

Kajian Pemanfaatan *Tailing* Pengolahan Emas Untuk Pembuatan Batako Sebagai Aplikasi *Zero Waste Material* Di PT Global Minerallium Corporindo Kecamatan Batu Sopang Provinsi Kalimantan Timur

Mu'adz Ma'ruf Fakhruddin¹, Dyah Probowati²

Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran" Yogyakarta,

Jl. Padjadjaran, Condongcatur, Yogyakarta 55283 Indonesia

Abstract This research aims to reuse solid tailings from gold processing from PT Global Minerallium Corporindo into a mixture for making concrete bricks as a form of the Zero Waste movement where no material is thrown away. This research was conducted by mixing tailings with a ratio of 10%, 20% and 30% in the dough for making bricks. After the bricks are formed, the composition and pH of the solid tailings will be analyzed, the value of compressive strength, and the percentage of water absorption in the bricks. The composition test is carried out using portable XRF which will be fired directly at the tailings. The pH test is carried out using a soil pH test by inserting a probe into solid tailings that has been moistened with a little water. While the compressive strength test and percent water absorption test will be carried out in accordance with SNI 03-0349-1989. From the results obtained, the highest compressive strength value was obtained in a 10% tailings mixture with a value of 91,10 kgF/cm². Whereas the lowest percentage of water absorption was obtained in a 30% tailings mixture with a value of 3.88%. However, overall the 10% brick mixture is the optimal mixture for forming bricks because it meets the quality standards for bricks II, III, and IV SNI 03-0349-1989.

Keywords : *Tailing Solid, Zero Waste, Concrete Brick.*

Abstrak Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan kembali *Tailing* padat hasil pengolahan emas dari PT Global Minerallium Corporindo menjadi bahan campuran dalam pembuatan batako sebagai bentuk gerakan *Zero Waste* dimana tidak ada bahan atau material yang dibuang. Penelitian ini dilakukan dengan mencampur *tailing* dengan rasio 10%, 20%, dan 30% dalam adonan pembuatan batako. Setelah batako terbentuk, akan dianalisa komposisi dan pH dari *tailing* padat, nilai kuat tekan, dan nilai persen penyerapan air pada batako. Uji komposisi dilakukan dengan menggunakan XRF *portable* yang akan ditembakkan langsung pada *tailing*. Uji pH dilakukan menggunakan uji pH tanah dengan cara memasukkan *probe* ke dalam *tailing* padat yang sudah dibasahi sedikit air. Sedangkan uji kuat tekan dan uji persen penyerapan air akan dilakukan sesuai dengan SNI 03-0349-1989. Dari hasil yang didapatkan, diperoleh nilai kuat tekan tertinggi adalah pada campuran 10% *tailing* dengan nilai 91,10 kgF/cm². Sedangkan untuk persen penyerapan air terendah diperoleh pada campuran 30% *tailing* dengan nilai 3,88%. Akan tetapi, secara keseluruhan campuran batako 10% adalah campuran yang optimal untuk membentuk batako karena sudah memenuhi nilai baku mutu batako II, III, dan IV SNI 03-0349-1989.

Kata Kunci : Tailing padat, Zero Waste, Batako.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Emas merupakan salah satu logam mulia yang *Tailing* atau limbah adalah buangan yang dihasilkan dari suatu proses produksi, baik dalam skala industri atau modern maupun konvensional. Buangan ini tidak terpakai dan akan menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan dan masyarakat apabila tidak dikelola dengan baik. Salah satu contoh *tailing* ini dapat dijumpai dalam industri pengolahan bijih emas berupa cairan atau padatan setelah dilakukan proses pemisahan logam emasnya. *Tailing* padatan yang dihasilkan ini diperoleh dari bijih emas sisa pengolahan yang dianggap tidak berpotensi lagi untuk diolah untuk industri tersebut. Akan tetapi, *tailing* yang sudah tidak dianggap berpotensi tersebut masih dapat

dimanfaatkan salah satunya sebagai bahan bangunan (Riogilang, 2009).

PT Global Minerallium Corporindo (PT GMC) yang berlokasi di Kecamatan Batu Sopang Provinsi Kalimantan Barat adalah salah satu perusahaan yang bergerak dalam industri pengolahan emas yang juga menghasilkan *tailing* padatan sisa pengolahan logam emas. *Tailing* yang dihasilkan setiap harinya juga menjadi masalah untuk perusahaan karena keterbatasan lahan dalam penyimpanan dan minimnya pengolahan *tailing* tersebut sehingga membuat *tailing* semakin menumpuk. *Tailing* yang dihasilkan juga bersifat asam akibat dari proses pengolahannya sehingga tidak dapat dibuang ke lingkungan secara bebas. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut dan menciptakan *zero waste movement* sehingga dalam suatu proses pengolahan tidak ada bahan atau material yang terbuang (Amalia, Y., & Soepriyanto, S., 2019).

Tailing sisa pengolahan emas ini dapat dibuat menjadi bahan dasar pembuatan batako untuk bahan bangunan. Namun karena *tailing* tersebut yang bersifat asam, maka perlu adanya proses netralisasi terlebih dahulu agar tidak bersifat korosif dan aman untuk lingkungan. Netralisasi ini dilakukan dengan mencuci *tailing* menggunakan kapur tohor (CaOH) hingga *tailing* bersifat netral dengan pH 6,5-7. Selain itu juga dilakukan identifikasi kandungan *tailing* untuk dapat diketahui unsur yang terkandung di dalamnya yang mungkin terdapat logam berat yang merusak untuk lingkungan. *Tailing* yang sudah aman dimanfaatkan kembali kemudian dibentuk menjadi batako tipe f dan akan diuji kuat tekan dan daya serap air sebagai standar mutu sebelum digunakan sebagai bahan bangunan. Batako tipe f merupakan salah satu jeni tipe batako yang berukuran 8 x 20 x 40 cm, tidak berlubang yang berfungsi sebagai dinding pengisi. Dinding Pengisi sering digunakan sebagai penyekat atau pemisah ruangan yang salah satu fungsi untuk penyangga beban struktur bangunan pada saat gempa.

