Isoterm Freundlich	Isoterm Langmuir	Isoterm BET	
Zn	K	105002,58	32,84	7,73
	q _m	(n) = 0,61	0,000029	0,000102
	q	$105002,58 \cdot C_e^{1/0,61}$	$0,000029 \cdot \frac{32,84 \cdot C_e}{1 + 32,84 \cdot C_e}$	$\frac{0,000102 \times 7,73 \cdot C_e}{(C_o - C_e) \left[1 + (7,73 - 1) \left(\frac{C_e}{C_o} \right) \right]}$
Warna	K	556,03	98,05	9,94
	q _m	(n) = 2,05	0,00035	0,00059
	q	$556,03 \cdot C_e^{1/2,05}$	$0,00035 \cdot \frac{98,05 \cdot C_e}{1 + 98,05 \cdot C_e}$	$\frac{0,00059 \times 9,94 \cdot C_e}{(C_o - C_e) \left[1 + (9,94 - 1) \left(\frac{C_e}{C_o} \right) \right]}$

Perhitungan kapasitas adsorpsi didapat dengan rumus masing-masing persamaan yaitu persamaan Langmuir, persamaan Freundlich dan persamaan BET. Tabel 3 menunjukkan bahwa arang aktif sekam padi ukuran 20-35 mesh pada hasil persamaan Freundlich didapat regesi sebesar 0,993, dan pada hasil persamaan Langmuir didapat regesi 0,9928 dan pada hasil persamaan BET didapat regesi 0,931 dengan begitu arang aktif sekam padi ukuran 20-35 mesh untuk parameter Fe mengikuti persamaan Freundlich karena keseimbangan adsorpsinya mendekati nilai 1.

Penggunaan isoterm Freundlich ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi yang terjadi termasuk adsorpsi fisik karena isoterm Freundlich mengasumsikan bahwa ada distribusi pada adsorben (arang sekam padi) yang mempunyai afinitas berbeda untuk setiap adsorbate (Fe), hal ini menyebabkan gaya Van der Waals antar molekul, dimana molekul bebas berpindah ke permukaan yang lain (Montgomery, 1985). Gaya ini terjadi karena adanya gaya tarik menarik yang lemah antar

molekul Fe, sehingga Fe tertarik ke permukaan adsorben (arang sekam padi).

Untuk parameter Zn pada hasil persamaan Freundlich didapat regesi sebesar 0,8611, pada hasil persamaan Langmuir didapat regesi 0,8906 dan pada hasil persamaan BET didapat regesi 0,929 dengan begitu arang aktif sekam padi ukuran 20-35 mesh untuk parameter Zn mengikuti persamaan BET karena keseimbangan adsorpsinya mendekati nilai 1.

Dengan berlakunya model persamaan isoterm BET menunjukkan bahwa proses adsorpsi secara batch ini terjadi secara multilayer, dan molekul yang teradsorpsi oleh adsorben pada tiap lapisan permukaan tidak akan berpindah ke lapisan permukaan lain. Hal ini sesuai dengan asumsi yang dikemukakan oleh Sundstrom (1979) yaitu persamaan BET menunjukkan bahwa proses adsorpsi terjadi secara multilayer yang mengindikasikan bahwa lapisan (layer) tempat terjadinya perlekatan adsorbat yang terjadi lebih dari satu layer.

Dan untuk parameter warna pada hasil persamaan Freundlich didapat regesi sebesar 0,9008, dan pada hasil persamaan Langmuir didapat regesi 0,9259 dan pada hasil persamaan BET didapat regesi 0,8951 dengan begitu arang aktif sekam padi ukuran 20-35 mesh untuk parameter warna mengikuti persamaan Langmuir karena keseimbangan adsorpsinya mendekati nilai 1.

Isoterm Langmuir mengasumsikan bahwa satu adsorbat mengikat satu bagian pada adsorben dan seluruh permukaan pada adsorben mempunyai afinitas yang sama terhadap adsorbate. Pada isoterm Langmuir adsorpsi terbatas pada lapisan tunggal dan molekul-molekul terlarut adsorbate tidak bebas berpindah ke permukaan. Persamaan langmuir didasarkan oleh kesetimbangan antara kondensasi dan evaporasi (penguapan) dari molekul yang terjerap dengan mempertimbangkan lapisan jerap monokuler (Sawyer, 2003).

