

Adsorpsi Logam Timbal Secara *Batch* dan Kontinu Menggunakan Karbon Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit

Chairul Irawan, Anisa Purwanti, Norhasanah

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat
Kampus Fakultas Teknik Unlam Jalan Jend. A. Yani KM 35,5, Banjarbaru, 70711, Indonesia
cirawan@ulm.ac.id

Abstrak

Pada proses produksi industri kain Sasirangan, proses pewarnaan menghasilkan limbah cair berupa logam berat timbal (Pb). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui waktu kesetimbangan, dan efisiensi penurunan konsentrasi logam Pb pada limbah cair Sasirangan dengan proses *batch* dan kontinu ditinjau dari waktu kontak, dosis adsorben dan ukuran adsorben cangkang kelapa sawit. Proses karbonisasi berlangsung selama 4 jam pada suhu 105°C. Cangkang kelapa sawit yang digunakan sebagai adsorben diaktivasi menggunakan kalium hidroksida (KOH) 25% (b/v) selama 24 jam dengan variasi ukuran 355 µm dan 710 µm. Proses adsorpsi dilakukan dengan konsentrasi awal Pb sebesar 151 mg/L, pH 5, kecepatan pengadukan 200 rpm, dan suhu kamar pada variasi waktu tertentu. Analisa yang dilakukan yaitu *Brunauer-Emmett-Teller* (BET) untuk mengetahui luas permukaan adsorben dan *Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy* (ICP-OES) untuk mengetahui kadar logam di dalam limbah setelah dilakukannya proses adsorpsi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *surface area* berdasarkan analisa BET adsorben dari cangkang kelapa sawit sebelum dan setelah aktivasi sebesar 10,125 m²/gram dan 16,314 m²/gram. Eksperimental proses adsorpsi secara *batch* menunjukkan bahwa adsorben cangkang kelapa sawit efektif dalam mengadsorpsi kandungan logam Pb dengan waktu kesetimbangan 24 jam, dosis optimum 2,5 g/L, dan ukuran adsorben 355 µm dengan penurunan konsentrasi dan kadar Pb teradsorb 1,41 mg/L dan 98,47 %. Efisiensi penurunan kandungan logam Pb pada proses adsorpsi *batch* sebesar 99,07 %, sedangkan dengan proses adsorpsi secara kontinu sebesar 95,23 %.

Kata kunci: cangkang kelapa sawit, adsorpsi, limbah kain Sasirangan, *batch*, kontinu

Abstract

The colouring process in Sasirangan textile would produce wastewater containing heavy metal like lead (Pb). The aims of this research are to know the equilibrium time and efficiency of decreasing the concentration level of Pb metal on Sasirangan textile wastewater using batch process and continue process depend on contact time, dose of adsorbent, and the size of palm oil shell adsorbent. Carbonization process was conducted for 4 hours at temperature of 105 °C. Palm oil shells used as the adsorbent and activated by kalium hydroxide (KOH) 25% (b/v) in 24 hours with some size variation such 355 µm and 710 µm. The adsorption process has done with Pb initial concentration of 151 mg/L, pH of 5, stirring speed on 200 rpm, and operated on room temperature with certain time variation. Brunauer-Emmett-Teller (BET) is used as the analysis to know the surface area of adsorbent. Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) also used to know the remaining Pb²⁺ content after adsorption process. The experiment results show that based on (BET) analysis the changes of adsorbent's surface area are 10,125 m²/gram and 16,314 m²/gram, before and after activation respectively. The result experimental batch adsorption process conclude that palm oil shells adsorbent is effective in adsorption Pb²⁺ metal with equilibrium time reached at 24 hours, optimum dose of 2,5 g/L, and adsorbent size of 355 µm with a decrease in concentration and level of Pb²⁺ of 1,41 mg/L and 98,47%. The efficiency of decreasing Pb metal content in the batch adsorption process is 99,07% and while around 95,23% for continuous adsorption.

Keywords: palm kernel shells, adsorption, Sasirangan textile wastewater, batch, continue

I. PENDAHULUAN

Kontaminasi logam berat di lingkungan akibat aktifitas industri dan rumah tangga merupakan permasalahan lingkungan yang dihadapi oleh hampir semua negara pada saat ini. Salah satu komponen lingkungan yang menjadi perhatian khusus untuk kehidupan adalah ketersediaan air bersih. Ketersediaan air bersih sering menjadi masalah karena banyak yang tercemar akibat aktifitas industri dan rumah tangga. Aktifitas industri terutama menghasilkan limbah cair dengan kategori bahan kimia yang berbahaya dan beracun seperti logam berat Cr, Cd, Zn, Pb, dan Cu [1].

Salah satu contoh limbah industri yang menghasilkan limbah cair yaitu industri tekstil dalam hal ini industri kain Sasirangan. Kain Sasirangan sebagai salah satu hasil kerajinan tradisional khas Kalimantan Selatan yang memperkaya khazanah kebudayaan Indonesia yang patut dilestarikan seperti halnya batik yang sudah diakui oleh UNESCO dan dunia [2]. Dengan meningkatnya industri rumah tangga pembuatan kain Sasirangan tentunya akan semakin banyak limbah cair yang dihasilkan, dan saat ini kebanyakan industri pembuatan kain Sasirangan membuang limbahnya secara langsung ke saluran drainase atau badan air tanpa melalui pengolahan terlebih dahulu, sehingga mengakibatkan dapat tercemar, berbahaya, dan bersifat toksik (racun). Pada proses produksi pembuatan kain Sasirangan dalam pewarnaannya akan menghasilkan limbah cair yang mengandung logam kompleks. Logam kompleks yang terkandung di dalam limbah cair tekstil termasuk industri kain Sasirangan terdeteksi logam timbal (Pb) [3]. Pb merupakan salah satu logam berat yang tidak beracun dan cukup esensial bagi tubuh dalam jumlah sedikit, namun bila kelebihan atau terakumulasi dalam jangka waktu cukup lama, logam Pb akan mengganggu kesehatan tubuh manusia.

