

## KAPASITAS ADSORPSI MAKSIMUM ION Pb(II) OLEH ARANG AKTIF AMPAS KOPI TERAKTIVASI HCl DAN H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>

Anita Imawati<sup>1\*</sup>, Adhitiyawarman<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura

Jl. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi

\*email: anitaimawati@rocketmail.com

### ABSTRAK

Timbal merupakan salah satu logam berat penyebab pencemaran perairan yang beracun dan membahayakan kesehatan. Pada penelitian ini dilakukan adsorpsi timbal menggunakan arang aktif dari ampas kopi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik, kondisi optimum dan kapasitas adsorpsi arang aktif ampas kopi teraktivasi HCl dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> terhadap Pb(II). Ampas kopi dikeringkan selama 5 jam pada temperatur 105<sup>o</sup> selanjutnya dikarbonisasi pada suhu 600<sup>o</sup>C selama 4 jam. Arang ampas kopi diaktivasi menggunakan HCl dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 0,1 M selama 48 jam dan dilanjutkan dengan pemanasan pada temperatur 110<sup>o</sup>C selama 3 jam. Kondisi optimum adsorpsi ditentukan berdasarkan pH larutan, waktu kontak dan kecepatan pengadukan. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh karakteristik arang ampas kopi teraktivasi HCl adalah 4,2023% (kadar air), 3,4803% (kadar abu), 302,1308 mg/g (daya serap iodium), 18,3641 mg/g (daya serap metilen biru), 68,0884 m<sup>2</sup>/g (luas permukaan metilen biru), 573,2924 m<sup>2</sup>/g (luas permukaan iodin) sedangkan arang aktif teraktivasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> sebesar 2,8058% (kadar air), 3,6848% (kadar abu), 344,2158 mg/g (daya serap iodium), 18,3195 mg/g (daya serap metilen biru), 67,9228 m<sup>2</sup>/g (luas permukaan metilen biru), 653,1485 m<sup>2</sup>/g (luas permukaan iodin). Adsorpsi optimum penelitian ini terjadi pada pH 4, waktu kontak 30 menit dan kecepatan pengadukan 60 rpm. Kapasitas adsorpsi maksimum arang aktif ampas kopi teraktivasi HCl dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> berturut-turut sebesar 3,3255 mg/g dan 2,609 mg/g.

**Kata kunci:** adsorpsi, aktivasi, ampas kopi, arang aktif, timbal

### PENDAHULUAN

Timbal (Pb) merupakan salah satu logam berat yang dapat mencemari lingkungan. Sumber utama masuknya Pb dalam perairan berasal dari limbah industri seperti industri baterai, kabel, cat atau pewarna, industri keramik dan gas buang kendaraan (Sudarmaji dkk., 2006). Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, kadar maksimum cemaran timbal dalam perairan sebesar 0,03 ppm. Oleh karena itu, diperlukan metode upaya untuk mengantisipasi atau meminimalisir terjadinya pencemaran timbal di lingkungan.

Salah satu metode yang dapat digunakan adalah adsorpsi, hal ini ditinjau dari kemudahan metode dan biaya yang dibutuhkan relatif murah. Adsorben yang paling banyak digunakan untuk menyerap

logam berat adalah arang aktif. Hal ini dikarenakan arang aktif memiliki ruang pori sangat banyak dengan ukuran tertentu yang dapat menangkap partikel-partikel yang akan diserap (Irmanto dan Suyata, 2010).

Arang aktif yang telah digunakan untuk mengadsorpsi logam timbal antara lain limbah tempurung kelapa (Song *et al.*, 2014), kulit kakao (Saputro, 2012), tongkol jagung (Nale *et al.*, 2012), dan limbah kayu (Dahlan, 2012). Limbah kopi berupa ampas kopi juga memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan baku pembuatan arang aktif. Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Kyzas (2012), menjelaskan bahwa penggunaan adsorben ampas kopi dapat mengadsorpsi logam Cu<sup>2+</sup> sebesar 70 mg/g dan Cr<sup>2+</sup> berkisar 45 mg/g. Arang aktif ampas kopi juga telah digunakan untuk mengadsorpsi zat pencemar pada

limbah tapioka seperti COD 78,96%, TSS 61,05%, BOD 33,51% (Irmanto dan Suyata, 2010).

Kapasitas adsorpsi arang aktif ampas kopi dapat ditingkatkan dengan aktivasi. Aktivasi dapat dilakukan dengan pemanasan menggunakan temperatur tinggi dan dengan penambahan larutan kimia (Sembiring dan Sinaga, 2003). Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Nafie dkk., (2013), menunjukkan bahwa arang aktif dari tempurung lontar yang diaktivasi oleh larutan kimia memiliki kadar air, kadar abu, luas permukaan, keasaman permukaan dan kemampuan adsorpsi lebih baik dibandingkan arang aktif yang tidak diaktivasi. Oleh karena itu, penelitian ini akan dilakukan pembuatan dan karakterisasi arang aktif dari ampas kopi sebagai adsorben ion Pb(II) dalam air. Adapun aktivator yang digunakan adalah HCl 0,1 M dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 0,1 M. Parameter yang diamati pada penelitian ini adalah pH, waktu kontak, kecepatan pengadukan dan kosentrasi.

## METODOLOGI

### Alat dan Bahan

Alat yang digunakan antara lain alat-alat gelas standar, ayakan 100 mesh, botol semprot, cawan porselin, desikator, magnetik stirrer, neraca analitik *merck*, oven, pH meter, *rotary shaker*, seperangkat instrumen SSA dan Spektrofotometer UV-Vis, tanur.

Bahan yang digunakan antara lain akuades, air demineral, ampas kopi, HCl 0,1M, HNO<sub>3</sub> 0,01 M, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 0,1 M, (Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), indikator amilum, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5H<sub>2</sub>O 0,1 N, NaOH, metilen biru, KI, KIO<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

### Prosedur Penelitian

*Preparasi Arang Aktif Ampas Kopi (Ogata dkk., 2011, Kyzas, 2012)*

Bubuk kopi diseduh dengan air panas selama 10 menit dan disaring. Selanjutnya, dikeringkan dalam oven pada suhu 105<sup>o</sup>C selama 5 jam dan dikarbonisasi pada suhu 600<sup>o</sup>C selama 4 jam. Ampas kopi didinginkan dan dihitung rendemennya dengan cara membandingkan berat sampel sebelum dan setelah dikarbonisasi. Selanjutnya ampas kopi diayak dengan ukuran 100 mesh.

