

Tinjauan terhadap *tailing* mengandung unsur pencemar Arsen (As), Merkuri (Hg), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd) dari sisa pengolahan bijih logam

DANNY ZULKIFLI HERMAN

Pusat Sumber Daya Geologi, Jln. Soekarno-Hatta 444 Bandung, Indonesia

SARI

Ketika *tailing* dari suatu kegiatan pertambangan dibuang di dataran atau badan air, limbah unsur pencemar kemungkinan tersebar di sekitar wilayah tersebut dan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Bahaya pencemaran lingkungan oleh arsen (As), merkuri (Hg), timbal (Pb), dan kadmium (Cd) mungkin terbentuk jika *tailing* mengandung unsur-unsur tersebut tidak ditangani secara tepat. Terutama di wilayah-wilayah tropis, tingginya tingkat pelapukan kimiawi dan aktivitas biokimia akan menunjang percepatan mobilisasi unsur-unsur berpotensi racun.

Salah satu akibat yang merugikan dari arsen bagi kehidupan manusia adalah apabila air minum mengandung unsur tersebut melebihi nilai ambang batas; dengan gejala keracunan kronis yang ditimbulkannya pada tubuh manusia berupa iritasi usus, kerusakan syaraf dan sel.

Tailing yang berasal dari proses amalgamasi bijih emas memungkinkan limbah merkuri tersebar di sekitar wilayah penambangan dan dapat membentuk pencemaran lingkungan oleh merkuri organik atau anorganik. Pencemaran akan semakin membahayakan kesehatan manusia apabila unsur merkuri dalam badan air berubah secara biokimia menjadi senyawa metil-merkuri. Terdapat beraneka jenis mekanisma oleh mikro-organisma yang dapat membentuk spesies metil-merkuri bersifat racun, terutama apabila dimakan oleh ikan. Pengaruh organik merkuri terhadap kesehatan manusia termasuk hambatan jalan darah ke otak dan gangguan metabolisme dari sistem syaraf. Sedangkan pengaruh racun merkuri nonorganik adalah kerusakan fungsi ginjal dan hati di dalam tubuh manusia.

Kebanyakan kegiatan pertambangan logam dasar melakukan pembuangan *tailing* dengan kandungan timbal yang signifikan. Timbal adalah unsur yang bersifat racun kumulatif. Penyerapan unsur yang melebihi nilai ambang batas oleh tubuh manusia akan mengikat secara kuat sejumlah molekul asam amino, haemoglobin, enzim, RNA, dan DNA. Hal ini akan mengarah kepada kerusakan saluran metabolik, hipertensi darah, hiperaktif, dan kerusakan otak.

Masalah kadmium timbul dari suatu kegiatan pertambangan dan peleburan bijih timbal-seng, dimana pencemaran lingkungan disebabkan oleh *tailing* mengandung kadmium, dengan penambahan pencemaran oleh asap dan partikel mengandung kadmium. Pengaruh racun kadmium pada kesehatan manusia berupa penyakit lumbago, kerusakan tulang dengan keretakan karena melunaknya tulang dan kegagalan ginjal.

Kata kunci: pencemaran lingkungan, *tailing*, pengolahan bijih

ABSTRACT

When tailing of a mining activity is discharged into either landscape or river body, the pollutant element wastes are possible to disperse within those areas and may cause pollution on environment. The environment pollution hazards of arsenic (As), mercury (Hg), lead (Pb) and cadmium (Cd) probably occurred if tailing with the content of those elements is not handled properly. Particularly in the tropical regions, higher rates of chemical weathering and bio-chemical activity will contribute a rapid mobilization of the most potentially toxic elements.

One of adverse health effects from arsenic to human life is in the case of arsenic-contained drinking waters exceed the threshold limit value. As a result, it will create chronic symptoms of toxicity within the human body such as gastro-intestinal irritation, nerve damage and tissue wastage.

