

PENGARUH VARIABEL SOLVENT DAN WAKTU LEACHING TERHADAP KONSENTRASI EMAS TERLARUT PADA PCB HANDPHONE

Raden Rara Dewi Artanti Putri^{1,*}, Dimas Pangestu¹, Diva Candra Khairunnisa¹

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Gedung E1 Lantai 2
Fakultas Teknik, Kampus Unnes Sekaran Gunungpati, Semarang 50229

*E-mail: dewi.artanti@mail.unnes.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan industri elektronik di Indonesia meningkat, maka begitu juga dengan limbah elektronik yang dihasilkannya. Salah satu bentuk limbah elektronik adalah lempengan PCB (*Printed Circuit Board*). Logam seperti Au, Ag, dan Cu dapat ditemukan pada PCB, dan logam-logam tersebut dapat dilakukan pemisahan dengan metode *leaching*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh volume larutan HNO₃ sebagai tahapan *pre-leaching*, perbandingan HCl:HNO₃ (*aqua regia*) dan waktu *leaching* terhadap konsentrasi emas terlarut. Variasi volume larutan HNO₃ (20, 40, 45, 60) mL, variasi perbandingan HCl:HNO₃ (3:1, 1:3, 10:1, 1:10) (v/v) dan variasi waktu *leaching* dengan *aqua regia* (30, 60, 90, 120) menit. Proses *leaching* dilakukan pada suhu 70°C. Filtrat hasil *leaching* dengan *aqua regia* kemudian dianalisis menggunakan AAS. Hasil penelitian ini memperoleh kondisi optimum *leaching* logam Au pada volume HNO₃ 60 mL dengan konsentrasi hasil pelarutan sebesar 26,11 mg/L, perbandingan HCl:HNO₃ 1:3 (v/v) dengan konsentrasi emas terlarut sebesar 23,77 mg/L dan waktu *leaching* dengan *aqua regia* 90 menit dengan konsentrasi logam Au sebesar 26,38 mg/L.

Kata kunci: Limbah elektronik, PCB, Emas, HNO₃, Aqua regia, Leaching.

ABSTRACT

The development of the electronics industry in Indonesia is increasing, and so is the electronic waste it produces. One form of electronic waste is PCB (Printed Circuit Board) slabs. Metals such as Au, Ag, and Cu can be found on PCBs, and these metals can be separated by the leaching method. This study aims to determine the effect of the volume of HNO₃ solution as a pre-leaching step, the ratio of HCl: HNO₃ (*aqua regia*), and the leaching time to the dissolved gold concentration. Variations in the volume of HNO₃ solution (20, 40, 45, 60) mL, variations in the ratio of HCl:HNO₃ (3:1, 1:3, 10:1, 1:10) (v/v) and variations in leaching time with *aqua regia* (30, 60, 90, 120) minutes. The leaching process is carried out at a temperature of 70°C. The filtrate from leaching with *aqua regia* was then analyzed using AAS. The results of this study obtained the optimum conditions for leaching Au metal at a volume of 60 mL HNO₃ with a concentration of 26.11 mg/L, a ratio of HCl: HNO₃ 1:3 (v/v) with a dissolved gold concentration of 23.77 mg/L and Leaching time with *aqua regia* was 90 minutes with a concentration of Au metal of 26.38 mg/L.

Keywords: E-waste, PCB, gold, HNO₃, Aqua regia, Leaching

PENDAHULUAN

Data pertumbuhan industri dalam negeri yang dikeluarkan Kementerian Perindustrian menyatakan bahwa industri elektronik mengalami pertumbuhan

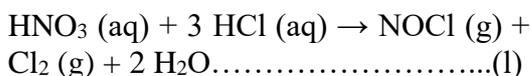
17,51% pada tahun 2019 (Badan Pusat Statistik, 2020). Perkembangan industri elektronik ini memunculkan banyak masalah terkait limbahnya, Indonesia menempati peringkat pertama se-Asia

Tenggara dengan jumlah limbah elektronik sebesar 1,4 juta Mt pada tahun 2019 (Forti dkk., 2020). Hal ini perlu dilakukan penanggulangan terhadap limbah elektronik.

