

KONSEP PEMANFAATAN DAN PEMROSESAN MINERAL AMPAS, STUDI KASUS RENCANA PEMROSESAN AMPAS BAUKSIT KALIMANTAN BARAT

The Utilization and Processing Concepts of Tailing Minerals, Case Study of the Planned Bauxite Processing Waste, West Kalimantan

MUCHTAR AZIZ

Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara
Jalan Jenderal Sudirman 623, Bandung 40211
Telp. 022 6030483, Fax. 022 6003373
e-mail: muchtar@tekmira.esdm.go.id; aziz.muchtar@gmail.com

SARI

Semakin meningkat kapasitas produksi pertambangan di Indonesia, semakin banyak jumlah limbah atau mineral ampas (mineral tailing) yang dikeluarkan. Untuk itu perlu konsep pemikiran pemrosesan dan pemanfaatan mineral ampas melalui metode-metode yang lazim diterapkan dalam teknologi pemrosesan mineral. Keharusan daur ulang mineral ampas untuk mendapatkan nilai tambah sejalan dengan ekosistem industri dan Undang-Undang No.4 Tahun 2009 tentang mineral dan batubara. Pemrosesan dan pemanfaatan mineral ampas bergantung pada jenis ampas mineralnya, yaitu dimanfaatkan langsung, dimanfaatkan menjadi produk tertentu dengan nilai tambah relatif rendah, diambil mineral-mineral kelumitnya dengan teknologi tertentu, dan/atau diambil seluruh mineral-mineralnya menjadi bahan yang bermanfaat dan bila memungkinkan dengan prinsip tanpa ampas (*zero waste*). Pemrosesan mineral ampas bauksit dengan cara diambil kembali sisa alumina dan mineral besinya adalah satu konsep kasus yang dibahas.

Kata kunci: limbah, mineral ampas, pemanfaatan, pemrosesan

ABSTRACT

Increasing mining production in Indonesia causes the quantity of mineral tailings to significantly inflate. It needs efforts and concepts to process and utilize the tailings in terms of reducing amount of waste. Concept to increase the added-value of the waste has been promoted in line with industrial ecosystem and the Indonesia law number 4/2009 that refers to minerals and coal. Processing and utilizing waste depends on the type of the minerals tailing. It may be utilized directly, utilized as low added-value products, recovered its rare minerals by certain technology or recovered its whole useful minerals content and if possible with the principle of zero waste. The processing of bauxite's minerals tailing in terms of recovering its remain alumina as well as its iron minerals content is one concept to be discussed.

Keywords: waste, tailing minerals, utilization, processing

PENDAHULUAN

Mineral ampas adalah limbah yang dikategorikan sebagai material mengandung mineral tidak berharga yang berasal dari suatu pengolahan atau pemrosesan mineral berupa sisa proses pengolahan (*mill tailing*), ampas pengolahan batubara termasuk abu layang/abu dasar (*coal refuse*), limbah lanau sisa pencucian (*wash slime*) serta ampas pengolahan minyak bumi (*oil shale*). Menyimak arah teknologi pemrosesan mineral masa depan yang diyakini akan berkembang ke arah optimalisasi dan efisiensi proses melalui inovasi teknologi pemrosesan yang baik, benar dan berwawasan lingkungan [Suyartono,2003]; maka industri pertambangan tidak saja memikirkan kualitas dan kuantitas produk, melainkan juga harus menerapkan kepedulian terhadap lingkungan, melalui pemrosesan dan pemanfaatan ampas atau daur ulang limbah. Industri juga dituntut meminimalisasi kuantitas *input/output* bahan galian, serta kualitas toksik limbahnya sesuai standar yang berlaku. Hal ini berkaitan dengan semakin menipisnya jumlah cadangan mineral, semakin rendah kadarnya, dan masyarakat semakin sadar lingkungan. Minimalisasi kuantitas *input/output* bahan galian, serta kualitas toksik limbahnya bisa tercapai jika setiap industri membangun saling keterkaitan/ketergantungan (*link*) berupa ekosistem industri [Ngurah, 2006]. Sepintas terlihat bahwa kegiatan pertambangan/pengolahan akan merusak alam dan lingkungannya, sehingga tidak mengherankan jika ada beberapa lembaga swadaya masyarakat (LSM) yang dengan suara keras menyebar isu dan mendesak agar mengadakan penanggung jawab tambang, moratorium tambang, bahkan menutup beberapa kegiatan pertambangan di Indonesia. Semuanya tentu tidak perlu terjadi jika pelaku sektor pertambangan menerapkan tata cara pengelolaan pertambangan yang baik dan benar, memproses dan memanfaatkan limbah, serta melaksanakan ekosistem industri (Ngurah, 2006).