DASAR TEORI

Tailing

Tailing merupakan limbah yang dihasilkan dari suatu proses produksi. Dalam hal ini, *tailing* yang dimaksud adalah *tailing* hasil proses pelindian atau proses pemisahan logam berharga dari bijihnya. *Tailing* umumnya memiliki komposisi sekitar 50% padatan dan 50% cairan sehingga berbentuk seperti lumpur atau *slurry*. *Tailing* dapat dikategorikan sebagai sampah dan memiliki potensi mencemari lingkungan baik dilihat dari volume yang dihasilkan atau dari komposisi kimia yang terkandung di dalamnya yang berpotensi rembes pada tempat pembuangan *tailing*.

Industri pengolahan dan penambangan emas tidak pernah terlepas dari *tailing* yang

dihasilkan selama proses tersebut. Limbah cairan yang dihasilkan berasal dari sisa cairan konsentrasi bahan kimia yang digunakan, sehingga umumnya bersifat beracun dan mengandung berbagai logam berat. Sedangkan untuk limbah padatan berasal dari batuan induk atau bijih asal yang memiliki komposisi hampir serupa (Nazmi, 2011). Pada berbagai industri pengolahan dan penambangan emas, umumnya dilakukan pengolahan pada limbah cair seperti detoksifikasi sebelum dibuang ke lingkungan atau digunakan kembali pada proses. Akan tetapi untuk limbah padat umumnya hanya akan ditampung di lahan khusus tanpa proses pengolahan lanjutan.

PT GMC sebagai salah satu perusahaan yang melakukan kegiatan pengolahan emas juga menghasilkan *tailing* atau sisa pengolahan. *Tailing* ini diperoleh dari bijih yang tidak ikut terlarut bersama dengan reagen pelindi sehingga tetap berbentuk padatan. Reagen pelindi yang digunakan juga umumnya adalah air raja atau *aqua regia* yang mampu melarutkan emas secara selektif. Hal ini terbukti dari penurunan kadar emas dari 8,19 ppm hingga ke 1 – 0,5 ppm, tergantung kondisi bijih yang digunakan. Namun selain baik untuk proses pelindian, terdapat dampak negatif dari penggunaan reagen tersebut yaitu sifatnya yang sangat asam dapat membuat kulit iritasi dan sangat mencemari lingkungan. Sehingga limbah yang dihasilkan perlu dilakukan proses lanjutan sebelum dibuang ke lingkungan.

Batako

Batako merupakan bahan bangunan yang berupa bata cetak alternatif pengganti batu bata yang tersusun dari komposisi antara pasir, semen *portland* dan air dengan perbandingan 1 semen : 7 pasir. Batako difokuskan sebagai konstruksikonstruksi dinding bangunan non struktural. Bentuk dari batako itu sendiri terdiri dari dua jenis, yaitu batako yang berlubang (*hollow block*) dan batako yang tidak berlubang (*solid block*) serta mempunyai ukuran yang bervariasi. (Wijanarko, W. 2008).

Persyaratan batako menurut PUBI (Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia) pasal 6 yang dikutip oleh Wijanarko, W. (2008) antara lain permukaan batako harus mulus, berumur minimal satu bulan, pada waktu pemasangan harus sudah kering, berukuran panjang ± 400 mm, lebar ± 200 mm, dan tebal $\pm 100 - 200$ mm, kadar air 25-35%, dengan kuat tekan 2 – 7 MPa. Mutu batako akan bertambah tinggi seiring bertambahnya umur batako. Oleh karena itu sebagai standar kekuatan batako dipakai kekuatan pada umur batako 28 hari. Selain itu, kekuatan batako juga dipengaruhi oleh tingkat kepadatannya. Dalam pembuatan batako diusahakan campuran dibuat sepadat mungkin. Hal ini memungkinkan untuk menjadikan bahan semakin mengikat, serta untuk membantu merekatnya bahan pembuat batako dengan semen yang dibantu oleh air (Armendariz, 2015).

Pengujian Kuat Tekan

Kuat tekan batako adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji batako hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan adalah faktor air semen, kepadatan, umur benda uji, jenis semen, jumlah semen, dan sifat agregat. Untuk mendapatkan kuat tekan tinggi maka diperlukan agregat yang sudah memenuhi persyaratan.

Sifat agregat yang paling berpengaruh adalah kekasaran permukaan dan ukuran maksimumnya. Jumlah semen juga dapat menentukan kuat tekan benda uji, tetapi banyak sedikitnya jumlah semen yang dimaksud untuk meningkatkan kuat tekan benda uji harus diperhatikan nilai faktor air semen yang dihasilkan oleh adukan semen tersebut. Sedangkan Tjokrodimulyo (1996) menjelaskan bahwa "Dalam teori teknologi beton dijelaskan bahwa faktor-faktor yang sangat mempengaruhi kekuatan beton diantara lain faktor air semen dan kepadatan, umur beton, jenis semen, jumlah semen, dan sifat agregat". Untuk mengetahui kuat tekan batako dapat dilihat dari rumus sebagai berikut.

$$P = \frac{F_{maks}}{A} \dots\dots\dots$$

Keterangan :

P = Kuat tekan (N/m²)

F_{maks} = Gaya maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (m²).

Pengujian Penyerapan Air

Penyerapan air adalah perbandingan berat air yang mampu diserap pori terhadap berat kering benda uji, dinyatakan dalam persen. Besar atau kecilnya penyerapan air sangat dipengaruhi pori atau rongga yang terdapat pada batako. Semakin banyak pori yang terkandung dalam benda uji maka akan semakin besar penyerapan sehingga ketahanannya akan berkurang. Pori yang terdapat pada benda uji terjadi karena kurang tepatnya kualitas dan komposisi material penyusunnya. Pengaruh rasio yang terlalu besar dapat menyebabkan rongga karena terdapat air yang tidak bereaksi dan kemudian menguap dan meninggalkan rongga. Berdasarkan SNI 03-0349-1989 untuk mengetahui nilai penyerapan air dapat dilihat dari rumus sebagai berikut.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \dots\dots\dots$$

Keterangan :

A = Berat batako dalam keadaan basah (kg).

B = Beban batako dalam keadaan kering (kg).