*Aktivasi Arang Ampas Kopi dengan Variasi Jenis Asam (Irmanto dan Suyata, 2010; Alfiany dkk., 2013)*

Ampas kopi sebanyak 150 gr direndam dengan larutan aktivator HCl 0,1 M dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 0,1 M sebanyak 500 mL selama 48 jam dan disaring. Kemudian dicuci menggunakan air demineral hingga netral dan dioven pada suhu 110<sup>o</sup>C selama 3 jam

### Karakterisasi Arang Aktif

1. *Kadar air (AOAC,1990 dalam Mu'jizah, 2010)*

Kurs porselin dipanaskan pada suhu 140<sup>o</sup>C selama 60 menit dan didinginkan dalam desikator selama 30 menit. Selanjutnya ditimbang dan prosedur tersebut dilakukan berulang-ulang dengan selang waktu yang sama hingga tercapai berat konstan (selisihnya tidak lebih dari 0,0029). Langkah selanjutnya 1 gram arang aktif dimasukkan dalam kurs porselin yang telah diketahui beratnya. Selanjutnya dipanaskan dalam oven pada suhu 140<sup>o</sup>C selama 60 menit dan didinginkan dalam desikator selama 30 menit, kemudian ditimbang. Prosedur tersebut dilakukan berulang-ulang dengan selang waktu yang sama hingga tercapai berat yang konstan. Penentuan kadar air dilakukan dua kali pengulangan dan dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{\text{berat awal} - \text{berat akhir}}{\text{berat awal}} \times 100\% \quad (1)$$

2. *Kadar abu (AOAC, 1990 dalam Mu'jizah, 2010)*

Satu gram arang aktif yang telah ditentukan kadar airnya, dibakar dalam tanur pada suhu 650<sup>o</sup> C selama 120 menit dan dikeluarkan, kemudian ditimbang. Prosedur tersebut dilakukan berulang hingga diperoleh berat yang konstan (selisihnya tidak lebih dari 0,0002). Penentuan kadar abu dilakukan dua kali pengulangan dan dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{\text{Berat abu}}{\text{Berat arang aktif}} \times 100\% \quad (2)$$

3. *Daya serap terhadap iodium (Alfiany dkk., 2013)*

Arang aktif sebanyak 0,5 gram dimasukan 50 mL larutan iodium 0,1 N dan diaduk dengan magnetik stirer selama 10 menit. Larutan kemudian disaring dan filtrat dipipet

sebanyak 10 mL. Kemudian dititrasi dengan Natrium Tiosulfat 0,1 N. Titrasi dilakukan hingga warna kuning hampir hilang, kemudian ditambahkan indikator amilum 1 % dan dititrasi kembali hingga titik akhir titrasi terjadi yang ditandai dengan warna biru tepat hilang. Perlakuan dilakukan secara triplo.

$$Q_m \text{ iod (mg/g)} = \frac{\left(10 - \frac{V \times N \text{ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}{N \text{ iod}}\right) \times 12,6 \times fp}{w} \quad (3)$$

$$\text{Luas permukaan} = \left(\frac{Q_m}{BE}\right) \times N \times A \quad (4)$$

dengan V adalah volum titrasi (mL), fp adalah faktor pengenceran, w adalah berat arang aktif (g),  $Q_m$  adalah kapasitas adsorpsi metilen biru (mg/g), N adalah bilangan Avogadro ( $6,02 \times 10^{23}$  molekul/mol), A adalah luas penampang iodin ( $0,40 \times 10^{-18} \text{ m}^2/\text{molekul}$ ) dan BE adalah berat molekul iodin.

#### 4. Daya serap metilen biru (Nafie dkk., 2013)

Penentuan daya serap metilen biru dilakukan dengan mengukur panjang gelombang maksimum larutan metilen biru 4 mg/L pada range 500-700 nm. Selanjutnya dibuat kurva standar dengan variasi konsentrasi 2, 2,5, 3, 3,5, 4 mg/L pada panjang gelombang maksimum metilen biru. Sebanyak 0,1 gram adsorben dicampur dengan 40 mL larutan metilen biru 50 mg/L dan diaduk selama 50 menit. Campuran disaring dan diukur absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum metilen biru. Konsentrasi metilen biru yang teradsorpsi digunakan untuk menghitung luas permukaan arang aktif :

$$X_m \text{ metilen biru} = \frac{\frac{V}{1000} \times C \text{ metilen biru}}{W} \quad (5)$$

$$\text{Luas Permukaan} = \frac{X_m \cdot N \cdot A}{M_r} \quad (6)$$

dengan V adalah volum larutan (mL), C adalah konsentrasi metilen biru teradsorpsi (mg/L), teradsorpsi  $X_m$  adalah kapasitas adsorpsi metilen biru (mg/g), N adalah bilangan Avogadro ( $6,02 \times 10^{23}$  molekul/mol), A adalah luas penampang metilen biru ( $197 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{molekul}$ ) dan  $M_r$  adalah masa relatif metilen biru (gr/mol).

#### Penentuan pH optimum adsorpsi Pb(II) (Utomo and Hunter, 2006 ; Kyzas, 2012)

Arang aktif ampas kopi sebanyak 1 gram dimasukkan kedalam larutan  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  50 mL

dengan konsentrasi 3 mg/L, dimana pH larutan divariasikan (2, 4, 6, 8 dan 10). Pengaturan pH menggunakan larutan  $\text{HNO}_3$  0,01 M dan larutan  $\text{NaOH}$  0,01 M. Kemudian diaduk dengan *rotary shaker* dengan kecepatan 120 rpm selama 60 menit. Selanjutnya, larutan didiamkan selama 15 menit dan disaring. Kandungan Pb(II) dalam filtrat diukur dengan SSA. Semua perlakuan dilakukan secara triplo.

#### Penentuan waktu kontak optimum adsorpsi Pb(II) (Safrianti dkk., 2012)

Arang aktif ampas kopi sebanyak 1 gram dimasukkan kedalam larutan sampel  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  50 mL dengan konsentrasi 3 mg/L. Kemudian diaduk dengan *rotary shaker* dengan kecepatan 120 rpm pada pH optimum. Variasi waktu kontak yang digunakan adalah 30, 60, 90 dan 120 menit. Selanjutnya, larutan didiamkan selama 15 menit dan disaring. Kandungan Pb(II) dalam filtrat larutan diukur menggunakan (SSA). Perlakuan dilakukan secara triplo.