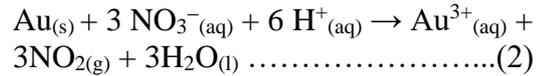
E-waste seperti PCB memiliki kandungan logam-logam seperti Cu, Pb, Sn, Ni, Zn, dan logam mulia seperti Au, Ag, dan Cu (Cayumil dkk., 2015; de Souza dkk., 2018). Berbagai macam cara dilakukan untuk mendaur ulang logam-logam mulia tersebut dari limbah elektronik khususnya limbah PCB yaitu pemisahan mekanik-fisik, pirometalurgi (Cui & Zhang, 2008) dan hidrometalurgi (Das dkk., 2020). Dipilih metode hidrometalurgi karena murah, ramah lingkungan, perolehan logam yang tinggi, dan keberlanjutan proses untuk aplikasi skala kecil dibandingkan dengan metode lainnya (Setiawan, 2017; Wanta dkk., 2018).

Hidrometalurgi adalah teknik pemisahan yang menggunakan larutan kimia untuk melarutkan logam dalam sampel. *Leaching* adalah langkah utama dalam hidrometalurgi dan merupakan metode sederhana untuk pemulihan logam dari sampah/padatan elektronik dengan menambahkan pelarut cair untuk memungkinkan pemisahan logam dari padatan yang tidak larut (Prayudo dkk., 2015). Faktor yang mempengaruhi hasil dari *leaching* antara lain adalah pelarut yang digunakan dan lama waktu *leaching*. Pelarut yang digunakan harus sesuai dengan logam yang akan dipisahkan, pemisahan logam Au digunakan asam anorganik yaitu *aqua regia*. Reaksi yang terjadi dalam proses pemisahan Au dapat dilihat dari reaksi (1-3) (Das dkk., 2020).

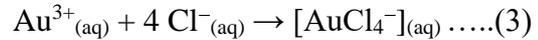
Reaksi antara HNO₃ dengan HCl terbentuk NOCl



Reaksi oksidasi logam Au menjadi ion Au³⁺ oleh HNO₃.

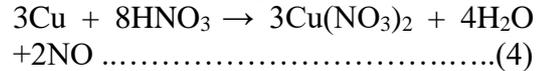


Reaksi ion Au³⁺ dengan HCl menghasilkan senyawa kompleks [AuCl₄⁻]:



Kemudian digunakan larutan HNO₃ untuk memisahkan logam-logam umum selain logam Au sebelum dilakukan *leaching* dengan larutan *aqua regia*. Reaksi pemisahan *base metal* ini dapat dilihat pada Reaksi (4-8) (Long Le dkk., 2011; Mecucci & Scott, 2002).

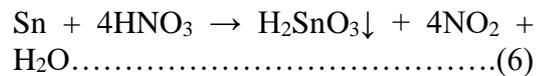
Reaksi pelarutan tembaga (Cu) membentuk tembaga(II) nitrat:



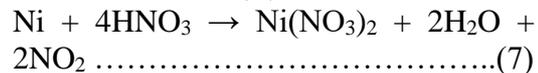
Reaksi timbal (Pb) larut dengan HNO₃:



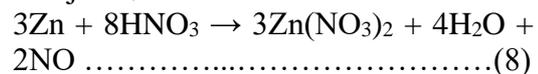
Reaksi timah (Sn) dengan HNO₃ menghasilkan endapan *hydrous stannic oxide*:



Reaksi nikel (Ni) dengan HNO₃ membentuk nikel(II) nitrat:



Reaksi Seng (Zn) teroksidasi menjadi *zinc nitrate*:



Pada penelitian ini dilakukan pemisahan logam Au dari PCB *handphone* dengan metode *leaching*. Dengan memvariasikan volume larutan HNO₃ pada proses *pre-leaching*, perbandingan HCl:HNO₃ dalam *aqua regia* dan waktu *leaching*. Kandungan logam Au ditentukan dengan metode analisis *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS).