Pengujian *Atomic Adsorption Spectroscopy* (AAS)

Atomic Absorption Spectrophotometry (AAS) adalah suatu alat yang digunakan pada metode analisis untuk penentuan unsur – unsur logam dan metaloid yang berdasarkan pada penyerapan absorpsi radiasi oleh atom-atom bebas unsur tersebut. Teknik analisa dari AAS ini pertama kali diperkenalkan oleh Welsh (Australia) pada tahun 1955. Kegunaan AAS adalah untuk menganalisis kandungan logam-logam dalam suatu sample, hampir semua jenis logam bisa dianalisis dengan AAS. AAS mendeteksi elemen dalam sampel cair atau padat melalui penerapan karakteristik panjang gelombang radiasi elektromagnetik dari sumber cahaya. Masing masing unsur akan menyerap panjang gelombang secara berbeda, dan absorbansi ini diukur dengan standar. Akibatnya, AAS memanfaatkan panjang gelombang radiasi berbeda yang diserap oleh atom berbeda.

Teknis pengujian AAS dilakukan dengan cara melakukan preparasi sampel terlebih dahulu yaitu dilakukan filtrasi menggunakan kertas filter dengan pori berukuran 0,45µm untuk memisahkan presipitat yang ada, setelah itu pengujian larutan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 13-6974-2003.

Pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF)

X-Ray Fluorescence merupakan teknik analisa non destruktif yang digunakan untuk identifikasi serta penentuan konsentrasi elemen yang ada pada sampel padat, bubuk ataupun cair. Analisa dengan XRF akan diperoleh analisis unsur penyusun sampel. Secara umum, XRF spektrometer mengukur panjang gelombang komponen material secara individu dari emisi fluoresensi yang dihasilkan sampel saat diradiasi sinar-X (Solovyov, 2000).

XRF merupakan salah satu metode analisis yang tidak merusak sampel, dapat digunakan untuk analisis unsur dalam bahan secara kualitas dan kuantitas. Hasil analisis kualitatif ditunjukkan oleh puncak spektrum yang mewakili jenis unsur sesuai dengan energi sinar-X karakteristiknya, sedangkan analisis kuantitatif diperoleh dengan cara membandingkan intensitas sampel dengan standar. Hasil XRF berupa spektrum hubungan energi eksitasi dan intensitas sinar-X. Energi aktivasi menunjukkan unsur penyusun sampel dan intensitas menunjukkan nilai kualitas dari unsur tersebut. Semakin intensitasnya maka semakin tinggi pula persentase unsur tersebut dalam sampel (Jamaluddin, 2007).

Metode XRF secara luas digunakan untuk menentukan komposisi unsur suatu material. Tergantung pada penggunaannya, XRF dapat dihasilkan tidak hanya oleh sinar-X tetapi juga eksitasi primer yang lain seperti partikel alfa, proton atau sumber elektron dengan energi yang tinggi (Vicklund, 2008).

Metode XRF digunakan untuk analisa unsur penyusun suatu bahan menggunakan

radiasi sinar-X yang diserap dan dipantulkan oleh target atau sampel. Metode ini paling banyak digunakan untuk analisis unsur dari bahan batuan, mineral dan sedimen (Fitton, G., 1997).

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada fasilitas laboratorium PT Global Minerallium Corporindo yang berlokasi di Kecamatan Prambanan, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.

Preparasi Sampel

Sampel penelitian akan dilakukan preparasi dengan pemisahan antara cairan dan padatnya dari bentuk lumpur dengan cara dilakukan pemanasan menggunakan oven. Setelah kering, *tailing* padatan akan dilakukan penghalusan *tailing* dengan cara ditumbuk dengan cobek kayu untuk mengecilkan ukurannya. Setelah ukuran seragam, *tailing* akan dicampur dengan kapur (CaOH) untuk menurunkan pH menjadi netral. Setelah pH *tailing* menjadi netral, *tailing* dikeringkan menggunakan oven lagi untuk mengurangi kadar airnya, dan setelah itu *tailing* ditumbuk lagi untuk mendapatkan ukuran yang seragam dan ukuran yang diinginkan. Sampel *tailing* yang sudah memiliki memiliki ukuran yang seragam akan diuji menggunakan pengujian XRF dan AAS untuk mengetahui kandungan unsur dalam *tailing* apakah telah sesuai dengan baku mutu atau tidak, baku mutu yang digunakan adalah Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 6 Tahun 2021.

Preparasi Sampel

1. Persiapan
 - a. Menyiapkan perkakas, alat, dan bahan.
 - b. Mengayak pasir dengan ayakan berukuran 1 cm untuk memisahkan batu
 - c. Mengayak kembali pasir dengan ukuran ayakan kecil hingga ukuran 150 mesh.
2. Pembuatan Adonan Batako
 - a. Menaburkan pasir yang sudah diayak setebal 1 cm ke kotak adukan
 - b. Menuang semen diatas pasir dan *tailing* sesuai variabel bebas yang ditetapkan.
 - c. Mengaduk bahan hingga kedua warna tercampur dan membentuk gundukan dan lubang di bagian tengah.
 - d. Menambahkan air sedikit demi sedikit hingga terbentuk adonan yang merata.
 - e. Menambahkan kerikil sesuai takaran yang sesuai dan mengaduknya hingga setiap kerikil terlapsi secara merata.
 - f. Memeriksa adonan dengan mengambil segenggam penuh adonan dan membentuknya seperti bola. Jika bola tersebut tidak retak dan tangan sedikit basah maka adonan siap dicetak.

3. Pencetakan Batako

- a. Menyiapkan alat cetakan dan memasukkan adonan batako kedalam ember dan menempatkan adonan di bawah cetakan
- b. Melapisi cetakan dengan oli dan menuangkan adonan ke cetakan
- c. Meletakkan alat penekan cetakan dan menekan alat tersebut dengan lurus lalu mengijaknya dengan kaki secara perlahan.
- d. Meletakkan bagian bawah cetakan ke anah perlahan.
- e. Mengangkat bagian bawah cetakan dan tempatkan disamping batako.
- f. Membiarkan batako baru selama sehari.
- g. Membersihkan cetakan dari debu dan beri minyak.

