

Analisis Pemanfaatan Limbah Terak Nikel (*Slag*) sebagai Bahan Baku Pembuatan *Shotcrete* dan Penanganan Limbah Lumpur Nikel (*Slurry*) untuk Mengurangi Dampak Pencemaran Lingkungan

Analysis of Nickel Slag Utilisation as Shotcrete Raw Material and Handling of Nickel Slurry to Reduce the Environmental Impact

Ardhymanto Am Tanjung^{1,a*)}, Rahul Gonzales¹⁾, Azizah Seprianti¹⁾
dan Rahma Izati¹⁾

¹ Departemen Teknik Pertambangan, Universitas Negeri Padang

Email : ^{a*)} ardhy@ft.unp.ac.id

Diterima (26 Agustus 2022), Direvisi (30 November 2022)

Abstract: *There are 21 million tons of nickel deposits in Indonesia, which produced 800,000 tons in 2019. The amount of nickel waste has increased because of the high nickel production rate. Both liquid and solid by-products of nickel processing, slurry, and slag, are created. The amount of tailings slurry produced annually in Indonesia is up to 25.6 million tons, compared to 13 million tons of nickel slag. Nickel slag can be recycled since it contains valuable metals, including nickel, cobalt, and copper. The chemical composition of 70% nickel slag is 41.47% Silica, 30.44% Ferric Oxide, and 2.58% Alumina. An inventive solution to replace components of shotcrete with nickel slag was discovered through literature research. On the other hand, some businesses intend to use a technology to tackle the slurry nickel, known as "Deep Sea Tailing Placement" (DSTP), to dispose of nickel sludge waste on the ocean floor. However, the government has not approved this DSTP method because it might harm marine habitats. This research discussed the benefits and drawbacks of the Deep-Sea Tailings Placement (DSTP) approach and the onshore tailings disposal method. This document can serve as a starting point for the usage of shotcrete in the mining sector and is hoped to be a resource for mining businesses looking to dispose of tailings on land or at sea.*

Abstrak: Cadangan nikel Indonesia tercatat sebesar 21 juta ton dan telah diproduksi 800.000 ton di tahun 2019. Tingginya angka produksi nikel berdampak pada besarnya jumlah limbah nikel. Pengolahan nikel menghasilkan limbah padat (*slag*) dan limbah cair (*slurry*). Produksi dalam bentuk *slag* nikel mencapai 13 juta ton per tahun. Sedangkan, untuk *tailing slurry* sebanyak 25,6 juta ton. *Slag* nikel sangat berpotensi untuk didaur ulang untuk berbagai kebutuhan terutama bahan konstruksi, karena secara kimia masih memiliki logam bermanfaat seperti nikel, tembaga dan kobalt. Selain itu, sekitar 70% *slag* nikel memiliki kandungan Silika 41,47%, Oksida besi 30,44% dan Alumina 2,58%. Berdasarkan studi literatur, diketahui bahwa *slag* nikel bisa dimanfaatkan sebagai bahan pengganti agregat untuk bahan baku pembuatan *shotcrete*. Dilain hal, ada limbah jenis *slurry* yang mesti dibuang ke tempat yang aman, beberapa perusahaan berencana untuk membuang limbah lumpur nikel ini ke dasar laut atau disebut *Deep Sea Tailing Placement* (DSTP). Namun, metode DSTP ini belum mendapat izin dari pemerintah karena dapat merusak ekosistem laut. Untuk itu, pada paper ini penulis menjabarkan keuntungan dan kekurangan antara metode DSTP dengan metode pembuangan *tailing* di darat. Sehingga, tulisan ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi perusahaan tambang yang hendak melakukan pembuangan *tailing* baik di darat atau di laut. Serta dapat menjadi acuan awal dalam mengembangkan pemanfaatan *shotcrete* di industri pertambangan.

Kata Kunci : *DSTP, Nikel, Slag, Slurry*

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang memiliki sumber daya alam yang berlimpah. Kekayaan sumber daya alam ini terbentang dari Pulau Sumatera hingga Papua [1]. Jenis-jenisnya antara lain sumber energi seperti batu bara, minyak, gas, dan panas bumi; mineral logam yang meliputi Timah, Emas, Perak, Bauksit, Nikel, Bijih Besi, Mangan, Tembaga, Timah Hitam, Seng, Platina, Tungsten, *Chrom*, *Mercury*, *Molybdenum*; dan mineral industri seperti *Phosphate*, *Sulphur*, *Iodine*, *Bromine*, *Limestone*, Kaolin, *Trass*, *Clay*, *Sand*, *Pumice*, *Bismuth*, *Mica*, *Feldspar*, *Jarosite* dan Intan. Dengan melimpahnya sumber daya bahan galian ini menjadikan Indonesia unggul di sektor pertambangan [2].

Diantara berbagai jenis bahan galian tersebut, nikel menjadi yang paling menarik perhatian. Saat ini, Indonesia diprediksi memiliki cadangan nikel terbesar di dunia, yaitu 21 juta ton. Sumber daya bijih nikel tercatat 11.887 juta ton, tereka 5.094 juta ton, terunjuk 5.094 juta ton, terukur 2.626 ton, hipotetik 228 juta ton. Sementara cadangan bijih berjumlah 4.346 juta ton, 3.360 juta ton sebagai cadangan terbukti, dan cadangan terkira sebesar 986 juta ton [3]. Fakta ini membuat Indonesia menjadi produsen terbesar bijih nikel di dunia pada tahun 2019. Dari 2,67 juta ton nikel yang telah diproduksi di seluruh dunia, Indonesia telah mencapai produksi nikel sebesar 800 ribu ton, lebih unggul dari Filipina (420 ribu ton), Rusia (270 ribu ton), dan Kaledonia Baru (220 ribu ton) [3].

