

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

5.1.1 Kesimpulan Umum

1. Pada proses *leaching* beberapa logam menunjukkan bahwa penggunaan asam sulfat menghasilkan konsentrasi ion logam yang tinggi.
2. Pada proses *leaching* beberapa logam menunjukkan bahwa kondisi operasi temperatur tinggi menghasilkan konsentrasi ion yang tinggi.
3. Perbandingan hasil *leaching* logam ST-06 dan ST-13 menghasilkan karakteristik yang berbeda.

5.1.2 Kesimpulan Khusus

1. Pada proses *leaching* logam titanium, terjadi peristiwa hidrolisis titanium yang menyebabkan konsentrasi titanium memiliki kecenderungan konstan pada penggunaan asam sulfat. Pada sampel ST-13, penggunaan asam sitrat lebih baik dibandingkan dengan asam sulfat. Kondisi optimum yang dapat digunakan dalam proses *leaching* dengan menggunakan asam sulfat berada pada kondisi operasi 30 °C, dan untuk asam sitrat berada pada rentang kondisi operasi 70-90°C.
2. Penggunaan asam sulfat pada proses *leaching* logam mangan lebih baik dibandingkan dengan asam sitrat. Dalam penggunaan asam sulfat sebagai pelarut, terjadi fenomena reaksi redoks pada Mn^{4+} yang mengakibatkan reaksi pada rentang waktu 15-120 menit cenderung lebih lambat. Kondisi optimum yang dapat digunakan dalam proses *leaching* logam mangan berada pada rentang operasi 90°C.
3. Konsentrasi logam kalsium yang diperoleh dengan penggunaan asam sulfat sebagai pelarut dalam proses *leaching* sampel ST-06 lebih tinggi dibandingkan dengan asam sitrat. Adapun untuk kondisi operasi optimum yang dapat digunakan untuk memperoleh konsentrasi kalsium tertinggi berada pada kondisi 30°C.

4. Konsentrasi logam Barium yang dihasilkan dari proses *leaching* dengan menggunakan asam sulfat lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan asam sitrat. Pada penggunaan asam sulfat sebagai pelarut, terjadi pembentukan barium sulfat yang merupakan endapan dan juga terjadi reaksi pembentukan barium hidroksida, sehingga kondisi yang dapat digunakan untuk memperoleh konsentrasi tertinggi dari logam barium berada pada kondisi temperatur operasi 30 °C.
5. Penggunaan asam sulfat sebagai pelarut dalam ekstraksi logam kalium dari sampel ST-06 dan ST-13 menghasilkan konsentrasi logam kalium yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan asam sitrat. Kondisi optimum yang dapat digunakan untuk mengambil logam kalium dengan penggunaan asam sulfat berada pada kondisi 30 °C.
6. Pada proses *leaching* logam magnesium dari sampel ST-06 dan ST-13, konsentrasi magnesium dengan penggunaan asam sulfat sebagai pelarut memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan asam sitrat. Kondisi optimum untuk menghasilkan konsentrasi logam magnesium tertinggi berada pada temperatur 90 °C.
7. Penggunaan asam sitrat dalam proses *leaching* logam besi pada kedua sampel *deep-sea rocks* memiliki efektivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan asam sulfat karena konsentrasi ion logam besi yang terekstrak pada penggunaan asam sitrat lebih banyak dibandingkan dengan penggunaan asam sulfat. Adapun untuk kondisi optimum yang digunakan untuk memperoleh konsentrasi logam besi tertinggi berada pada kondisi 90 °C.
8. Konsentrasi logam timah yang diperoleh pada penggunaan asam sitrat sebagai pelarut dalam proses *leaching deep-sea rocks* lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan asam sulfat. Kondisi optimum untuk memperoleh logam timah tertinggi adalah pada suhu 90°C
9. Penggunaan asam sitrat sebagai pelarut dalam proses *leaching* logam stronsium lebih efektif dibandingkan dengan penggunaan asam sulfat. Kondisi optimum untuk memperoleh logam stronsium tertinggi berada pada kondisi 30°C dan pada selang waktu 15 menit.

10. Asam sulfat lebih baik untuk melarutkan logam Zn dalam proses *leaching deep-sea rocks* dibandingkan dengan asam sitrat. Pada proses *leaching* logam Zn, konsentrasi tertinggi yang diperoleh didapatkan dari kondisi operasi 30°C.
11. Konsentrasi logam zircon yang dihasilkan dari proses *leaching* dengan menggunakan pelarut asam sulfat lebih baik dibandingkan dengan asam sulfat. Kondisi optimum yang dapat digunakan untuk memperoleh konsentrasi zircon tertinggi berada pada kondisi 30 °C.