Analisa Mekanis

Analisa hasil *post treatment* setelah 28 hari batako dilakukan uji mencakup uji tekan dan penyerapan air. Spesimen uji tekan batako memiliki dimensi luas penampang 14 cm². Hasil uji kuat tekan dan dan penyerapan air kemudian akan dibandingkan dengan standar batako pada SNI 03-0349-1989

HASIL PENELITIAN

Hasil Analisa Kimia *Tailing* sebelum Pembentukan Batako

Analisa kimia dilakukan uji pH dan uji komposisi kimia menggunakan XRF pada *tailing* padat yang sudah dilakukan pengeringan. Uji pH dilakukan menggunakan alat ukur pH tanah dengan cara membasahi sedikit *tailing* padat dengan air kemudian akan ditanamkan bagian probe pada alat ukur pH tersebut. Sedangkan uji komposisi kimia menggunakan alat XRF *portable* dengan hasil sesuai pada tabel dibawah ini. Sementara itu, unsur yang tidak terdeteksi oleh XRF *portable* akan dilakukan analisis komposisi menggunakan AAS untuk dapat diketahui konsentrasinya dengan hasil sesuai dengan tabel dibawah ini.

Tabel 1 Data Hasil Pengujian pH

Sampel	pH awal	Kapur yang ditambahkan (gr/kg)	pH akhir
1	4,2	2	7
2	4,2	2,5	7,7
3	4,2	3	8,1
4	4,2	3,5	8

Tabel 2 Data Hasil Pengujian XRF

Unsur	Kadar (%)	+/-	Kadar (mg/Kg)
As	-	-	-
Ag	5,333	0,178	53.330
Au	-	-	-
Cd	4,810	0,322	48.100
Cr	-	-	-
Cu	-	-	-
Fe	64,482	2,497	644.820
In	4,407	0,108	44.070
Hg	-	-	-
Ni	-	-	-
Pb	10,319	0,508	103.190
Pd	2,957	0,097	29.570
Se	-	-	-
Rh	1,730	0,062	17.300
Zn	5,962	2,097	59.620
Jumlah	100		

Tabel 3 Data Hasil Pengujian AAS

Unsur	Kadar (ppm)
Au	0,941
Ag	0,442
Cu	7,612

Hasil Uji Kuat Tekan

Analisa uji kuat tekan sesuai SNI 03-0349-1989 menggunakan alat uji tekan dengan setiap variasi diulang sebanyak 5x. Sampel A adalah variasi pembuatan batako tanpa campuran *tailing*, Sampel B adalah variasi pembuatan batako dengan campuran *tailing* sebanyak 10%, Sampel C adalah variasi pembuatan batako dengan campuran *tailing* sebanyak 20%, sedangkan Sampel D adalah variasi pembuatan batako dengan campuran *tailing* sebanyak 30%, Hasil dari uji kuat tekan dapat dilihat pada tabel dibawah berikut

Tabel 4 Data Uji Kuat Tekan

Sampel	Repetisi	Kuat Tekan (kgF/cm ²)	Rata-rata (kgF/cm ²)
A	1	110,38	111,87
	2	117,52	
	3	111,71	
	4	106,03	
	5	113,69	
B	1	90,80	91,10
	2	85,84	
	3	93,55	
	4	95,77	

Sampel	Repetisi	Kuat Tekan (kgF/cm ²)	Rata-rata (kgF/cm ²)
	5	89,55	
C	1	47,08	47,05
	2	48,88	
	3	45,83	
	4	46,85	
	5	46,59	
D	1	10,98	10,92
	2	9,34	
	3	10,14	
	4	11,77	
	5	12,37	

Hasil Uji Penyerapan Air

Analisa uji kuat tekan sesuai SNI 03-0349-1989 menggunakan alat uji tekan dengan setiap variasi diulang sebanyak 5x. Hasil dari uji kuat tekan dapat dilihat pada tabel dibawah berikut

Tabel 5 Data Penyerapan Air

Sampel	Repetisi	Penyerapan Air (%)	Rata-rata (%)
A	1	4,1	5,16
	2	6,3	
	3	6,3	
	4	5,2	
	5	3,9	
B	1	4,4	5,08
	2	5,3	
	3	5,5	
	4	5,1	
	5	5,1	
C	1	9,3	7,76
	2	5,5	
	3	6,3	
	4	7,7	
	5	10	
D	1	4,3	3,88
	2	3,1	

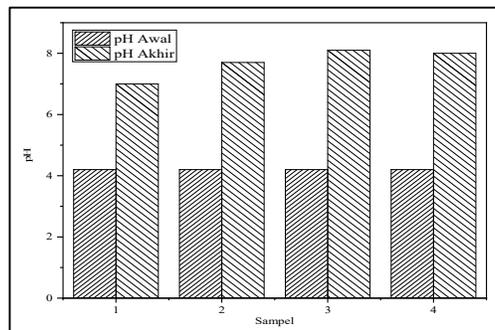
Sampel	Repetisi	Penyerapan Air (%)	Rata-rata (%)
	3	3,7	
	4	4,1	
	5	4,2	

PEMBAHASAN

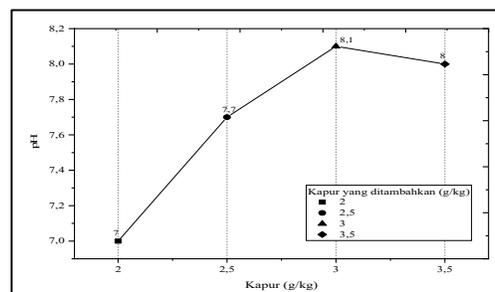
Analisa Kimia Kandungan *Tailing*

Tailing merupakan limbah yang dihasilkan dari suatu kegiatan produksi sebagai hasil samping yang tidak digunakan. Dalam penelitian ini digunakan *tailing* hasil pelindian bijih emas menggunakan reagen asam, sehingga dihasilkan *tailing* yang juga dalam kondisi asam. Kondisi asam ini dinilai cukup berbahaya akibat sifat korosifnya yang dapat mencemari lingkungan dan dapat mengganggu kesehatan. Oleh karena itu, diperlukan proses detoksifikasi atau netralisasi pH pada limbah atau *tailing* sebelum digunakan kembali.