Tingginya angka produksi nikel di Indonesia akan berdampak pada peningkatan jumlah *tailing* dari pengolahan nikel ini. Sementara *tailing* sendiri adalah limbah yang tidak dapat dihindari kehadirannya dalam proses pengolahan hasil pertambangan. *Tailing* di industri pertambangan kerap menjadi persoalan, pasalnya *tailing* sering dianggap tidak bisa dimanfaatkan, tidak bernilai, dan bagian dari limbah berbahaya dan beracun (B3). Akan tetapi pandangan negatif ini tidak sepenuhnya benar, karena *tailing* pertambangan memiliki banyak manfaat apabila dilakukan pengolahan yang sesuai.

Pada nikel terdapat dua jenis *tailing* yang dihasilkan dari kegiatan pengolahan, yaitu *tailing* padat (*slag*), dan *tailing* cair (*slurry*). Saat ini, Indonesia memproduksi *slag* nikel berjumlah 13 juta ton per tahun, yang ditumpuk di darat menunggu tindakan pengolahan. Sedangkan, pada *tailing* lumpur berjumlah 25,6 juta ton, yang direncanakan untuk di buang ke laut Morowali di kedalaman 250 meter. Lebih lanjut, di pulau Obi ada 6 juta ton *tailing* per tahun yang akan dibuang ke laut di kedalaman 230 meter [4]. Dengan jumlah *tailing* yang cukup tinggi ini akan memberikan dampak pada lingkungan, karena *tailing* tersebut apabila dibiarkan terus-menerus berpotensi mencemari lingkungan sekitarnya.

Untuk menghindari pencemaran lingkungan tersebut, maka pengolahan *tailing* nikel mesti ditingkatkan. *Slag* nikel cukup banyak dimanfaatkan, karena *slag* nikel secara kimiawi mengandung logam-logam berharga seperti nikel, tembaga dan kobalt. Selain itu, sekitar 70% komposisi kimia *slag* nikel memiliki Silika 41,47%, Oksida besi 30,44% dan Alumina 2,58% [5].

Pada penelitian ini penulis akan membahas tentang pemanfaatan *slag* nikel sebagai bahan pengganti agregat pada semen untuk komponen bahan baku *shotcrete*. Metode *shotcrete* ini dapat diaplikasikan pada perkuatan lereng tambang, dan menjadi solusi yang bisa digunakan untuk mengurangi penggunaan material alam. Dari segi lingkungan, dapat mengurangi dampak negatif yang akan ditimbulkan akibat *tailing* nikel tersebut.

Di sisi lain, tidak semua *tailing* nikel bisa dimanfaatkan kembali, seperti *tailing* nikel berupa lumpur. Lumpur nikel yang sudah menumpuk di Sulawesi direncanakan akan dibuang ke laut Sulawesi atau disebut *Deep Sea Tailings Placement* (DSTP). Akan tetapi, metode pembuangan DSTP ini belum terlaksana karena terkendala perizinan. DSTP juga

menuai pro kontra karena berpotensi mencemari lingkungan laut. Sedangkan, untuk metode pembuangan *tailing* di darat juga berdampak merusak lingkungan, terlebih jika terjadi hujan, maka bisa menyebabkan banjir, dan bendungan *tailing* sewaktu-waktu bisa runtuh dan rusak.

Berdasarkan penelitian terdahulu mengenai pemanfaatan *slag* nikel, lebih banyak dimanfaatkan sebagai bahan konstruksi bangunan, pembuatan beton dan batako, serta sebagai bahan campuran aspal. Berikut adalah penelitian yang pernah ada berkaitan dengan pemanfaatan limbah *slag* nikel antara lain: Pemanfaatan terak nikel (*slag*) sebagai agregat pada mortar dan beton [6]; uji *slag* nikel sebagai alternatif agregat pada campuran HRS-Base [7]; pemanfaatan *low nickel slag* dalam beton sebagai pengganti semen dan agregat kasar [8]; dan penggunaan limbah nikel Sorowako pada campuran *stone matrix asphalt* kasar [9]. Penelitian-Penelitian tersebut bisa menjadi alternatif dalam penanganan limbah nikel yang keberadaannya selalu ada selama tambang beraktivitas.