Tailing originated from amalgamation processing of gold ore enables its mercury waste to disperse in the vicinity of mining area and may form environment pollution by either organic or inorganic mercury. The pollution would be more hazardous to human health if mercury element in the water body transform biochemically into a compound of methylmercury. There is a variety of mechanisms by micro-organism which can bring about the formation of the very toxic methylmercury species, particularly with regard to its uptake by fish. Effects to the human health from the organic mercury include the blood-brain barrier and upsetting the metabolism of the nervous system. Whilst the main toxic effect of inorganic mercury is disruption the functions of kidneys and liver within human body.

Most mining activity of base metal may discharge tailing with a significant lead (Pb) content. Lead is a cumulative poison, hence absorbing this element by human body with particularly exceeding its threshold limit value will bind strongly to a large number of molecules such as amino acids, haemoglobin, many enzymes, RNA and DNA. Then it will bring into disruption of many metabolic pathways, blood hypertension, hyperactivity and brain damage.

Problems of cadmium could arise from a lead-zinc mining and smelting operation, from where pollution due to cadmium-contained tailing with additional aerial pollution associates with cadmium-contained fumes and particles. The toxic effects of cadmium to human health are suffering from lumbago-type pains, bone damage with multiple fractures of the softened bones and kidney failure.

Keywords: *pollution on environment, tailing, ore processing*

PENDAHULUAN

Industri mineral merupakan salah satu kepentingan ekonomi di seluruh dunia, dimana di dalamnya termasuk usaha pertambangan yang diharapkan berwawasan lingkungan sehingga dapat mengurangi potensi terjadinya pencemaran dan kerusakan lingkungan.

Secara global, ekonomi industri telah digunakan sebagai suatu sistem sumber daya terbuka melalui pemanfaatan bahan baku mineral dan energi; dengan pembuangan limbah berdampak pencemaran terhadap lingkungan. Tantangan yang dihadapi oleh komunitas global saat ini adalah membuat ekonomi industri lebih mengarah kepada sistem tertutup dengan sasaran: penghematan energi, mengurangi limbah, mencegah pencemaran, dan mengurangi biaya (UNO, 1995). Dua unsur penting yang perlu diperhatikan adalah:

1. Industri harus mencakup eko-efisiensi dalam mewujudkan pendekatan produksi lebih bersih; termasuk perolehan maksimum produk dari minimal bahan baku, rancangan produksi, teknologi pengolahan dengan meminimalisasi dampak lingkungan dan penanganan limbah untuk mencegah pencemaran lingkungan.

2. Limbah industri harus dianggap sebagai bahan baku berharga yang dapat diolah lebih lanjut atau dengan kata lain didaur ulang.

TAILING PERTAMBANGAN

Tailing merupakan residu yang berasal dari sisa pengolahan bijih setelah target mineral utama dipisahkan dan biasanya terdiri atas beraneka ukuran butir, yaitu: fraksi berukuran pasir, lanau, dan lempung. Ketika *tailing* dibuang dalam bentuk bubur, fraksi pasir cenderung mengendap di sekitar titik pembuangan dan lumpur akan mengendap jauh dari titik pembuangan sebagai suspensi dalam waktu lama. Fraksi pasir kadang-kadang dimanfaatkan untuk pembuatan konstruksi tanggul atau sebagai bahan pengisi *backfilling* pada tambang bawah permukaan atau bekas galian-galian pada tambang terbuka.

Secara umum pembuangan *tailing* dilakukan di lingkungan darat yaitu pada depresi topografi atau penampung buatan; sungai atau danau, dan laut. *Tailing* sering mengandung konsentrasi mineral berharga yang tidak memenuhi syarat untuk diambil pada saat ditambang, tetapi disimpan untuk penggunaan di masa mendatang. Secara mineralogi *tailing* dapat terdiri atas beraneka mineral seperti silika, silikat besi, magnesium, natrium, kalium, dan sulfida. Dari mineral-mineral tersebut, sulfida mempunyai sifat aktif secara kimiawi, dan apabila bersentuhan dengan udara akan mengalami oksidasi sehingga membentuk garam-garam bersifat asam dan aliran asam mengandung sejumlah logam beracun seperti As, Hg, Pb, dan Cd

yang dapat mencemari atau merusak lingkungan.