#### Penentuan kecepatan pengadukan optimum adsorpsi Pb(II) (Kyzas, 2012)

Arang aktif ampas kopi sebanyak 1 gram, dimasukkan dalam 50 mL larutan  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  dengan konsentrasi 3 mg/L pada pH optimum. Larutan diaduk menggunakan *rotary shaker* dengan variasi kecepatan pengadukan sebesar 60 rpm, 120 rpm, 180 rpm dan 240 rpm pada waktu kontak optimum. Selanjutnya larutan sampel didiamkan 15 menit dan disaring. Kandungan Pb(II) dalam filtrat diukur menggunakan (SSA). Perlakuan dilakukan secara triplo. Persentase adsorpsi Pb(II) dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\% \text{ Adsorpsi} = \frac{(C_i - C_e)}{C_i} \times 100\% \quad (7)$$

dengan  $C_i$  adalah konsentrasi awal logam (mg/L),  $C_e$  adalah konsentrasi akhir logam (mg/L).

#### Pengaruh Variasi Konsentrasi Pb(II) Terhadap Kapasitas Adsorpsi Arang aktif Ampas Kopi (Kyzas, 2012)

Arang aktif sebanyak 1 gram dimasukkan dalam 50 mL larutan  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  dengan variasi konsentrasi 10 mg/L, 40 mg/L, 120 mg/L dan 160 mg/L pada pH optimum. Larutan diaduk menggunakan *rotary shaker* dengan waktu

kontak dan kecepatan optimum. Selanjutnya didiamkan 15 menit dan disaring. Kandungan Pb(II) dalam filtrat diukur menggunakan (SSA). Semua perlakuan dilakukan triplo. Kapasitas adsorpsi Pb(II) dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Q_e = \frac{(C_i - C_e)}{w} \times V \quad (8)$$

dengan  $q_e$  adalah kapasitas adsorpsi (mg/g),  $c_i$  adalah konsentrasi awal logam (mg/L),  $C_e$  adalah konsentrasi akhir logam (mg/L),  $W$  adalah masa adsorben (g) dan  $V$  adalah volum larutan logam (L). Kapasitas adsorpsi maksimum arang aktif ampas kopi terhadap Pb(II) dapat ditentukan menggunakan persamaan Langmuir atau Freundlich dilihat nilai regresinya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### *Preparasi Arang Aktif Ampas Kopi*

Bubuk kopi cap Obor dari perusahaan Obor di Jalan Tanjungpura no 105 Pontianak, diseduh dengan akuades yang telah dididihkan untuk melarutkan bubuk kopi sehingga dihasilkan ampas kopi yang akan digunakan sebagai bahan baku arang aktif. Selanjutnya didiamkan selama 10 menit dan disaring untuk memisahkan filtrat dan ampas kopi. Ampas kopi yang diperoleh dikeringkan dalam oven selama 5 jam pada suhu  $105^{\circ}\text{C}$  untuk menguapkan air yang terkandung didalamnya.

Selanjutnya ampas kopi dikarbonisasi pada suhu  $600^{\circ}\text{C}$  selama 4 jam yang bertujuan untuk dekomposisi material dan menghasilkan material yang memiliki daya serap dan struktur yang rapi (Atmoko dkk., 2012). Penggunaan suhu  $600^{\circ}\text{C}$  sesuai dengan penelitian Ogata *et al.*, (2011), menjelaskan bahwa arang ampas kopi yang dikarbonisasi dengan suhu  $600^{\circ}\text{C}$  memiliki luas permukaan lebih besar dan pori lebih kecil dibandingkan suhu 400, 800 dan  $1.000^{\circ}\text{C}$ . Selanjutnya ditentukan rendemennya untuk mengetahui jumlah arang aktif yang dihasilkan. Rendemen arang ampas kopi penelitian ini sebesar 19,33%.

Arang ampas kopi digerus dan diayak dengan ukuran 100 mesh untuk memperoleh bentuk yang seragam. Menurut penelitian Wardhana dkk., (2009), arang dari plastik dengan ukuran 100-200 mesh memiliki luas

permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan ukuran 30-60 mesh. Selanjutnya dilakukan aktivasi secara kimia yang bertujuan untuk membuka pori-pori arang yang tertutupi saat karbonisasi dan mengurangi air yang terjebak dalam pori-pori sehingga daya adsorpsi semakin meningkat (Atmoko, 2012; Alfiany dkk., 2013). Aktivasi dilakukan dengan perendaman dengan variasi larutan aktivator yaitu HCl 0,1 M dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  0,1 M. Pemilihan aktivator HCl berdasarkan penelitian Alfiany dkk., (2013) menunjukkan arang aktif yang diaktivasi oleh HCl memiliki daya serap lebih tinggi dibandingkan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{HNO}_3$ . Sedangkan aktivator  $\text{H}_3\text{PO}_4$  sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Budiono dkk., (2006) bahwa daya adsorpsi arang aktif tempurung kelapa teraktivasi  $\text{H}_3\text{PO}_4$  lebih optimal dibandingkan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Arang aktif ampas selanjutnya dicuci dengan air demineral hingga pH 6 yang bertujuan untuk menghilangkan sisa HCl dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  yang masih terkandung didalam arang aktif ampas kopi. Selanjutnya dikeringkan dalam oven pada temperatur  $110^{\circ}\text{C}$  selama 3 jam untuk menghilangkan kadar air yang terkandung dalam arang aktif ampas kopi.