Proses netralisasi ini dilakukan dengan mencampur *tailing* yang sudah dikeringkan dengan kapur atau CaOH. Dosis kapur yang digunakan dilakukan percobaan sesuai dengan tabel 1, dapat dilihat pada gambar 1 dan 2 berikut ini.



Gambar 1 Grafik Kenaikan pH pada Setiap Sampel



Gambar 2 Grafik Kenaikan pH pada Penambahan Jumlah Kapur Tertentu

Pada gambar 1, dapat terlihat bahwa di seluruh sampel *tailing* memiliki pH awal 4,2. Namun setelah ditambahkan kapur dengan dosis yang beragam, maka dapat dilihat kenaikan

pH hingga pH normal 7-8. Selain itu dapat dilihat juga pada gambar 2 pengaruh penambahan kapur akan semakin meningkatkan pH dari *tailing* dan mencapai puncaknya hingga penambahan 3 g/kg kapur mencapai pH 8,1.

Dari kedua grafik ini maka dapat diketahui bahwa kapur secara efektif dapat menetralisasi pH *tailing* padat. Kapur berperan sebagai agen penetral kandungan asam (H^+) pada *tailing* menjadi air atau uap air (H_2O). Selain itu kandungan Ca^+ pada kapur juga akan berperan sebagai agen alkali sehingga pH akan meningkat dari asam menuju basa (Krisnawati, dkk. 2019). Sehingga dengan jumlah kapur tertentu, dapat meningkatkan pH *tailing* dari asam dengan pH ± 4 hingga pH netral atau pH 7-8. Proses netralisasi pH ini selain untuk mengurangi dampak pada lingkungan juga untuk memenuhi baku mutu limbah padat industri pertambangan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 6 Tahun 2021. Dalam peraturan tersebut pasal 204 ayat (1) disebutkan bahwa *tailing* atau limbah padatan sebelum dibuang atau diolah kembali harus dilakukan netralisasi hingga mencapai pH netral (pH 7-10).

Namun seperti yang dapat dilihat dalam gambar 2, terjadi penurunan pH pada sampel 4 dengan nilai pH 8 dan penambahan 3,5 g/kg kapur dibandingkan dengan sampel 3 nilai pH 8,1 dan penambahan 3 g/kg kapur. Penurunan ini seharusnya tidak mungkin terjadi secara teoritis karena penambahan kapur yang mengandung Ca^+ ini bertindak sebagai agen alkali sesuai yang dibahas sebelumnya. Akan tetapi penurunan ini mungkin terjadi akibat faktor teknis saat pelaksanaan penelitian, diantaranya adalah kumpur pada *tailing* belum homogen akibat kurang pengadukan sehingga terjadi penurunan pH. Selain itu terdapat kemungkinan juga akibat kesalahan pengukuran pH menggunakan pH meter *soil* karena hanya mendeteksi dari beberapa titik campuran padatan *tailing* dalam wadah.

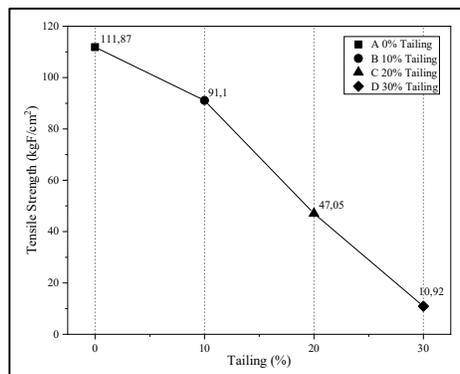
Selain pH, uji kandungan kimia pertama dilakukan menggunakan XRF *portable* sesuai hasil yang didapatkan pada tabel 2. Diketahui bahwa unsur-unsur yang terdapat dalam *tailing* sudah memenuhi baku mutu pengolahan limbah sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 6 Tahun 2021 pada lampiran XXI. Akan tetapi masih terdapat unsur yang belum memenuhi baku mutu. Diantaranya adalah unsur Cadmium (Cd), Timbal (Pb), dan Seng (Zn). Oleh karena keterbatasan sumber daya untuk melaksanakan proses detoksifikasi unsur tersebut, maka pada penelitian ini tidak dilakukan detoksifikasi. Akan tetapi walau tidak dilakukan detoksifikasi unsur tersebut, penelitian ini tetap dilanjutkan untuk dapat diketahui apakah mampu *tailing* ini digunakan untuk bahan campuran batako.

Uji kandungan kimia kedua dilakukan menggunakan AAS untuk mendeteksi unsur yang tidak dapat dideteksi dengan XRF akibat keterbatasan skala pengukuran. Sampel *tailing* pertama akan dilakukan pelarutan logam berharga sesuai unsur yang ingin diuji, kemudian

larutan akan dilakukan uji AAS. Dari hasil yang di dapatkan pada tabel 3, dapat dilihat bahwa unsur logam berharga emas (Au) memiliki kadar 0,941 ppm yang termasuk dalam kategori kadar rendah. Hal ini didasarkan pada kandungan kadar emas sebelum pengolahan, yaitu sekitar 8,19 ppm. Dengan data kadar emas tersebut, apabila dilakukan pengolahan kembali maka tidak akan bernilai ekonomis sehingga dapat dikategorikan sebagai *tailing*. Hal ini juga terjadi pada kadar perak (Ag) yang didapatkan yaitu 0,442 ppm dan kadar tembaga (Cu) 7,612 ppm.

Pengaruh Campuran *Tailing* terhadap Kuat Tekan Batako

Kandungan *tailing* sebagai campuran dalam batako ini tentunya akan mempengaruhi nilai kuat tekan batako. Hal ini dikarenakan kandungan yang berada dalam *tailing* dapat mempengaruhi sifat mekanis dari batako itu sendiri. Sesuai dengan SNI 03-0349-1989, nilai kuat tekan batako juga memiliki nilai standar minimum. Hal ini bertujuan agar bangunan yang dihasilkan dari batako tersebut kuat dan tidak mudah roboh. Dari data pada tabel 4.3, didapatkan nilai tekan rata-rata pada gambar 5.3 berikut ini.