Pada *paper* ini kedua hal yang telah dijabarkan sebelumnya akan dibahas lebih detail, tentang pemanfaatan *slag* nikel sebagai komponen agregat pada *shotcrete* serta metode pembuangan yang tepat untuk *tailing* lumpur nikel. Dengan demikian, penulisan ini diharapkan dapat menjadi referensi oleh perusahaan tambang yang hendak melakukan pembuangan *tailing* baik di darat atau di laut. Penulisan *paper* ini memiliki beberapa tujuan yaitu untuk mengetahui manfaat *tailing* nikel yang bernilai ekonomis, mengetahui potensi pemanfaatan *slag* nikel yang dapat dijadikan sebagai bahan baku *shotcrete*, mengetahui kajian teknis terkait pembuangan *tailing* yang baik dan benar, agar tidak merusak lingkungan, mengetahui jenis pembuangan *tailing* yang lebih aman dan tepat untuk diterapkan oleh perusahaan tambang di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Penelitian pada *paper* ini menggunakan metode studi literatur terhadap penelitian yang sudah ada, sebagai sumber teori dan data. Berkaitan dengan data sekunder juga berasal dari artikel pada media resmi dan data statistik dari pemerintah dan perusahaan tambang. Data-data tersebut kemudian dikumpul, diolah dan divisualisasikan dalam hasil penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Limbah Nikel

Limbah atau *tailing* merupakan sesuatu yang tidak berguna atau tidak bisa dimanfaatkan. *Tailing* adalah limbah hasil proses pengolahan bahan galian tambang yang mengandung bijih mineral dimana kemudian logam berharganya diambil melalui proses ekstraksi metalurgi. Sebagai limbah, *tailing* sangat berkemungkinan untuk mencemari lingkungan baik secara volume yang dihasilkan ataupun konsentrasi logam yang tersisa [10].

Tailing dapat mengandung unsur dengan kadar yang masih tinggi. Maka, apabila dikelola dengan baik, limbah atau *tailing* tersebut dapat menjadi sesuatu yang berharga secara ekonomi. Pada tabel dibawah ini terdapat pemanfaatan *tailing* untuk beberapa jenis bahan galian [11].

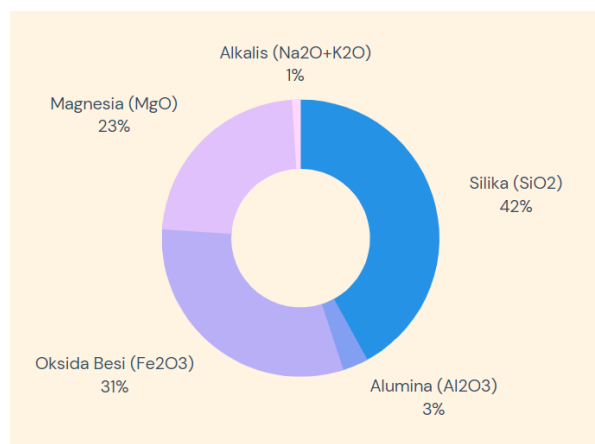
Tabel 1. Pemanfaatan beberapa jenis *tailing* dari proses pertambangan

Jenis Bahan Galian <i>Tailing</i>	Pemanfaatan
<i>Tailing</i> Pencucian Batubara	Bahan Briket
<i>Tailing</i> Tambang Kaolin	Pasir Kuarsa
<i>Tailing</i> Tambang Tembaga	Pengkayaan Kandungan Emas
<i>Tailing</i> Tambang Emas Alluvial	Pengolahan zirkon
<i>Tailing</i> Tambang Timah Putih	Pasir Bangunan
<i>Tailing</i> Tambang Nikel	Paving Block dan Batako
<i>Tailing</i> Pencucian Batubara	Bahan Briket

Selanjutnya, *tailing* atau pengotor hasil pengolahan nikel terbagi menjadi dua yaitu *slag* dan lumpur. *Slag* merupakan hasil peleburan nikel dengan suhu yang sangat tinggi. Bentuk *slag* menyerupai agregat, digunakan sebagai bahan timbunan atau dibuang dan tidak dimanfaatkan sehingga kurang bernilai ekonomis.

Terak (*slag*) adalah limbah hasil industri dalam proses peleburan logam. Terak berwujud gumpalan menyerupai logam, memiliki kualitas rendah karena bercampur dengan bahan-bahan lain yang susah untuk dipisahkan. Terak (*slag*) terjadi akibat penggumpalan mineral silika, potas, dan soda dalam proses peleburan logam atau melelehnya mineral-mineral tersebut dari bahan wadah pelebur akibat proses panas yang tinggi. Pada nikel, *slag* terbentuk dari hasil pengolahan bijik nikel yang sudah melewati proses *smelting* dan proses *granulating* berupa *water cooling* dan *air cooling*. Jumlah *slag* nikel kian hari semakin menumpuk, karena setiap proses pemurnian satu ton produk nikel menghasilkan limbah padat lima puluh kalinya, setara lima puluh ton. Jika dibiarkan menumpuk, maka akan berdampak terhadap lingkungan. Karenanya pengolahan kembali *slag* nikel bisa menjadi alternatif pengelolaan lingkungan yang berdampak juga pada ekonomi. Terlebih *slag* nikel memiliki komposisi yang cukup baik untuk dimanfaatkan.

Slag nikel memiliki senyawa kimia yang mirip dengan senyawa kimia pada agregat alam yang umum digunakan sebagai material konstruksi, sehingga *slag* ini berpotensi digunakan sebagai material konstruksi dan mengurangi eksploitasi alam [12]. Secara umum komposisi *slag* nikel tercantum dalam gambar 1.



Gambar 1. Persentase senyawa dalam terak nikel

Dari gambar di atas, terak nikel diketahui memiliki persentase silika yang besar. Senyawa silika yang tinggi ini dapat menjadi alternatif agregat kasar maupun agregat halus yang dapat memperkuat hubungan antara agregat dan pasta pada pembuatan beton, sehingga kehancuran beton tidak terjadi pada *interface* [13].

