

RINGKASAN

Hilirisasi tambang batubara bertujuan meningkatkan nilai tambah produk batubara dengan memanfaatkan berbagai komponen yang dihasilkan selama proses pengolahan dan pembakaran. Salah satu hasil samping yang sering dianggap limbah adalah *coal fly ash* (CFA), yang faktanya berpotensi sebagai sumber sekunder logam tanah jarang (LTJ). Logam Tanah Jarang merupakan unsur yang memiliki peran vital dalam perkembangan industri modern, tetapi ketersediaannya tidak seimbang dengan permintaan. Oleh sebab itu studi pengembangan teknologi pemungutan LTJ dari CFA ini menjadi penting. Metode ekstraksi LTJ dari CFA melalui proses *leaching* asam-basa telah banyak diteliti, meskipun efisiensi *leaching* dan nilai *recovery* masih belum optimal. Penelitian penggunaan asam sitrat (asam organik) dan H_2O_2 sebagai *leachant* yang lebih ramah lingkungan untuk ekstraksi LTJ dari CFA belum banyak dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengkaji efektivitas *leachant* tersebut pada proses *leaching* asam serta menilai kelayakan CFA dari PLTU Paiton 1, Indonesia.

Penelitian ini terdiri dari empat tahapan, yaitu: (1) studi karakterisasi CFA, (2) proses benefisiasi LTJ melalui pemisahan fisik, (3) *leaching* basa dengan NaOH, dan (4) *leaching* asam dengan asam sitrat (asam organik), asam sulfat (asam anorganik), serta H_2O_2 . Pada tahap karakterisasi, CFA diklasifikasikan sebagai tipe F yang didominasi oleh *quartz*, *mullite*, *aluminosilicate glass*, *unburned carbon*, dan oksida besi. LTJ dalam CFA ditemukan terasosiasi dengan *aluminosilicate glass* dan oksida besi dengan kandungan LTJ sebesar 244,7 ppm. Berdasarkan nilai *Coutlook* sebesar 1,06 dan persen LTJ kritis sebesar 38,08%, CFA dinilai layak digunakan sebagai sumber sekunder.

Tahap benefisiasi dilakukan melalui pemisahan ukuran partikel dan *magnetic separation*. Pemisahan partikel bertujuan mengurangi kadar karbon tak terbakar (+400 mesh), sementara unsur LTJ terdistribusi pada fraksi lebih halus (-400 mesh). *Magnetic separation* digunakan untuk mengurangi mineral besi dan *Ca-Fe enriched aluminosilicate glass*. Pada tahap *leaching* basa menggunakan NaOH (10 M; rasio L/S 10 mL/g; suhu 60°C; waktu 90 menit), diperoleh *desilicate residue* yang menunjukkan peningkatan kadar LTJ menjadi 478,64 ppm akibat pelarutan *aluminosilicate glass*, *calcite*, *quartz*, dan *mullite*. Nilai *Coutlook* pada *desilicate residue* mencapai 1,19 dengan persen LTJ kritis sebesar 39,56%. Pada tahap terakhir, penambahan H_2O_2 sebagai reduktor kuat pada proses *leaching* asam meningkatkan efisiensi *leaching* LTJ. Penambahan H_2O_2 dengan rasio vH_2O_2/v Asam sitrat sebesar 10% menghasilkan efisiensi hingga 91,59%, sementara penggunaan asam sulfat dengan rasio yang sama meningkatkan efisiensi hingga 88,54%.

SUMMARY

The downstream processing of coal mining aims to enhance the added value of coal products by utilizing various components generated during processing and combustion. One byproduct often regarded as waste is coal fly ash (CFA), which has the potential to serve as a secondary source of rare earth elements (REEs). REEs are critical elements in modern industrial development, but their availability is not proportional to the high demand. Therefore, the development of REE extraction technology from CFA is of great importance. The extraction of REEs from CFA through acid-base leaching methods has been widely studied; however, leaching efficiency and recovery rates remain suboptimal. Research on using citric acid (an organic acid) and H_2O_2 as more environmentally friendly leachants for REE extraction from CFA has not been extensively conducted. Hence, this study aims to evaluate the effectiveness of these leachants in acid leaching and to assess the feasibility of CFA from Paiton 1 Power Plant, Indonesia, as a secondary source.

This research comprises four stages: (1) CFA characterization, (2) REE beneficiation through physical separation, (3) alkaline leaching using NaOH, and (4) acid leaching using citric acid (organic acid), sulfuric acid (inorganic acid), and H_2O_2 . In the characterization stage, CFA was classified as type F, predominantly composed of quartz, mullite, aluminosilicate glass, unburned carbon, and iron oxides. REEs in CFA were found associated with aluminosilicate glass and iron oxides, with an REE content of 244.7 ppm. Based on a Coutlook value of 1.06 and a critical REE percentage of 38.08%, CFA is deemed feasible as a secondary source.

The beneficiation stage involved particle size separation and magnetic separation. Particle size separation aimed to reduce unburned carbon content (+400 mesh), while REEs were concentrated in the finer fraction (-400 mesh). Magnetic separation was used to reduce iron-bearing minerals and Ca-Fe enriched aluminosilicate glass. In the alkaline leaching stage, using NaOH (10 M; L/S ratio of 10 mL/g; temperature 60°C; time 90 minutes), desilicate residue was obtained, showing an increase in REE concentration to 478.64 ppm due to the dissolution of aluminosilicate glass, calcite, quartz, and mullite. The Coutlook value of the desilicate residue reached 1.19, with a critical REE percentage of 39.56%. In the final stage, the addition of H_2O_2 as a strong reductant in the acid leaching process significantly improved REE leaching efficiency. The addition of H_2O_2 at a $vH_2O_2/vCitric\ acid$ ratio of 10% achieved a leaching efficiency of up to 91.59%, while sulfuric acid at the same ratio resulted in an efficiency of 88.54%.