Arsen (As)

Unsur ini merupakan salah satu hasil sampingan dari proses pengolahan bijih logam non-besi terutama emas, yang mempunyai sifat sangat beracun dengan dampak merusak lingkungan. Arsen ditemukan pada beberapa cebakan bijih logam, diantaranya:

- Cebakan Cu–Zn–Pb mengandung mineral **enargit**
- Cebakan Cu–pirit–As
- Cebakan Ag murni dan **arsenida** Ni–Co
- Cebakan Au mengandung **As**
- Cebakan **sulfida As** dan **sulfida Au–As**
- Cebakan Sn mengandung **As**.

Terdapat lebih dari 25 mineral mengandung As berupa arsenida atau sulfida dengan mineral-mineral yang dikenal seperti: arsenopirit (FeAsS), lollingit (FeAs_2), smaltit (CoAs_2), nikolit (NiAs), tennantit ($\text{Cu}_8\text{As}_3\text{S}_7$), enargit (Cu_3AsS_4), proustit (Ag_3AsS), realgar (As_4S_4), dan orpimen (As_2S_3). As digunakan untuk campuran logam lain (Pb) dalam pembuatan *shot* (partikel bundar berukuran pasir) dan insektisida berbentuk arsenat–Ca dan Pb. Arsen putih (As_2O_3) biasanya digunakan untuk membasmi rumput liar; sementara senyawa arsenik tertentu dimanfaatkan dalam peleburan gelas, pengawet kayu dan kulit, bahan pencelup, pigmen, obat-obatan, petasan/kembang api, dan bahan kimia.

Penambangan cebakan logam mengandung As dan pembuangan *tailing* dengan keterlibatan atmosfer akan mempercepat mobilisasi unsur tersebut dan selanjutnya memasuki sistem air permukaan atau merembes ke dalam akifer-akifer air tanah setempat. Akibat merugikan dari arsen bagi kesehatan manusia adalah apabila terkandung >100 ppb dalam air minum; dengan gejala keracunan kronis berupa iritasi usus, kerusakan syaraf dan sel, kelainan kulit atau melanoma serta kanker usus. Ini terjadi di negara-negara yang memproduksi emas dan logam dasar di antaranya Afrika selatan, Zimbabwe, India, Thailand, Cina, Filipina, dan Meksiko.

Merkuri (Hg)

Semua cebakan merkuri terbentuk dari larutan hidrotermal di dalam segala jenis batuan yang diakibatkan oleh kegiatan vulkanisma Tersier. Hg juga dapat terbentuk sebagai unsur jejak (*trace element*)

pada kebanyakan cebakan mineral lainnya. Mineral-mineral yang mengandung merkuri (Hg) adalah sinabar, metasinabarit, kalomel, terlinguait, eglestonit, montroidit, dan merkuri murni. Pada usaha pertambangan logam mulia dengan metoda pengolahan amalgamasi, merkuri atau *quicksilver* (berbentuk cair) digunakan dalam jumlah besar sebagai bahan pelarut/penangkap emas dan perak (Jensen *et al.*, 1981). Proses pengolahan ini menjadi sorotan karena menghasilkan *tailing* dengan kandungan Hg signifikan.

Merkuri (Hg) yang terbentuk sebagai fraksi halus, unsur jejak, dan ion seharusnya diwaspadai apabila terakumulasi dalam jumlah signifikan karena dapat berdampak merugikan bagi lingkungan hidup. Unsur ini telah dikenal sebagai bahan bersifat racun mematikan apabila:

1. Terdapat dengan kandungan melebihi ambang batas dalam biji-bijian, binatang pemakan biji-bijian tersebut dan tubuh ikan yang berada dalam air tercemar merkuri. Kasus penimbunan senyawa merkuri oleh ikan karena binatang ini mengkonsumsi organisma planktonik mengandung ion-ion merkuri dalam air tercemar tersebut. Ikan atau jenis makanan apapun dengan kandungan $> 0,5$ ppm Hg harus dilarang dipasarkan dan termasuk air dengan kandungan < 1 mg Hg/dm³.