Berbagai teknik dan proses telah dikembangkan untuk memisahkan logam berat air limbah, antara lain dengan metode pengendapan kimia, adsorpsi filtrasi, penukaran ion, dengan media membran serta teknologi elektrokimia [4]. Adsorpsi merupakan metode yang aman, tidak memberikan efek samping yang dapat berpengaruh terhadap kesehatan, sederhana dalam peralatan dan perawatan, serta mudah pengoperasiannya baik secara *batch* maupun kontinu [5], [6]. Pemanfaatan adsorben yang berasal dari biomassa pada proses adsorpsi merupakan alternatif yang efisien dan murah karena mudah diperoleh dan tersedia dalam jumlah yang cukup banyak dan bervariasi [6]-[8]. Perkembangan industri kelapa sawit di Kalimantan

Selatan semakin pesat, terutama pengolahan minyak kelapa sawit/*crude palm oil* (CPO). Luas areal tanaman kelapa sawit tahun 2015 di Kalimantan Selatan mencapai 1.049.463 ha dan pada tahun 2019 meningkat menjadi 2.371.829 ha, dengan kenaikan rata-rata per tahun sekitar 10,47% [9]. Meningkatnya luas areal perkebunan kelapa sawit mengakibatkan banyak pabrik pengolahan minyak sawit yang akan menghasilkan produk samping atau limbah yang belum termanfaatkan secara maksimal berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan cangkang kelapa sawit yang selama ini hanya digunakan sebagai bahan bakar dan pupuk.

Proses adsorpsi khususnya menggunakan karbon aktif dari cangkang kelapa sawit untuk pengolahan limbah cair kain Sasirangan masih jarang dilakukan terutama proses secara kontinu. Pengolahan sebelumnya, hanya melalui proses sederhana dengan jalan pengendapan (sedimentasi) pada bak penampung sementara menggunakan tawas dan koagulan lainnya. Penelitian ini menggunakan metode adsorpsi secara *batch* dan kontinu yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu operasi, ukuran dan dosis adsorben terhadap hasil adsorpsi serta membandingkan proses adsorpsi secara *batch* dan kontinu.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium di Laboratorium Operasi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Lambung Mangkurat, Kalimantan Selatan. Sampel yang digunakan adalah limbah *artificial* (buatan), namun juga mengukur kandungan logam Pb di dalam limbah cair kain Sasirangan. Parameter yang akan di uji adalah kemampuan penyerapan karbon aktif cangkang sawit terhadap logam Pb sebelum dan sesudah proses adsorpsi. Kandungan logam Pb dalam larutan dianalisa dengan menggunakan instrumen ICP-OES system Horiba Jobin Yvon ULTIMA 2 Spectrofotometer.

A. Proses Karbonisasi

Cangkang kelapa sawit (CKS) diperoleh dari pembuangan limbah pabrik kelapa sawit, dicuci dengan akuadest beberapa kali dan juga alkohol teknis 70% pada bilasan terakhir untuk menghilangkan impurities yang terdapat pada CKS. Kemudian, cangkang kelapa sawit tersebut dijemur dibawah sinar matahari sampai kering (berat kosong). Sejumlah cangkang sawit yang telah kering ditimbang sebanyak 1-2 kg, lalu dikarbonisasi pada suhu 400°C selama 4 jam dengan menggunakan alat pirolisis [8].

B. Proses Aktivasi Cangkang Kelapa Sawit

Karbon aktif yang dihasilkan dari proses karbonisasi, digiling dan diayak hingga diperoleh ukuran partikel yang seragam yaitu tertahan di ayakan 355 μm dan 710 μm . Untuk memodifikasi luas permukaan adsorben, karbon aktif yang dihasilkan dari proses karbonisasi direndam dengan aktivator larutan KOH dengan konsentrasi 25%, dalam gelas beker selama 24 jam dengan pengadukan lambat 50 rpm. Kemudian karbon aktif disaring dan dibilas dengan akuades hingga pH netral. Kemudian karbon aktif dikeringkan dalam oven dengan suhu 105°C selama 4 jam, kemudian didinginkan dalam desikator.

C. Penentuan Waktu Kesetimbangan Proses Adsorpsi

Magnetic stirrer diatur pada kecepatan 200 rpm, dilakukan pengadukan selama 60 menit. Sampel di saring menggunakan kertas saring dan filtrat yang diperoleh kemudian di ambil 50 mL untuk di analisa kandungan logam Pb. Prosedur diulangi untuk variasi waktu 60, 120, 240, 480, 720 dan 1440 menit. Secara singkat proses adsorpsi secara *batch* yang dilakukan dapat digambarkan pada Gambar 1.

