



## INTISARI

Indonesia memiliki kekayaan yang luar biasa dalam sektor kelautan. Terdapat banyak potensi yang bisa dimanfaatkan dari kekayaan laut Indonesia. Wilayah pantai dan laut Indonesia yang sangat luas merupakan peluang untuk menghasilkan sumber daya mineral mengingat semakin terbatasnya sumber daya mineral di darat dalam perkembangan teknologi saat ini. Perkembangan teknologi yang pesat pada zaman ini membuat kebutuhan akan mineral dalam industri akan meningkat. Peningkatan konsumsi sumber daya mineral logam seperti mangan (Mn), tembaga (Cu), dan nikel (Ni) telah mendorong tingkat pertumbuhan yang signifikan. Logam-logam tersebut merupakan bagian dari mineral kritis. Pada dasarnya mineral kritis adalah sekelompok mineral masa depan yang digunakan untuk inovasi teknologi yang ramah lingkungan atau berbasis energi bersih dan terbarukan. Akan tetapi mineral kritis ini dikatakan kritis karena ketersediaan jumlahnya yang kian hari semakin terbatas. Selain itu, untuk mencapai target *net-zero emission* juga membutuhkan pasokan logam-logam yang ada pada mineral kritis. Sehingga untuk menjawab tantangan tersebut diperlukan peningkatan dalam mencari tambahan cadangan sumber daya mineral kritis tersebut. Unsur-unsur sumber daya mineral kritis bisa dijumpai pada nodul polimetalik yang dapat ditemukan di laut dalam. Adapun tujuan dari penelitian ini, yaitu untuk mengkaji selektivitas asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) secara kualitatif pada proses *leaching* mineral kritis dalam sampel nodul polimetalik laut dalam. Kemudian, menganalisis pengaruh konsentrasi pada proses *leaching* terhadap hasil *recovery* mineral kritis pada sampel polimetalik laut dalam. Serta, menentukan model kinetika *leaching* yang paling baik untuk merepresentasikan kinetika ekstraksi sampel nodul polimetalik laut dalam. Penelitian ini akan dilakukan dengan proses *hydrometallurgy* yaitu dengan metode *acid leaching* yang merupakan pelindian dengan menggunakan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ). Kondisi operasi yang akan dijalankan yaitu pada berbagai suhu ( $30^\circ C$ ,  $60^\circ C$ , dan  $90^\circ C$ ) dan konsentrasi (1 M, 3 M, dan 5 M). Kondisi optimum yang didapatkan dalam penelitian ini untuk semua logam mineral kritis yang difokuskan (Mn, Ni, dan Cu) adalah pada konsentrasi asam sulfat 5M, dengan suhu  $90^\circ C$  dan waktu *leaching* 120 menit dengan nilai *recovery* masing-masing sebesar 98,48% untuk Mn, 82,04% untuk Ni, dan 89,03% untuk Cu. Kemudian, model matematis yang sesuai dengan proses *leaching* mineral kritis dari nodul polimetalik laut dalam berdasar pada asumsi bahwa difusi lapisan abu merupakan tahapan yang mengontrol laju pelindian. Konstanta laju difusi ( $D_e$ ) untuk mineral kritis (Mn, Ni, dan Cu) pada hasil *recovery* terbaik yaitu pada suhu  $90^\circ C$  dengan konsentrasi 5M berturut-turut sebesar  $4,2130 \cdot 10^{-9} m^2/min$  untuk Mn,  $0,7516 \cdot 10^{-9} m^2/min$  untuk Ni, dan  $9,6784 \cdot 10^{-9} m^2/min$  untuk Cu. Serta evaluasi persamaan arrhenius juga dilakukan di mana dari pemodelan dihasilkan energi aktivasi ( $E_a$ ) pada Mn sebesar 18,412 kJ/mol, Ni sebesar 26,831 kJ/mol, dan Cu sebesar 9,725 kJ/mol.

**Kata kunci :** *leaching*; nodul polimetalik; *hydrometallurgy*; mineral kritis; *recovery*



## **ABSTRACT**

*Indonesia has tremendous wealth in the marine sector. There is a lot of potentials that can be exploited from Indonesia's marine wealth. Indonesia's vast coastal and marine areas are an opportunity to produce mineral resources considering the increasingly limited mineral resources on land in current technological development. The rapid development of technology in this era makes the need for mineral in industry increase. The increase in consumption of metal mineral resources such as manganese (Mn), copper (Cu), and nickel (Ni) has driven significant growth rates. These metals are part of critical minerals. Essentially, critical minerals are a group of future minerals used for environmentally friendly or clean and renewable energy technology innovations. However, these critical minerals are deemed critical due to their increasingly limited availability. Additionally, achieving net-zero emission targets also requires a supply of metals found in critical minerals. Thus, meeting these challenges necessitates an increase in the search for additional reserves of these critical mineral resources. Critical mineral resources can be found in polymetallic nodules found in the deep sea. The aim of this research is to concentrate valuable minerals, which in this case are critical minerals found in polymetallic nodules, under various operating conditions. This research will be conducted using hydrometallurgical processes, specifically acid leaching methods such as sulfuric acid (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). The operating conditions to be explored include various temperatures (30°C, 60°C, and 90°C) and concentrations for sulfuric acid (1 M, 3 M, and 5 M). The optimum conditions obtained in this study for all the critical mineral metals focused on (Mn, Ni, and Cu) were at a sulfuric acid concentration of 5M, with a temperature of 90°C and a leaching time of 30 minutes, with recovery values of 98.48% for Mn, 82.04% for Ni, and 89.03% for Cu, respectively. The mathematical model that corresponds to the leaching process of critical minerals from deep-sea polymetallic nodules is based on the assumption that ash layer diffusion is the rate-controlling step of the leaching process. The diffusion rate constant (De) for critical minerals (Mn, Ni, and Cu) at the best recovery conditions, which are at 90°C with a concentration of 5M, are  $4.2130 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{min}$  for Mn,  $0.7516 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{min}$  for Ni, and  $9.6784 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{min}$  for Cu, respectively. An evaluation of the Arrhenius equation was also conducted, where the modeling resulted in activation energies (Ea) of 18.412 kJ/mol for Mn, 26.831 kJ/mol for Ni, and 9.725 kJ/mol for Cu.*

**Keywords :** leaching; polymetallic nodules; hydrometallurgy; critical mineral; recovery