### *Karakterisasi Arang Aktif Ampas Kopi*

#### *1. Kadar air*

Tinggi rendahnya kadar air menunjukkan banyak sedikitnya air yang menutupi pori-pori arang aktif. Semakin rendah kadar air maka semakin banyak tempat dalam pori yang dapat ditempati oleh adsorbat sehingga adsorpsi berlangsung secara optimal (Mu'jizah, 2010). Hasil penentuan kadar air arang aktif ampas kopi teraktivasi HCl dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kadar air pada arang aktif

Jenis arang aktif	Kadar air (%)	SII* (%)
Arang aktif teraktivasi HCl	4,2023	15
Arang aktif teraktivasi $\text{H}_3\text{PO}_4$	2,8058	

\*SII : Standar Industri Indonesia

Berdasarkan Tabel diatas, kadar air pada arang aktif ampas kopi teraktivasi aktivator  $\text{H}_3\text{PO}_4$  lebih rendah dibandingkan aktivator HCl. Hasil tersebut sesuai dengan uji statistik

menggunakan uji T dengan kepercayaan 95% menunjukkan arang aktif yang teraktivasi dengan HCl kadar airnya berbeda *significant* dengan arang aktif yang diaktivasi  $H_3PO_4$ . Kadar air suatu arang aktif tergantung dari aktivator yang digunakan. Aktivator yang dapat mengikat air dalam arang aktif dengan baik akan memiliki kadar air yang rendah (Budiono dkk., 2006). Kadar air kedua arang aktif tersebut telah memenuhi standar maksimum yang ditetapkan Standar Industri Indonesia sebesar 15% sehingga arang aktif ampas kopi layak digunakan sebagai adsorben (Mu'jizah, 2010).

## 2. Kadar Abu

Penentuan kadar abu bertujuan mengetahui kandungan sisa mineral dalam arang aktif yang tidak terbuang saat karbonisasi dan aktivasi. Mineral yang masih tersisa akan menyebabkan terjadinya penyumbatan pori-pori arang aktif sehingga mempengaruhi adsorpsi yang terjadi (Herlandien, 2013). Hasil penentuan kadar abu pada arang aktif ampas kopi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kadar abu pada arang aktif

Jenis arang aktif	Kadar abu (%)	SII (%)
Arang aktif teraktivasi HCl	3,4803	10
Arang aktif teraktivasi $H_3PO_4$	3,6848	

Berdasarkan Tabel di atas menunjukkan bahwa kadar abu arang aktif teraktivasi aktivator  $H_3PO_4$  besarnya hampir sama dengan aktivator HCl. Hal tersebut sesuai dengan hasil uji statistik menggunakan uji T dengan kepercayaan 95% menyatakan bahwa kadar abu arang aktif yang teraktivasi HCl tidak berbeda *significant* dengan arang yang diaktivasi  $H_3PO_4$ . Tinggi rendahnya kadar abu dipengaruhi oleh aktivator dalam melarutkan mineral-mineral anorganik yang terkandung dalam arang aktif (Budiono, 2006). Kadar abu kedua arang aktif tersebut masih memenuhi standar maksimum yang ditetapkan Standar Industri Indonesia sebesar 10% (Mu'jizah, 2010).

## 3. Daya Serap Iodium

Penetapan daya serap iodium bertujuan untuk mengetahui kemampuan arang aktif untuk mengadsorpsi adsorbat dengan ukuran molekul yang kecil berkisar 10 Angstrom. Tinggi rendahnya daya serap arang aktif terhadap iodium dapat dilihat dari angka iodin (*iodine number*) yang diperoleh. Angka iodin menunjukkan banyaknya iodin (mg) yang dapat diserap oleh satu gram arang aktif. Hasil penentuan daya serap arang aktif terhadap iodium disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Daya serap arang aktif terhadap iodium

Jenis arang aktif	Daya serap iodium (mg/g)	SII (mg/g)
Arang aktif teraktivasi HCl	302,1308	750
Arang aktif teraktivasi $H_3PO_4$	344,2158	

Berdasarkan Tabel 3 menunjukkan bahwa daya serap iodium kedua arang aktif tidak memenuhi standar yang ditetapkan Standar Industri Indonesia yaitu minimal 750 mg/g (Mu'jizah, 2010). Tinggi rendahnya daya serap arang aktif terhadap iodium menunjukkan jumlah mikropori yang terbentuk pada arang aktif. Semakin tinggi daya serap iodium maka semakin banyak mikropori yang terbentuk pada arang aktif (Prawirakusumo dan Utomo, 1970 dalam Achmad, 2011). Arang aktif yang diaktivasi  $H_3PO_4$  memiliki daya serap iodium lebih tinggi dibandingkan HCl, hal ini disebabkan  $H_3PO_4$  dapat melarutkan pengotor yang menutupi pori dengan optimal sehingga pori yang terbentuk lebih kecil dan seragam. Hal tersebut sesuai dengan hasil uji statistik menggunakan uji T, menunjukkan dengan kepercayaan 95% daya serap terhadap iodium yang dimiliki arang aktif yang teraktivasi dengan HCl berbeda *significant* dengan arang aktif teraktivasi  $H_3PO_4$ .

## 4. Daya serap metilen biru

Penetapan daya serap metilen biru bertujuan untuk mengetahui kemampuan arang aktif dalam mengadsorpsi zat-zat yang berukuran besar berkisar 15-25 Angstrom atau 1,5-2,5 nm (Pari, 2004 dalam Achmad, 2011). Hasil penetapan daya serap arang aktif terhadap metilen biru disajikan pada Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat daya serap kedua arang aktif nilainya hampir sama dan tidak memenuhi standar minimum yang ditetapkan oleh Standar Industri Indonesia sebesar 120 mg/g (Mu'jizah, 2010). Hal tersebut sesuai dengan hasil uji statistik menggunakan uji T dengan kepercayaan 95%, menunjukkan bahwa daya serap arang aktif teraktivasi HCl terhadap metilen biru tidak berbeda *significant* dengan arang aktif teraktivasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.

Tabel 4. Daya serap arang aktif terhadap metilen biru

Jenis arang aktif	Daya serap metilen biru (mg/g)	SII (mg/g)
Arang aktif teraktivasi HCl	18,3641	120
Arang aktif teraktivasi H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	18,3195	

Tinggi rendahnya daya serap arang aktif terhadap metilen biru menunjukkan ukuran pori-pori yang terbentuk (Achmad, 2011). Hasil penetapan daya serap terhadap metilen biru menunjukkan bahwa pori-pori yang terbentuk pada kedua arang aktif kurang efektif jika digunakan untuk menyerap molekul berukuran 15 Angstrom atau 1,5 nm.