D. Pengaruh Massa Adsorben terhadap Proses Adsorpsi

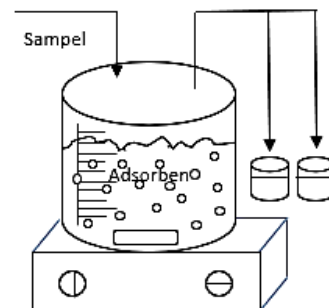
Sampel limbah *artificial* dengan konsentrasi tertentu diambil sebanyak 200 mL kemudian dimasukkan ke dalam gelas beker 250 mL dan karbon aktif dengan ukuran 355 ditambahkan sebanyak 1,5 gram pada gelas beker. *Stirrer* diatur pada kecepatan 200 rpm, diaduk selama waktu variasi yang telah ditentukan. Sampel di saring menggunakan kertas saring dan filtrat yang diperoleh kemudian di ambil 50 mL untuk di analisa kandungan logam Pb. Prosedur yang sama diulangi untuk variasi massa 2 gram dan 2,5 gram.

E. Pengaruh Ukuran Partikel terhadap Proses Adsorpsi

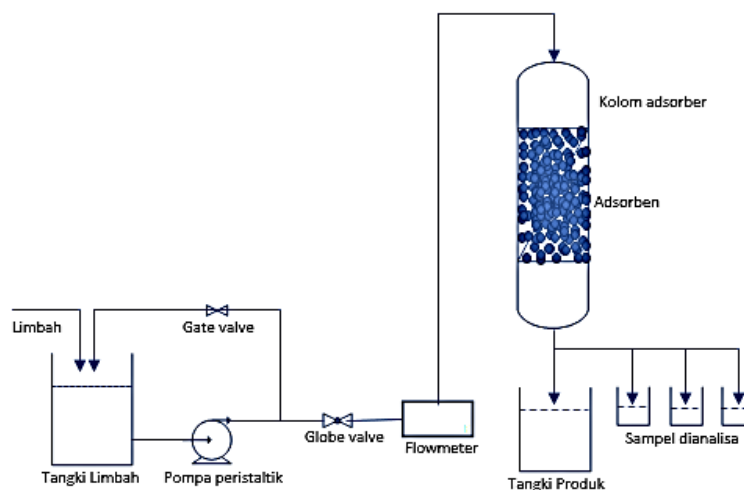
Sampel limbah *artificial* diambil sebanyak 200 mL kemudian dimasukkan ke dalam gelas beker 250 mL dan karbon aktif dengan ukuran 710 μm ditambahkan sebanyak 1 gram pada gelas beker. *Stirrer* diatur pada kecepatan 200 rpm, diaduk selama waktu variasi yang telah ditentukan. Sampel di saring menggunakan kertas saring dan filtrat yang diperoleh kemudian di ambil 50 mL untuk di analisa kandungan logam Pb.

F. Proses Adsorpsi Sistem Kontinu

Eksperimen secara kontinu dilakukan dengan cara mengalirkan limbah menggunakan pompa peristaltik pada kolom yang terisi sebagian dari tinggi kolom yakni 250 gram adsorben, adsorben dengan variasi debit 25 mL/menit dan 50 mL/menit. Sampel diambil dengan waktu yang sudah ditetapkan. Setelah sampel diambil dilakukan penyaringan menggunakan kertas saring dan filtrat yang diperoleh kemudian di analisa kandungan logam Pb. Secara singkat proses adsorpsi secara kontinu yang dapat digambarkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Proses adsorpsi secara *batch*



Gambar 2. Proses adsorpsi secara kontinu

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kandungan Pb dalam Limbah Cair Kain Sasirangan

Sampel yang digunakan adalah limbah cair kain Sasirangan yang diambil dari salah satu industri tekstil rumahan di kota Banjarmasin, Kalimantan Selatan. Limbah cair Sasirangan ini setelah dilakukan uji diketahui mengandung kandungan logam berat salah satunya logam timbal (Pb). Konsentrasi Pb yang berlebih akan menimbulkan terganggunya biota perairan dan kesehatan manusia seperti anemia berat, kerusakan susunan saraf, terganggunya fungsi imun pada tubuh, dan kerusakan ginjal [3], [6]. Hasil uji analisa sampel dapat dilihat pada Tabel 1.

Hasil uji menunjukkan bahwa kandungan logam Pb pada limbah cair Sasirangan melebihi baku mutu maksimum yang telah ditetapkan dalam peraturan pemerintah untuk dibuang ke lingkungan. Namun hasil uji dan nilai baku mutu hanya mempunyai nilai yang kecil sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 1, hal ini menyebabkan digunakannya limbah *artificial* yang mengandung logam Pb, dengan cara membuat larutan artifisial dengan konsentrasi Pb sebesar 150 mg/L dari $Pb(NO_3)_2$ sebagai sampel penelitian.