5.2 Saran

Adapun saran yang bisa diberikan untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Diperlukan kajian lebih lanjut mengenai karakteristik dari sampel ST-06 dan ST-13 terkait dengan asal-usul terbentuknya batuan
2. Melakukan kajian lebih dalam terhadap logam-logam yang bernilai tinggi seperti Titanium, Timah, Zircon, Zinc, Mangan, dan Besi
3. Melakukan proses *leaching* secara selektif terhadap logam-logam yang ingin diteliti lebih lanjut
4. Melakukan uji Analisa XRD untuk residu dari proses *leaching deep-sea rocks*
5. Melakukan kajian terhadap proses *leaching* titanium dengan asam sitrat maupun campuran dari asam sulfat dan sitrat.
6. Pengenceran dilakukan dengan menggunakan basis massa (*weight-based*) untuk mencegah terjadinya galat (*error*) dalam pengukuran dan analisis.

DAFTAR PUSTAKA

- Acharya, C., R. N. Kar, dan L. B. Sukla. 2003. "Studies on Reaction Mechanism of Bioleaching of Manganese Ore." *Minerals Engineering* 16(10):1027–30.
- Aryanto, N. C. ..., J. Widodo, dan P. Raharjo. 2003. "Keterkaitan Unsur Tanah Jarang Terhadap Mineral Berat Ilmenit Dan Rutil Perairan Pantai Gundi , Bangka Barat." *Jurnal Geologi Kelautan* 1(September):13–18.
- Astuti, Widi, Tsuyoshi Hirajima, Keiko Sasaki, dan Naoko Okibe. 2016a. "Comparison of Atmospheric Citric Acid Leaching Kinetics of Nickel from Different Indonesian Saprolitic Ores." *Hydrometallurgy* 161:138–51.
- Astuti, Widi, Tsuyoshi Hirajima, Keiko Sasaki, dan Naoko Okibe. 2016b. "Comparison of Effectiveness of Citric Acid and Other Acids in Leaching of Low-Grade Indonesian Saprolitic Ores." *Minerals Engineering* 85:1–16.
- Ayres, D. M., Davis, A. P., & Gietka, P. M. (1994). *Removing Heavy Metals from Wastewater*. University of Maryland
- Bingham, Caroline. 2004. *Rocks and Minerals*. London: Dorling Kindersley Limited.
- Chang, Raymond. 2010. *CHEMISTRY*. 10th ed. New York: McGraw-Hill.
- Choy, Jin Ho, Yang Su Han, Jin Tai Kim, dan Yoon Ho Kim. 1995. "Citrate Route to Ultra-Fine Barium Polytitanates with Microwave Dielectric Properties." *Journal of Materials Chemistry* 5(1):57–63.
- Dubenko, Anastasiia V., Mykola V. Nikolenko, Eugene V. Aksenenko, Andrii Kostyniuk, dan Blaž Likozar. 2020. "Mechanism, Thermodynamics and Kinetics of Rutile Leaching Process by Sulfuric Acid Reactions." *Processes* 8(6).
- Febriana, Eni, Agung Tristiyan, Wahyu Mayangsari, dan Agus Budi Prasetyo. 2018. "Kinetika Dan Mekanisme Pelindian Nikel Dari Bijih Limonit : Pengaruh Waktu Dan Temperatur." *Jurnal Metalurgi* 2:61–68.
- Fogler, H. Scott. 2006. *Elements of Chemical Reaction Engineering*. 4th ed. Massachusetts: Pearson Education, Inc.
- Garcia, Rebecca Lopez-. 2001. "Citric Acid." in *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Gargul, Krzysztof, Piotr Jarosz, dan Stanisław Małecki. 2018. "Leaching of Lead and Copper by Citric Acid from Direct-to-Blister Copper Flash Smelting Slag." (November).
- Gavhane, K., (2008), *Mass Transfer-II*, edisi 6
- Geankoplis, Christie J. 1993. *Transport Processes and Unit Operations*. 3rd ed. New Jersey: PTR Prentice-Hall, Inc.
- Gunradi, Rudy, Amin Tampubolon, Bambang Pardianto, Dwi Nugroho Sunuhadi, Prima Muharam Hilman, Moehamad Awaludin, Bayu Sayekti, Reza Mochamad Faisal,

