

Tambang timah yang ditinggalkan akan menghasilkan air asam tambang (AAT) di cekungan air yang berbentuk kubangan. AAT yang bersifat asam akan lambat laun melarutkan banyak logam dari tanah atau batuan yang kontak dengannya dan ini membuat keasamannya bertambah. Jika tidak ditangani dengan baik, air asam ini dapat merusak ekosistem lingkungan bila memasuki aliran sungai atau badan air lainnya. AAT tambang timah yang diteliti adalah pada komposisi logam Sn 47 ppm, Cu 3,08 ppm, dan Fe 21,4 ppm dengan nilai pH di kisaran 3,4-3,5. Pada penelitian ini, AAT dicoba untuk diremediasi dengan menggunakan kombinasi metode adsorpsi dan fitoremediasi di dalam sistem *Constructed Wetland* (CW). Adsorben yang digunakan berupa hidroton atau biasa juga dikenal dengan istilah *Lightweight Expanded Clay Aggregate* (LECA). Hidroton dipilih sebagai adsorben karena berbahan dasar tanah liat alam yang sudah dikenal luas bisa digunakan sebagai media adsorpsi limbah dan sudah umum digunakan sebagai media tanam pada sistem hidroponik. Untuk fitoremediasi, tanaman yang dipakai adalah tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides* L.) yang memang dikenal luas sebagai tanaman yang paling kuat menyerap logam meskipun dalam kondisi ekstrim.

Penelitian ini secara garis besar terdiri atas dua rangkaian. Rangkaian pertama adalah percobaan adsorpsi secara *batch* yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan maksimal hidroton dalam menyerap logam yang ada pada AAT. Penelitian ini dilakukan dengan menambahkan hidroton (1-22 butir) ke dalam 150 ml AAT kemudian diletakkan di dalam *shaker bath* (30°C) selama 2 hari. Variabel yang digunakan adalah perubahan porsi hidroton dengan volume AAT dibuat tetap. Hasil yang diperoleh adalah Fe dan Cu yang teradsorpsi pada permukaan pori hidroton dapat didekati dengan model Kombinasi Langmuir-Freundlich dimana $C_{u,max}$ masing-masing adalah 0,406 dan 0,020 mg/g adsorben. Berbeda dengan Fe maupun Cu, logam Sn lebih cenderung mengalami pengendapan daripada teradsorpsi disebabkan oleh kecilnya kelarutan Sn dalam air dan juga karena adanya peningkatan pH karena peningkatan porsi hidroton.

Rangkaian kedua penelitian ini adalah percobaan adsorpsi dan fitoremediasi yang dilakukan di dalam sistem CW. Pada penelitian ini, digunakan tiga set CW dengan dimensi sama yakni 60 x 40 x 40 cm³. Pada CW-1, 60 liter AAT hanya dikontakkan dengan 20 kg hidroton. Pada CW-2, 60 liter AAT dikontakkan dengan 20 kg hidroton dan 6 tanaman akar wangi yang diletakkan secara merata di atasnya. Pada CW-3, 60 liter AAT dikontakkan dengan akar dari 6 tanaman akar wangi dengan posisi yang sama dengan di CW-2. Tanaman akar wangi sebelum dikontakkan dengan AAT, terlebih dahulu diaklimatisasi selama 3 minggu untuk memberi waktu pada tanaman untuk menyesuaikan dengan perubahan media dari yang semula tanah menjadi air saja. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa penjerapan logam tercepat terjadi pada kombinasi hidroton dan tanaman akar wangi yakni pada CW-2. Karakter remediasi AAT pada CW-1 hampir sama dengan yang terjadi pada CW-2, hanya saja kecepatan remediasi pada CW-1 (remediasi sempurna dicapai dalam 1,11 hari untuk Sn, 3,96 hari untuk Cu, dan 6,25 hari untuk Fe) lebih lambat dibanding pada CW-2 (remediasi sempurna dicapai dalam 0,54 hari untuk Sn, 2,44 hari untuk Cu, dan 3,87 hari untuk Fe). Sementara itu, pada CW-3 sebagian logam Sn dan Fe mengendap (Sn butuh 3,81 hari untuk diremediasi sempurna sedangkan Fe dibutuhkan 21 hari untuk remediasi sebanyak 98,8%), sedangkan Cu hampir tidak berkurang secara signifikan (hingga hari ke-21 hanya 13,7% yang teremediasi). Kinetika laju remediasi logam pada CW-1 dan CW-2 masih dapat didekati dengan persamaan kinetika pseudo orde 1, sedangkan persamaan kinetika fitoremediasi untuk CW-3 tidak dapat didekati dengan pseudo orde 1 karena terjadi pengendapan yang membuat runutan fenomena lebih kompleks.