2. Berupa senyawa metil-merkuri yang dihasilkan oleh proses metilasi dalam air sungai dan danau ber-pH rendah, yang berlangsung berkesinambungan atau sewaktu-waktu. Senyawa ini terbentuk karena melarutnya Hg^{2+} dari sedimen melalui pertukaran ion pada lingkungan air berkonsentrasi tinggi ion hidrogen dan kemudian meningkatnya sintesis metil-merkuri oleh mikro-organisma. Konsentrasi senyawa tersebut dalam organisma akuatik beraneka ragam karena tergantung kegiatan metabolisme dan rata-rata rentang hidup dari spesies organisma bersangkutan; sementara pada tubuh ikan mencapai 60–90% karena daya serapnya yang tinggi.

Keracunan oleh merkuri nonorganik terutama mengakibatkan terganggunya fungsi ginjal dan hati. Disamping itu akan mengganggu sistem enzim dan mekanisma sintetik apabila berupa ikatan dengan kelompok sulfur di dalam protein dan enzim. Merkuri (Hg) organik dari jenis metil-merkuri dapat memasuki *placenta* dan merusak janin pada wanita hamil, mengganggu saluran darah ke otak serta menyebabkan kerusakan otak.

Tercatat sejumlah kejadian tragis yang disebabkan keracunan merkuri (Hg) di negara-negara Jepang, Guatemala, Irak, dan Pakistan (O'Neill, 1994). Kasus keracunan di Minamata, Jepang adalah pencemaran oleh pembuangan limbah industri mengandung metil-merkuri ke dalam air danau dan menyebabkan tercemarnya ikan didalamnya. Sejumlah bayi menderita kerusakan otak serius, dipercaya dilahirkan oleh para ibu yang telah mengkonsumsi ikan tercemar merkuri. Di Irak, Guatemala, dan Pakistan terjadi kematian ribuan penduduk karena mengkonsumsi biji-bijian yang telah tercemar metil-merkuri yang berasal dari pembasmi hama serangga.

Kasus-kasus tersebut di atas menunjukkan bahwa faktor penyebab keracunan adalah pengkonsumsian makanan yang telah tercemar oleh Hg-organik industri. Ini merupakan penemuan penting bahwa limbah mengandung Hg dari kegiatan industri mungkin juga dapat terjadi pada usaha pertambangan logam; dimana ketika memasuki sistem akuatik dapat diserap oleh organisme di dalamnya, kemudian melalui proses metilasi dalam tubuh organisme berkembang menjadi metil-merkuri yang bersifat racun.

Timbal (Pb)

Unsur Pb umumnya ditemukan berasosiasi dengan Zn - Cu dalam tubuh bijih. Logam ini penting dalam industri modern yang digunakan untuk pembuatan pipa air karena sifat ketahanannya terhadap korosi dalam segala kondisi dan rentang waktu lama. Pigmen Pb juga digunakan untuk pembuatan cat, baterai, dan campuran bahan bakar bensin *tetraethyl* (Jensen *et al.*, 1981). Pemanfaatan pada bahan bakar bensin telah mengalami penurunan karena menimbulkan dampak terhadap lingkungan.

Bijih logam timbal (Pb) dapat terbentuk dalam cebakan-cebakan seperti *stratabound* sulfida massif, *replacement*, urat, sedimentasi, dan metasomatisme kontak dengan mineral-mineral utama terdiri atas: galena (PbS), cerusit (PbCO₃), anglesit (PbSO₄), wulfenit (PbMoO₄), dan piromorfit [Pb₅(PO₄, AsO₄)₃Cl]. Larutan pembawa Pb diantaranya: air *con-nate*, air meteorik artesian, dan larutan hidrotermal yang naik ke permukaan; dengan sebagian besar Pb berasal dari larutan hidrotermal yang membentuk cebakan bijih pada suhu rendah, berupa pengisian rongga batuan induk.