Selain limbah padat berupa terak (*slag*), nikel juga menghasilkan limbah *slurry*. Limbah *slurry* tersebut dihasilkan dari metode peleburan nikel laterit yaitu proses hidrometalurgi, *High Pressure Acid Leaching* (HPAL). Metode ini dipilih oleh banyak produsen nikel baterai di Indonesia. Terdapat tiga proyek *High Pressure Acid Leaching* (HPAL) dibangun di Morowali, Sulawesi Tengah dan Obi, serta Maluku Utara. Namun, lumpur hasil HPAL tersebut sudah sangat banyak, dan masih belum menemukan tempat pembuangan yang tepat dan layak. Sekitar sebanyak 25,6 juta ton, yang direncanakan untuk di buang ke laut Morowali di kedalaman 250 meter. Selanjutnya, di pulau Obi *tailing* yang akan dibuang ke laut mencapai 6 juta ton pertahun di kedalaman 230 meter [4].

Jumlah *tailing* yang cukup tinggi tentunya akan berdampak pada lingkungan, karena *tailing* tersebut apabila dibiarkan terus-menerus berpotensi mencemari lingkungan sekitarnya. Dengan demikian, program mengurangi limbah dapat dimulai sejak pengumpulan, pengangkutan, dan sistem pembuangan *tailing*. Sehingga, program pemanfaatan *tailing* ini dapat dilakukan di setiap tahapan sistem pengelolaan. Hampir sama dengan konsep meminimalisir limbah (minimisasi limbah). Mekanisme operasional pengelolaan *tailing* (*cradle to cradle*) harus bersifat terpadu sesuai dengan teknik operasional pengelolaan *tailing* seperti pada gambar berikut ini:



Gambar 2. Mekanisme pengelolaan *tailing* nikel

Metode *Shotcrete*

Metode *shotcrete* adalah ditemukan oleh Carl Ethan Akeley pada tahun 1910 sebagai mesin penyemprot beton. *Shotcrete* atau beton semprot didefinisikan sebagai beton yang disemprotkan menggunakan *gun* (penembak) berasal dari campuran semen yang kemudian ditembakkan dengan kecepatan tinggi pada permukaan dinding tembak seperti dinding terowongan, atau bangunan, ataupun lereng jalan raya. *Shotcrete* cocok diberbagai tipe tanah dan batuan dengan hanya membutuhkan satu operator. Hasil tembakan *shotcrete* pun cepat mengering dan mengeras [14].

Terdapat dua jenis metode *shotcrete* yang digunakan yaitu, campuran kering dan campuran basah. Pada metode campuran kering, agregat dan semen dicampur dalam keadaan kering dan dimasukkan ke dalam *shotcrete gun* sementara air campuran ditambahkan di *nozzle*. Tergantung pada fitur dari perusahaan, campuran dapat ditambahkan di pabrik campuran atau dengan air [14].

Shotcrete memiliki banyak keunggulan yang terletak pada tingkat kekuatannya melebihi kekuatan beton pada umumnya. *Shotcrete* juga dapat mengering dengan cepat (1-6 jam). Kemudian, dinding yang disemprot dengan *shotcrete* mampu menahan tabrakan dari alat berat sejenis *wheel loader*, dan hanya tergores sedikit di permukaannya, serta mampu

menahan getaran peledakan yang mempunyai tekanan dari puluhan sampai ratusan ribu Psi (*pounds per Square Inch*). Sehingga akan sangat bagus apabila diaplikasikan dalam pertambangan. Manfaatnya akan sangat banyak seperti untuk perkuatan lereng tambang dan dinding terowongan [15].

Kandungan Slag Nikel sebagai Bahan Baku Pembuatan Shotcrete

Sekitar 70% komposisi kimia *slag* nikel terdiri dari Silika, besi oksida dan Alumina [5]. Dari hasil karakterisasi *slag* nikel menunjukkan kandungan utama *slag* nikel adalah fayalite, magnetit dan kristobalit serta memiliki kandungan unsur yang mendominasi yaitu Fe, O, Si, S, Mg, Ni, dan Cu. *Slag* nikel bermorfologi poligon tidak beraturan dan memiliki permukaan yang halus dan padat. Khusus kandungan logam dalam slag nikel diketahui ada Fe (37%), Ni (0,5%), Co (0,4%), dan Cu (0,08%) [16] .

Kandungan *Slag* nikel tersebut dapat dimanfaatkan sebagai pengganti agregat untuk bahan baku pembuatan *shotcrete*. Kandungan silika pada *slag* juga dapat dimanfaatkan sebagai pengganti semen. Dimana semen juga merupakan bahan baku pembuatan *shotcrete*. Unsur-unsur yang terkandung dalam *slag* nikel ini dapat dijadikan sebagai bahan baku *shotcrete* terbaru dalam industri pertambangan dan pembangunan.

Metode Pembuangan Tailing di Darat

Terdapat 2500 tambang ukuran industri beroperasi di seluruh dunia [17]. Hampir semuanya membuang *tailingnya* ke darat, biasanya dikumpul di *dam tailing* atau dikenal sebagai bendungan *tailing*. Terlepas dari kekhawatiran tentang keamanan jangka panjang bendungan ini, penyimpanan tersebut umumnya dianggap sebagai praktik terbaik industri [18].