- Hartaja Muhammad Hatta W., Sulaeman, Dzil Mulki Heditama, dan Rifi Sani Nugraha. 2019. *Potensi Logam Tanah Jarang Di Indonesia*. Bandung: Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Gupta, C. K. and T. K. Mukherjee. 1990. *Hydrometallurgy in Extraction Process*. CRC Press.
- Havlík, Tomáš. 2008. *Hydrometallurgy Principles and Applications*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited; CRC Press.
- He, Chunyong, Shiyong Chang, Xiangdong Huang, Qingquan Wang, Ao Mei, dan Pei Kang Shen. 2015. "Direct Synthesis of Pure Single-Crystalline Magnéli Phase Ti₈O₁₅ Nanowires as Conductive Carbon-Free Materials for Electrocatalysis." *Nanoscale* 7(7):2856–61.
- Hutagaol, Ricson P., Nasrudin, dan Agus Taufik. 2015. "PROSES PEMBUATAN BAJA." *Jurnal Sains Natural Universitas Nusa Bangsa* 5(Januari):1–8.
- Ilmugeografi, Redaksi. n.d. "Batuan Sedimen : Pengertian, Proses, Dan Jenisnya." diakses 8 Maret 2020 (<https://ilmugeografi.com/geologi/batuan-sedimen>).
- International Seabed Authority. 2004. *Marine Mineral Resources. Scientific Advances and Economic Perspectives*.
- Ismael, Mohamed H., Omneya M. El Hussaini, dan Mohamed F. El-Shahat. 2020. "New Method to Prepare High Purity Anatase TiO₂ through Alkaline Roasting and Acid Leaching from Non-Conventional Minerals Resource." *Hydrometallurgy* 195(May):105399.
- Jamaludin, A., & Adiantoro, D. (2012). Analisis Kerusakan X-Ray Fluoresence (XRF). 19-28.
- Ju, Jinrong, Yali Feng, Haoran Li, Hao Yu, Hao Wu, dan Shunliang Liu. 2021. "The Limiting Effect of Manganese Phase of Oceanic Cobalt-Rich Crust Reduction by Sawdust in Acid Leaching." *Sustainable Chemistry and Pharmacy* 19(July 2020):100346.
- Kakihana, Masato, Makoto Kobayashi, Koji Tomita, dan Valery Petrykin. 2010. "Application of Water-Soluble Titanium Complexes as Precursors for Synthesis of Titanium-Containing Oxides via Aqueous Solution Processes." *Bulletin of the Chemical Society of Japan* 83(11):1285–1308.
- Kaappinen, Toni, Tuomas Vielma, Justin Salminen, dan Ulla Lassi. 2020. "Selective Recovery of Manganese from Anode Sludge Residue by Reductive Leaching." *ChemEngineering* 4(2):1–13.
- Keenan, C. W., 1980, *Ilmu Kimia Untuk Universitas*, Jilid 1 Edisi 6. Terjemahan oleh : Aloysius H. P (1984). Erlangga, Jakarta.
- Kelautan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. 2016. "Morfologi Dasar Laut Indonesia." diakses 12 April 2020 (<https://mgi.esdm.go.id/content/morfologi-dasar-laut-indonesia>).