Pb dalam batuan berada pada struktur silikat yang menggantikan unsur kalsium/Ca, dan baru dapat

diserap oleh tumbuhan ketika Pb dalam mineral utama terpisah oleh proses pelapukan. Pb di dalam tanah mempunyai kecenderungan terikat oleh bahan organik dan sering terkonsentrasi pada bagian atas tanah karena menyatu dengan tumbuhan, dan kemudian terakumulasi sebagai hasil pelapukan di dalam lapisan humus.

Diperkirakan 95% Pb dalam sedimen (nonorganik dan organik) dibawa oleh air sungai menuju samudera. Pb relatif dapat melarut dalam air dengan pH < 5 dimana air yang bersentuhan dengan timah hitam dalam suatu periode waktu dapat mengandung > 1 µg Pb/dm³; sedangkan batas kandungan dalam air minum adalah 50 µg Pb/dm³.

Luasnya penyebaran unsur Pb di alam sebagian besar disebabkan oleh limbah kendaraan bermotor. Unsur ini mengalami peningkatan ketika melibatkan atmosfer dan kemudian mencemari tanah serta tanaman. Di daerah padat penduduk (*urban*), anak-anak menyerap lebih banyak Pb daripada orang dewasa; terutama pada mereka yang kekurangan gizi dan mempunyai perilaku mengkonsumsi makanan tidak bersih atau berdebu, yang dapat mengandung beberapa ribu ppm (1.000 – 3.000 µg Pb/kg). Di London Barat, banyak anak-anak teridentifikasi menderita keracunan akut oleh Pb (O'Neill, 1994).

Mengacu kepada kejadian diatas, maka dispersi unsur Pb dapat juga terjadi akibat pembuangan *tail-ing* dari usaha pertambangan logam. Hal ini harus diwaspadai karena dapat mencemari lingkungan dengan akibat timbulnya berbagai penyakit berbahaya atau bahkan kematian. Dampak lebih jauh dari keracunan Pb adalah dapat menyebabkan hipertensi dan salah satu faktor penyebab penyakit hati. Ketika unsur ini mengikat kuat sejumlah molekul asam amino, haemoglobin, enzim, RNA, dan DNA; maka akan mengganggu saluran metabolik dalam tubuh. Keracunan Pb dapat juga mengakibatkan gangguan sintesis darah, hipertensi, hiperaktivitas, dan kerusakan otak.

Kadmium (Cd)

Kadmium merupakan hasil sampingan dari pengolahan bijih logam seng (Zn), yang digunakan sebagai pengganti seng. Unsur ini bersifat lentur, tahan terhadap tekanan, memiliki titik lebur rendah serta dapat dimanfaatkan untuk pencampur logam lain seperti nikel, perak, tembaga, dan besi. Senyawa kadmium juga digunakan bahan kimia, bahan

fotografi, pembuatan tabung TV, cat, karet, sabun, kembang api, percetakan tekstil dan pigmen untuk gelas dan email gigi (Jensen *et al.*, 1981).

Mineral-mineral bijih yang mengandung kadmium diantaranya adalah sulfida *green ockite* (= *xanthochroite*), karbonat *otavite*, dan oksida kadmium. Mineral-mineral tersebut terbentuk berasosiasi dengan bijih sfalerit dan oksidanya, atau diperoleh dari debu sisa pengolahan dan lumpur elektrolitik. Kadmium mempunyai titik didih rendah dan mudah terkonsentrasi ketika memasuki atmosfer. Air dapat juga tercemar apabila dimasuki oleh sedimen dan limbah pertambangan mengandung Cd, sementara ketika bercampur dengan asap akan membentuk pencemaran terhadap udara.

Dari suatu usaha pertambangan Pb – Zn di Jepang (O'Neill, 1994), terdeteksi bukan saja pencemaran secara luas terhadap udara yang disebabkan asap dari pabrik peleburan, tetapi juga terhadap air yang disebabkan oleh pembuangan sedimen dan limbah mengandung Cd. Meluapnya sungai yang tercemar unsur Cd dan menggenangi daerah pesawahan akan berlanjut dengan terserapnya unsur tersebut oleh tanaman padi. Terdeteksi bahwa kandungan Cd dalam padi mencapai $> 3,4 \mu\text{g Cd/kg}$, yang menunjukkan telah melampaui nilai ambang batas sehingga dianggap bahwa tanaman padi tersebut tercemar unsur Cd.