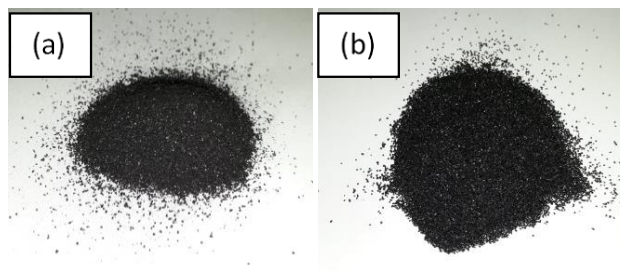
B. Karakteristik Adsorben Cangkang Kelapa Sawit (CKS)

Adsorben yang digunakan dalam penelitian ini adalah adsorben yang berasal dari CKS. Cangkang kelapa sawit terlebih dahulu dikarbonisasi pada suhu 400°C dan selama proses karbonisasi, sampel mengalami penyusutan massa dikarenakan adanya komponen yang dapat menguap sehingga didapatkan unsur karbonnya saja [10]. Keberadaan aktivator KOH memiliki hubungan terhadap kandungan air, yakni sebagai agen pendehidrasi yang dapat mengikat molekul air yang terkandung dalam bahan baku, disamping juga aktivator berbasis basa ini dapat memperbesar pori-pori karbon aktif dan memperluas permukaan penyerapan [11], [12]. Proses selanjutnya karbon diaktivasi secara kimia dengan merendam karbon di dalam larutan basa KOH dengan konsentrasi 25% (b/v). KOH merupakan basa kuat yang bisa

menghilangkan zat-zat pengotor dan membuat permukaan adsorben menjadi terbuka untuk meningkatkan efisiensi penyerapan logam Pb total dibandingkan tanpa aktivasi kimia [13]. Aktivator KOH lebih mudah bereaksi dengan karbon sehingga bahan baku yang memiliki kandungan karbon yang tinggi lebih baik menggunakan aktivator KOH [10], [14].

Adsorben yang telah diaktivasi mengalami perubahan warna dari hitam pekat menjadi hitam mengkilap dibanding karbon yang tidak diaktivasi sebagaimana yang terlihat pada Gambar 3. Karbon yang terbentuk dari proses karbonisasi memiliki struktur permukaan yang kasar dengan ukuran yang terlalu besar sehingga dapat mempengaruhi kapasitas adsorpsi. Ukuran partikel dan luas permukaan merupakan hal yang penting untuk adsorben, karena ukuran partikel mempengaruhi kapasitas adsorpsi [15], [16]. Luas permukaan total mempengaruhi kapasitas adsorpsi total sehingga meningkatkan efektivitas adsorben dalam penyisihan senyawa organik dalam limbah air buangan. Untuk mengetahui luas permukaan karbon dari CKS sebagai adsorben maka memerlukan uji BET.

Analisa *Brunauer-Emmet-Teller* (BET) dilakukan untuk mengetahui luas permukaan pori adsorben karbon aktif dari CKS. Dari hasil analisa BET ini maka diperoleh data *surface area* adsorben dari CKS sebelum dan sesudah aktivasi dengan perlakuan perendaman menggunakan KOH 25% (b/v) selama 24 jam kemudian dipanaskan pada suhu 105 °C selama 4 jam. Hasil analisa dapat dilihat pada Tabel 2.



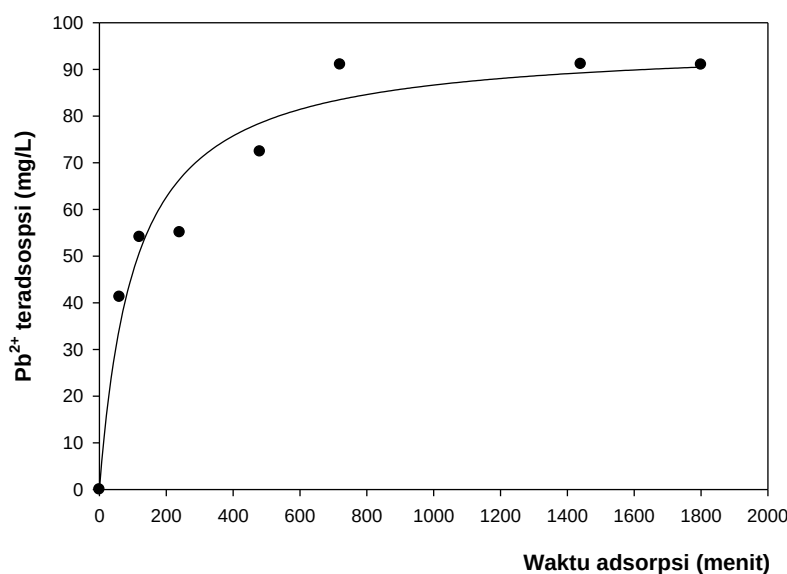
Gambar 3. Adsorben karbon aktif sebelum aktivasi (a), karbon aktif setelah aktivasi (b)

Tabel 2. Surface area adsorben dari CKS

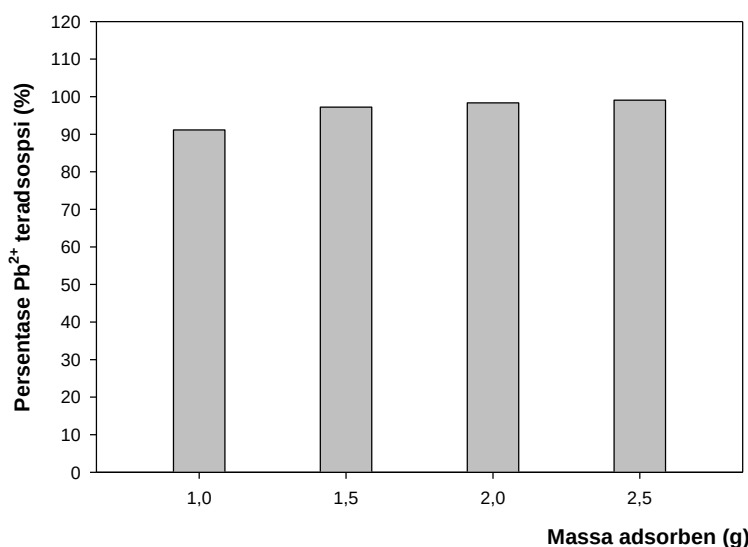
Sampel	Sebelum aktivasi	Setelah aktivasi
Surface Area (m ² /g)	10,125	16,314