5. Luas permukaan spesifik

Penetapan luas permukaan dilakukan dengan metode yaitu metilen biru dan iodin yang bertujuan untuk membandingkan luas permukaan arang aktif berdasarkan ukuran pori yang terbentuk. Hasil penetapan luas permukaan spesifik arang aktif disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Luas permukaan spesifik arang aktif

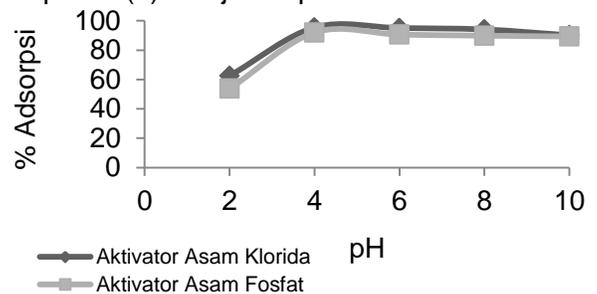
Jenis arang aktif	LPS metilen biru (m <sup>2</sup> /g)	LPS Iodin (m <sup>2</sup> /g)
Arang aktif teraktivasi HCl	68,0884	573,2924
Arang aktif teraktivasi H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	67,9228	653,1485

Luas permukaan dari daya serap iodin nilainya lebih tinggi bila dibandingkan dengan metilen biru. Hal tersebut disebabkan ukuran molekul iodin (<10 Angstrom) lebih kecil

dibandingkan dengan ukuran molekul metilen biru (15-25 Angstrom) sehingga lebih banyak molekul iodin yang teradsorpsi (Achmad, 2011). Berdasarkan hasil penetapan luas permukaan menunjukkan arang aktif ampas kopi yang dihasilkan lebih efektif digunakan untuk mengadsorpsi molekul-molekul kecil seperti ion logam dibandingkan molekul berukuran besar.

Penentuan pH Optimum Adsorpsi Pb(II)

Derajat keasaman (pH) adalah salah satu parameter yang dapat mempengaruhi adsorpsi ion logam dalam larutan. Penentuan pH larutan bertujuan untuk mengetahui kondisi larutan yang optimum dalam adsorpsi Pb(II) oleh arang aktif ampas kopi. Penentuan pH optimum dilakukan dengan variasi 2, 4, 6, 8 dan 10. Pengaruh pH terhadap presentase adsorpsi Pb(II) disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengaruh variasi pH terhadap presentase adsorpsi Pb(II)

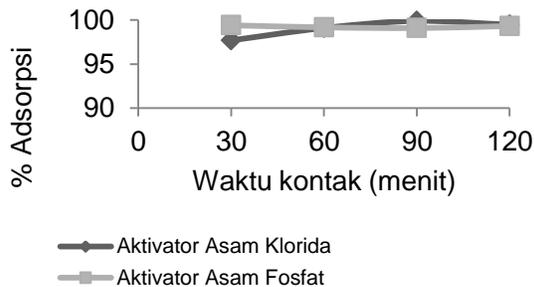
Berdasarkan Gambar 1, presentase adsorpsi arang aktif kedua aktivator terendah terjadi pada pH 2. Menurut Tumin dkk., (2008), adsorpsi pada pH rendah cenderung kecil disebabkan oleh tiga kemungkinan yaitu terjadi persaingan antara H<sup>+</sup> dan Pb<sup>2+</sup> untuk berinteraksi dengan permukaan arang aktif, permukaan arang aktif dikelilingi oleh H<sup>+</sup> yang dapat menghalangi Pb<sup>2+</sup> untuk berinteraksi dengan permukaan arang aktif, permukaan arang aktif menjadi bermuatan positif sehingga terjadi penolakan terhadap Pb<sup>2+</sup>. Presentase adsorpsi tertinggi terjadi pada pH 4 dan pada pH 6, 8 dan 10 adsorpsi cenderung menurun disebabkan Pb cenderung membentuk PbOH<sup>+</sup> sehingga interaksi dengan permukaan arang aktif berkurang.

Berdasarkan uji statistik ANOVA menggunakan uji *least significant difference* (LSD) menunjukkan bahwa pada derajat kepercayaan 95 %, adsorpsi kedua arang aktif

pada pH 2 berbeda *signifikan* dengan pH 4, 6, 8 dan 10. Arang aktif yang diaktivasi HCl pada pH 4 tidak berbeda *signifikan* dengan pH 6, 8 dan 10 sedangkan pH 4 arang aktif teraktivasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> berbeda *signifikan* dengan pH 10. Arang aktif kedua aktivator pada pH 6 tidak berbeda *signifikan* dengan pH 4, 8 dan 10, begitupula pada pH 8. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa pH optimum dalam penelitian ini adalah pH 4.

*Penentuan Waktu Kontak Optimum Adsorpsi Pb(II)*

Waktu kontak antara adsorben dan adsorbat juga mempengaruhi tinggi rendahnya adsorpsi yang terjadi. Adapun tujuan penentuan waktu kontak adalah mengetahui lamanya waktu yang dibutuhkan arang aktif dalam mengadsorpsi ion logam dengan maksimal. Penentuan waktu kontak dilakukan dengan variasi 30, 60, 90 dan 120 menit. Pengaruh waktu kontak terhadap presentase adsorpsi ditunjukkan pada Gambar 2.



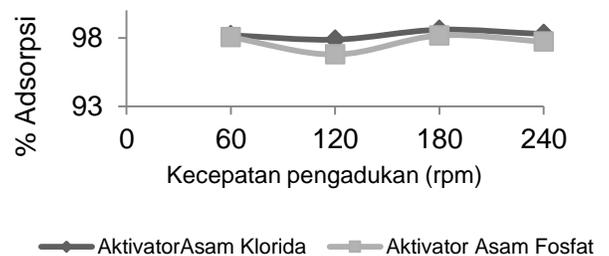
Gambar 2. Pengaruh variasi waktu kontak terhadap presentase adsorpsi

Berdasarkan Gambar 2, adsorpsi maksimum arang aktif teraktivasi HCl terjadi pada waktu kontak 90 menit sebesar 99,8962 %. Menurut Widhianti, (2010), Semakin lama waktu kontak maka semakin banyak arang aktif ampas kopi yang berinteraksi dan bertumbukan dengan ion logam Pb(II). Berbeda dengan arang aktif ampas kopi teraktivasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, pada waktu kontak 30 menit telah terjadi adsorpsi maksimal sebesar 99,4052 % dan pada waktu kontak 60-120 menit tidak mengalami peningkatan. Hal tersebut disebabkan arang aktif telah jenuh dan mengalami kesetimbangan. Hasil uji statistik ANOVA menggunakan uji LSD pada derajat kepercayaan 95% menunjukkan arang aktif kedua aktivator dengan waktu kontak 30,

60, 90 dan 120 tidak berbedak *signifikan*, sehingga waktu kontak optimum penelitian ini adalah 30 menit.