Di Jepang telah terjadi keracunan oleh Cd, yang menyebabkan penyakit lumbago yang berlanjut ke arah kerusakan tulang dengan akibat melunak dan retaknya tulang (O'Neill, 1994). Organ tubuh yang menjadi sasaran keracunan Cd adalah ginjal dan hati, apabila kandungan mencapai $200 \mu\text{g Cd/gram}$ (berat basah) dalam *cortex* ginjal yang akan mengakibatkan kegagalan ginjal dan berakhir pada kematian. Korban terutama terjadi pada wanita pascamonopause yang kekurangan gizi, kekurangan vitamin D dan kalsium. Penimbunan Cd dalam tubuh mengalami peningkatan sesuai usia yaitu paruh-umur dalam tubuh pada kisaran 20 – 30 tahun.

DISKUSI

Bertolak dari diperolehnya informasi tentang bahaya limbah industri mengandung unsur As, Hg, Pb, dan Cd yang dapat menimbulkan dampak terhadap lingkungan dan kehidupan manusia; maka timbul

pemikiran tentang kemungkinan kejadian hal serupa pada kegiatan usaha pertambangan bahan galian logam, terutama dalam kaitannya dengan pembuangan *tailing* dari sisa pengolahannya.

Secara alamiah, *tailing* terdiri dari beraneka jenis dan biasanya dibuang dalam bentuk bubur (*slurry*) dengan kandungan air tinggi. *Tailing* kemungkinan juga disusun oleh bahan-bahan kering berbutir kasar berbentuk fraksi mengapung yang berasal dari pabrik pengolahan. Pembuangan *tailing* merupakan masalah besar bagi lingkungan, yang menjadi lebih serius apabila keberadaannya berkaitan dengan peningkatan eksploitasi dan akibat pengolahan bahan galian logam. Dampak terhadap ekologi terutama berupa pencemaran air oleh bahan-bahan padat, logam berat, kimiawi, senyawa beracun, dan lain-lain.

Perkembangan penggunaan metoda pembuangan terjadi karena timbulnya dampak terhadap lingkungan, perubahan dalam proses pengolahan dan realisasi untuk mendapatkan keuntungan produksi. Metode konvensional yang masih dilakukan oleh pelaku usaha pertambangan hingga saat ini adalah pengaliran *tailing* ke dalam badan sungai dan atau pembuangan di atas tanah setelah melalui pengeringan. Teknik-teknik lain kemudian dikembangkan karena banyak kerusakan yang ditimbulkan akibat penggunaan metode tersebut. Semakin banyak diperlukannya bijih berbutir lebih halus, maka diperlukan cara yang paling tepat dalam pengolahan ulang *tailing* untuk dapat menciptakan nilai tambah produksi.

Pada beberapa penambangan bawah permukaan, *tailing* biasa digunakan untuk menimbun daerah-daerah bekas penambangan. *Tailing* juga digunakan untuk *back-filling* dalam suatu kegiatan pertambangan dengan terlebih dahulu melalui pemisahan karena tidak semua jenis *tailing* dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengisi bukaan-bukaan. *Tailing* dapat saja mengalami pemuaihan atau pengerutan setelah digunakan untuk pengisi bukaan, dan juga memiliki sifat sebagai perekat sehingga sangat bermanfaat untuk kegiatan penyemenan pada penambangan bawah permukaan. *Tailing* juga ditimbun sementara selama masa penambangan sedang berlangsung dan kemudian ditampung dalam bendungan. Pembuatan tempat penimbunan/bendungan harus dalam kondisi aman dan ekonomis untuk menampung volume *tailing* serta berfungsi sebagai pengendali pencemaran lingkungan.