Gambar 3 Nilai Kuat Tekan Rata-rata Batako pada Variasi Campuran *Tailing*

Pengujian tersebut dilakukan pada adonan batako yang sudah dicetak dan juga sudah dilakukan pengeringan selama 28 hari karena kekuatan batako akan bertambah tinggi seiring dengan bertambahnya umur batako (Anhadi, dkk. 2018).

Dari gambar 3 tersebut dapat diketahui dengan semakin bertambahnya persentase *tailing* pada campuran pembuatan batako akan semakin menurunkan nilai rata-rata kuat tekan batako. Hal ini mungkin terjadi akibat kandungan dari *tailing* yang tidak mengandung banyak senyawa silikat. Pada variasi tanpa *tailing*, akan mengandung lebih banyak senyawa silikat yang mendominasi adonan batako. Hal tersebut juga didukung dengan penurunan kuat tekan rata-rata pada persentase *tailing* rendah 10% yang berarti kandungan silikat dari pasir pada adonan akan menurun seiring dengan bertambahnya bahan baru berupa *tailing* ke dalam adonan. Semakin tinggi persentase *tailing* pada 30%, maka pasir akan semakin berkurang

sehingga kandungan senyawa silikat pada adonan juga akan berkurang. Peran senyawa silikat dalam batako sendiri adalah sebagai pengisi diantara partikel karena ukuran butir atomnya yang kecil. Sehingga apabila direaksikan bersama dengan air akan menghasilkan kalsium silikat hidrat yang akan mengeras dan meningkatkan kekuatan batako (Kalimantoro, 2016).

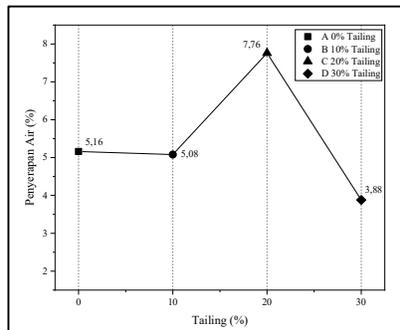
Namun sesuai dengan SNI 03-0349-1989, batako tipe F yang dibentuk dan termasuk batako pejal masih terdapat nilai standar yang terpenuhi. Pada variasi B *tailing* 10% yang mendapatkan nilai kuat tekan bruto rata-rata yaitu 91,10 kgF/cm² dan nilai kuat tekan bruto satuan sudah melewati minimal 65 kg/F sehingga dengan nilai tersebut variasi B lolos baku mutu II, III, dan IV. Hal ini berarti batako yang dibentuk dengan campuran 10% *tailing* dapat digunakan sesuai dengan baku mutu tersebut. Hal serupa juga terjadi pada variasi C campuran *tailing* 20% yang mendapatkan nilai kuat tekan bruto rata-rata 47,05 kgF/cm² dan nilai kuat tekan bruto satuan melebihi minimum 35 kgF/cm² sehingga nilai tersebut dapat dikategorikan lolos baku mutu III dan IV. Sedangkan untuk variasi D campuran *tailing* 30% mendapatkan nilai kuat tekan bruto rata-rata 10,92 kgF/cm² dan nilai kuat bruto satuan terendah 9,34 kgF/cm², sehingga dengan nilai ini variasi D tidak lolos uji baku mutu dan tidak dapat digunakan sebagai bahan konstruksi bangunan.

Selain dibandingkan dengan SNI, dapat dilihat juga variasi A tanpa campuran *tailing* sebagai variabel kontrol yang mendapatkan nilai kuat tekan bruto rata-rata tertinggi dibandingkan dengan variasi lain yaitu 111,87 kgF/cm². Selain itu juga nilai kuat tekan bruto satuan terendah didapatkan nilai 106,03 kgF/cm² yang juga lebih tinggi jika dibandingkan variasi lain. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan *tailing* akan semakin menurunkan nilai kuat tekan, salah satu penyebabnya adalah pengurangan kadar silika dalam adonan yang berperan sebagai unsur penguat batako.

Dalam gambar grafik 5.3 juga dapat dilihat terjadi penurunan signifikan pada kuat tekan antara variasi C campuran *tailing* 20% dan variasi D campuran *tailing* 30%. Sesuai dengan yang sudah dijelaskan sebelumnya karena berkurangnya kandungan silika yang mengurangi kuat tekan. Akan tetapi terdapat juga kemungkinan kesalahan yang terkait dalam pembuatan batako tersebut. Hal ini kemungkinan terjadi karena campuran adonan yang terbentuk belum homogen sehingga kuat tekan tidak merata di seluruh permukaan batako. Selain itu juga terdapat kemungkinan terjadinya rongga pada batako saat pencetakan akibat proses pemadatan yang tidak merata sehingga menurunkan nilai kuat tekan batako. Rongga ini mungkin terjadi karena pengadukan yang kurang merata sehingga menyebabkan partikel air terperangkap saat pencetakan batako. Sehingga pada proses *curing* atau pengeringan, partikel air yang menguap tersebut akan menyisakan rongga pada bagian dalam batako.

Pengaruh Campuran *Tailing* terhadap Penyerapan Air

Nilai penyerapan air pada batako menjadi penting karena apabila batako memiliki nilai penyerapan air tinggi dapat membuat batako menjadi rapuh dan mudah hancur. Terlebih apabila batako digunakan pada dinding luar yang digunakan untuk menahan pondasi bangunan di bagian luar yang bersentuhan langsung dengan lingkungan. Oleh karena itu dilakukan uji penyerapan air untuk menyesuaikan dengan baku mutu standar SNI 03-0349-1989. Dari hasil uji penyerapan air yang didapatkan pada tabel 4, diperoleh grafik pada gambar 4 berikut ini.



Gambar 4 Grafik Persen Penyerapan Air Batako pada Variasi Campuran *Tailing*

Uji ini dilakukan dengan cara merendam batako dalam air hingga tercelup selama 1 hari. Setelah itu, air pada permukaan batako akan diseka dan ditimbang sebagai berat basah. Kemudian batako akan dilakukan pengeringan dalam oven dengan suhu 105°C. Batako yang sudah dioven akan ditimbang kembali sebagai berat kering dan selisih berat tersebut akan dihitung sebagai nilai persen penyerapan air.