Di beberapa perusahaan tambang, selama tambang beroperasi, *tailing* dipompa ke dalam bendungan dan disimpan di bawah air untuk meminimalkan reaktivitas kimia. Misalnya, pembentukan asam dan drainase asam tambang. Namun, di beberapa lokasi pembuangan *tailing* di darat mungkin bukan pilihan yang paling layak secara teknis. Misalnya, di Indonesia dan Papua Nugini, tantangan curah hujan yang tinggi, gempa bumi, topografi, dan tekanan sosial bergabung membuat pengembangan penahan *tailing* yang efektif menjadi sulit.

Selain itu, pembuangan *tailing* di darat ini berpotensi menimbulkan kerusakan, contohnya seperti bendungan *tailing* Vale di Brazil yang rusak sehingga mengakibatkan banjir pada tahun 2019, dimana korban hilang sebanyak 200 orang.

Pembuangan Tailing di Laut

Saat ini, terdapat 15 operasi penambangan di seluruh dunia yang menggunakan penempatan *tailing* di laut dalam yang disebut *Deep Sea Placement Tailing* (DSTP)[19]. Biasanya, *tailing* dibuang di bawah zona eufotik permukaan 50–100 m. Pada kedalaman tersebut tidak terlalu banyak habitat perikanan dan biota laut [20].

Secara teori, kriteria untuk penerapan *Deep Sea Placement Tailing* (DSTP) adalah kedekatan dengan pantai, dan fitur oseanografi yang sesuai. Misalnya, seperti batimetri yang sesuai, dan jalur pipa yang relatif pendek dari tambang ke lokasi pembuangan. Namun,

dalam prakteknya, banyak tambang yang saat ini beroperasi menggunakan pipa panjang untuk membuang *tailing* di lokasi yang belum memenuhi peraturan lingkungan.

Terdapat beberapa kasus kerusakan lingkungan akibat pembuangan *tailing* di laut, salah satunya seperti pada kasus Minahasa dimana penambangan dilakukan oleh PT Newmont Minahasa Raya milik dari Newmont Gold dari AS, yang berbasis di Sulawesi Utara. Tambang dibuka pada Maret 1996 dan di 1998 telah memproduksi 8,3 ton.

Dampak negatif yang disebabkan oleh kasus DSTP tambang minahasa: Pertama, 70% hasil tangkapan nelayan di Ratatotok berkurang. Kedua, pada Juli 1998, penduduk setempat melakukan unjuk rasa terhadap perusahaan untuk melakukan pembayaran pajak atas material yang telah ambil, dan menuntut penambahan jumlah royalti untuk pemerintah daerah. Ketiga, para nelayan mengeluhkan gangguan penyakit, dan penurunan hasil tangkapan laut secara drastis.

Pemanfaatan Slag sebagai Bahan Baku Pembuatan Shotcrete

Berdasarkan komposisinya, *slag* nikel dapat dijadikan bahan untuk pembuatan *shotcrete*. Pada umumnya *slag* nikel memang sudah dimanfaatkan untuk bahan konstruksi dan pengeras aspal [21]. Pemanfaatan *slag* untuk *shotcrete* dapat diterapkan untuk memperkuat lereng maupun terowongan di lokasi tambang sehingga kemungkinan terjadinya longsor bisa diperkecil. Secara tidak langsung, hal ini dapat memberikan efek positif di Industri pertambangan seperti meningkatkan keselamatan kerja dan secara langsung dampak lingkungan terhadap *tailing* hasil pengolahan *slag* nikel bisa diatasi.

Kandungan pada *slag* nikel dapat dimanfaatkan sebagai pengganti agregat pada *shotcrete*. Kandungan silika pada *slag* juga bisa sebagai pengganti bahan silika yang selama ini dipakai dalam pembuatan semen [22]. Harapannya, biaya bahan baku silika dalam pembuatan *shotcrete* bisa dikurangi. Apalagi jika diterapkan dipertambangan, bahan yang tersedia ini bisa memberikan nilai tambah untuk kegiatan pertambangan itu sendiri. Jika pemanfaatan *slag* nikel secara optimal bisa diusahakan maka dapat mengatasi permasalahan limbah *slag* nikel yang kian menumpuk. Dengan berkurangnya volume *tailing* di dam, maka potensi pengaruh *tailing* terhadap lingkungan dapat diminimalisir.

Proses Pengolahan Slag Nikel sebagai Bahan Baku Pembuatan Shotcrete

Slag nikel didapatkan melalui peleburan bijih nikel. Awalnya *slag* cair terbentuk pada temperatur kisaran $\pm 1550^{\circ}\text{C}$ yang langsung dikeluarkan melewati *slag runner* ke kolam granulasi (*slag granulation pond*). Kemudian *slag* cair yang mengalir akan mengalami proses pendinginan. Proses pendinginan diraih dengan dua cara yaitu:

- a. Pendinginan secara mendadak dibantu dengan semprotan air tekanan tinggi untuk memecah ukuran *slag* sehingga terbentuk butiran-butiran (*granule*).
- b. Pendinginan dengan udara, dimana ukuran butir agregat limbah *slag* nikel bisa diatur dengan alat pemecah batu (*stone crusher*).

Setelah didapatkan *slag* nikel, akan diolah lagi menjadi bahan pengganti agregat untuk pembuatan *shotcrete*. Agregat yang digunakan untuk *shotcrete* yaitu agregat kasar (*coarse aggregate*) dan agregat halus (*fine aggregate*) dengan ketentuan bahwa ukuran butir agregat kasar yaitu antara 5 mm hingga 10 mm, sedangkan agregat halus memiliki ukuran maksimum 5 mm.