Kata kunci: adsorpsi; fitoremediasi; hidroton; akar wangi; *constructed wetland*; air asam tambang timah

ABSTRACT

*Abandoned tin mines will produce acid mine drainage (AMD) in water basins in the form of puddles. Acidic AMD will gradually dissolve a lot of metal from the soil or rock it touches and this makes the acidity increase. If not handled properly, this acidic water can destroy the environmental ecosystem if it enters rivers or other water bodies. The AAT of tin mines studied had metal composition which consists of Sn 47 ppm, Cu 3,08 ppm, and Fe 21,4 ppm with a pH value in the range of 3.4-3.5. In this study, AMD was tried to be remedied using a combination of adsorption and phytoremediation methods in the Constructed Wetland (CW) system. The adsorbent used is hydrotone or commonly known as Lightweight Expanded Clay Aggregate (LECA). Hydroton was used as adsorbent because it is made from natural clay which is well known used as a waste adsorption media and also commonly used as a planting medium in hydroponic systems. The plants for phytoremediation, vetiver plants (*Vetiveria zizanioides* L.), are widely known as the strongest plant in absorbing metals even under extreme conditions.*

In general, this research consists of two series. The first series is a batch adsorption experiment which aims to determine the maximum ability of hydrotone to adsorb metals present in AMD. This research was conducted by adding hydrotone (1-22 granules) into 150 ml of AAT and placed in a shaker bath (30°C) for 2 days. The variable was the change of the hydrotone's portion in a fixed volume of AMD. The results obtained are the adsorbed Fe and Cu on the hydrotone pore surface can be approximated by the combined Langmuir-Freundlich model where $C_{\mu, \max}$ are 0.406 and 0.020 mg/g of adsorbent, respectively. In contrast to Fe and Cu, Sn metal is more likely to experience precipitation than to be adsorbed due to the little solubility of Sn in water and also an increase in pH due to the hydrotone portion.

The second series of this research was adsorption and phytoremediation experiments carried out in the CW system. In this study, three sets of CW were used in the same dimensions, namely 60 x 40 x 40 cm³. In the CW-1, 60 liters of AAT are only brought into contact with 20 kg of hydrotone. At CW-2, 60 liters of AAT were contacted with 20 kg of hydrotone and 6 vetiver plants were evenly placed on surface of AAT. In CW-3, 60 liters of AAT were contacted with the roots of 6 vetiver plants in the same position as in CW-2. Vetiver plants prior to be contacted with AMD, were acclimatized first for 3 weeks to give the plants time to adjust to the change of the media from soil to water only. The results obtained showed that the fastest metal adsorption occurred when hydrotone and vetiver plants were used together as a remediation medium, namely in CW-2. The character of AMD remediation in CW-1 is almost the same as that in CW-2, the only difference is the speed of remediation which CW-1 (complete remediation was achieved in 1.11 days for Sn, 3.96 days for Cu, and 6.25 days for Fe) is slower than that in CW-2 (complete remediation was achieved in 0.54 days for Sn, 2.44 days for Cu, and 3.87 days for Fe). Meanwhile, in CW-3 most of Fe and Sn metals precipitated (Sn takes 3.81 days for complete remediation while Fe takes 21 days for remediation as much as 98.8%), while Cu was almost not significantly reduced (until day-21 only 13.7% remedied). The kinetics rate of metal remediation in CW-1 and CW-2 can still be approximated by pseudo-order 1, while the kinetics equation for CW-3 cannot be approximated by pseudo-ode 1 because of the occurrence of precipitation that makes the sequence of phenomena more complex.

Keywords: *adsorption; phytoremediation; hydrotone; vetiver; constructed wetlands; tin mine acid water; Lightweight Expanded Clay Aggregate*