Dalam rangka melakukan pemrosesan dan pemanfaatan mineral yang optimal dan efisien serta berwawasan lingkungan, perlu dibangun ekosistem industri dengan prinsip industri manufaktur, industri pemroses limbah, dan pengguna (*user*), serta industri pemroses mineral yang berada di dalamnya sebagai suatu ekosistem. Sistem tersebut harus dapat meminimalisasi *input* sumber daya alam dan *output* limbahnya. *Input/output* yang minimal dan efisien, terjadi jika mampu mengoptimalkan interaksi antara komponen-komponen seperti produk pemrosesan sumber daya alam yang dimanfaatkan oleh industri

manufaktur. Produk manufaktur dimanfaatkan oleh user. Limbah dari industri-industri dan user diolah oleh industri pendaur ulang. Selanjutnya, produk daur ulang yang sesuai dengan karakteristiknya bisa diolah lagi oleh industri pemrosesan mineral dan industri manufaktur atau dimanfaatkan langsung oleh user, demikian seterusnya sebagai siklus tanpa putus (Ngurah, 2006). Oleh karena itu, keberadaan ekosistem industri akan dapat menciptakan nilai tambah optimal, sekaligus menghasilkan satu atau lebih produk utama mineral dan produk samping (*by product*) yang bernilai ekonomis. Pada akhirnya akan tercipta efisiensi sumber daya alam, mengurangi kuantitas/kualitas toksik limbah keluar. Selain itu, pemrosesan dan pemanfaatan mineral ampas sejalan dengan Undang-Undang No.4 tahun 2009 tentang pertambangan mineral dan batubara yang salah satunya menyangkut perspektif teknologi peningkatan nilai tambah, teknologi berkelanjutan dan berwawasan lingkungan.

Mineral ampas dari pengolahan/pemrosesan mineral dan/atau batubara dapat berbentuk lumpur yang mengandung pecahan-pecahan batu, kerikil, pasir, lempung; selain itu ada pula yang berbentuk debu halus dan kasar sebagai abu layang dan abu dasar sisa pembakaran batubara. Sebagian dari mineral ampas tersebut mengandung zat-zat berbahaya yang berasal dari bahan kimia sisa proses atau berasal dari perubahan mineral itu sendiri secara alami. Hal yang terakhir ini tidak akan terjadi jika telah melalui proses detoksifikasi. Untuk menyederhanakan permasalahan, maka mineral ampas dapat dibedakan berdasarkan pada keperluan pemrosesan dan pemanfaatannya, yaitu [Harrison et al, 2002] :

- Tipe 1. Mineral ampas yang dapat langsung dimanfaatkan tanpa melalui pemrosesan, seperti penggunaan langsung untuk bahan konstruksi jalan, back filling, produk-produk mineral bukan logam bernilai rendah. Mineral ampas ini akan bernilai ekonomis jika pemanfaatannya berdekatan dengan kegiatan pemrosesan mineral.
- Tipe 2. Mineral ampas yang memerlukan pemrosesan sederhana sebelum dimanfaatkan, misalnya hanya dengan ditambahkan kompos dan zat-zat pembenah tanah dalam jumlah tertentu dapat menjadi tanah subur [Mitchell et al, 2006] yang siap untuk ditanami. Mineral ampas yang telah melalui pengayakan dan dibuat setengah kering ditambah atau tanpa ditambah lempung

dapat digunakan sebagai bahan matriks padat seperti bata, agregat, agregat beton dan semen pozolan.

Tipe 3. Mineral ampas yang mengandung mineral-mineral kelumit (logam jarang dan tanah jarang) yang hanya dapat diolah kembali melalui teknologi ekstraksi yang lebih maju sehingga menghasilkan mineral-mineral kadar tinggi dan ekonomis.

Tipe 4. Mineral ampas yang memerlukan pemrosesan lengkap, untuk menghasilkan produk mineral akhir, misalnya residu bauksit (*red mud*) yang berupa lumpur berwarna coklat kemerahan dapat diproses untuk mengambil kembali secara selektif kandungan mineral-mineralnya seperti alumina, besi, silikat dan silika, agar menghasilkan mineral-mineral berkadar sesuai persyaratan industri pemakai, bahkan diharapkan tidak ada lagi sisa mineral yang terbuang (*zero waste*).

Tulisan ini dimaksudkan untuk menginformasikan pola pikir atau konsep umum pemrosesan dan pemanfaatan mineral ampas berdasarkan tipenya, serta hasil penelitian aplikasinya menggunakan contoh mineral ampas dari rencana pemrosesan bauksit Kalimantan Barat. Tujuannya sebagai upaya mengeliminasi *output* atau emisi aliran mineral yang berkaitan dengan keinginan menghasilkan limbah lunak atau jika mungkin tanpa limbah (*zero waste*).