Tabel 1. Hasil uji kandungan Pb dalam sampel limbah cair kain Sasirangan

Parameter	Hasil Pengujian (mg/L)	Baku Mutu (mg/L)
Timbal (Pb)	0,148	0,1



Gambar 4. Persentase logam Pb yang teradsorpsi (%) pada berbagai waktu kontak, konsentrasi Pb awal = $151,16 \pm 0,1$ (mg/L), pH $5 \pm 0,2$, pengadukan 200 rpm pada suhu ruang



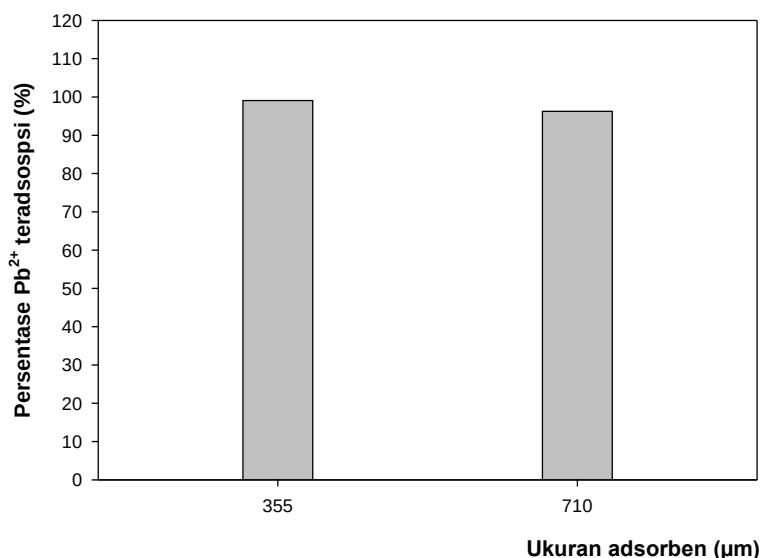
Gambar 5. Persentase logam Pb yang teradsorpsi (%) pada berbagai massa adsorben, konsentrasi Pb awal = $151,16 \pm 0,1$ (mg/L), pH $5 \pm 0,2$, pengadukan 200 rpm pada suhu ruang

Dari Tabel 2 ditunjukkan bahwa karbon teraktivasi mengalami peningkatan luas permukaan dari $10,125 \text{ m}^2/\text{g}$ menjadi $16,314 \text{ m}^2/\text{g}$. Setelah diaktivasi dengan KOH 25% (b/v) luas permukaan spesifik adsorben dari CKS meningkat, hal ini menunjukkan bahwa KOH (aktivator) dapat melarutkan pengotor yang menutupi permukaan adsorben dari CKS sehingga pori-porinya menjadi lebih terbuka dan luas permukaan spesifiknya lebih besar. Permukaan adsorben yang semakin luas berdampak pada semakin tingginya daya serap terhadap gas atau cairan [15], [17].

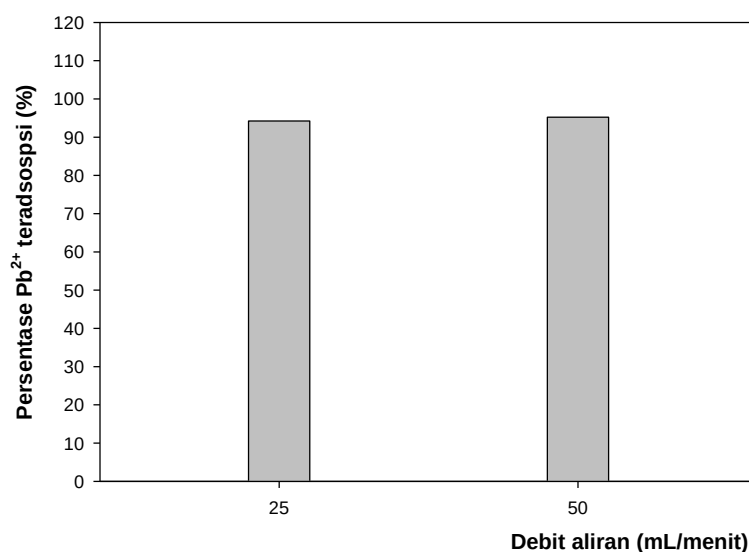
C. Penetapan Waktu Keseimbangan Adsorpsi