Dengan ukuran agregat tersebut maka *slag* nikel harus diolah terlebih dahulu, melalui proses kominusi, yang terdiri atas peremukan (*crushing*), pengayakan (*screening*), penghalusan (*grinding*).

- Peremukan (*crushing*), adalah proses menurunkan ukuran bahan galian yang berukuran besar (diameter sekitar 100 cm) menjadi ukuran 20-25 cm hingga mencapai ukuran 2,5 cm.
- Pengayakan (*screening*) atau penyaringan adalah proses pemisahan secara mekanik berdasarkan perbedaan ukuran partikel.
- Penghalusan (*grinding*) merupakan teknik yang digunakan dalam penghalusan material pada saat keadaan basah yang telah dihancurkan untuk mendapat batas ukuran halus yang diinginkan berkisar 5-250 mm menjadi 10-300 μm .

Kelebihan Metode Pembuangan *Tailing* di Darat

- Secara umum dapat diterapkan di sebagian besar lokasi tambang, dengan desain dan operasi yang tepat.
- Pasokan personel berpengalaman yang melimpah.
- Peluang penggunaan kembali *tailing*.
- Tailing* terbatas pada area spasial yang diketahui.

Kekurangan Metode Pembuangan *Tailing* di Darat

- Diperlukan lahan, terutama untuk bijih kadar rendah
- Risiko bencana alam
- Penatalaksanaan ISPA jangka panjang mungkin diperlukan
- Pemeliharaan dan pemantauan pasca tambang diperlukan.
- Kemungkinan kontrol ketat pada debit air yang memerlukan beberapa pengolahan air.
- Biaya pembangunan dan pemeliharaan infrastruktur penahan *tailing*.

Kelebihan Metode Pembuangan *Tailing* di Laut

- Dapat menampung *tailing* dalam jumlah sangat besar.
- Memberikan dampak lingkungan paling rendah bila dibandingkan dengan alternatif lain.
- Endapan *tailing* di dasar laut umumnya stabil, tidak rentan terhadap bencana alam skala besar.
- Endapan tidak akan teroksidasi karena air laut hanya mengandung 1/30 jumlah oksigen dalam atmosfer dan tingkat difusi oksigen di air laut sangat rendah

Kekurangan Metode Pembuangan *Tailing* di Laut

- Masih menimbulkan dampak terhadap ekosistem fisik dan biota laut. Beberapa organisme benthos akan pindah atau tertimbun di dasar laut karena pengendapan partikel dalam jumlah besar.
- Padatan *tailing* dengan kandungan racun yang mudah larut dalam air laut tentunya tidak sesuai dengan sistem ini.
- Diperlukan teknologi tinggi dalam perekayasa, konstruksi, operasi dan monitoring.
- Endapan *tailing* di dasar laut pada kedalaman ratusan meter bersifat permanen, tidak dapat dipindahkan.

- e. Biaya pemantauan lingkungan dan waktu yang diperlukan untuk mendapatkan data yang diperlukan untuk proses perizinan sering melebihi biaya dan waktu untuk membangun sistem penempatan *tailing* di darat.
- f. Bahaya utama dalam kawasan ini adalah kekeruhan, dimana buangan dan sedimen menghalangi sinar matahari masuk dan dapat mencegah terjadinya fotosintesis, yang berguna untuk proses pertumbuhan.

Rekomendasi Metode Pembuangan (*slurry*) Nikel di Indonesia

Indonesia sebagai negara tropis memiliki dua musim, yaitu kemarau dan hujan. Pemilihan metode pembuangan *tailing* juga mempertimbangkan pengaruh musim. Baik pada musim kemarau atau hujan maka lebih efisien menggunakan metode pembuangan *tailing* di laut, karena pengaruhnya tidak begitu signifikan. Apabila *tailing* dibuang di darat, akan sangat berpengaruh jika terjadi musim hujan berkepanjangan. Maka, dapat menimbulkan potensi banjir dan bendungan meluap dan bocor.

Papua Nugini adalah salah satu negara yang melakukan pembuangan *tailing*nya di laut. Ini dinilai lebih efektif karena pengaruh iklim tropisnya. Indonesiapun punya laut yang luas, yaitu mencapai 3.257.357 km². Dengan luas laut ini sangat memungkinkan untuk digunakan sebagai tempat pembuangan *tailing*. Ini bisa menjadi alternatif untuk perusahaan yang memiliki kedekatan lokasi dengan laut.

Aspek pertimbangan lainnya dalam pemilihan metode pembuangan *tailing* adalah kapasitas. Seperti yang sudah dijelaskan pembuangan *tailing* di laut memiliki keunggulan dapat menampung jumlah *tailing* sangat besar. Kemudian, jika melihat kembali banyaknya jumlah *tailing* lumpur nikel (*slurry*) saat ini, tentunya penempatan *tailing* di laut lebih direkomendasikan.