METODOLOGI

Makalah ini disusun berdasarkan pendekatan deskriptif yang bersifat perspektif informatif dalam upaya pemrosesan dan pemanfaatan mineral ampas di Indonesia. Pola pikirnya mengacu pada paradigma Undang-Undang No.4 Tahun 2009 tentang

pertambangan mineral dan batubara yang berazaskan teknologi peningkatan nilai tambah, teknologi berkelanjutan dan berwawasan lingkungan. Selain itu, adanya opini terhadap ampas yang cenderung menimbulkan kerawanan terhadap masyarakat dan lingkungannya. Konsep pemanfaatan dan pemrosesan mineral ampas didasarkan kepada tipe mineral ampas. Data-data diperoleh dari survei literatur tentang mineral ampas terutama dari literatur mineral ampas hasil uji coba pengolahan skala laboratorium terhadap bijih bauksit Kalimantan Barat. Dari data tersebut dapat diinformasikan dan dikembangkan menjadi perspektif konsep pengolahan dan pemanfaatan mineral ampas di Indonesia.

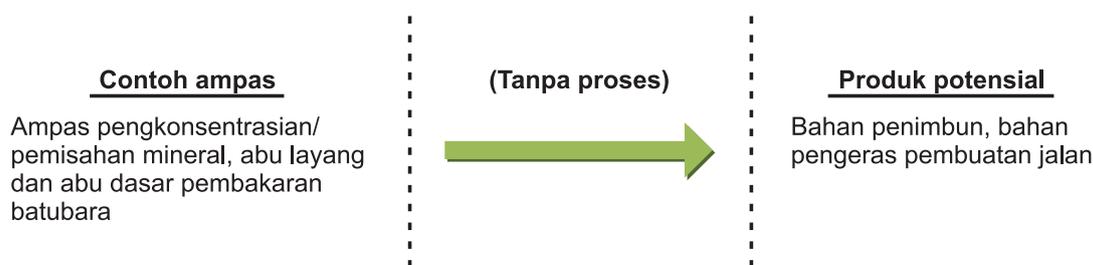
HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsep Pemrosesan dan Pemanfaatan Mineral Ampas Tipe 1

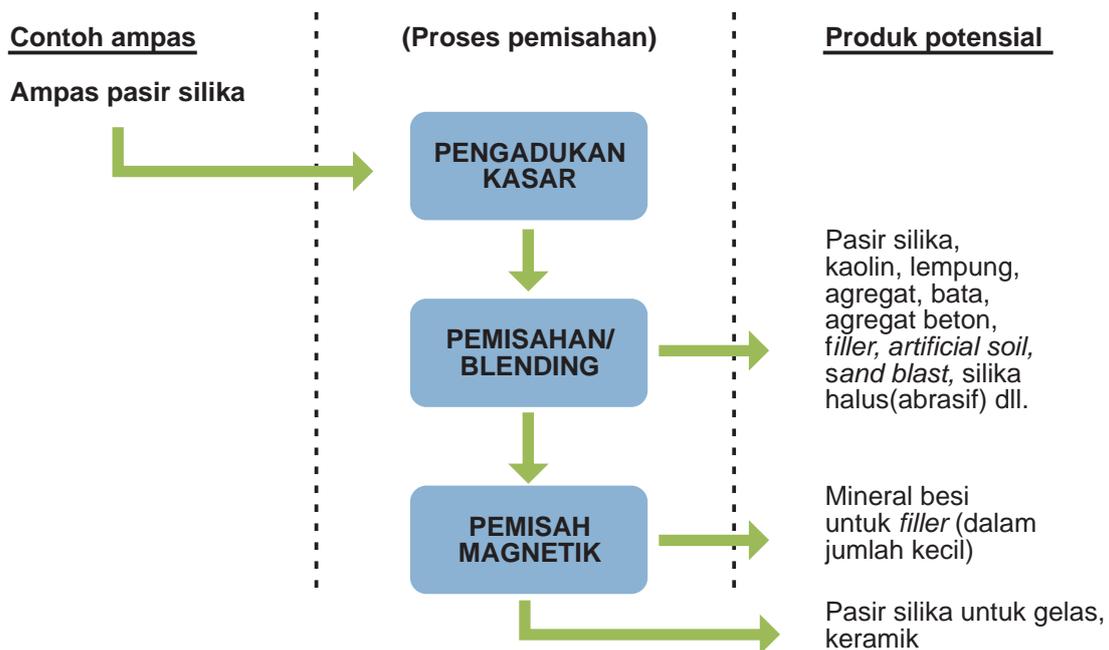
Secara konseptual, pemanfaatan mineral ampas Tipe 1 yang langsung dimanfaatkan adalah yang paling sederhana karena tidak memerlukan proses (Gambar 1).