Pada gambar 4 tersebut dapat dilihat bahwa nilai penyerapan air terendah diperoleh pada variasi D campuran *tailing* 30% dengan nilai 3,88%. Selanjutnya adalah variasi B campuran *tailing* 10% dengan nilai 5,09% yang diikuti dengan variasi A tanpa campuran *tailing* dengan nilai 5,16%. Sedangkan penyerapan air tertinggi diperoleh pada variasi C campuran *tailing* 20% dengan nilai 7,76%. Dari seluruh nilai tersebut, sudah dikategorikan memenuhi baku mutu SNI 03-0349-1989 yang memiliki nilai maksimum penyerapan air 25% pada baku mutu I dan 35% pada baku mutu II. Hal ini menandakan dalam hal penyerapan air, batako yang terbentuk dari seluruh campuran *tailing* sudah sesuai dengan baku mutu. Selain itu jika dibandingkan dengan variasi A sebagai variabel kontrol dengan tanpa campuran *tailing*, nilai penyerapan air juga memiliki nilai yang hampir serupa dengan seluruh variasi tanpa perubahan yang signifikan.

Akan tetapi terjadi perbedaan nilai penyerapan air yang signifikan pada campuran *tailing* 20% dan 30%. Hal ini mungkin terjadi akibat terciptanya rongga pada campuran batako 30% seperti yang terjadi pada penurunan nilai kuat tekan yang signifikan. Rongga yang

terbentuk ini menyebabkan air yang masuk dan keluar saat proses pengujian menjadi lebih mudah, sehingga pada proses penimbangan berat basah dan berat kering menjadi tidak berbeda secara signifikan. Selain kemungkinan tersebut, terdapat juga kemungkinan kesalahan dalam pelaksanaan pengeringan batako.

Pengeringan batako yang sudah dicetak dalam dilakukan dengan menumpuk diatas batako lainnya. Hal ini tentu dapat menghambat proses pengeringan batako yang berada dibawah batako lainnya. Kemungkinan lain dapat terjadi akibat ketidakseragaman ukuran butir bahan yang digunakan dapat menyebabkan terciptanya rongga yang berbeda setiap sampel sehingga penyerapan air pada setiap sampel juga terjadi perbedaan. Oleh karena itu saran untuk penelitian selanjutnya perlunya dilakukan pengelompokan atau keseragaman ukuran agar hasil uji penyerapan air menjadi lebih akurat dan sesuai dengan standar yang berlaku.

Analisis Jumlah Campuran *Tailing* yang Optimal

Pada pembahasan poin 1 hingga 3, maka dapat diketahui campuran *tailing* yang optimal adalah pada variasi A campuran *tailing* 10%. Hal ini dikarenakan pada variasi B campuran *tailing* 10% didapatkan nilai kuat tekan bruto rata-rata tertinggi yaitu 91,10 kgF/cm² jika dibandingkan dengan variasi lain. Sedangkan nilai penyerapan air juga diperoleh dalam nilai yang cukup baik yaitu 5,09% dengan selisih 0,07% dibandingkan variasi A tanpa campuran *tailing* sebagai variabel kontrol. Berdasarkan baku mutu, nilai kuat tekan dan penyerapan air pada variasi B sudah memenuhi standar untuk dapat digunakan pada baku mutu II, III, dan IV pada konstruksi bangunan. Dilihat pada variasi lainnya, variasi C campuran *tailing* 20% dan variasi D campuran *tailing* 30% memiliki selisih nilai kuat tekan bruto rata-rata yang cukup besar. Walau dalam nilai penyerapan air variasi B campuran *tailing* 10% tidak mendapatkan nilai terendah jika dibandingkan dengan variasi D campuran *tailing* 30%, akan tetapi nilai tersebut dapat dikategorikan baik karena baku mutu maksimum penyerapan air adalah 25-35%.

Akan tetapi perlu diketahui bahwa masih terdapat unsur dalam *tailing* yang belum memenuhi baku mutu Peraturan Lingkungan Hidup seperti kandungan Timbal (Pb), Seng (Zn), dan Cadmium (Cd). Hal ini membuat adanya kemungkinan baru karena apabila ketiga unsur tersebut dihilangkan, dapat membuat nilai kuat tekan dan penyerapan air menjadi berubah juga. Oleh karena itu diperlukan adanya penelitian lanjutan yang dapat menguji kuat tekan dan penyerapan air pada *tailing* yang sudah lolos baku mutu lingkungan hidup

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari hasil penelitian adalah sebagai berikut :

1. Peningkatan pH tertinggi diperoleh pada penambahan 3 g/kg kapur dari pH 4,2 menjadi 8,1. Selain itu terdapat unsur yang masih belum lolos baku mutu lingkungan hidup seperti Cadmium (Cd), Timbal (Pb), dan Seng (Zn).
2. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada campuran *tailing* 0% dengan nilai 111,87 kgF/cm² 10% yang memenuhi standar baku mutu tingkat I SNI 03-0439-1989, sedangkan pada campuran *tailing* 10% diperoleh nilai kuat tekan sebesar 91,10 kgF/cm² yang memenuhi standar baku mutu tingkat II SNI 03-0439-1989 kemudian terjadi penurunan nilai kuat tekan pada penambahan *tailing* 20% sebesar nilai 47,05 kgF/cm² yang memenuhi standar baku mutu tingkat III SNI 03-0439-1989 serta pada penambahan *tailing* 30% sebesar 10,92 kgF/cm² yang tidak memenuhi standar baku mutu SNI 03-0439-1989.
3. Tidak dijumpai secara langsung kaitan antara persentasi *tailing* terhadap persentase penyerapan air, Hal ini mungkin disebabkan proses pengeringan batako yang variatif.
4. Campuran *tailing* 0% pada pembuatan batako merupakan campuran yang optimal karena memperoleh nilai kuat tekan 111,87 kgF/cm² dan nilai persen penyerapan air 5,16%. Kedua nilai ini sudah memenuhi baku mutu I,II, III, IV SNI 03-0439-1989, sedangkan variasi campuran *tailing* yang mendekati nilai campuran optimum adalah variasi campuran *tailing* 10% yang memperoleh nilai kuat tekan 91,10 kgF/cm² dan nilai penyerapan air sebesar 5,09%.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahzan, N, S, dan Prasetya, D, S, B. 2018. Uji Porositas dan Kuat Tekan Batako Ringan Berbahan Dasar Limbah Pengolahan Emas (LPE) dengan Filler Pohon Pisang (FPP). Mataram: LITPAM, Nusa Tenggara Barat, Indonesia.
- Amalia, Y., & Soepriyanto, S. (2019). Utilization of Slag Powder for Cement Substitution Based on The Compressive Strength and Penetration of Chloride Ions. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 20(2), 58–61.
- Anhadi, Aulia Rahmina dan Yulianto, Hariadi. (2018). Karakteristik Kuat Tekan dan Penyerapan Air Batako Dengan Penambahan Serbuk Kayu dan Fly Ash. Universitas Islam Indonesia.
- Arif, Mustakim. (2021) Pemanfaatan Limbah Tailing Pertambangan Untuk Bahan Campuran Pembuatan Batako Untuk Pengurangan Prosentase Penggunaan Semen. Diploma Thesis, Universitas Muhammadiyah Mataram.
- Ariyanti, D. 2019. Ekstraksi Au Dari Batuan Mineral Dengan Hidrometalurgi Aerasi-Sianidasi Serta Kajian Perbandingan Efektivitasnya Pada Berbagai Metode Dan Pelarut. Surakarta: *Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia*, Vol 4, No 2.
- Badan Standarisasi Nasional. SNI 03-0349-1989 Bata Beton untuk Pasangan Dinding.
- Basset, W. H. (1993). *Clays' Handbook of Environmental Health*, 6th ed, Chapman & Hall, London.