Penelitian waktu keseimbangan merupakan langkah awal sebelum melakukan tahap adsorpsi

secara *batch* ataupun kontinu. Proses adsorpsi disini menggunakan 6 buah sampel limbah dengan massa adsorben 1 gram di dalam 200 mL larutan Pb. Larutan Pb dibuat dari $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, dengan konsentrasi awal yang diinginkan sebesar 150 mg/L. Penetapan konsentrasi awal sebesar 150 mg/L dilakukan untuk penyeragaman konsentrasi awal, dan diharapkan saat melakukan analisa awal kadar logam Pb dalam larutan tidak habis teradsorpsi sehingga waktu, massa, dan ukuran optimum selanjutnya dapat ditetapkan. Dari hasil pengujian diperoleh konsentrasi awal larutan Pb sebesar 151,16 g/mL. Waktu keseimbangan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 6. Persentase logam Pb yang teradsorpsi (%) pada berbagai ukuran adsorben, konsentrasi Pb awal = $151,16 \pm 0,1$ (mg/L), pH $5 \pm 0,2$, pengadukan 200 rpm pada suhu ruang



Gambar 7. Persentase logam Pb yang teradsorpsi (%) pada berbagai debit aliran, konsentrasi Pb awal = $151,16 \pm 0,1$ (mg/L), pH $5 \pm 0,2$, pengadukan 200 rpm pada suhu ruang, ukuran adsorben 355 μm

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa kemampuan adsorben dalam menyerap logam Pb mengalami kenaikan dari menit ke 60 hingga menit 1440 menit. Semakin lama waktu kontak maka semakin banyak logam yang teradsorpsi karena semakin banyak kesempatan partikel adsorben untuk berinteraksi dengan logam pada larutan. Pada awal kontak, banyaknya sisi aktif dari adsorben menyebabkan semakin banyak logam yang terikat di dalam pori-pori adsorben, namun dari menit ke 720 kenaikan daya serap logam Pb tidak begitu signifikan dan cenderung stabil. Pada kondisi ini terjadi kesetimbangan dinamis antara laju adsorpsi dengan desorpsi dimana tidak ada lagi logam Pb yang terserap maupun terlepas ke dalam adsorbat, semakin banyaknya zat-zat yang diadsorpsi maka

pori-pori adsorben pada akhirnya akan jenuh sehingga hanya sedikit logam Pb yang dapat diserap saat waktu kesetimbangan telah tercapai [6], [13], [18]. Sedangkan pada menit 1440 adsorpsi berjalan dengan efektif terlihat dari efisiensi daya serap yang tinggi. Dari Gambar 3. terlihat bahwa waktu maksimum dicapai pada waktu 1440 menit.

D. Pengaruh Dosis Adsorben

Kemampuan penyerapan suatu adsorben dapat dipengaruhi oleh dosis (massa) adsorben, dimana semakin banyak dosis adsorben akan semakin banyak pula logam yang akan terserap ke permukaan adsorben. Untuk lebih jelas, kadar logam Pb yang teradsorpsi (%) dapat dilihat pada Gambar 5.

Tabel 3. Nilai efisiensi adsorben dari CKS

Proses	<i>Batch</i>	Kontinu
Efisiensi (%)	99,07	95,23

Adanya peningkatan kadar adsorben selama penambahan dosis adsorben cenderung akan meningkatkan daya serap terhadap adsorbat [15], [16]. Pada Gambar 4 terlihat adanya peningkatan % Pb yang teradsorpsi dengan variasi massa adsorben. Proses adsorpsi Pb mengalami peningkatan seiring bertambahnya massa adsorben dari 1 gram sampai massa 2,5 gram. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar massa adsorben semakin banyak pula persentase Pb yang terserap dikarenakan luas dan konsentrasi adsorbat yang semakin besar. Kadar Pb yang teradsorpsi maksimum adalah 99,07% yaitu pada massa adsorben 2,5 gram.

E. Pengaruh Ukuran Adsorben

Adsorben divariasikan pada dua ukuran yaitu 355 μm dan 710 μm . Kemampuan adsorben mengadsorpsi juga dipengaruhi oleh ukuran partikel yang digunakan, dimana semakin kecil ukuran adsorben akan semakin luas permukaannya, sehingga semakin besar daya serapnya [6], [10], [11], [18]. Dari Gambar 6 didapatkan ukuran adsorben 355 μm memiliki penyerapan logam yang lebih baik daripada 710 μm , hal ini dikarenakan luas permukaan dari adsorben 355 μm lebih besar daripada adsorben ukuran 710 μm sehingga daya serapnya terhadap logam Pb lebih besar dibandingkan dengan ukuran partikel yang lebih besar.

F. Pengaruh Debit Aliran Adsorpsi secara Kontinu

Proses adsorpsi secara kontinu dilakukan menggunakan kolom dengan diameter 7 cm, tinggi kolom 30 cm dan massa adsorben dalam kolom sebanyak 250 gram.. Proses dari adsorpsi secara kontinu adalah mengalirkan larutan *artificial* Pb dari atas ke bawah (*down flow*), debit aliran diatur dengan variasi 25 mL/menit dan 50 mL/menit sampai larutan tersebut melewati adsorben. Pengambilan sampel dan ukuran adsorben pada kolom yang dilakukan dalam penelitian ini mengacu pada waktu kontak dan ukuran adsorben pada proses *batch* yaitu selama 1440 menit dengan ukuran adsorben 355 μm sebagaimana yang telah dibahas dan ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 6. Data hasil kadar Pb teradsorpsi pada proses kontinu dapat dilihat pada Gambar 7.

Proses adsorpsi dimulai ketika larutan *artificial* Pb melewati kolom yang berisi adsorben dari CKS.