Konsep Pemrosesan dan Pemanfaatan Mineral Ampas Tipe 2

Ampas pasir silika merupakan bahan buangan dari pencucian dan klasifikasi ukuran butiran pasir silika. Biasanya terdiri dari lempung, kuarsa halus dan kuarsa kasar. Lempung dan kuarsa halus dipisahkan dari fraksi kuarsa kasar dengan hidrosiklon. Selanjutnya, lempung dipisahkan lagi dari kuarsa halusnya. Kuarsa halus dimanfaatkan sebagai bahan pengisi (*filler*). Lempung dan kuarsa kasar bisa dimanfaatkan untuk pembuatan bata. Kandungan besi produk-produk tersebut dapat dihilangkan atau dipisahkan dengan pemisah magnetik dan selanjutnya dimanfaatkan sebagai bahan pengisi. Pemanfaatan mineral ampas Tipe 2 seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Konsep pemanfaatan mineral ampas tanpa diproses



Gambar 2. Konsep pemanfaatan mineral ampas yang diproses melalui mineral *dressing* sederhana dan *blending*

Konsep Pemrosesan dan Pemanfaatan Mineral Ampas Tipe 3

Contoh jenis ini adalah ampas pencucian pasir timah yang mengandung mineral ilmenit, kuarsa, zirkon, rutil, senotim, monasit dan kasiterit. Mineral-mineral tersebut mengandung FeTiO_3 , SiO_2 , ZrO_2 , TiO_2 , Y_2O_3 , Ce_2O_3 , La_2O_3 dan SnO_2 . Terhadap mineral-mineral tersebut dilakukan konsentrasi melalui proses pencucian (*mineral dressing*) dan ekstraksi logam untuk memperoleh logam-logam bernilai tinggi seperti Y_2O_3 , Ce_2O_3 , dan La_2O_3 . Bagan alir pemisahan dan pemrosesan mineral ampas Tipe 3 ditunjukkan pada Gambar 3.

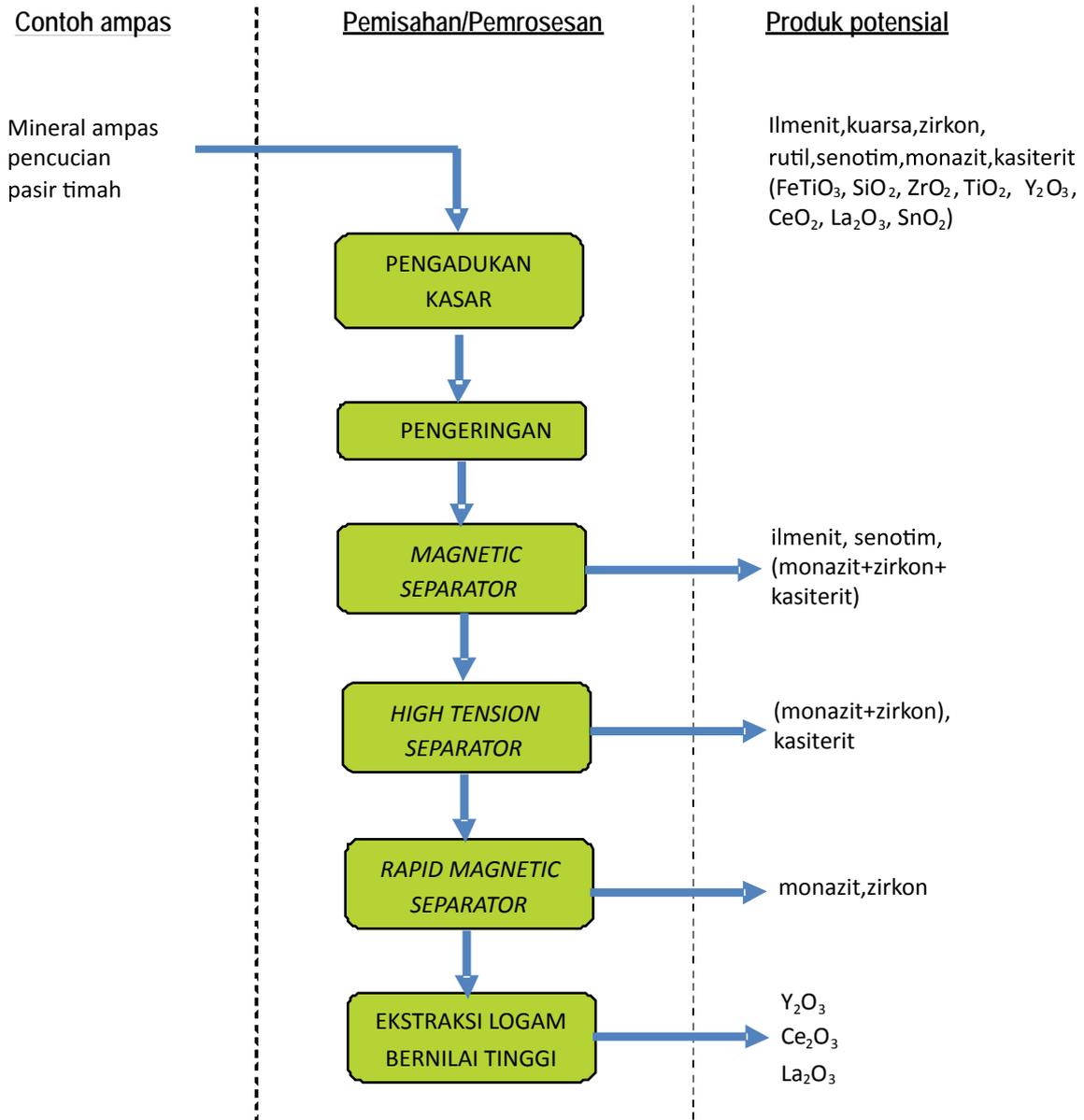
Konsep Pemrosesan dan Pemanfaatan Mineral Ampas Tipe 4

Contoh konsep pemrosesan mineral ampas tanpa limbah adalah pengolahan/pemrosesan residu bauksit (*red mud*) berupa lumpur berwarna coklat kemerahan yang diperoleh dari limbah pemrosesan bijih bauksit menjadi alumina. Pemrosesan residu bauksit diawali dengan memisahkan fraksi kasarnya yang dapat digunakan untuk bahan bangunan. Fraksi halusnya kemudian diproses untuk memperoleh kembali alumina dan soda. Residunya kemudian

dilebur (*direct smelting*) untuk memperoleh besi. Terak peleburan diproses lagi untuk memperoleh rutil dan terak akhir dimanfaatkan untuk pembuatan semen Portland. Bagan alir pemrosesan menuju tanpa limbah ditunjukkan pada Gambar 4.

Konsep Pemrosesan Mineral Ampas Bauksit

Kalimantan Barat memiliki sumberdaya bauksit yang potensial dan dalam waktu dekat direncanakan akan berdiri pabrik pengolahan bauksit menjadi *alumina chemical grade* melalui proses Bayer. Oleh karena itu, pemanfaatan limbahnya atau mineral ampasnya berupa lumpur merah (*red mud*) perlu dipikirkan sejak dini agar tidak terlambat dalam penanganannya [Aziz, 2007]. Penelitian pemrosesan dan pemanfaatan mineral ampas telah dilakukan di laboratorium Puslitbang *tekmIRA*. Mineral ampas diperoleh melalui pemrosesan skala laboratorium terhadap bijih bauksit asal Kalimantan Barat (kadar bauksit tercuci 54 % Al_2O_3) yang menghasilkan alumina dan mineral ampas. Setiap pemrosesan 1,3 kg bijih bauksit melalui digester (proses Bayer) akan mengeluarkan mineral ampas sekitar 0,6 kg. Hal ini berarti sebanyak 46 % bijih bauksit yang diolah akan menjadi limbah. Mineral ampas bauksit yang dikeluarkan berupa lumpur berwarna merah

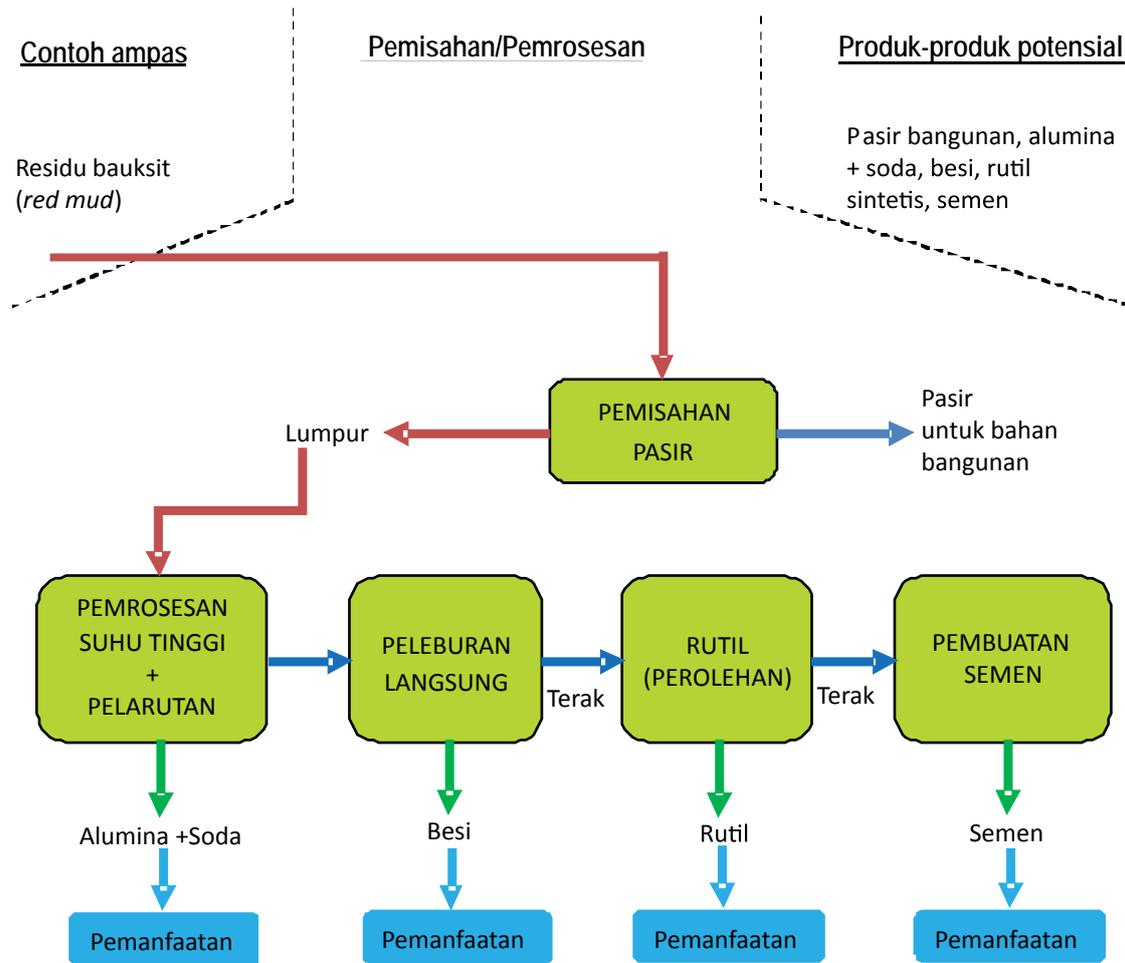


Gambar 3. Konsep pemanfaatan mineral ampas dengan mengekstraksi logam bernilai tinggi

kecoklatan, bersifat sangat basa serta mengandung partikel halus yang agak sulit diendapkan. Tentu saja ampas bauksit dengan sifat seperti tersebut berpotensi menimbulkan masalah lingkungan ketika kelak bijih bauksit dieksploitasi dan diproses untuk memperoleh alumina (bahan baku aluminium dan kimia) melalui pabrik alumina.

Pemrosesan mineral ampas bauksit ditujukan terutama untuk memperoleh kembali alumina dan soda ($Al_2O_3 + Na_2O$) serta konsentrat besi (hematit, dan magnetit) yang dikandungnya [Aziz, dkk., 2009;

Aziz, dkk., 2010]. Pemrosesan bijih bauksit menghasilkan larutan sodium aluminat dengan persen ekstraksi alumina 77 %, dan mineral ampas yang dikeluarkan mempunyai komposisi kimia seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Mineral ampas bauksit masih mengandung Al_2O_3 sekitar 26 % dan Fe_2O_3 (mineral besi) sekitar 37 %. Hasil analisis ayaknya ditunjukkan pada Tabel 2 yang terlihat sangat didominasi oleh fraksi lebih kasar dari 100 mesh (-35 + 100 mesh) yaitu sekitar 58 % serta yang lebih halus dari 200 mesh (-200 mesh) sekitar 29 %.



Gambar 4. Konsep pemanfaatan ampas pemrosesan bijih bauksit tanpa limbah [Sharif, 2005]

Tabel 1. Komposisi kimia mineral ampas bauksit dari bijih bauksit Kalimantan Barat

No.	Komponen	% Berat
1.	SiO ₂	1,23
2.	Al ₂ O ₃	26,10
3.	Fe ₂ O ₃	36,70
4.	MnO ₂	0,070
5.	MgO	0,023
6.	CaO	0,117
7.	Na ₂ O	2,30
8.	K ₂ O	0,014
9.	TiO ₂	2,04
10.	P ₂ O ₅	0,061
11.	H ₂ O (air bebas)	30,64

Sumber : Aziz, dkk. (2009)

Tabel 2. Analisis ayak mineral ampas bauksit hasil Pemrosesan (*digesting*) bauksit Kalimantan Barat

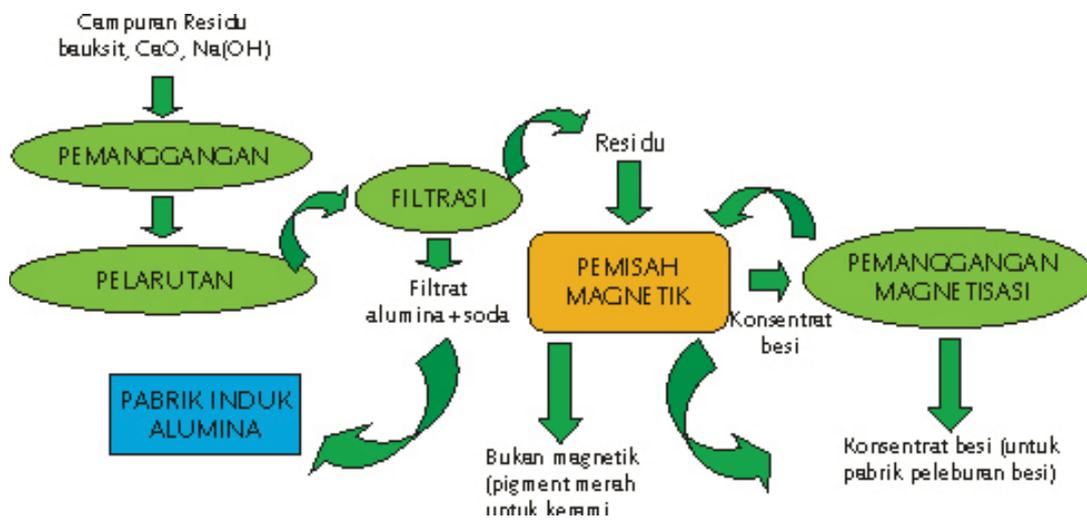
Fraksi, mesh	Berat, g	% Berat
-35 + 60	12,62	29,39
-60 + 100	12,20	28,41
-100 + 140	3,07	7,15
-140 + 200	2,43	5,66
-200	12,62	29,39
Jumlah	42,94	100,00

Sumber : Aziz, dkk. (2009)

Terhadap mineral ampas bauksit telah dilakukan percobaan pemrosesan melalui metode proses sinter soda-kapur (*lime-soda sinter process*) pada suhu 800°C diikuti pelarutan sinter dan pemisahan mine-

ral ampas hasil pelarutan dengan pemisah magnetik. Hasil proses sinter soda-kapur serta pelarutan menunjukkan perolehan (*recovery*) alumina + soda mencapai 85,20 %. Metode yang diterapkan telah menunjukkan hasil yang cukup efektif karena telah menunjukkan perolehan di atas kriteria yang lazim digunakan dalam penilaian hasil pemrosesan mineral yaitu perolehan minimum 80 %. Alumina dan soda yang diperoleh nantinya kemungkinan dapat dikembalikan ke pabrik induk alumina sehingga dapat meningkatkan produksi alumina dan mengurangi pemakaian soda kostik. Pemisahan magnetik pada 1000 Gauss terhadap ampas pelarutan sinter menghasilkan konsentrat besi berkadar 65,76 % Fe_2O_3 (46,03 % Fe) dengan perolehan 13 %. Bagan alir pemrosesan ditunjukkan pada Gambar 5.

roasting) dengan memakai batubara sebagai reduktor dilanjutkan dengan pemisahan menggunakan pemisah Magnetik 1000 Gauss [Aziz dkk., 2010]. Hasil pemrosesan dan pemisahan magnetik menunjukkan kadar besi dapat ditingkatkan dari 46,03 menjadi 62,3 % Fe, dengan perolehan sebanyak 70 %. Komposisi kimia konsentrat besi (magnetit) ditunjukkan pada Tabel 3. Dari komposisi kimia nampak kadar besi sudah memenuhi syarat untuk bahan baku peleburan besi, namun kadar Al_2O_3 masih harus diturunkan lagi sampai ≤ 3 % (persyaratan kandungan Al_2O_3 dalam konsentrat besi untuk peleburan). Untuk mengatasi masalah Al_2O_3 dalam konsentrat besi, masih diperlukan uji pemrosesan lanjutan dengan menyisipkan tahap penggerusan mineral ampas bauksit fraksi



Gambar 5. Bagan alir pemrosesan mineral ampas bauksit untuk memperoleh kembali alumina+soda dan konsentrat besi [Aziz dkk., 2009; Aziz dkk., 2010]

Dilihat dari kadar besinya, konsentrat besi yang diperoleh masih belum memenuhi syarat untuk bahan baku peleburan besi (minimum 60 % Fe). Oleh karena itu, untuk peningkatan kadar konsentrat besi telah dilakukan pemrosesan lanjut melalui pemanggangan dan magnetisasi (*magnetization*

kasar (lolos 35 mesh tertahan 100 mesh) sebelum proses sinter soda-kapur dan pelarutan, tujuannya adalah untuk membebaskan secara optimal mineral-mineral besi dari gibbsit ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$), sehingga diharapkan kadar $Al_2O_3 \leq 3$ % dalam konsentrat besi dapat tercapai.

Tabel 3. Komposisi kimia (senyawa utama) hasil pemanggangan magnetisasi mineral ampas bauksit

Fe total %	Al_2O_3 %	TiO_2 %	SiO_2 %	Na_2O %	CaO %	MgO %
62,29	16,72	7,08	4,21	7,44	0,04	0,06

Sumber : Aziz dkk.(2010)

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan uraian dan kajian terhadap mineral ampas dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Mineral ampas umumnya dominan mengandung bahan dasar penyusun kerak bumi yaitu silika (SiO_2), alumina oksida (Al_2O_3), alumina silikat ($\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$), kalsium oksida (CaO), magnesium oksida (MgO), alkali oksida (K_2O , Na_2O), juga ada besi oksida (Fe_2O_3), titan oksida (TiO_2) atau besi sulfida (FeS_2), serta komponen-komponen lainnya seperti unsur organik karbon yang teridentifikasi dari hilang bakar, mineral kelumit, air kristal, dll. Mineral-mineralnya adalah kuarsa, felspar, mika, lempung monmorilonit, pirit, bahkan terdapat garnet, silimanit, zirkon-silikat, monazit/senotim dll, dalam jumlah yang bervariasi, Semua komponen-komponen tersebut bisa dimanfaatkan jika memenuhi persyaratan kualitas dan kuantitas.
- Pemrosesan dan pemanfaatan mineral ampas sangat tergantung kepada karakteristiknya; ada yang langsung dimanfaatkan tanpa diolah dan ada yang memerlukan pemrosesan sebelum dimanfaatkan. Konsep pemrosesan tergantung pada tipe mineral ampas. Untuk itu, perlu pemikiran untuk pemisahan secara selektif dan pemanfaatan setiap komponen agar tidak ada yang tersisa (*zero waste*).
- Mineral ampas bauksit sebagai studi kasus dapat diproses dan dimanfaatkan melalui proses sinter soda-kapur dan pelarutan sinter untuk memperoleh kembali sekitar 85% alumina + soda yang dikandungnya yang dapat dikembalikan ke pabrik induk alumina.
- Mineral besi dari ampas bauksit dapat diambil sebanyak 13 % berupa konsentrat berkadar 66 % Fe_2O_3 . Kemudian dapat ditingkatkan lagi menjadi 89 % Fe_2O_3 melalui pemanggangan magnetisasi yang kemungkinan bisa dimanfaatkan sebagai bahan baku peleburan besi.

Saran

Penelitian-penelitian pemrosesan dan pemanfaatan mineral-mineral ampas sangat diperlukan terhadap tailing dari beberapa pertambangan/ pengolahan mineral dan batubara di Indonesia dalam rangka menuju proses yang efisien, ekonomis dan ramah lingkungan dengan prinsip *zero waste*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aziz M., 2007. Beberapa alternatif dalam pengelolaan dan pemanfaatan residu bauksit - suatu pemikiran antisipatif, *Jurnal Bahan Galian Industri, Vol.3, No.9*, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, hal. 20 – 26.
- Aziz M., Mutaalim, Amalia D., Wahyudi A., 2009. Pemrosesan red mud – limbah ekstraksi alumina dari bijih bauksit Bintan untuk memperoleh kembali alumina dan soda, *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara, Vol.5, No.14*, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, hal. 11 – 18.
- Aziz M., Mutaalim, Rochani S., Wahyudi A., Amalia D., 2010; Konsentrasi mineral besi dari residu bauksit Kalimantan Barat untuk bahan baku peleburan besi, *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara, Vol.6, No.1*, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, hal. 37–44.
- Harrison D.J., Bloodworth A.J., dkk, 2002. Minerals from Waste: Project Summary Report. BGS Commissioned Report.
- Mitchell C.J., Harrison D.J., dkk., 2006. *British Geological Survey*, Keyworth, Nottingham, NG12.5CG, UK. cjmi@bgs.ac.uk.
- Ngurah Ardha, 2006. *Tiada optimalisasi dan efisiensi tanpa inovasi teknologi pemrosesan mineral*, Orasi Pengukuhan Profesor Riset, Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara (*tekMIRA*), Balitbang Energi dan Sumber Daya Mineral, Dept. Energi dan Sumber Daya Mineral, ISBN. 979-8641-57-4.
- Sharif, 2005. *Towards zero wastes*, *CSIRO Mineral*, Sharif.Jahanshahi@csiro.au.
- Suyartono, 2003. *Good mining practice*, konsep tentang pengelolaan pertambangan yang baik dan benar, Studi Nusa, Semarang.