*Penentuan Kecepatan Pengadukan Optimum Adsorpsi Pb(II)*

Kecepatan pengadukan pada proses adsorpsi juga berperan penting. Semakin rendah kecepatan pengadukan maka adsorpsi berjalan semakin lambat. Namun jika kecepatan pengadukan terlalu tinggi akan mengakibatkan adsorbat terlepas kembali kelarutan (Afrianita, dkk., 2012; Hidayah, dkk., 2012). Penentuan kecepatan pengadukan adsorpsi Pb(II) menggunakan arang aktif ampas kopi kedua aktivator dilakukan dengan variasi 60, 120, 180 dan 240 rpm. Pengaruh penentuan kecepatan pengadukan terhadap presentase adsorpsi Pb(II) disajikan pada Gambar 3.



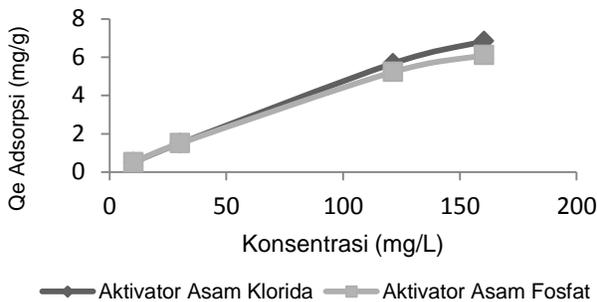
Gambar 3. Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap presentase adsorpsi Pb(II)

Berdasarkan Gambar 3, pada kecepatan 60 rpm adsorpsi kedua arang aktif yang terjadi presentasinya sudah sangat tinggi. Adsorpsi maksimum oleh arang aktif teraktivasi HCl dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> terjadi pada kecepatan pengadukan 180 rpm dengan presentasinya berturut-turut sebesar 98,5919% dan 98,7819%. Berdasarkan uji LSD dengan kepercayaan 95%, adsorpsi Pb(II) oleh kedua arang aktif dengan variasi kecepatan pengadukan 60, 120, 180 dan 240 rpm tidak berbeda *signifikan* sehingga dapat disimpulkan kecepatan pengadukan optimum kedua aktivator sebesar 60 rpm.

*Kapasitas Maksimum Adsorpsi Pb(II) oleh Arang Aktif Ampas Kopi*

Kapasitas adsorpsi menunjukkan seberapa besar kemampuan arang aktif yang diaktivasi HCl dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dalam mengadsorpsi Pb(II).

Kapasitas adsorpsi ditentukan dengan memvariasikan konsentrasi awal larutan Pb(II) sebesar 10, 40, 120 dan 160 mg/L, proses adsorpsi dilakukan dengan mencampurkan 1 gram arang aktif ampas kopi dengan larutan Pb(II) pada pH 4, waktu kontak 30 menit dan kecepatan pengadukan 60 rpm. Kurva hubungan kapasitas adsorpsi dengan variasi konsentrasi ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan antara variasi konsentrasi awal dengan kapasitas adsorpsi

Kurva pada Gambar 4 menunjukkan peningkatan jumlah logam teradsorpsi berbanding lurus dengan naiknya konsentrasi awal. Hal tersebut disebabkan semakin naiknya konsentrasi Pb(II) maka semakin banyak molekul Pb(II) yang berinteraksi dengan arang aktif sehingga adsorpsi semakin meningkat. Peningkatan adsorpsi secara tajam pada konsentrasi Pb(II) rendah hingga konsentrasi tertinggi yaitu 160 mg/l. hal tersebut dikarenakan permukaan arang aktif belum mengalami kejenuhan sehingga adsorpsi masih berjalan dengan optimal.

Isoterm adsorpsi menunjukkan adanya hubungan antara banyaknya zat yang teradsorpsi persatuan berat arang aktif dengan konsentrasi terlarut pada temperatur tertentu atau tetap (Hasrianti, 2012). Model isoterm yang digunakan pada penelitian ini adalah Langmuir dan Freundlich. Penerapan kurva isoterm diperoleh persamaan korelasi yang digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi, konstanta kesetimbangan dan energi adsorpsi. Persamaan korelasi model adsorpsi isoterm Langmuir dan Freundlich disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Persamaan korelasi isoterm Langmuir dan Freundlich adsorpsi Pb(II)

Sampel	Langmuir	Freundlich
Arang aktif ampas kopi teraktivasi HCl	$y = 0.001x + 0.159$ $R^2 = 0,611$	$y = 0,208x + 0,569$ $R^2 = 0,867$
	$y = 0.001x + 0.325$ $R^2 = 0,925$	$y = 0,263x + 0,469$ $R^2 = 0,993$
Arang aktif ampas kopi teraktivasi H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	$y = 0.001x + 0.335$ $R^2 = 0,931$	$y = 0,233x + 0,413$ $R^2 = 0,997$
	$y = 0.001x + 0.333$ $R^2 = 0,928$	$y = 0,424x + 0,420$ $R^2 = 0,998$

Berdasarkan Tabel 5 di atas menunjukkan bahwa adsorpsi Pb(II) oleh arang aktif ampas kopi teraktivasi HCl lebih cenderung mengikuti isoterm Freundlich yang dapat dilihat dari nilai koefisien determinannya ( $R^2$ ) berturut-turut sebesar 0,867 dan 0,993 lebih tinggi dibandingkan koefisien determinan pada persamaan Langmuir. Begitupula dengan arang aktif yang diaktivasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> juga cenderung mengikuti isoterm Freundlich dengan nilai koefisien determinannya ( $R^2$ ) sebesar 0,997 dan 0,998. Hal tersebut menunjukkan bahwa pori-pori yang terbentuk pada kedua arang aktif bersifat heterogen sehingga ion Pb(II) yang teradsorpsi membentuk lapisan multilayer pada permukaan arang aktif. Adsorpsi yang mengikuti isoterm model Freundlich ini, zat yang teradsorpsinya relatif bertambah dengan cepat seiring bertambahnya konsentrasi dan kemudian menjadi lambat jika permukaan arang aktif telah tertutup oleh adsorbat. Berbeda dengan model isoterm Langmuir, penyerapan yang terjadi tidak melebihi situs aktif yang dimiliki oleh arang aktif tersebut. Penetapan isoterm adsorpsi model Langmuir dan Freundlich dapat dibuktikan menggunakan energi adsorpsi yang diperoleh saat proses adsorpsi terjadi.