Berbeda dengan sistem *batch* yang mencampurkan adsorben pada larutan yang tetap jumlahnya dan diamati perubahan kualitasnya dengan selang waktu tertentu, pada proses kontinu larutan selalu dikontakkan dengan adsorben melalui media yang mengalir melalui adsorben [16]. Pada adsorpsi secara kontinu, larutan akan teradsorpsi secara cepat pada permukaan lapisan atas adsorben, sedangkan lapisan adsorben selanjutnya akan menyerap larutan dengan konsentrasi yang lebih rendah, demikian seterusnya. Dengan bertambahnya waktu lapisan teratas akan mencapai kondisi jenuh dan berkurang efisiensi penyerapannya sehingga lapisan berikutnya akan menggantikan fungsinya sebagai adsorben. Terlihat pada Gambar 6. kadar logam Pb yang teradsorpsi (%) pada variasi debit 25 mL/menit dan 50 mL/menit berturut-turut adalah sebesar 94,23 % dan 95,23 %. Dengan meningkatnya laju alir, maka kadar Pb^{2+} yang teradsorpsi juga semakin meningkat, hal ini terjadi karena dengan bertambahnya laju alir maka tekanan dari aliran akan bertambah, sehingga meningkatkan interaksi ion Pb^{2+} dengan adsorben, selain itu meningkatnya laju alir akan memudahkan ion Pb^{2+} masuk ke dalam pori-pori adsorben [1].

G. Nilai Efisiensi Adsorben pada Proses Adsorpsi secara Batch dan Kontinu

Setelah melalui berbagai proses adsorpsi, baik secara *batch* maupun kontinu, maka diperoleh nilai efisiensi adsorben pada masing-masing proses yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3, pada proses adsorpsi secara *batch* diperoleh nilai efisiensi yang cukup tinggi yaitu 99,07% dengan konsentrasi akhir Pb sebesar 1,41 mg/L, sedangkan pada proses adsorpsi secara kontinu diperoleh efisiensi sebesar 95,23% dengan konsentrasi akhir Pb sebesar 7,2 mg/L. Hal ini menunjukkan kemampuan adsorben dari kelapa sawit sangat efektif untuk menyerap logam Pb.

Dari data hasil penelitian ini, nilai efisiensi sistem *batch* memang lebih besar jika dibandingkan dengan proses kontinu karena pada proses *batch* selama proses adsorpsi dengan adanya pengadukan yang konstan akan terjadi kontak antara seluruh permukaan adsorben dengan larutan *artificial* Pb^{2+} yang volumenya tetap dimana tidak ada larutan *input* dan *output*, proses penyerapan akan berlangsung baik jika semua permukaan adsorben terkontak dengan larutan sehingga penyerapan akan maksimal dan logam Pb yang teradsorpsi akan semakin banyak. Sedangkan pada sistem kontinu selama proses berlangsung ada larutan *input* dan *output* pada sistem, pada model ini larutan akan teradsorpsi secara cepat pada permukaan lapisan atas adsorben, sedangkan lapisan adsorben

selanjutnya akan menyerap larutan dengan konsentrasi yang lebih rendah demikian seterusnya, dengan bergulirnya waktu lapisan teratas akan relatif jenuh dan berkurang efisiensi penyerapannya sehingga lapisan berikutnya menggantikan fungsinya. Dengan kata lain kurangnya efisiensi sistem kontinu dapat disebabkan oleh adanya *channeling flow* yang terjadi karena adanya media berpori (karbon aktif) yang harus dilewati oleh fluida sehingga kontak antara adsorben dan fluida yang mengalir tidak seragam karena peristiwa mengalirnya fluida hanya pada alur tertentu saja, atau tidak merata ke seluruh bagian adsorben, baik aliran itu hanya melewati bagian tengah saja, atau dari bagian dinding kolom saja, maupun dari bagian atas ke bawah. Phenomena *channeling flow* ini merugikan, karena akan menurunkan kinerja adsorben sehingga menyebabkan efisiensi adsorben menjadi berkurang. Namun pada pengaplikasiannya sistem kontinu lebih menguntungkan karena pada umumnya memiliki kapasitas lebih besar dibandingkan dengan sistem *batch* karena sistem kontinu lebih mudah diaplikasikan secara langsung dan sesuai untuk aplikasi dalam skala besar [6], [16]. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, kemampuan (efisiensi) adsorben karbon aktif dari CKS dalam mengadsorpsi Pb lebih baik dan semakin efisien dengan aktivasi menggunakan KOH 25%. Selain itu, jika dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya [18] menyebutkan pada proses adsorpsi karbon aktif dari cangkang kelapa sawit dengan aktivator H_3PO_4 untuk penyerapan logam Pb^{2+} , karbon aktif yang dihasilkan mampu menyerap logam Pb sebesar 80,13%.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa waktu kesetimbangan (*equilibrium time*) tercapai pada waktu 1440 menit dengan konsentrasi akhir dan kadar Pb teradsorpsi sebesar 13,39 mg/L dan 91,14%. Massa karbon aktif dari cangkang kelapa sawit daya serap adsorben akan semakin meningkat, sehingga pada massa 2,5 gram didapatkan konsentrasi akhir dan kadar Pb teradsorpsi sebesar 1,41 mg/L dan 99,07%. Semakin kecil ukuran partikel karbon aktif cangkang kelapa sawit daya serap adsorben akan semakin meningkat, sehingga pada ukuran 355 mikron didapatkan konsentrasi akhir dan kadar Pb teradsorpsi sebesar 1,41 mg/L dan 99,07%. Efisiensi penurunan kandungan logam Pb pada proses adsorpsi *batch* sebesar 99,07% dan pada proses adsorpsi kontinu sebesar 95,23%. Penelitian selanjutnya yaitu mempelajari pengaruh

pH, temperatur, dan konsentrasi Pb sehingga dapat ditentukan model adsorpsi isotermnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih atas Hibah Penelitian melalui Program Kreativitas Mahasiswa Penelitian (PKM-PE) yang diberikan oleh DIRJENBELMAWA RISTEKDIKTI.