Arang sekam padi dapat digunakan sebagai adsorben karena selain merupakan material berpori juga mempunyai gugus aktif yaitu Si-O-Si dan Si-OH (Setyaningtyas, 2005 dalam Nurhasni, 2010). Kapasitas adsorpsi arang aktif bergantung pada karakteristik arang aktifnya, seperti: tekstur (luas permukaan, distribusi ukuran pori), kimia permukaan (gugus fungsi pada permukaan), dan kadar abu (Widayanti et. al., 2010).

Pada percobaan batch dan kontinyu, efisiensi penyisihan besi lebih besar daripada

penyisihan seng, hal ini dikarenakan dalam air limbah galvanis kandungan/konsentrasi Fe lebih tinggi dari pada Zn. Secara otomatis Fe yang terserap oleh arang aktif akan lebih banyak karena ketersediaan Fe untuk diserap lebih banyak dari pada Zn. Sesuai dengan pernyataan Sukamto (1998) bahwa kuantitas penyerapan logam berbanding lurus dengan besarnya konsentrasi.

Percobaan Kontinyu

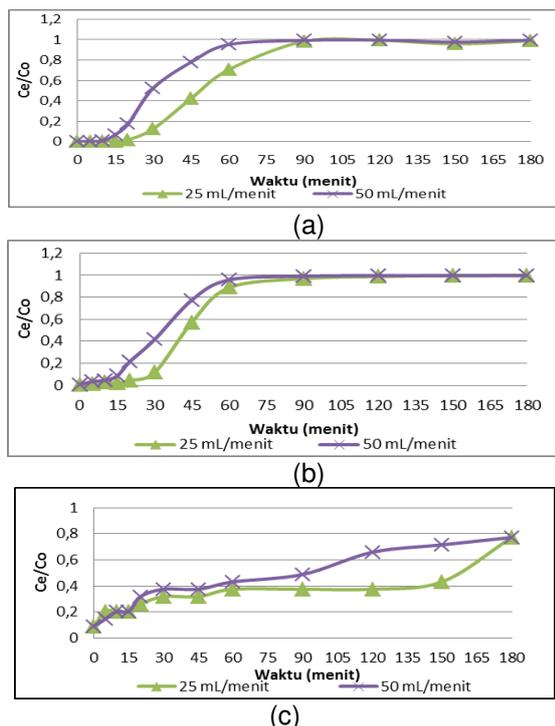
Pada penelitian proses kontinyu ini dilakukan dengan menggunakan variasi debit efluen, yakni debit limbah diatur dengan variasi 25 mL/menit dan 50 mL/menit. Media yang digunakan adalah variasi yang paling optimum yang berasal dari proses batch, yaitu arang sekam padi ukuran 20-35 mesh dengan konsentrasi aktivator 1 M H₂SO₄. Kolom kontinyu yang digunakan terbuat dari pipa PVC Ø 1 inch, dengan tinggi media adsorben 65 cm.

Bentuk khas hasil adsorpsi dengan menggunakan hamparan tetap (fixed bed) beraliran kontinyu adalah berupa kurva terobosan. Kurva terobosan adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara konsentrasi adsorbat keluaran kolom adsorpsi terhadap waktu adsorpsi. Waktu adsorpsi disini adalah waktu yang diukur pada interval tertentu selama terjadinya kontak antara adsorbat dengan adsorben yang berlangsung secara kontinyu (Atastina, 2009).

Perlu diketahui bahwa T₀ merupakan waktu setelah dilakukan pengisian terhadap kolom kontinyu. Dimana pada debit 25 ml/menit dibutuhkan waktu 14 menit dan debit 50 ml/menit membutuhkan waktu 7 menit untuk mencapai kolom terisi penuh oleh limbah cair. Sehingga sampel yang dimaksud pada menit ke-0 merupakan sampel pertama yang keluar setelah melalui kolom media adsorpsi. Dimana konsentrasi tersebut merupakan konsentrasi setelah mengalami proses adsorpsi.

Ketika limbah melewati kolom yang berisi arang aktif sekam padi, maka proses adsorpsi mulai berlangsung dan terjadi penurunan konsentrasi Fe, Zn dan warna. Pada waktu awal dimulainya percobaan kontinyu nilai efisiensi penyisihan logam Fe, Zn dan warna pada limbah cair galvanis ≥ 90 %. Hal ini menunjukkan bahwa arang aktif sekam padi mampu menjerap Fe, Zn dan warna secara keseluruhan, karena kondisi arang aktif sekam padi masih dalam keadaan segar, sehingga proses adsorpsi berlangsung dengan baik.

Tetapi pada waktu-waktu berikutnya (kurang kebih setelah menit ke-30) arang aktif sekam padi mulai mengalami kejenuhan, sehingga kemampuan untuk mengadsorpsi Fe, Zn dan warna semakin berkurang. Arang aktif sekam padi yang semakin jenuh dapat dilihat ketika konsentrasi efluen semakin meningkat dan mendekati konsentrasi awal. Kondisi seperti ini menunjukkan bahwa arang aktif sekam padi sudah jenuh terhadap Fe, Zn dan warna sehingga proses penyerapan (adsorpsi) arang aktif sekam padi terhadap kontaminan Fe, Zn dan warna tidak berlangsung lagi. Hal tersebut sesuai dengan literatur adsorpsi yang dikemukakan oleh Sundstrom (1979, dalam Atastina, 2009), konsentrasi suatu adsorbat yang diadsorpsi dalam efluen selama beberapa waktu pertama menunjukkan kecenderungan konstan. Setelah adsorben mulai jenuh barulah konsentrasi adsorbat meningkat tajam. Pada kondisi ini kurva yang terjadi berbentuk S. Titik dimana konsentrasi dalam efluen mulai meningkat disebut titik tembus (*break point*) sedangkan kurvanya dinamakan kurva terobosan (*breakthrough curve*).

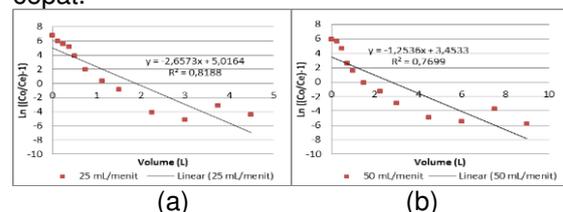


Gambar 4 Grafik Terobosan Kolom Kontinu Parameter (a) Fe, (b) Zn, (c) warna

Dari gambar 4 diatas terlihat bahwa dengan memvariasikan debit limbah yang digunakan menunjukkan kecenderungan yang sama. Pada debit yang lebih kecil (25 ml/menit) akan mencapai titik jenuh yang lebih

lama daripada debit yang lebih besar (50 ml/menit). Grafik pada debit 25 ml/menit terlihat lebih landai, hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil debit akan menyebabkan semakin panjang zona penyerapan ion. Semakin landai kurva terobosan yang terjadi maka akan mencapai titik jenuh yang lebih lama. Zona penyerapan ion yang panjang sangat diharapkan pada suatu kolom penyerapan ion secara kontinyu karena lebih efisien dalam pemakaian media dan biaya yang lebih murah pada saat regenerasi. Kondisi ini telah sesuai dengan apa yang dikemukakan oleh Reynolds (1982) bahwa dalam percobaan adsorpsi diharapkan terjadi suatu zona pertukaran/ penyerapan ion yang sangat panjang sehingga pemakaian media adsorben dapat lebih efisien.

Menurut Mc Cabe (1990) waktu yang terjadi untuk sampai pada titik tembus biasanya tercapai pada saat $C/C_0 = 0,05$ sedangkan waktu untuk sampai pada jenuh pada saat $C/C_0 = 0,95$, untuk parameter Fe berdasarkan tabel 3.2 (lampiran A) pada debit limbah 25 ml/menit titik tembus terjadi pada rentang waktu menit ke-25 dan titik jenuh terjadi pada menit ke-85. Untuk debit limbah 50 ml/menit titik tembus terjadi pada rentang waktu menit ke-14 dan titik jenuh terjadi ketika menit ke 60. Sedangkan untuk parameter Zn berdasarkan tabel 3.5 (lampiran A) pada debit limbah 25 ml/menit titik tembus terjadi pada waktu menit ke-23 menit dan titik jenuh terjadi pada menit ke-77. Untuk debit limbah 50 ml/menit titik tembus terjadi pada rentang waktu menit ke 0 dan titik jenuh terjadi setelah 2 jam. Untuk debit limbah 50 ml/menit titik tembus terjadi pada menit ke 0 dan titik jenuh terjadi setelah 2 jam. Dapat amati bahwa debit yang lebih besar akan mencapai titik tembus dan titik jenuh lebih cepat.



Gambar 5 Grafik untuk menentukan Persamaan Thomas Parameter Fe

Berdasarkan grafik diatas dapat dihitung Persamaan Thomas sebagai berikut :

Debit 25 mL/menit

Persamaan grafik $\ln\left(\frac{C_e}{C_o} - 1\right) = -2,6573x + 5,0164$ dengan slope 2,6573 maka nilai k_1 adalah :

$$\text{slope} = \frac{k_1 C_o}{Q}$$

$$2,6573 = \frac{k_1 35 \text{ mg/L}}{0,4167 \text{ mL/detik}}$$

$$\text{Maka } k_1 = 0,03164$$

$$\text{Intercept} = \frac{k_1 q_o M}{Q}$$

$$5,0164 = \frac{0,03164 q_o 100 \text{ gram}}{0,4167}$$

$$\text{Maka } q_o = 0,661$$

Sehingga persamaan Thomas yang dihasilkan untuk parameter Fe dengan debit 25 mL/menit adalah

$$\frac{C_e}{C_o} = \frac{1}{1 + e^{\frac{0,03164}{Q}(0,661M - C_o V)}}$$

Debit 50 mL/menit

Persamaan grafik $\ln\left(\frac{C_e}{C_o} - 1\right) = -1,2536x + 3,4533$ dengan slope 1,2536 maka nilai k_1 adalah :

$$\text{slope} = \frac{k_1 C_o}{Q}$$

$$1,2536 = \frac{k_1 35 \text{ mg/L}}{0,8333 \text{ mL/detik}}$$

$$\text{Maka } k_1 = 0,02985$$

$$\text{Intercept} = \frac{k_1 q_o M}{Q}$$

$$3,4533 = \frac{0,02985 q_o 100 \text{ gram}}{0,8333}$$

$$\text{Maka } q_o = 0,964$$

Sehingga persamaan Thomas yang dihasilkan untuk parameter Fe dengan debit 50 mL/menit adalah

$$\frac{C_e}{C_o} = \frac{1}{1 + e^{\frac{0,02985}{Q}(0,964M - C_o V)}}$$

Dengan cara yang sama diperoleh nilai k_1 dan q_o Zn dan warna sebagai berikut :

Tabel 5

Nilai Konstanta Kecepatan Adsorpsi (k_1) dan Kapasitas Adsorpsi (q_o)

Debit (mL/menit)	Parameter Fe Total		Parameter Zn		Parameter Warna	
	25 ml/menit	50 ml/menit	25 ml/menit	50 ml/menit	25 ml/menit	50 ml/menit
(k_1) (mL/m.g.detik)	0,03164	0,02985	0,05245	0,04598	0,00059	0,00081
(q_o) (mg/g)	0,661	0,964	0,35	0,513	10,823	15,691

Dari Tabel 5 diatas terlihat bahwa hubungan antara nilai konstanta kecepatan dengan debit limbah yang dilewatkan pada kolom kontinyu akan berlaku bahwa semakin

besar debit limbah yang dilewatkan pada kolom kontinyu, maka akan berpengaruh terhadap kenaikan nilai konstanta kecepatan. Hasil penelitian ini sesuai dengan apa yang dikemukakan oleh Reynolds (1982) yaitu nilai konstanta kecepatan berbanding lurus dengan fungsi dari besarnya debit limbah.

KESIMPULAN

- Efisiensi penyisihan Fe, Zn, dan warna terbaik diperoleh pada arang aktif sekam padi ukuran 20-35 mesh dengan konsentrasi aktivator H₂SO₄ 1 M. Efisiensi penyisihan Fe sebesar 63,02 %, Zn = 13,59 %, dan warna = 98,76 %.
- Pengaruh variasi debit efluen pada percobaan kontinyu terhadap penurunan Fe, Zn, dan warna adalah debit yang lebih kecil (25 mL/menit) akan mencapai titik jenuh yang lebih lama daripada debit yang lebih besar (50 mL/menit).
- Nilai konstanta kecepatan adsorpsi (k_1) dan kapasitas adsorpsi (q_o):

a. Percobaan Batch :

Parameter Fe mengikuti Persamaan Freundlich : $q = 4554,07 \cdot C_e^{1/1,257}$

Parameter Zn mengikuti persamaan BET :

$$q = \frac{0,000102x7,73xC_e}{(C_o - C_e) [1 + (7,73 - 1) (C_e/C_o)]}$$

dan untuk parameter warna mengikuti Persamaan Langmuir :

$$q = 0,00035 \frac{98,05xC}{1 + 98,05xC}$$

b. Percobaan kontinyu :

Debit 25 mL/menit

Fe $k_1 = 0,03164$ Zn $k_1 = 0,05245$ Warna $k_1 = 0,00059$

$q_o = 0,661$ $q_o = 0,35$ $q_o = 10,823$

Debit 50 mL/menit

Fe $k_1 = 0,02985$ Zn $k_1 = 0,04598$ Warna $k_1 = 0,00081$

$q_o = 0,964$ $q_o = 0,513$ $q_o = 15,691$

DAFTAR PUSTAKA

- Atastina S.B., Praswasti P.D.K. Wulan dan Syafrudin. 2009. *Penghilangan Kesadahan Air yang mengandung Ion Ca²⁺ dengan menggunakan Zeolit Alam Lampung sebagai Penukar Kation*. Depok : UI.
- Danarto, YC. dan Samun T. 2008. *Pengaruh Aktivasi Karbon dari Sekam Padi Pada Proses Adsorpsi Logam Cr (VI)*. Surakarta : Jurusan Teknik Kimia

-
- Eckenfelder, W. Wesley. 2000. *Industrial Water Pollution Control 3th Edition*. New York : Mc. Graw Hill.
- Hasrianti. 2012. *Adsorpsi Ion Cd^{2+} Dan Cr^{6+} Pada Limbah Cair Menggunakan Kulit Singkong*. Makassar : Universitas Hasanuddin.
- Jusoh, A.; Shiung, L. S.; Ali, N.; Noor, M. J. M. M. 2007. *A Simulation Study of The Removal Efficiency of Granular Activated Carbon on Cadmium and Lead. Desalination*. Malaysia : Universiti Putra Malaysia.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 10 Tahun 1995 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Industri.
- Metcalf and Eddy, Inc. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, Fourth Edition*. Boston : McGraw-Hill.
- Montgomery, James. E. 1985. *Water Treatment Principles and Disposal*. John Wiley & Sons Inc: Canada.
- Nugroho, Danang. 2013. *Pemanfaatan Limbah Padat Industri Tahu dan Reaktor Biosand Filter untuk Menurunkan Kadar Ion Logam Fe^{3+} dan Zn^{2+} pada Industri Galvanis*. Semarang : Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNNES.
- Nurhasni, Hendrawati, dan Nubzah Saniyyah. 2010. *Penyerapan Ion Logam Cd dan Cr Dalam Air Limbah Menggunakan Sekam Padi*. Jakarta : Program Studi Kimia FST UIN Syarif Hidayatullah.
- Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah No. 5 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Air Limbah Industri.
- Prasad C.S., Maiti K.N., dan Venugopal R. 2001. *Effect of Rice Husk Ash in Whiteware Compositions*. Ceramic International. Vol. 27 (6), hal 629-635.
- Reynolds, T.D. 1982. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*. California : Wadsworth, Inc.
- Sawyer, Clair N, et al. 2003. *Chemistry for Environmental Engineering and Science Fifth Edition*. New York : Mc Graw Hill.
- Sukamto, Untung. 1998. *Studi Adsorpsi Karbon Aktif Terhadap Berbagai Logam Berat Dalam Larutan Encer Buatan*. Bandung : ITB.
- Sundstrom, Donald W., and Herben E. Klei. 1979. *Waste Water Treatment Prentice-Hall*. USA: Inc. Englewood Cliffs.
- Widayanti., Ishak Isa., La Ode Aman. 2012. *Studi Daya Aktivasi Arang Sekam Padi Pada Proses Adsorpsi Logam Cd*. Gorontalo : Jurusan Pendidikan Kimia Fakultas Mipa Universitas Negeri Gorontalo.