METODE

Pada penelitian ini sampel berupa PCB *handphone* bekas. Terdapat 3 variabel pada penelitian ini. Variabel 1

adalah larutan HNO_3 dengan variasi 20, 40, 45, dan 60 mL pada *pre leaching*. Variabel 2, perbandingan $\text{HCl}:\text{HNO}_3$ dalam *aqua regia* 3:1, 1:3, 10:1, dan 1:10 (v/v) dan variabel 3 adalah variasi waktu *leaching* 30, 60, 90, dan 120 menit. Penelitian dilakukan di Laboratorium Terpadu Teknik Kimia UNNES.

Langkah pertama adalah preparasi sampel dengan membuka bagian-bagian PCB yang menutupi emas dengan solder dan tang. Kemudian PCB dipotong menggunakan alat potong dengan ukuran $\pm 1 \times 1$ cm. Setelah dipotong, sampel ditimbang sebesar 5 gram tiap variasinya.

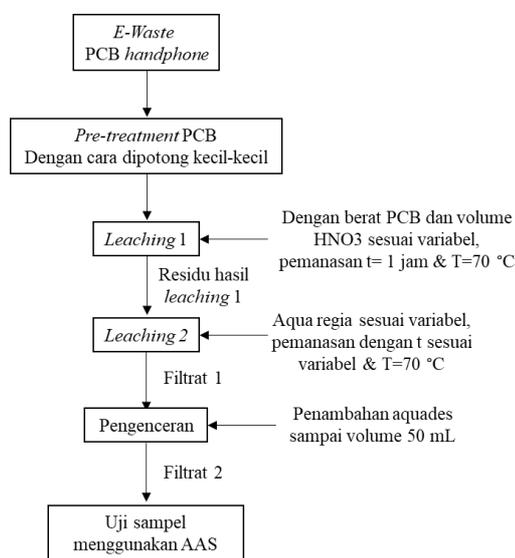
Pada variabel 1, sampel dilakukan *leaching* dengan larutan HNO_3 pada suhu 70°C selama 1 jam dengan variasi volume HNO_3 20 mL, 40 mL, 45 mL, dan 60 mL. Tahap ini dilakukan untuk mengurangi kandungan logam umum (*base metal*) dari sampel. Hasil dari *leaching* ini disaring menggunakan kertas saring yang kemudian hasil residu padatannya digunakan untuk proses *leaching* dengan *aqua regia*. *Leaching* dengan larutan *aqua regia* dilakukan pada suhu 70°C dengan perbandingan $\text{HCl}:\text{HNO}_3$ 1:3 (v/v) sebesar 10 mL HCl dan 30 mL HNO_3 selama 1 jam. Larutan *aqua regia* yang digunakan hanya 20 mL. Tahap ini dilakukan untuk memisahkan logam Au dengan residu.

Pada variabel 2, proses *leaching* menggunakan larutan HNO_3 dilakukan dengan volume 45 mL dan variasi pada *leaching* dengan larutan *aqua regia* yang digunakan yaitu perbandingan $\text{HCl}:\text{HNO}_3$ 3:1, 1:3, 10:1, dan 1:10 (v/v). Kedua *leaching* tersebut dilakukan dengan suhu 70°C selama 1 jam.

Pada variabel 3, proses *leaching* menggunakan larutan HNO_3 dilakukan dengan volume 45 mL dengan suhu 70°C selama 1 jam dan pada *leaching* dengan larutan *aqua regia* digunakan perbandingan $\text{HCl}:\text{HNO}_3$ 1:3 (v/v)

dengan variasi waktu 30, 60, 90, dan 120 menit pada suhu 70°C .