Energi adsorpsi merupakan energi yang dihasilkan jika satu mol ion logam teradsorpsi oleh suatu adsorben. Energi adsorpsi ini dapat dijadikan sebagai tolak ukur dalam menentukan proses adsorpsi yang terjadi termasuk adsorpsi kemisorpsi atau fisorpsi.

Penetapan energi adsorpsi menggunakan persamaan berikut :

$$E_{ads} = - RT \ln K \quad (10)$$

Dengan R adalah tetapan gas umum (8,314 J/mol K), T adalah temperatur (Kelvin) dan K adalah tetapan kesetimbangan adsorpsi yang diperoleh dari isoterm adsorpsi Langmuir. Hasil penentuan energi adsorpsi disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Energi adsorpsi ion Pb(II) oleh arang aktif ampas kopi

Jenis arang aktif	Pengulangan	K (X 10 <sup>3</sup> L/mol)	E <sub>adsorpsi</sub> (kJ/mol)
Arang aktif teraktivasi HCl	1	0,1587	12,769
	2	0,3226	14,5515
Arang aktif teraktivasi H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1	0,3344	14,6425
	2	0,3333	14,6341

Tabel 6 menunjukkan besarnya energi adsorpsi yang dimiliki kedua arang aktif teraktivasi HCl dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> tidak berbeda berkisar 12,769 kJ/mol hingga 14,6425 kJ/mol. Energi adsorpsi kedua arang aktif ampas kopi tersebut tergolong rendah sehingga dapat dikategorikan sebagai fisisorpsi. Penetapan ini sesuai teori yang menyatakan bahwa adsorpsi fisika terjadi disebabkan adanya gaya tarik menarik van der Waals yang ikatannya lemah dan energi yang dihasilkan kurang dari 20,92 kJ/mol. Sedangkan kemisorpsi terjadi karena adanya reaksi pembentukan ikatan kimia antara adsorbat dan adsorben dan energi yang dihasilkan sangat tinggi (Atmoko, 2012). Kemungkinan terbentuknya ikatan kimia pada penelitian ini sangat kecil, adsorpsi yang terjadi lebih didominasi dengan adanya interaksi antara pori-pori arang aktif ampas kopi dengan ion logam Pb(II) sehingga adsorpsi lebih cenderung bersifat sementara dan dapat kembali terlepasnya adsorbat dari adsorben.

Persamaan korelasi pada Tabel 5 dapat juga digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi maksimum (q<sub>max</sub>) ion Pb(II) menggunakan arang aktif ampas kopi. Nilai kapasitas adsorpsi maksimum Pb(II) oleh arang aktif ampas kopi teraktivasi HCl dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> berturut-turut sebesar 3,3255 mg/g dan 2,609 mg/g. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi yang dimiliki arang aktif teraktivasi HCl lebih besar dibandingkan

dengan arang aktif yang diaktivasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Namun, hal ini tidak sesuai dengan hasil uji statistik menggunakan uji T dengan kepercayaan 95% yang menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi maksimum ion Pb(II) oleh arang aktif ampas kopi teraktivasi HCl tidak berbeda *significant* dengan arang aktif yang diaktivasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.

Jika penelitian ini dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Song *et al.*, (2014), adsorpsi Pb(II) menggunakan arang aktif tempurung kelapa memiliki kapasitas maksimum yang lebih besar yaitu 112,36 mg/g dan 151,52 mg/g daripada penelitian ini. Tingginya kapasitas maksimum pada penelitian tersebut dikarenakan arang aktif tempurung kelapa memiliki luas permukaan yang besar berkisar 728 m<sup>2</sup>/g dan 1135 m<sup>2</sup>/g sedangkan luas permukaan arang aktif ampas kopi berkisar 67,9228 m<sup>2</sup>/g hingga 653,1485 m<sup>2</sup>/g, semakin luas permukaan suatu arang aktif maka semakin besar pula daya adsorpsinya.

## SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil simpulan sebagai berikut:

1. Arang aktif ampas kopi yang diaktivasi HCl memiliki karakteristik yaitu 4,2023% (kadar air), 3,4803% (kadar abu), 302,1308 mg/g (daya serap iodium), 18,3641 mg/g (daya serap metilen biru), 68,0884 m<sup>2</sup>/g (luas permukaan secara metilen biru), 573,2924 m<sup>2</sup>/g (luas permukaan secara iodin) sedangkan arang aktif yang teraktivasi H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> sebesar 2,8058% (kadar air), 3,6848% (kadar abu), 344,2158 mg/g (daya serap iodium), 18,3195 mg/g (daya serap metilen biru), 67,9228 m<sup>2</sup>/g (luas permukaan secara metilen biru), 653,1485 m<sup>2</sup>/g (luas permukaan secara iodin).
2. Kondisi optimum adsorpsi arang aktif ampas kopi terhadap Pb(II) terjadi pada kondisi pH 4, waktu kontak 30 menit dan kecepatan pengadukan 60 rpm.
3. Kapasitas adsorpsi maksimum Pb(II) oleh arang aktif ampas kopi yang diaktivasi aktivator HCl dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> berturut-turut sebesar 4,68295 mg/g dan 2,9941 mg/g.

## DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, A., 2011, Pembuatan, Pencirian dan Uji Daya Adsorpsi Arang Aktif dari Kayu Meranti Merah (*Shorea sp.*), Institut Pertanian Bogor, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Bogor (Skripsi)
- Afriani, R., Dewilda, Y dan Fitri, R., 2012, Studi Penentuan Kondisi Optimum Fly Ash sebagai Adsorben dalam Menyisihkan Logam Berat Timbal (Pb), *Jurnal Teknik Lingkungan*, 9 (1) :37-43
- Alfiyany, H.; Bahri, S. dan Nurakhirawati, 2013, Kajian Penggunaan Arang Aktif Tongkol Jagung sebagai Adsorben Logam Pb dengan Beberapa Aktivator Asam, *Jurnal Natural Science*, 2 (3) : 75-86
- AOAC, 1990, Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C: AOAC inc.
- Atmoko, R.D., 2012, Pemanfaatan Karbon Aktif Batu Bara Termodifikasi TiO<sub>2</sub> pada Proses Reduksi Gas Karbon Monoksida (CO) dan Penjernihan Asap Kebakaran, Universitas Indonesia, Fakultas Teknik, Depok, (Skripsi).
- Budiono, A., Suhartana, Gunawan, 2006. Pengaruh Aktivasi Arang Tempurung Kelapa dengan Asam Sulfat dan Asam Fosfat untuk Adsorpsi Fenol, Laboratorium Kimia Anorganik, Laboratorium Kimia Analitik. Jurusan Kimia, Universitas Diponegoro.
- Dahlan, B., 2012, Studi Awal Penggunaan Limbah Kayu Matoa (*Pometia Sp*) sebagai Bahan Dasar Pembuatan Karbon Aktif untuk Adsorpsi Limbah Timbal (II). Universitas Negeri Papua, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Manokwari, (Skripsi).
- Hasrianti, 2012, Adsorpsi ion Cd<sup>2+</sup> dan Cr<sup>2+</sup> pada Limbah Cair Menggunakan Kulit Singkong, Universitas Hasanudin, Makasar, (Tesis)
- Herlandien, Y. L., 2013, Pemanfaatan Arang Aktif sebagai Adsorban Logam Berat dalam Air Lindi di TPA Pakusari Jember, Universitas Jember, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Jember, (Skripsi).
- Hidayah, N.; Deviyani, E. Dan Wocakso, D.R., 2012, Adsorpsi Logam Besi (Fe) Sungai Barito Menggunakan Adsorben dari Batang Pisang, *Konversi*, 1:19-26.
- Irmanto dan Suyata., 2010, Optimasi Penurunan Nilai BOD, COD dan TSS Limbah Cair Industri Tapioka Menggunakan Arang Aktif dari Ampas Kopi, *Molekul*, 5:22-32.
- Kyzas, G.Z., 2012, Commercial Coffe Waste as Materials for Adsorption of Heavy Metals from Aqueous Solutions, *Materials*, 5: 1826-1840.
- Mu'jizah, S., 2010, Pembuatan dan Karakterisasi karbon Aktif dari Biji Kelor (*Moringa oleifera. Lamk*) dengan NaCl sebagai Bahan Pengaktif, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang, Fakultas Sains dan Teknologi, Malang, (Skripsi).
- Nafie, Y.S.; Wogo, H.E. dan Tawa, B.D., 2013, Pemanfaatan Arang Aktif Tempurung Lontar sebagai Adsorben Ca (II) dan Mg (II) dalam Air Sadah di Kota Kupang, *Jurnal Kimia Terapan*, 1: 70-79.
- Nale, B.Y.; Kagbu, J.A.; Uzairu, A.; Nwankwere, E.T, Saidu, S. and Musa, H., 2012, Kinetic and Equilibrium Studies of the Adsorption of Lead (II) and Nickel (II) ions from Aqueous Solutions on Activated Carbon Prepared from Maize Cob, *Der Chemica Sinica*, 3(2):302-312
- Ogata, F.; Tominaga, H.; Yabutani, H. and Kawasaki, N, 2011, Removal of Floride Ions from Water by Adsorption onto Carbonaceous Materials Produced from Coffee Grounds, *Journal of Oleo Science*, 60:619-125.
- Pari, G., 2004, Kajian Struktur Arang Aktif dari Serbuk gergaji Kayu sebagai Adsorben emisi Foemaldehida Kayu Lapis, Institut Pertanian Bogor, Bogor. (Disertasi).
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001, Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, Pemerintahan Republik Indonesia, Jakarta.
- Prawirakusumo, S. dan Utomo, T., 1970, Pembuatan Karbon Aktif Hasil Penelitian Lembaga Kimia Nasional, Lembaga Kimia Nasional, Bandung.
- Safrianti, I.; Wahyuni, N. dan Zaharah, T.A., 2012, Adsorpsi Timbal (II) oleh Selulosa Limbah Jerami Padi Teraktivasi Asam

- Nitrat: pengaruh pH dan waktu kontak, *JKK*, 1: 1-7
- Saputro, G.A., 2012, Pemanfaatan Arang Aktif Kulit Kakao (*Theobroma Cacao L*) sebagai Adsorben Ion Pb(II) dan Cu (II), Universitas Negeri Papua, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Manokwari, (Tesis).
- Sembiring, M.T. dan Sinaga, T.S., 2006, Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatannya), USU Press, Sumatra Utara.
- Song, C.; Wu, S.; Cheng, M.; Tao, P.; Shao, M. and Gao, G., 2014, Adsorption Studies of Coconut Shell Carbons Prepared by KOH Activation for Removal of Lead (II) from Aqueous Solutions, *Sustainability*, 6: 86-98.
- Sudarmaji; Mukono, J.; dan Corie, I.P., 2006, Toksikologi Logam Berat B3 dan Dampaknya Terhadap Kesehatan, *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 2:129-142
- Tumin, N.D.; Chuah, A.L; Zawani, Z. dan Rasid, S.A., 2008, Adsorption of Copper from Aqueous Solution by Elais Guineensis Kernel Activated Carbon, *Journal of Engineering Science and Technology*, 2:180-189.
- Utomo, H.D and Hunter, K.A., 2006, Adsorption of Heavy Metals by Exhausted Coffe Grounds as a Pontential Treatment Method for Waste Waters, *e-J. Surf. Sci. Nanotech*, 4:504-506.
- Wardhana, I.W.; Hamdayani, D.S. dan Rahmawati, D.I., 2009, Penurunan kandungan Fosfat pada Limbah Cair Industri Pencucian Pakaian (Laundry) Menggunakan Karbon Aktif dari Sampah Plastik dengan Metode Batch dan Kontinyu, *Teknik*, 30:119-130.
- Widhianti, W.D., 2010, Pembuatan Arang Aktif dari Biji Kapuk (*Ceiba pentandra L.*) sebagai Adsorben Zat Warna Rhodamin B, Universitas Airlangga, Fakultas Sains dan Teknologi, (Skripsi).