Namun, jika mengkaji aspek lingkungan tentu saja pembuangan *tailing* di laut berpotensi merusak ekosistem laut. Oleh sebab itu, penting untuk dilakukan pengolahan (*treatment*) sebelum *tailing* dibuang ke laut. Selain itu, pembuangan *tailing* di laut memerlukan pemantauan lingkungan yang ketat, sehingga tidak heran jika kegiatan ini memakan waktu lama dan biaya besar. Perusahaan harus mempertimbangkan secara baik dan matang sebelum melakukan tindakan pembuangan. Jika tidak maka akan berdampak sangat buruk. Seperti, berkurangnya hasil tangkapan nelayan, punahnya spesies langka yang hidup di laut dalam, dan merusak keseimbangan ekosistem lautan. Oleh karena itu, pemilihan metode pembuangan *tailing* di laut direkomendasikan untuk perusahaan yang sudah memiliki kesiapan dan perencanaan yang matang, biaya yang memadai, dan teknologi yang bagus. Sedangkan, untuk perusahaan yang berlokasi jauh dari laut dan memiliki lahan luas disarankan untuk menggunakan metode pembuangan di darat.

Sejatinya, kegiatan pembuangan *tailing* di laut atau pembuangan *tailing* di darat diharapkan mampu meminimalisir pencemaran lingkungan dengan pengelolaan yang baik. Meskipun demikian tak bisa dihindarkan metode pembuangan yang ada akan tetap memberikan dampak pada lingkungan. Sehingga, pengawasan menjadi peran vital dalam menjamin baku mutu. Hal ini diharapkan bisa menyelamatkan lingkungan sekaligus mengatasi masalah limbah pada industri pertambangan.

KESIMPULAN

1. *Slag* nikel dapat dimanfaatkan untuk bahan baku pada *shotcrete* untuk perkuatan lereng tambang, penguat dinding batuan, dinding terowongan pada tambang bawah tanah karena mengandung silika yang dapat dijadikan bahan baku semen dalam pembuatan *shotcrete*. Hal ini akan sangat menguntungkan secara ekonomi karena dapat mengurangi uang yang dikeluarkan dalam pembuatan semen. Selain itu, kondisi lingkungan juga akan semakin baik karena limbah *slag* nikel yang berkurang. Kedua manfaat ini dapat dijadikan alasan utama agar pemanfaatan *slag* nikel ini dapat direalisasikan mengingat besarnya jumlah *tailing* dan manfaat yang akan didapatkan.
2. *Shotcrete* memiliki banyak keunggulan terutama karena ia lebih kuat dari campuran beton secara umum ditemukan dipasaran konstruksi. Metode *shotcrete* akan terus berkembang di Indonesia, namun masih belum sempurna dimanfaatkan karena bahan baku pembuatan *shotcrete* terbilang mahal. Oleh sebab itu, dengan memanfaatkan *slag* nikel sebagai bahan baku pembuatan *shotcrete* dapat mengatasi kemahalan bahan baku pada *shotcrete*, ini akan meningkatkan nilai *recovery* nikel tersebut. Namun, hasil ini baru sebatas studi literatur. Ada peluang untuk dilakukan penelitian eksperimen sehingga bisa dilihat performa dari aplikasi *shotcrete* dengan bahan baku ini di lapangan.
3. Limbah lumpur nikel memerlukan kajian teknis tentang tata cara pembuangan yang tepat, baik di darat atau di laut. Setiap metode pembuangan *tailing* memiliki spesifikasi kelebihan dan kekurangan. Metode pembuangan di darat efektif dilakukan pada perusahaan yang lokasinya jauh dan harus menyediakan lahan untuk pembuatan bendungan *tailing*. Metode pembuangan di laut efektif dilakukan pada perusahaan yang lokasinya dekat dengan laut dan harus menyediakan anggaran yang cukup untuk pemeliharaan kualitas lingkungan laut. Setelah pemaparan kelebihan dan kekurangan tersebut, diharapkan dapat membantu perusahaan dalam memilih metode pembuangan yang cocok dan sesuai dengan kondisi lingkungan dan perusahaan. Selain itu, kelebihan dan kekurangan kedua metode tersebut juga diharapkan dapat menjadi dasar bagi pemerintah untuk membuat kebijakan tentang pembuangan limbah lumpur nikel agar kondisi lingkungan tetap terjaga.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Dosen dan para Mahasiswa Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang atas masukan dan saran yang diberikan agar makalah ini bisa menjadi lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Manurung, Hotden, and Amanda Ayudhia. "Sumber Daya Geologi Indonesia – Pusat Kajian Sumberdaya Bumi Non-Konvensional," May 1, 2020.

- <https://ugrg.ft.ugm.ac.id/artikel/sumberdaya-geologi-indonesia/> (accessed Apr. 18, 2021).
- [2] S. Gischa, 'Manfaat Sumber Daya Alam Tambang', *Kompas*, Dec. 09, 2021. <https://www.kompas.com/skola/read/2021/01/24/150755569/manfaat-sumber-daya-alam-tambang> (accessed Apr. 18, 2021).
- [3] 'Hilirisasi Nikel Ciptakan Nilai Tambah dan Daya tahan ekonomi', *ESDM*. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/hilirisasi-nikel-ciptakan-nilai-tambah-dan-daya-tahan-ekonomi> (accessed Apr. 18, 2022).
- [4] F. Usman, 'Perusahaan Tambang di Obi Halmahera Selatan Akan Membuang 6 Juta Ton Tailing Limbah Per Tahun Ke Laut, Suara Halmahera', Feb. 06, 2021. <https://suarahalmahera.pikiran-rakyat.com/halmahera/pr-1351392022/perusahaan-tambang-di-obi-halmahera-selatan-akan-membuang-6-juta-ton-tailing-limbah-per-tahun-ke-laut> (accessed Apr. 18, 2021).
- [5] F. Huang, Y. Liao, J. Zhou, Y. Wang, and H. Li, 'Selective recovery of valuable metals from nickel converter slag at elevated temperature with sulfuric acid solution', *Separation and Purification Technology*, vol. 156, pp. 572–581, Dec. 2015, doi: 10.1016/j.seppur.2015.10.051.
- [6] R. Wijaya and S. Astutiningsih, 'Studi Literatur Potensi Pemanfaatan Terak Nikel (Slag Nikel) sebagai Agregat pada Mortar dan Beton', *Bentang: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, vol. 9, no. 2, pp. 93–100, 2021.
- [7] Demmalino, Utami Arruantasik, Cyntia Sielviana Widya Lambe, and Rais Rahman. "Pengujian Slag Nikel Sebagai Pengganti Agregat Pada Campuran HRS-Base." *Paulus Civil Engineering Journal* 1, no. 2 (2019): 44–49.
- [8] Ganti, Abraham. "Potensi Pemanfaatan Low Nickel Slag Dalam Beton Sebagai Pengganti Semen Dan Agregat Kasar." Master Thesis, Petra Christian University, 2008.
- [9] Supit, Febe Priskila, and Robert Mangontan. "Pemanfaatan Limbah Nikel Sorowako Dalam Campuran Stone Matrix Asphalt Kasar." *Paulus Civil Engineering Journal* 3, no. 1 (2021): 63–69.
- [10] Riogilang, Hendra. "Pemanfaatan Limbah Tambang Untuk Bahan Konstruksi Bangunan." *Ekoton* 9, no. 1 (2009).
- [11] TASLAM, INDRA SAPUTRA. "Pemanfaatan Limbah Tailing Pertambangan Untuk Bahan Campuran Pembuatan Batako Untuk Pengurangan Prosentase Penggunaan Pasir." Undergraduate Thesis, Universitas Muhammadiyah Mataram, 2020.
- [12] 'Kemenperin Angkat Potensi Slag Nikel Jadi Bahan Baku Industri', *Kemenperin*. <https://kemenperin.go.id/artikel/21806/Kemenperin-Angkat-Potensi-Slag-Nikel-Jadi-Bahan-Baku-Industri> (accessed Apr. 18, 2022).
- [13] Mustika, Wayan, IMAK Salain, and I. K. Sudarsana. "Penggunaan Terak Nikel Sebagai Agregat Dalam Campuran Beton." Program Magister Studi Teknik Sipil, Denpasar, 2016.

- [14] Indoprecast, ‘Mengenal Shotcrete Beton Semprot dan Cara Penggunaannya’, *PT. Indoprecast Mitra Karya*, Sep. 30, 2020. <https://indoprecast.com/mengenal-shotcrete-beton-semprot-dan-cara-penggunaannya/> (accessed Jan. 30, 2023).
- [15] Arcon, ‘Shotcrete Pada Penanganan Lereng — PT Arcon Radian Abadi’, *Arcon*, Apr. 27, 2022. <https://arcon.id/shotcrete-pada-penanganan-lereng/> (accessed Jan. 30, 2023).
- [16] Majalis, Asep Nurohmat, Nur Vita Permatasari, Yeni Novitasari, Noviarso Wicaksono, Dedi Armin, and Rizki Pratiwi. “Kajian Awal Produksi Fero Sulfat Dari Slag Nikel Melalui Proses Pelindian Menggunakan Asam Sulfat.” *Jurnal Ilmu Lingkungan* 18, no. 1 (2020): 31–38.
- [17] Vogt, Craig. “International Assessment of Marine and Riverine Disposal of Mine Tailings.” In *Proceedings of the Secretariat, London Convention/London Protocol, International Maritime Organization, London, England & United Nations Environment Programme-Global Program of Action, London, UK, Vol. 134*, 2012.
- [18] E. Ramirez-Llodra *et al.*, ‘Submarine and deep-sea mine tailing placements: A review of current practices, environmental issues, natural analogs and knowledge gaps in Norway and internationally’, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 97, no. 1–2, pp. 13–35, Aug. 2015, doi: 10.1016/j.marpolbul.2015.05.062.
- [19] Morello, Elisabetta B., Michael DE Haywood, David T. Brewer, Simon C. Apte, Gert Asmund, YT John Kwong, and Darren Dennis. “The Ecological Impacts of Submarine Tailings Placement.” *Oceanography and Marine Biology*, 2016, 323–74.
- [20] Ellis, Derek V. “The Role of Deep Submarine Tailings Placement (STP) in the Mitigation of Marine Pollution for Coastal and Island Mines.” *Marine Pollution: New Research*, 2008, 23–51.
- [21] Muhsar, Muhammad, Abdul Kadir, and Sulaiman Sulaiman. “Penggunaan Limbah Nikel Sebagai Material Substitusi Agregat Kasar Pada Beton K. 250.” *Sultra Civil Engineering Journal* 2, no. 1 (2021): 29–36.
- [22] Nur, Aisyah Jalali, Hasmar Halim, and Salim Agus. “Penggunaan Slag Nikel Dalam Pembuatan Paving Block.” In *Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M) 2017 PNUP*, 166–71. Politeknik Negeri Ujung Pandang, 2017.