Semua sampel hasil *leaching* dengan larutan *aqua regia* disaring menggunakan kertas saring, kemudian filtratnya diambil untuk proses uji. Sebelum diuji, filtrat diencerkan sebanyak 5 kali dengan akuades. Hasil pengenceran diuji menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometry*) di Laboratorium Instrumen Terpadu Universitas Islam Indonesia Yogyakarta untuk menganalisis konsentrasi logam Au terlarut. Selengkapnya metode dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Kerja

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Volume HNO_3 sebagai *pre-leaching* terhadap Konsentrasi Emas Terlarut

Pada *leaching* HNO_3 maupun *aqua regia*, digunakan suhu tetap 70°C sesuai dengan penelitian sebelumnya. Hal demikian dikarenakan menurut penelitian (Petter dkk., 2014), dari suhu 60°C hingga 80°C tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan pada *leaching* PCB ini. Lalu menurut (Elomaa dkk., 2017), pada pemanasan PCB dengan *aqua regia* menunjukkan bahwa peningkatan suhu akan meningkatkan

ekstraksi logam Au dan pada suhu yang lebih rendah ($T=40^{\circ}\text{C}$) terbukti tidak melarutkan logam Au. Maka dari itu kami mengambil suhu tengah dari 60 dan 80 yaitu 70°C .

Penggunaan waktu pada penelitian ini saat *leaching* HNO_3 adalah 60 menit. Hal ini sesuai dengan penelitian (Long Le dkk., 2011) pada *recovery* logam Cu dengan HNO_3 yang menyatakan bahwa 60 menit merupakan waktu yang efektif dalam *leaching* HNO_3 dikarenakan pada waktu tersebut Cu yang terambil sebanyak 99%. Kemudian pada penelitian ini dilakukan pengadukan, walaupun menurut penelitian Estell pengadukan tidak terlalu banyak berpengaruh pada hasil konsentrasi Au.

Pemilihan variasi volume larutan HNO_3 ini dikarenakan pada penelitian (Tini dkk., 2016), tidak ditemukan Au pada volume 15 mL dan pada volume 45 ml dihasilkan kadar emas yang paling tinggi. Untuk menentukan ada atau tidaknya pengaruh variasi volume HNO_3 terhadap jumlah emas hasil pelarutan dilakukan *leaching* PCB dengan larutan HNO_3 . Kemudian dilanjutkan *leaching aqua regia*.

Tabel 1 memperlihatkan hasil pengukuran konsentrasi emas terlarut dengan variasi volume HNO_3 .

Tabel 1. Pengaruh Volume HNO_3 terhadap Konsentrasi Emas Terlarut

Volume HNO_3 (mL)	Konsentrasi Hasil Pelarutan (mg/L)
20	19,8
40	22,48
45	21,88
60	26,11

Pada Tabel 1, dapat dilihat bahwa volume *leaching* HNO_3 dapat berpengaruh terhadap banyaknya logam Au yang terlarut. Hal ini karena dengan jumlah sampel yang seragam (5 gram) dan variasi volume HNO_3 , dihasilkan kadar yang berbeda. Semakin banyak volume HNO_3 yang digunakan pada proses *leaching* 1 yaitu 60 mL,

didapatkan jumlah logam Au yang semakin banyak sebesar 26,11 mg/L. Ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa HNO_3 merupakan pengoksidasi kuat yang digunakan dengan tujuan untuk melarutkan logam-logam umum (*base metal*) yang terdapat pada PCB dan meninggalkan logam mulia kemudian mengisolasi dan memurnikan pada residu padatnya (Celep dkk., 2017; Ji dkk., 2015). Dengan demikian hal tersebut menyebabkan perbedaan kadar Au yang dihasilkan. HNO_3 merupakan pengoksidasi dikarenakan proton asamnya dapat berubah menjadi gas hidrogen. Selain itu, saat pemanasan HNO_3 terurai untuk memberikan oksigen baru yang sangat reaktif dan menambah karakter pengoksidasi asam. Kemudian logam Au pada tabel elektrokimia merupakan logam paling tidak reaktif dan memiliki nilai potensial (E_0) dibawah hidrogen. Ini menyebabkan logam Au tidak bisa mengganti hidrogen dalam reaksi oksidasi dan tidak bisa bereaksi dengan HNO_3 . Penelitian ini juga didukung oleh penelitian (Tini dkk., 2016) yang mendapatkan makin besar volume HNO_3 menghasilkan nilai pelarutan logam Au makin lebih tinggi hingga volume 45 ml.

Pengaruh Perbandingan $\text{HCl}:\text{HNO}_3$ dalam *Aqua regia* terhadap Konsentrasi Emas Terlarut

Untuk menentukan ada atau tidaknya pengaruh variasi perbandingan $\text{HCl}:\text{HNO}_3$ dalam *aqua regia* terhadap konsentrasi emas yang terlarut dilakukan *leaching* PCB. Tabel 2 memperlihatkan pengaruh rasio HCl dan HNO_3 terhadap konsentrasi Au terlarut.

Dapat diketahui bahwa perbandingan $\text{HCl}:\text{HNO}_3$ dalam pelarut *aqua regia* berpengaruh terhadap konsentrasi logam Au yang terlarut. Semakin tinggi konsentrasi HNO_3 mempengaruhi konsentrasi pelarutan

logam Au. Larutan HNO_3 yang berada di dalam campuran pelarut *aqua regia* dengan rasio lebih tinggi, dapat melarutkan logam Au lebih banyak atau semakin banyak membentuk kompleks AuCl_4^- .

Tabel 2. Pengaruh Perbandingan HCl:HNO₃ dalam Aqua regia Terhadap Konsentrasi Logam Au Terlarut

Perbandingan HCl : HNO ₃	Konsentrasi Hasil Pelarutan (mg/L)
3:1	13,21
1:3	23,77
10:1	19,61
1:10	14,31

Dengan banyaknya HNO_3 yang terdapat pada *aqua regia*, dapat menghilangkan kemungkinan logam lain yang masih tersisa dalam residu. Seperti kegunaannya, HNO_3 meminimalisasi logam-logam lain yang terkandung dalam endapan logam Au (Sheng & Etsell, 2007).

Dari Tabel 2 dapat dilihat pada perbandingan 1:10 menghasilkan konsentrasi logam Au terlarut yang rendah, hal tersebut dikarenakan pemakaian HNO_3 yang terlalu tinggi. Menurut penelitian Tambunan (Alfian, 2007), asam yang terlalu pekat jika digunakan dalam suatu pelarut dapat mengganggu proses analisis dengan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS), yang mana nilai absorbansi akan menjadi lebih rendah dari hasil semestinya dan akan menyebabkan berkurangnya nilai serapan pada konsentrasi sampel yang dianalisis dari nilai sesungguhnya.

Pada sampel dengan larutan HCl yang lebih banyak, menghasilkan nilai konsentrasi logam Au yang terlarut lebih rendah. Hal ini sesuai dengan pernyataan Tini dkk (2016) bahwa HNO_3 berperan pada pelarutan emas yang lebih tinggi.

Pengaruh Waktu Leaching Aqua regia terhadap Konsentrasi Emas Terlarut

Penentuan konsentrasi emas yang terlarut pada proses *leaching* dipengaruhi oleh lamanya waktu proses bereaksi. Hubungan waktu pelarutan terhadap konsentrasi hasil *leaching* dengan larutan *aqua regia* HCl:HNO₃ 1:3 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengaruh Waktu Leaching terhadap Konsentrasi Emas Terlarut

Waktu Leaching (menit)	Konsentrasi Hasil Pelarutan (mg/L)
30	12,78
60	21,48
90	26,38
120	7,566

Dari Tabel 3 terlihat bahwa lamanya waktu *leaching* dapat berpengaruh kepada banyaknya logam Au/emas yang terlarut. Semakin lama proses *leaching* yaitu 120 menit menghasilkan konsentrasi logam Au yang semakin kecil. Ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan (Wang & Xu, 2015) yang menerangkan sifat *leaching* dengan larutan asam membutuhkan waktu reaksi yang singkat. Dengan waktu yang lebih lama, pelarut dalam hal ini adalah *aqua regia*, dapat melarutkan semua logam mulia dalam PCB. Hal ini menyebabkan kadar logam Au/emas turun karena pada PCB terdapat logam lain selain logam Au. Hal ini sesuai dengan penelitian (Rohadian dkk., 2020) yang melakukan *leaching* logam nikel dan kobalt yang menyebutkan konsentrasi logam turun akibat lamanya reaksi.

Semakin lama proses pelarutan, semakin sedikit jumlah logam Au yang terukur, yang berarti semakin sedikit kompleks yang terbentuk dan sebaliknya. Jumlah Au yang terlarut berkurang dengan bertambahnya waktu *leaching* karena ketidakstabilan *aqua regia* (Rofika & Rachmanto, 2018). *Aqua regia* adalah oksidan yang kuat dan

korosif. Jika waktu kontak terlalu lama, *aqua regia* dapat mengoksidasi dan membentuk gas beracun seperti NOCl, NO₂ dan Cl₂, sehingga *aqua regia* hanya dibuat ketika akan digunakan. Gas NOCl dan Cl₂ yang dihasilkan tidak dapat melarutkan Au. Ini mengurangi jumlah kompleks AuCl⁴⁻ yang terbentuk (Muhammad dkk., 2019).

SIMPULAN

HNO₃ sebagai larutan *pre leaching* berpengaruh terhadap konsentrasi emas terlarut. Semakin tinggi volume HNO₃ pada *leaching*, maka semakin tinggi juga hasil konsentrasi logam Au yang terlarut. Volume HNO₃ terbanyak 60 mL menghasilkan konsentrasi hasil pelarutan yang paling tinggi sebesar 26,11 mg/L.

Semakin tinggi volume HNO₃ yang ada pada *aqua regia* maka semakin tinggi konsentrasi logam Au terlarut yang dihasilkan, namun pada konsentrasi tertentu menyebabkan hasil konsentrasi logam Au terlarut turun. Perbandingan HCl:HNO₃ dalam *aqua regia* yang optimum pada proses *leaching* logam Au dalam PCB handphone adalah 1:3 (v/v) dengan kadar emas terlarut sebesar 23,77 mg/L.

Seiring dengan penambahan waktu yang digunakan, konsentrasi logam Au terlarut yang dihasilkan semakin tinggi, namun pada waktu tertentu konsentrasi logam Au yang terlarut semakin menurun. Waktu maksimum pada proses *leaching* dengan *aqua regia* logam Au dalam PCB handphone adalah 90 menit dengan kadar emas terlarut sebesar 26,38 mg/L.

DAFTAR RUJUKAN

Alfian, Z. (2007). Pengaruh pH dan penambahan asam terhadap penentuan kadar unsur krom dengan menggunakan metode spektrofotometri serapan atom.

- Jurnal Sains Kimia*, 11(1), 37–41.
- Badan Pusat Statistik. (2020). *Pertumbuhan Produksi Industri Manufaktur Triwulan IV 2019*.
- Cayumil, R., Khanna, R., Rajarao, R., Mukherjee, P. S., & Sahajwalla, V. (2015). Concentration of Precious Metals During Their Recovery From Electronic Waste. *Waste Management*.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.12.004>
- Celep, O., Deveci, H., & Yazici, E. Y. (2017). A Preliminary Study on Nitric Acid Pre-treatment of Refractory Gold/Silver Ores. *International Mining Congress of Turkey 2017*, 463–468.
- Cui, J., & Zhang, L. (2008). Metallurgical Recovery of Metals from Electronic Waste: A Review. *Journal of Hazardous Materials*, 158, 228–256.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.02.001>
- Das, D., Mukherjee, S., & Chaudhuri, M. G. (2020). Studies on leaching characteristics of electronic waste for metal recovery using inorganic and organic acids and base. *Waste Management and Research*, 39(2), 1–8.
<https://doi.org/10.1177/0734242X20931929>
- de Souza, W. B., Abreu, C. S., Rodrigues, G. D., Mageste, A. B., & de Lemos, L. R. (2018). Selective Separation of Cu, Ni and Ag from Printed Circuit Board Waste Using an Environmentally Safe Technique. *Journal of Environmental Management*, 226, 76–82.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.049>
- Elomaa, H., Seisko, S., Junnila, T., Sirviö, T., Wilson, B. P., Aromaa, J., & Lundström, M. (2017). The

- Effect of the Redox Potential of Aqua Regia and Temperature on the Au, Cu, and Fe Dissolution from WPCBs. *Recycling*, 2(14), 1–9.
<https://doi.org/10.3390/recycling2030014>
- Forti, V., Baldé, C. P., Kuehr, R., & Bel, G. (2020). The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, Flows, and the Circular Economy Potential. In *United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam*.
- Ji, A. M., Liu, H. Y., & Hu, Z. H. (2015). A Review on Copper Recovery from Waste P. *International Conference on Industrial Technology and Management Science (ITMS 2015)*, 1546–1549.
<https://doi.org/10.2991/itms-15.2015.376>
- Long Le, H., Jeong, J., Lee, J. C., Pandey, B. D., Yoo, J. M., & Huyunh, T. H. (2011). Hydrometallurgical process for copper recovery from waste printed circuit boards (PCBs). *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review: An International Journal*, 32(2), 90–104.
<https://doi.org/10.1080/08827508.2010.530720>
- Mecucci, A., & Scott, K. (2002). Leaching and Electrochemical Recovery of Copper, Lead and Tin from Scrap Printed Circuit Boards. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 77(4), 449–457.
<https://doi.org/10.1002/jctb.575>
- Muhammad, I., Triantoro, A., & Novianti, Y. S. (2019). Optimasi Kondisi Pelarutan Logam Au dalam Endapan Placer dengan Proses. *Jurnal Geomine*, 7(November), 157–162.
- Petter, P. M. H., Veit, H. M., & Bernardes, A. M. (2014). Evaluation of Gold and Silver Leaching from Printed Circuit Board of Cellphones. *Waste Management*, 34(2), 475–482.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.10.032>
- Prayudo, A. N., Novian, O., Setyadi, & Antaresti. (2015). Koefisien Transfer Massa Kurkumin dari Temulawak. *Jurnal Ilmiah Widya Teknik*, 14(1), 26–31.
- Rofika, F., & Rachmanto, T. A. (2018). Proses Hidrometalurgi Menggunakan Pelarut Aqua Regia pada Recovery Logam Emas (Au) Limbah Elektronik PCB HP. *Jurnal Envirotek*, 9(1), 63–68.
<https://doi.org/10.33005/envirotek.v9i1.1045>
- Rohadian, A. J., Santoso, P. D., Prasetyo, A. B., Maksum, A., Ulum, R. M., & Soedarsono, J. W. (2020). *The effect of leaching time and concentration of sulfuric acid on increasing nickel and cobalt content from ferronickel slag waste after alkaline fusion using sodium carbonate*. 040031.
<https://doi.org/10.1063/5.0014051>
- Setiawan, I. (2017). Pengolahan Nikel Laterit Secara Pirometalurgi Kini dan Penelitian Kedepan. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2016, November*, 1–7.
- Sheng, P. P., & Etsell, T. H. (2007). Recovery of gold from computer circuit board scrap using aqua regia. *Waste Management and Research*, 25(4), 380–383.
<https://doi.org/10.1177/0734242X07>

- 7076946
- Tini, E. R., Yusnimar, & Drastinawati. (2016). Pemisahan Emas pada PC Maimboard Komputer: Pengaruh Rasio Sampel: HNO₃ dan Jenis Presipitan. *Jom FTEKNIK*, 3(1), 1–7.
- Wang, J., & Xu, Z. (2015). Disposing and Recycling Waste Printed Circuit Boards: Disconnecting, Resource Recovery, and Pollution Control. *Environmental Science & Technology*, 49(2), 721–733.
- <https://doi.org/10.1021/es504833y>
- Wanta, K. C., Tanujaya, F. H., Susanti, R. F., Petrus, H. T. B. M., Perdana, I., & Astuti, W. (2018). Studi Kinetika Proses Atmospheric Pressure Acid Leaching Bijih Laterit Limonit Menggunakan Larutan Asam Nitrat Konsentrasi Rendah. *Jurnal Rekayasa Proses*, 12(2), 77–84. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.35644>