REFERENSI

- [1] T. C. Nguyen, P. Loganathan, T. V. Nguyen, S. Vigneswaran, J. Kandasamy, and R. Naidu, "Simultaneous adsorption of Cd, Cr, Cu, Pb, and Zn by an iron-coated Australian zeolite in batch and fixed-bed column studies," *Chemical Engineering Journal*, Vol. 270, pp. 393-404, 2015.
- [2] UNESCO, "Decision of the Intergovernmental Committee: 4.COM 13.44", 2009.
- [3] B. S. Rossi, P. Paryanti, Y. Ristianingsih, and A. Tuhuloula, "Penurunan Konsentrasi Logam Pb^{2+} dan Cd^{2+} pada Limbah Cair Industri Sasirangan dengan Metode Fitoremediasi", *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, Vol. 41, pp. 41-48, 2015.
- [4] M. Hua, S. Zhang, B. Pan, W. Zhang, L. Lv, and Q. Zhang, "Heavy metal removal from water/wastewater by nanosized metal oxides: A review", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 211-212, pp. 317-331, 2012.
- [5] J. Cruz-Olivares, C.E. Barrera-Díaz, G. Martínez-Barrera, C. Pérez-Alonso, and G. Roa-Morales, "Comparative application of an irradiated and non-irradiated calcite-type material to improve the removal of Pb in batch and continuous processes", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, Vol 6, pp. 6297-6307, 2018.
- [6] F. Fadzil, S. Ibrahim, and M. A. K. M. Hanafiah, "Adsorption of lead(II) onto organic acid modified rubber leaf powder: Batch and column studies", *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 100, pp. 1-8, 2016.
- [7] A. A. Ahmad and B.H. Hameed, "Reduction of COD and color of dyeing effluent from a cotton textile mill by adsorption onto bamboo-based activated carbon", *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 172, pp. 1538-1543, 2009.
- [8] S. T. Miranti, "Pembuatan Karbon Aktif dari Bambu dengan Aktivasi Terkontrol Menggunakan Activating Agent H_3PO_4 dan KOH", *Skripsi Sarjana Teknik Kimia*, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2012.
- [9] K.P.R.I. Direktorat Jenderal Perkebunan, "Palm Oil Production by Province in Indonesia, 2015-2019", 2019.
- [10] Y. Meisrilestari, R. Khomaini, and H. Wijayanti, "Pembuatan Arang Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit dengan Aktivasi secara Fisika, Kimia dan Fisika-Kimia", *Konversi*, Vol. 2, pp. 46 - 51, 2013.

- [11] J. Singh, H. Bhunia, and S. Basu, "Adsorption of CO₂ on KOH activated carbon adsorbents: Effect of different mass ratios", *Journal of Environmental Management*, Vol. 250, pp. 109457, 2019.
- [12] H. Soleimani, A.H. Mahvi, K. Yaghmaeian, A. Abbasnia, K. Sharafi, M. Alimohammadi, and M. Zamanzadeh, "Effect of modification by five different acids on pumice stone as natural and low-cost adsorbent for removal of humic acid from aqueous solutions - Application of response surface methodology", *Journal of Molecular Liquids*, Vol. 290, pp. 111181, 2019.
- [13] R. R. Pawar, Lalmunsiam, H. C. Bajaj, and S. M. Lee, "Activated bentonite as a low-cost adsorbent for the removal of Cu(II) and Pb(II) from aqueous solutions: Batch and column studies", *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 34, pp. 213-223, 2016.
- [14] M. O. Esterlita and N. Herlina, "Pengaruh Penambahan Aktivator ZnCl₂, KOH, dan H₃PO₄ dalam Pembuatan Karbon Aktif dari Pelepah Aren (*Arenga Pinnata*)", *Jurnal Teknik Kimia USU*, Vol. 4 pp. 47-52, 2015.
- [15] C. Chiou, *Fundamentals of the Adsorption Theory*, pp. 39-52, 2003.
- [16] A. B. Dichiara, S. J. Weinstein, and R. E. Rogers, "On the Choice of Batch or Fixed Bed Adsorption Processes for Wastewater Treatment", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 54, pp 8579-8586, 2015.
- [17] T. Wajima, "A new carbonaceous adsorbent for heavy metal removal from aqueous solution prepared from paper sludge by sulfur-impregnation and pyrolysis", *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 112, pp. 342-352, 2017.
- [18] E. M. Gultom and M. T. Lubis, "Aplikasi Karbon Aktif dari Cangkang Kelapa Sawit dengan Aktifator H₃PO₄ untuk Peyerapan Logam Berat Cd dan Pb", *Jurnal Teknik Kimia USU*, Vol. 3, pp. 5-10, 2013.