Masalah serius yang timbul dari pembuangan *tail-*

ing adalah terutama berkaitan dengan pembebasan air tercemar akibat pelarutan logam-logam berat (diantaranya As, Hg, Pb, dan Cd), keasaman (pH rendah), bahan kimia/*reagen* dari pabrik pengolahan dan bahan-bahan suspensi yang dapat membentuk zat padat. Secara mineralogi, mineral pengotor alkali dalam *tailing* sering berperan sebagai pengendali pencemaran yang alamiah; dimana salah satunya adalah peranan kalsium (Ca) dalam batugamping yang dapat mempermudah pelarutan logam-logam dan menetralsir hasil oksidasi.

Proses pemurnian *tailing* juga sering dilakukan dengan cara pengapuran dengan tujuan untuk menetralsir keasaman, sehingga mendorong terjadinya flokulasi (penggumpalan) dan pengendapan logam-logam berat (berbentuk hidroksida) sebelum dialirkan ke dalam bendungan. Penanganan *tailing* melibatkan proses pengentalan dan pengaliran cairan serta pembebasan logam-logam berat, kemudian dikembalikan ke pabrik pengolahan sehingga mengurangi pasokan air dan bahan-bahan pencemar/polutan dalam bendungan *tailing*.

KESIMPULAN

Tailing dari suatu usaha pertambangan logam menjadi pusat perhatian ketika pembuangannya dilakukan tanpa memperhatikan dampak terhadap lingkungan. Lebih jauh lagi apabila *tailing* tersebut mengandung unsur-unsur berpotensi racun seperti arsen (As), merkuri (Hg), timbal (Pb), dan kadmium (Cd), sehingga dapat menimbulkan pencemaran lingkungan dengan akibat yang merugikan bagi kesehatan manusia. Oleh karena itu diperlukan penerapan program perlindungan terhadap lingkungan melalui pengembangan: metode penambangan dan pengolahan; sistem penanganan dan daur ulang *tail-*

ing; rancangan konstruksi penampung *tailing* dan pengawasan pembuangannya; serta pencegahan pencemaran oleh unsur-unsur berpotensi racun dimaksud.

Ucapan Terima Kasih—Terima kasih disampaikan kepada Kepala Kelompok Kerja Konservasi, Pusat Sumber Daya Geologi yang telah mengizinkan penggunaan fasilitas perangkat komputer untuk kelancaran penulisan karya ilmiah ini. Penghargaan yang tinggi kepada Dr. Hamdan Zainal Abidin, M.Sc; Dr. Ir. Sutikno Bronto dan Dra. Nenen Andryani, M.A. yang telah menyediakan waktu untuk berdiskusi dan memberikan saran selama penyusunan karya tulis ilmiah ini.

ACUAN

- Coates, D.R., 1981. *Environmental geology*, John Wiley & Sons, New York, 701 pages.
- Dasch, E.J., 1996. *Encyclopedia of Earth Sciences*, Vol. 2, Macmillan Reference USA, Simon & Schuster Macmillan and Prentice Hall International, London, p. 565 – 1273.
- Dietrich, R.V.; Dutro Jr., J.T. and Foose, R.M.; 1982. *AGI Data Sheets for Geology in the field, laboratory and office*, America Geological Institute, 61 pages.
- Jensen, M.L. and Bateman, A.M.; 1981. *Economic Mineral Deposits*, Third Edition, John Wiley & Sons, New York, 593 pages.
- O'Neill, P.; 1994. *Environmental Chemistry*, Second edition, Chapman & Hall, London, 268 pages.
- United Nations, 1995. Economic And Social Commission For Asia And The Pacific: *Mineral Recovery, Recycling, Waste Prevention And Confinement For Sustainable Development In Asia And Pacific Region*; New York, 179 pages.
- Uvarov, E.B. and Isaacs, A.; 1986. *Dictionary of Science*, Sixth Edition, Penguin Books, 468 pages.
- Wills, B.A., 1989. *Mineral Processing Technology – An Introduction to the Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*, Maxwell Macmillan International Editions, 785 pages.