- Levenspiel, Octave. 1999. *Chemical Reaction Engineering*. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Margarella, Alexandria M., Kathryn A. Perrine, Tanza Lewis, Manfred Faubel, Bernd Winter, dan John C. Hemminger. 2013. "Dissociation of Sulfuric Acid in Aqueous Solution: Determination of the Photoelectron Spectral Fingerprints of H₂SO₄, HSO₄⁻, and SO₄²⁻ in Water." *Journal of Physical Chemistry*.
- McDonald, R. G. dan B. I. Whittington. 2008. "Atmospheric Acid Leaching of Nickel Laterites Review. Part I. Sulphuric Acid Technologies." *Hydrometallurgy* 91(1-4):35-55.
- Middlemas, Scott, Z. Zak Fang, dan Peng Fan. 2013. "A New Method for Production of Titanium Dioxide Pigment." *Hydrometallurgy* 131-132:107-13.
- Mukherjee, Amitava, Ashok M. Raichur, Jayant M. Modak, dan K. A. Natarajan. 2004. "Bioprocessing of Polymetallic Indian Ocean Nodules Using a Marine Isolate." *Hydrometallurgy* 73(3-4):205-13.
- Muller, Hermann. 2012. "Sulfuric Acid and Sulfur Trioxide." in *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Muller, Thomas L. 2001. "Sulfuric Acid and Sulfur Trioxide." dalam *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Nijjer, S., J. Thonstad, dan G. M. Haarberg. 2000. "Oxidation of Manganese(II) and Reduction of Manganese Dioxide in Sulphuric Acid." *Electrochimica Acta* 46(2-3):395-99.
- Perry, R.H. dan Green, D.W., 1999, *Perry's Chemical Engineer's Handbook*, edisi 7., McGraw-Hill Book Company, New York.
- Purasonka, Novianti Wahyuni, Ildrem Syafri, dan Lia Jurnaliah. 2015. "Karakteristik Batuan Sedimen Berdasarkan Analisis Petrografi Pada Formasi Kalibeng Anggota Banyak." *Bulletin of Scientific Contribution* 13(April):1-15.
- Rahman, Reza. 2008. *Pengaruh Proses Pengeringan, Anil Dan Hidrotermal Terhadap Kristalinitas Nanopartikel TiO₂ Hasil Proses Sol-Gel*. Depok.
- Rao, S. Ramachandra. 2006. *Resource Recovery and Recycling From Metallurgical Wastes*. Vol. 7. 1st ed. Oxford: Elsevier Science.
- Royani, Ahmad, Rudi Subagja, dan Azwar Manaf. 2017. "Studi Pelindian Mangan Secara Reduksi Dengan Menggunakan Larutan Asam Sulfat." *Jurnal Riset Teknologi Industri* 11.
- Schön, Jürgen H. 2011. *Physical Properties of Rocks: A Workbook*. Oxford: Elsevier B.V.
- Sharma, Rahul. 2017. *Deep Sea Mining: Resource Potential, Technical and Environmental Considerations*. India: National Institute of Oceanography.
- Silva, Andre M. N., Xiaole Kong, Mark C. Parkin, Richard Cammack, dan Robert C. Hider. 2009. "Iron(III) Citrate Speciation in Aqueous Solution." *Dalton Transactions*

(40):8616–25.

- Solihin dan F. Firdiyono. 2014. “Perilaku Pelarutan Logam Nikel Dan Besi Dari Bijih Nikel Kadar Rendah Sulawesi Tenggara.” *Majalah Metalurgi* 5:139–44.
- Subagja, R. 2016. “Ekstraksi Titanium Dari Ilmenit Bangka Melalui Tahap Dekomposisi Dengan KOH Dan Pelarutan Dengan Asam Sulfat.” *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta* 8(November):1–8.
- Suprpto, Sabtanta Joko. 2009. “Tinjauan Tentang Unsur Tanah Jarang.” *Buletin Sumber Daya Geologi*.
- Tim Dosen Teknik Kimia., 2007, *Modul Praktikum Laboratorium Teknologi Kimia : Ekstraksi Padat Cair*, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.
- Torres, David, Luís Ayala, Manuel Saldaña, Manuel Cánovas, Ricardo I. Jeldres, Steven Nieto, Jonathan Castillo, Pedro Robles, dan Norman Toro. 2020. “Correction: Torres, D. et Al. Leaching Manganese Nodules in an Acid Medium and Room Temperature Comparing the Use of Different Fe Reducing Agents. (Metals 2019, 9, 1316.” *Metals* 10(4).
- Verhoff, Frank H. dan Hugo Bauweleers. 2015. “Citric Acid.” in *Ullmann’s Encyclopedia of Industrial Chemistry*. New York: John Wiley & Sons.
- Wahyuningsih, S., A. H. Ramelan, E. Pramono, P. Argawan, A. Djatisulistya, F. Firdiyono, E. Sulistiyono, dan P. P. Sari. 2018. “The Effects of Leaching Process to the TiO₂ Synthesis from Bangka Ilmenite.” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 333(1).
- Wanta, Kevin Cleary, Felisha Hapsari Tanujaya, Ratna Frida Susanti, Himawan Tri Bayu Murti Petrus, Indra Perdana, dan Widi Astuti. 2018. “Studi Kinetika Proses Atmospheric Pressure Acid Leaching Bijih Laterit Limonit Menggunakan Larutan Asam Nitrat Konsentrasi Rendah.” *Jurnal Rekayasa Proses* 12(2):19.
- Witasari, Yunia dan Rubiman. 2003. “Sedimen Di Selat Sunda : Komposisi, Asal-Usul, Proses Pengendapan Dan Pengaruh Lingkungan.” *Pesisir Dan Pantai Indonesia* 9.
- Zuraida, Rina, Nineu Yayu Gerhaneu, dan Isnu H. Sulistyawan. 2017. “Karakteristik Sedimen Pantai Dan Dasar Laut Di Teluk Papela, Kabupaten Rote, Provinsi NTT.” *Jurnal Geologi Kelautan* 15(2):81–94.