- Budi, I. 2011. Kajian Sedimen Melayang pada Sub DAS Sei Kalembah (DAS Padang), Studi Kasus : Perkebunan Kelapa Sawit PTPN 4 Kebun Pabatu. Bogor : Institut Pertanian Bogor
- Chang, R and Wayne, T. 1998. The Top Fifty Industrial Chemicals, 1st ed, Random House, New York.
- Darmono, 2009. Penerapan Teknologi Produksi Bahan Bangunan Berbahan Pasir Bagi Korban Gempa di Kulonprogo Serta Analisis Mutu dan Ekonominya, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Faudi, A, M dan Sulistya, H. 2008. Pemutihan Pulp Dengan Hidrogen Peroksida. Surakarta: Reaktor, Vol. 12 No. 2
- Gates, T. 1990. Lime and Limestone, In : Ullaman's Encyclopedia at Industrial Chemistry, Vol 15, VCH, 1990.
- Gesner, H,G. 1980. Consended Chemical Dictionary, 10th ed. Van Nostrand Renhal Co, New York.
- Juwariyah. 2009. Efek Komposisi Agregat Batu Apung dan Epoxy Resin dalam Pembuatan Polymer Concrete Terhadap Karakteristiknya. Medan: Program Pasca Sarjana Universitas Sumatera Utara.
- Kalimantoro, Thaniya Triagustine dan Trihardiningrum, Yulinah. (2016). Stabilisasi/Solidifikasi Tailing Tambang Emas Rakyat Kulon Progo Menggunakan Semen Portland dan Tanah Tras. ITS : Jurnal Teknik.
- Krisnawati, D. dan Bowo, C. 2009. Aplikasi Kapur Pertanian Untuk Peningkatan Produksi Tanaman Padi Di Tanah Sawah Aluvial. Jember: Program Studi Argoteknologi Universitas Jember.
- Marsden, J., dan House. 2006. The Chemistry of Gold Extraction, second ed. Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.
- Marsden, J., dan House. 2009. The Chemistry of Gold Extraction. Littleton, Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc
- Mukuan, H. 2008. Pengaruh Konsentrasi Sianida Terhadap Produksi Emas. Manado: Chem. Prog. Vol. 1, No. 1
- Nawy, Edward, G. 1990. Beton Betulang Suatu Pendekatan Dasar. Terjemahan, PT ERESKO, Bandung
- Nebel, B.J. 990. Environmental Science, The Way the World Works, 3rd ed. Prentice Hall Inc, New Jersey.
- Newson, M. 1992. Managing the Human Impact of the Natural Environment. Patterns and Processes, Belhaven Press, New York.
- Pujianto, A. 2010. Beton Mutu Tinggi dengan Bahan Tambah Superplastisizier dan Fly Ash. Jurnal Ilmiah Semesta Teknik. Vol.13 No.2: 171-180. Bantul.
- Reynolds, W. 1997. Engineering Thermodynamics. International Student Edition
- Riogilang, H. 2009. Pemanfaatan Limbah Tambang Untuk Bahan Konstruksi Bangunan. Manado: Ekoton Vol. 9 No.1: 69-73.
- Sarempa, Apriani. 2017. Optimasi Recovery Emas Dan Perak Dengan Sianidasi Pada Deposit Bijih Emas Kadar Rendah Di Pt. Nusa Halmahera Minerals Daerah Gosowong

Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara. Yogyakarta: Program Studi Teknik Pertambangan Sekolah Tinggi Teknologi Nasional.

- Sayifuddin dan Suprpto. 2010. Pengaruh Aerasi pada Sianidasi Emas dari Batuan Mineral. ITS. Surabaya.
- Setiani, O. 2002. Imobilisasi Tembaga (Cu) dan Netralisasi Aktivitas Ion Hidrogen (pH) pada Limbah Cair Industri Peleburan Emas dengan Batu Gamping. Volume 1. Jakarta : Kesehatan Lingkungan Indonesia
- Simbolon, T, 2009. Pembuatan dan Karakterisasi Batako Ringan Yang Terbuat dari Styofom-Semen, Thesis, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Smith, A. and Mudder, T. (1991) The Chemistry and Treatment of Cyanidation Waste, Mining Journal Books Ltd., London.
- Tjokrodimuljo, K. 1996. Teknologi Beton. Yogyakarta. Nafir
- Tjokrodimulyo, Kardiyono. 1992. Teknologi Beton, Biro Penerbit. Yogyakarta.
- Tupang, Hesli. 2014. Studi Penggunaan Limbah Tailing Pt. Freeport Indonesia Sebagai Agregat Halus Dalam Campuran Paving Block. Yogyakarta: Profram Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta..