

## KARAKTERISTIK LIMBAH TAILING SEBAGAI BAHAN BAKU MORTAR SIAP PAKAI

### *Characteristics of Tailing Waste for Material of Instant Mortar*

Adhi Yudha Mulia<sup>1</sup>, Indriansi Nirwana Sari<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Pusat Litbang Perumahan dan Peremukiman,  
Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat  
Jalan Cileunyi Wetan, Kabupaten Bandung 40393  
Surel: <sup>1</sup>adhi.y@puskim.pu.go.id, <sup>2</sup>nirwana.tr@gmail.com

Diterima: 15 Januari 2018; Disetujui: 30 April 2018

#### **Abstrak**

Pembangunan infrastruktur di Provinsi Papua masih tertinggal, disebabkan oleh mahalnya biaya konstruksi, dengan Indeks Kemahalan Konstruksi (IKK) Provinsi Papua tahun 2016 mencapai 239,98. Salah satu solusi adalah memanfaatkan limbah tailing sebagai bahan bangunan. Penelitian ini bertujuan mendapatkan komposisi mortar siap pakai berbahan baku tailing yang memenuhi persyaratan teknis dan aman bagi lingkungan. Penelitian ini meliputi rangkaian pengujian laboratorium untuk mengetahui komposisi kimia, karakteristik fisik dan gradasi tailing, karakteristik mekanik mortar, serta toksisitas tailing, campuran mortar dan produk mortar (campuran mortar ditambah air). Sampel tailing diambil di antara mile area (MA) 205 dan MA 227 di area pengendapan ModADA. Hasil uji komposisi kimia menunjukkan kandungan  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mencapai 68,8%. Analisis gradasi dan karakteristik fisik juga memenuhi persyaratan sebagai agregat halus. Nilai modulus kehalusan untuk sampel MA 227 adalah rendah, dan dapat meningkatkan penyusutan mortar. Produk mortar siap pakai yang dibuat dan diuji adalah plesteran, thinbed bata ringan dan finishing plaster, dengan variasi filler kapur dan abu terbang. Produk plesteran dan thinbed bata ringan, serta finishing plaster dengan filler kapur yang memenuhi persyaratan kuat tekan. Produk plesteran dan thinbed bata ringan dapat digunakan untuk dinding pemikul beban maupun dinding pengisi, serta dapat diaplikasikan untuk dinding eksterior maupun interior. Hasil uji Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) terhadap tiga fase tailing juga memenuhi persyaratan toksisitas untuk limbah B3.

**Kata kunci:** Tailing, mortar, plesteran, thinbed bata ringan, TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure).

#### **Abstract**

Infrastructure development in Papua Province is struggled, due to high construction cost, with Construction Price Index 239,98. One of the solutions is utilizing tailing waste as building material. The research aims to obtain composition of tailing based instant mortar which meet the technical specification and safe for environment. The research consists of laboratory testing series to obtain chemical composition, physical properties and gradation of tailing, mechanical properties of mortar, and toxicity of tailing, mortar mixing, and mortar product (hardened mortar mixing). Samples are taken between mile area (MA) 205 and MA 227 di ModADA deposition area. Chemical composition shows the content of  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  is 68,8%. Gradation analysis and physical properties of tailing meet the requirement for fine aggregate. Fineness modulus of MA 227 sample has smaller value, that it can increase mortar shrinkage. Instant mortar products to be sampled and tested are plaster, thinbed, and finishing plaster, with filler variation of limestone and fly ash. Plaster and thinbed, as well as limestone-filled finishing plaster meet the compression strength requirement, that they can be used in load-bearing wall and infill wall, and also to be implemented in exterior and interior wall. Toxicity Characteristic Leaching Procedure test of 3 (three) phases of tailing meet the toxicity requirement for hazardous and toxic waste.

**Keywords:** Tailing, mortar, plaster, thinbed, TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure).

#### **PENDAHULUAN**

Pembangunan infrastruktur di Indonesia bagian timur masih tertinggal apabila dibandingkan dengan wilayah lain di Indonesia. Hal ini disebabkan oleh

mahalnya biaya konstruksi di wilayah tersebut. Provinsi Papua sebagai provinsi paling timur Indonesia merupakan daerah dengan biaya konstruksi tertinggi di Indonesia. Berdasarkan data

Indeks Kemahalan Konstruksi (IKK) tahun 2016, Provinsi Papua adalah yang tertinggi di Indonesia dengan nilai 239,98 (Badan Pusat Statistik 2017). Tingginya biaya konstruksi di Papua menyebabkan kualitas bangunan, khususnya gedung dan rumah milik masyarakat adalah rendah, karena masyarakat menggunakan bahan bangunan yang terjangkau bagi mereka. Salah satu solusi untuk mengatasi mahalannya harga bahan bangunan di Provinsi Papua adalah memanfaatkan bahan limbah sebagai bahan bangunan.

Salah satu limbah yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan bangunan adalah *tailing* atau dikenal juga dengan pasir sisa tambang (sirsat). *Tailing* dihasilkan dari aktivitas pertambangan, dalam hal ini PT Freeport Indonesia. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 101 tahun (2014), *tailing* diklasifikasikan sebagai limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) dengan kategori bahaya 2. Hal ini menyebabkan pemanfaatan *tailing* masih terbatas, antara lain sebagai beton polimer untuk infrastruktur jalan dan jembatan (Irawan et al. 2014) Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman (Puskim) melakukan penelitian kelayakan teknis dan toksisitas limbah *tailing* sebagai bahan baku mortar siap pakai. Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk mendapatkan komposisi produk mortar siap pakai (mortar instan) berbahan baku limbah *tailing* yang memenuhi persyaratan teknis serta aman bagi lingkungan. Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah munculnya industri baik skala besar maupun skala kecil dan menengah yang memproduksi mortar siap pakai berbahan baku limbah *tailing* sehingga dapat dipasarkan dan digunakan dalam pembangunan di wilayah Indonesia Timur, khususnya di Provinsi Papua, dan pada akhirnya dapat mengurangi biaya konstruksi di wilayah tersebut.

*Tailing* dihasilkan dari proses penggerusan bijih dan pemisahan dengan konsentrat logam menggunakan proses pengapungan (*froth flotation*) serta konsentrator Knelson. Pemanfaatan limbah *tailing* untuk digunakan sebagai agregat, memiliki kelebihan, yaitu fiksasi mineral menjadi matriks yang stabil dan mengontrol debu. Apabila dicampur dengan semen, maka manfaat yang didapat, antara lain lebih murah dan sederhana, komposisi campuran dapat divariasikan sesuai dengan penggunaan, serta sifat mekanis dan fisik dapat dikontrol (Gidley dan Sack 1984). Pemanfaatan limbah pertambangan yang mengandung logam sebagai bahan bangunan berbasis semen dapat mengurangi aktivitas logam berat dalam limbah

serta mempercepat proses hidrasi semen (Argane et al. 2016; Chen et al. 2009). Pemanfaatan *tailing* tambang tembaga (Cu) sebagai mortar dan beton dapat meningkatkan karakteristik mekanisnya, yaitu kuat tekan, kuat lentur, dan ketahanan abrasi (Onuaguluchi dan Eren 2012). Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kandungan *hematite* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) yang dapat meningkatkan kekuatan awal mortar (sebelum usia 28 hari), bila dibandingkan dengan mortar normal (López, Olmo, dan Irabien 2006; Fontes et al. 2016). Namun, pemanfaatan *tailing* pada mortar dan beton menunjukkan kekurangan pada porositas dan ketahanan terhadap karbonasi, apabila dibandingkan dengan mortar atau beton normal (Onuaguluchi dan Eren 2012; Gupta, Mehra, dan Thomas 2017). Selain itu, kandungan Zn dan Pb pada *tailing* juga mempengaruhi karakteristik mortar. Kandungan Zn yang tinggi menyebabkan kuat tekan yang rendah bila dibandingkan dengan mortar normal (Argane et al. 2015), sedangkan kandungan Pb yang tinggi menyebabkan ketahanan abrasi yang rendah pada mortar (Tripathi, Misra, dan Chaudhary 2013).

Selain karakteristik mekanis, penggunaan *tailing* dari proses pengapungan juga meningkatkan sifat kekedapan dari mortar dan menjadikan mortar lebih bersifat *hydrophobic* (Wang et al. 2017). Hal ini menyebabkan sifat kelecakan (*workability*) mortar menurun seiring dengan peningkatan proporsi *tailing* pada mortar, sehingga kandungan air semen lebih tinggi daripada mortar normal untuk kuat tekan mortar yang sama (Fontes et al. 2016; Shettima et al. 2016).

Potensi *tailing* di area pemanfaatan PT Freeport Indonesia tersedia melimpah, khususnya di areal pengendapan *Modified Ajkwa Deposition Area* (ModADA). *Tailing* di ModADA memiliki gradasi bervariasi, dengan gradasi yang kasar di bagian hulu dan semakin halus di bagian hilirnya, sesuai dengan proses gravitasi. Potensi *tailing* adalah 80.000 ton per tahun. Namun, hanya sebagian yang memenuhi persyaratan teknis untuk digunakan sebagai bahan baku mortar, yaitu *tailing* yang berada di antara *mile area* (MA) 205 dan MA (Irawan et al. 2014). Lokasi MA 205 dan MA 227 berada di dekat *mile point* (MP) 28 yang merupakan akses masuk utama kawasan pengelolaan PT Freeport Indonesia, sehingga berpotensi untuk dimanfaatkan oleh industri kecil dan menengah di luar kawasan PT Freeport Indonesia. MA 205 berada di sebelah hulu terhadap MA 227, dan berjarak 4.828 meter. Potensi *tailing* pada survei dan pengukuran bulan Februari 2017 adalah 148.702.400 m<sup>3</sup> atau lebih kurang 257.775.610,4 ton.

**METODE**

Penelitian menggunakan metode pengujian laboratorium untuk memperoleh karakteristik kimia, fisik, mekanik, serta toksisitas dari bahan baku *tailing*, campuran mortar (pasir sisa tambang, semen Portland, filler dan aditif), serta produk plesteran (campuran mortar dengan air). Sampel *tailing* untuk pengujian diambil dari mile area (MA) 205 dan MA 227. Sampel abu terbang (*fly ash*) untuk campuran mortar diambil dari pembangkit listrik PT Freeport Indonesia di Pelabuhan Amamapare, Mimika. Sedangkan bahan lain, seperti semen PC, pasir, kapur dan aditif menggunakan produk dan bahan yang ada di pasaran.

Urutan pengujian ditampilkan pada Gambar 1, dengan penjelasan tahapan sebagai berikut:

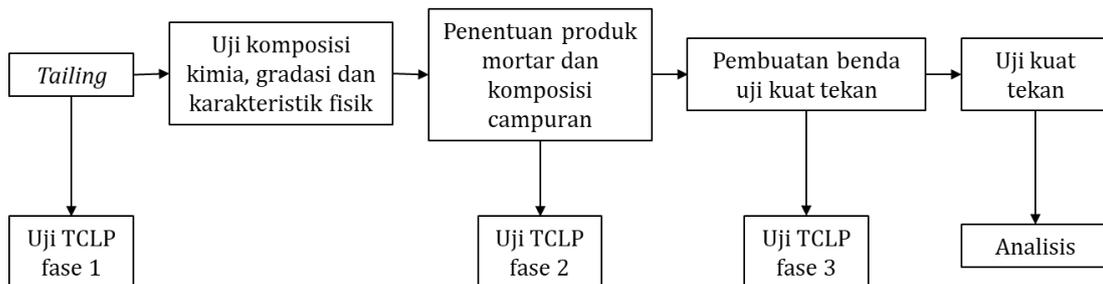
- a) Pengujian komposisi kimia, pengujian gradasi (SNI 03-2834-2000) dan karakteristik fisik limbah *tailing* (SNI 03-6820-2002). Hasil pengujian komposisi kimia, gradasi dan karakteristik fisik digunakan untuk menentukan produk mortar yang akan dibuat komposisinya. Pengujian komposisi kimia dilakukan di laboratorium Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), sedangkan pengujian karakteristik fisik dilakukan di laboratorium Puskim.
- b) Penentuan produk dan komposisinya. Produk mortar yang dipilih adalah plesteran, *thinbed* bata ringan, dan *finishing plaster*. Komposisi produk mortar menggunakan referensi produk mortar siap pakai Multi Mortar. Variasi *filler*, yaitu menggunakan kapur dan abu terbang (*fly ash*) digunakan pada eksperimen, untuk mengetahui pengaruh *filler* pada kuat tekan. Aditif yang digunakan adalah *Methylcellulose*. Masing-masing komposisi dan variasi *filler* dibuat benda uji kubus ukuran 50 mm x 50 mm x 50 mm, dengan jumlah 3 (tiga) buah. Pengujian kuat tekan dilakukan pada umur mortar 28 hari (SNI 03-6825-2002). Nilai kuat tekan digunakan untuk mengklasifikasikan produk mortar (SNI 6882: 2014), yaitu tipe M, S, N, dan O. Kuat tekan

mortar digunakan untuk menentukan penggunaan mortar sesuai dengan Tabel X1.1. SNI 6882:2014. Pembuatan benda uji dan pengujian kuat tekan dilakukan di laboratorium Puskim.

- c) Pengujian toksisitas kelindian *Toxicity Characteristic Leaching Procedure* (TCLP) sesuai dengan (Peraturan Pemerintah No. 101 Tahun 2014). Pengujian TCLP dilakukan untuk mendeteksi mobilitas unsur kimia berbahaya dan beracun pada lindi (*leachate*) limbah *tailing*. Pengujian pada penelitian ini dilakukan terhadap mobilitas unsur anorganik (logam) (EPA-902-B-96-001). Pengujian TCLP dilakukan pada 3 (tiga) fase *tailing*, yaitu bahan baku *tailing*, campuran mortar dan produk plesteran. Hasil pengujian dibandingkan terhadap nilai batas TCLP-A dan TCLP-B. Pengujian TCLP dilakukan di laboratorium PT Freeport Indonesia di Timika, Papua.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui unsur dan senyawa penyusun limbah *tailing*. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 1. Dari hasil pengujian tersebut, komposisi silika-oksida (SiO<sub>2</sub>), alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), dan hematite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) mencapai 68,8%. Hal ini menunjukkan bahwa *tailing* berpotensi sebagai agregat bahan bangunan berbasis semen. Keberadaan silika-oksida (SiO<sub>2</sub>) berpengaruh pada reaksi hidrasi dengan semen, sedangkan alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan *hematite* (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) mempengaruhi karakteristik mekanis produk mortar, khususnya kuat tekan awal mortar (sebelum umur 28 hari). Komposisi silika-oksida yang lebih besar daripada alumina dan *hematite* berpotensi untuk tidak mengurangi kelecakan mortar. Meskipun demikian, aditif *Methylcellulose* tetap ditambahkan pada campuran mortar. Pada pengujian komposisi kimia, tidak ditemukan unsur atau senyawa yang dapat mengurangi kekuatan mekanis mortar, seperti seng (Zn) dan timbal (Pb).



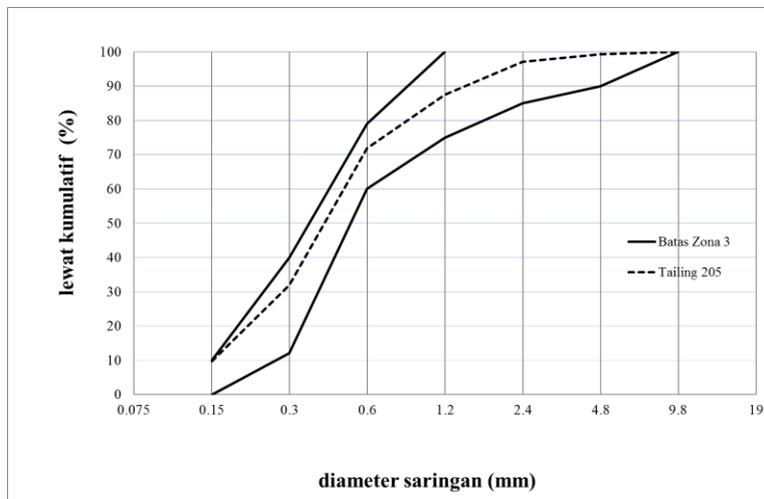
**Gambar 1** Tahapan Pengujian *Tailing* dan Mortar Siap Pakai

**Tabel 1** Komposisi Kimia Limbah *Tailing*

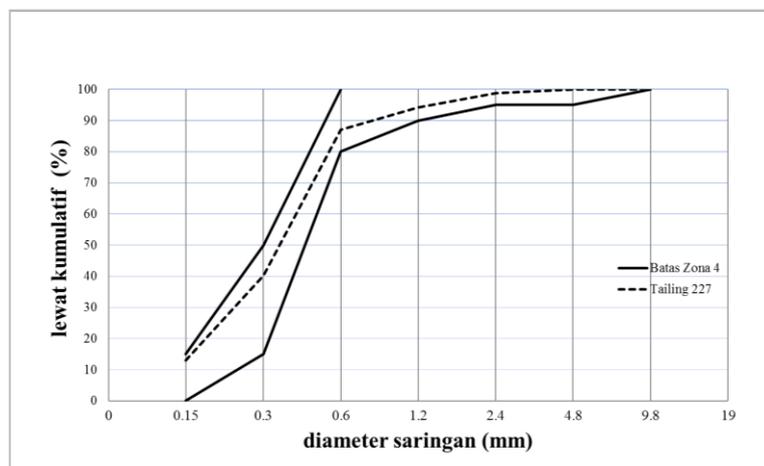
Kode Contoh	Persentase Komposisi Kimia (%)
SiO <sub>2</sub>	48,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,32
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,78
K <sub>2</sub> O	3,84
Na <sub>2</sub> O	3,12
CaO	11,91
MgO	2,70
TiO <sub>2</sub>	0,37
MnO	0,16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,34
LOI	7,58
H <sub>2</sub> O	0,17
SO <sub>3</sub>	0,90

Pemeriksaan gradasi dilakukan dengan analisis saring dan dibandingkan terhadap zona agregat pada SNI 03-2834-2000. Gradasi *tailing* dari MA 205 ditampilkan pada Gambar 2, sedangkan gradasi *tailing* dari MA 227 ditampilkan pada Gambar 3. Gradasi *tailing* MA 205 masuk pada zona 3, sedangkan *tailing* MA 227 masuk pada zona 4. Hasil pemeriksaan gradasi menunjukkan bahwa *tailing* MA 205 lebih kasar daripada *tailing* MA 227. Hal ini karena MA 205 terletak lebih ke hulu daripada MA 227, serta sesuai asumsi bahwa gradasi *tailing* semakin halus ke arah hilir ModADA. *Tailing* yang lebih halus daripada zona 4 tidak memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai agregat halus bahan baku mortar siap pakai.

Pengujian karakteristik fisik ditampilkan pada Tabel 2. Nilai rerata kadar air adalah 3,46% pada kondisi sampel diangin-anginkan di udara terbuka (kering



**Gambar 2** Hasil Uji Gradasi Sampel Tailing Titik MA 205 terhadap Zona 3



**Gambar 3** Hasil Uji Gradasi Sampel Tailing Titik MA 227 terhadap Zona 4

permukaan). Nilai rerata kadar lumpur adalah 4,15%, sehingga *tailing* memenuhi persyaratan sebagai agregat halus untuk pekerjaan adukan dan plesteran, yaitu kadar lumpur maksimal 5% (SNI 03-2834-2000). Berat jenis *tailing* dari MA 205 dan MA 227, yaitu 2,52 dan 2,70 masih memenuhi persyaratan sebagai agregat halus untuk bahan beton normal, yaitu antara 2,50- 2,70. Nilai rerata penyerapan air dari dua sampel *tailing* adalah 3,21%, dan memenuhi persyaratan untuk agregat halus, yaitu antara 3,0-4,0%. Berat isi *tailing* pada kondisi gembur dan padat adalah lebih besar daripada berat isi pasir pasang (1.400 kg/m<sup>3</sup>), dan lebih kecil dibandingkan berat isi tanah (1.800 kg/m<sup>3</sup>). Berat isi menentukan daya sebar produk mortar siap pakai, khususnya plesteran dan *finishing plaster*.

**Tabel 2** Karakteristik Fisik *Tailing*

Uraian	Sampel <i>Tailing</i>	
	MA 205	MA 227
Kadar air (%)	3,14	3,78
Kadar lumpur (%)	3,36	4,94
Penyerapan (%)	3,19	3,23
Berat jenis	2,52	2,70
Bobot isi gembur (kg/m <sup>3</sup> )	1.612	1.522
Bobot isi padat (kg/m <sup>3</sup> )	1.858	1.609
Modulus kehalusan	2,03	1,67

Nilai rerata modulus kehalusan adalah 1,85, sedangkan persyaratan modulus kehalusan antara 2,0-3,0 (SNI 03-2834-2000). Untuk itu, apabila *tailing* akan digunakan sebagai agregat mortar siap pakai, perlu dilakukan pengaturan proporsi kembali, dengan menambahkan pasir alam atau kuarsa. Namun, pada tahapan selanjutnya di penelitian ini, tidak dilakukan pengaturan proporsi kembali, dan tetap menggunakan *tailing* tanpa dicampur dengan pasir alam atau material substitusi lainnya. Hal ini untuk mengoptimalkan potensi *tailing* pada campuran mortar.

Dari pemeriksaan gradasi dan karakteristik fisik *tailing*, produk mortar siap pakai yang akan memanfaatkan *tailing* kemudian ditentukan, yaitu plesteran, *thinbed* bata ringan, dan *finishing plaster*. Penentuan komposisi masing-masing produk menggunakan referensi produk yang sudah ada di pasaran, yaitu Multi Mortar. Produk mortar siap pakai untuk plesteran menggunakan *tailing* ukuran 2,4 mm, 1,2 mm dan 0,6 mm, sedangkan produk mortar siap pakai untuk *thinbed* dan *finishing plaster* hanya menggunakan *tailing* berukuran 0,6 mm. Komposisi semen Portland, *tailing* dan *filler* (abu terbang atau kapur) ditampilkan pada Tabel 3.

Aditif yang digunakan untuk campuran adalah *Methylcellulose* (MC). Aditif ini memiliki sifat sebagai *anti shagging*, untuk mencegah mortar mengalami kerontokan saat diaplikasikan. Campuran mortar untuk plesteran memiliki persentase *tailing* 72%, sedangkan *thinbed* bata ringan dan *finishing plaster* adalah 50% dan 39%. Persentase *tailing* untuk mortar plesteran lebih dari 60%, sedangkan untuk *thinbed* bata ringan dan *finishing plaster* masih kurang dari 60%.

Hasil uji kuat tekan rata-rata mortar pada umur 28 hari disajikan pada Gambar 4. Produk mortar untuk plesteran dan *thinbed* bata ringan dengan menggunakan *filler* abu terbang (*fly ash*) memiliki kuat tekan yang lebih tinggi daripada plesteran dan *thinbed* bata ringan menggunakan *filler* kapur. Tetapi untuk produk *finishing plaster*, mortar dengan *filler* kapur memberikan kuat tekan lebih tinggi daripada mortar dengan *filler* abu terbang (*fly ash*). Komposisi kimia dari kapur dan abu terbang (*fly ash*) tidak diuji, sehingga tidak diketahui penyebab perbedaan antara kuat tekan mortar dengan *filler* kapur dengan abu terbang (*fly ash*). Namun, berdasarkan fungsinya sebagai pengisi dan komposisinya yang lebih sedikit daripada *tailing*, pengaruh *filler* terhadap kekuatan tekan tidak terlalu signifikan dibandingkan dengan *tailing*.

Berdasarkan SNI 6882:2014 tentang Spesifikasi Mortar untuk Pekerjaan Unit Pasangan (ASTM C270 - 10, IDT), mortar diklasifikasikan berdasarkan kuat tekannya. Hasil uji kuat tekan menunjukkan produk *thinbed* bata ringan dengan *filler* abu terbang memiliki kuat tekan tertinggi, dan masuk kategori mortar M (kuat tekan > 17,2 MPa). Produk plesteran dengan *filler* abu terbang, dan produk *thinbed* serta *finishing plaster* dengan *filler* kapur masuk kategori mortar S (kuat tekan > 12,4 MPa). Produk plesteran dengan *filler* kapur masuk kategori N (kuat tekan > 5,2 MPa), sedangkan produk *finishing plaster* dengan *filler* abu terbang tidak memenuhi persyaratan untuk tipe O berdasarkan SNI 6882:2014 (kuat tekan < 2,4 MPa).

**Tabel 3** Komposisi Produk Mortar Siap Pakai dengan Variasi *Filler*

Produk	Komposisi (dalam gram)				
	PC	<i>Tailing</i>			<i>Filler</i> (kapur / <i>fly ash</i> )
		0,6 mm	1,2 mm	2,4 mm	
Plesteran	130	340	330	50	150
<i>Thinbed</i> bata ringan	350	500	-	-	150
<i>Finishing plaster</i>	230	390	-	-	380

Hasil uji kuat tekan menunjukkan nilai yang bervariasi untuk produk mortar siap pakai. Pada plesteran dan *thinbed* bata ringan, variasi *filler* abu terbang memberikan kuat tekan yang lebih besar daripada *filler* kapur. Namun, pada produk *finishing plaster*, variasi *filler* kapur memberikan kuat tekan 11,4 kali lebih besar daripada *finishing plaster* dengan *filler* abu terbang.

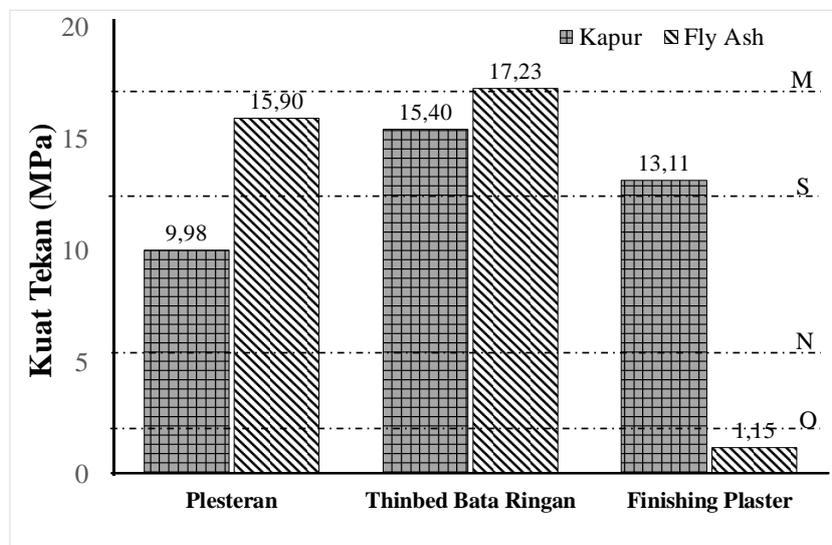
Berdasarkan Lampiran SNI 6882:2014, produk plesteran berbahan baku *tailing* dapat digunakan untuk plesteran dinding eksterior maupun interior. Produk plesteran juga dapat digunakan untuk dinding di atas tanah maupun dinding yang berhubungan langsung dengan tanah. Produk *thinbed* bata ringan dapat digunakan untuk dinding pemikul beban (*load-bearing wall*). Produk *finishing plaster* dengan *filler* kapur juga dapat digunakan untuk dinding eksterior maupun interior, serta dinding di atas tanah maupun yang berhubungan langsung dengan tanah. Sedangkan produk *finishing plaster* dengan *filler* abu terbang tidak memenuhi persyaratan untuk digunakan pada pekerjaan dinding, baik dinding baru maupun restorasi (pekerjaan perbaikan) dinding.

Selanjutnya, *tailing* dan mortar berbahan baku *tailing* diuji TCLP. Pengujian dilakukan terhadap 3 (tiga) fase *tailing*, yaitu bahan baku *tailing*, campuran mortar, dan produk plesteran. Pengujian dilakukan terhadap 15 unsur logam yang disyaratkan. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 4, dan dibandingkan terhadap persyaratan limbah B3 kategori bahaya 1 (TCLP-A) dan limbah B3 kategori bahaya 2 (TCLP-B).

Hasil pengujian TCLP menunjukkan bahwa tidak ada kandungan unsur logam yang melebihi ambang batas TCLP-A dan TCLP-B. Hal ini menunjukkan bahwa limbah *tailing* masih jauh dibawah ambang batas untuk limbah dengan kategori bahaya 2. Selain itu, hasil pengujian ini juga menunjukkan bahwa *tailing* tidak termasuk limbah yang mudah meledak, mudah menyala, reaktif, infeksius, korosif, dan berbahaya, seperti definisi limbah B3 pada PP No. 101 Tahun 2014. Dari hasil pengujian TCLP ini, tim peneliti juga memutuskan untuk tidak melakukan uji toksisitas LD<sub>50</sub>, karena kandungan logam pada lindi *tailing* dan produk mortar berbahan baku *tailing* jauh dibawah ambang batas kategori bahaya 2 (TCLP-B).

Nilai kandungan unsur logam pada pengujian TCLP sangat kecil, sehingga tidak dapat diketahui pengaruh pencampuran *tailing* dengan semen dan *filler* (fase *tailing*) terhadap penurunan kandungan logam. Pengaruh pengikatan kandungan logam oleh bahan semen tidak dapat diketahui dengan jelas.

Pengujian TCLP menunjukkan adanya kandungan Zn dan Pb pada *tailing*, meskipun pada pengujian komposisi kimia, tidak terdeteksi kandungan Zn dan Pb. Kandungan Zn dan Pb adalah kecil dan cenderung menurun pada campuran mortar dan produk plesteran, tetapi harus diperhatikan, karena dapat mempengaruhi karakteristik mekanis mortar.



**Gambar 4** Hasil Uji Kuat Tekan Produk Mortar Siap Pakai dengan Variasi *Filler* pada Umur 28 Hari

**Tabel 4** Hasil Pengujian TCLP untuk 3 (Tiga) Fase *Tailing*

No.	Pengujian		Sampel			PP 101 - 2014	
			Tailing	Mortar	Plesteran	TCLP-A	TCLP-B
1	Perak (Ag)	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	40	5
2	Arsenik (As)	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	3	0,5
3	Barium (Ba)	mg/L	<0,005	<0,005	0,513	210	35
4	Boron (B)	mg/L	<0,010	<b>&lt;0,010</b>	<0,010	150	25
5	Kadmium (Cd)	mg/L	0,003	<0,001	<0,001	0,9	0,15
6	Kromium (Cr)	mg/L	<0,005	0,167	0,055	15	2,5
7	Tembaga (Cu)	mg/L	1,815	<0,005	0,0075	60	10
8	Berilium (Be)	mg/L	<0,010	<0,010	<0,010	4	0,5
9	Antimon (Sb)	mg/L	<0,010	<0,010	<0,010	6	1,0
10	Raksa (Hg)	mg/L	<0,0003	<0,0003	<0,0003	0,3	0,05
11	Timbal (Pb)	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	3	0,5
12	Molybdenum (Mo)	mg/L	<0,010	0,239	0,095	21	3,5
13	Nikel (Ni)	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001	21	3,5
14	Selenium (Se)	mg/L	<0,010	<0,010	<0,010	3	0,5
15	Seng (Zn)	mg/L	0,658	<0,010	<0,010	300	50

**KESIMPULAN**

*Tailing* yang dihasilkan dari aktivitas pertambangan PT Freeport Indonesia berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku mortar siap pakai karena mengandung senyawa kimia yang mendukung kinerja mortar. Kandungan SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adalah lebih dari 60% sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai bahan bangunan berbasis semen, seperti beton dan mortar. *Tailing* juga memiliki gradasi yang memenuhi persyaratan sebagai agregat halus. Karakteristik fisik, khususnya kadar lumpur dari *tailing* memenuhi persyaratan untuk digunakan sebagai bahan baku mortar. Modulus kehalusan dari *tailing* kurang dari yang disyaratkan, sehingga proporsi *tailing* harus diatur ulang atau mencampur *tailing* dengan agregat halus lainnya, seperti pasir alam dan kuarsa. Modulus kehalusan yang rendah dapat meningkatkan penyusutan mortar.

Mortar berbahan baku *tailing* dapat digunakan sebagai plesteran, *thinbed* bata ringan dan *finishing plaster*. Proporsi pemanfaatan *tailing* yang paling besar adalah sebagai plesteran, dengan persentase *tailing* 72%, sedangkan *thinbed* memiliki persentase *tailing* 50%, dan *finishing plaster* adalah 39%. Proporsi *tailing* dibawah 60% menunjukkan produk mortar siap pakai kurang signifikan dalam mengurangi limbah, terutama apabila produk mortar tersebut akan dikomersialisasikan. Hasil uji kuat tekan menunjukkan produk plesteran dan *thinbed* bata ringan memenuhi persyaratan teknis

sesuai SNI 6882:2014, serta dapat digunakan untuk dinding pemikul beban dan dinding pengisi, baik untuk eksterior maupun interior. Produk *finishing plaster* dengan *filler* kapur juga memenuhi persyaratan teknis untuk dimanfaatkan pada dinding eksterior dan interior, sedangkan produk *finishing plaster* dengan *filler* abu terbang tidak memenuhi persyaratan teknis, dan tidak layak diproduksi.

Karakteristik toksisitas kelindian logam berat melalui uji TCLP menunjukkan nilai yang masih jauh dibawah ambang batas persyaratan untuk limbah B3 dengan kategori bahaya 1 dan 2. Berdasarkan hasil pengujian toksisitas tersebut, maka *tailing* dapat langsung dimanfaatkan sebagai bahan baku mortar siap pakai tanpa harus melalui pengolahan terlebih dahulu untuk mengurangi atau menghilangkan sifat toksik pada *tailing*.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Freeport Indonesia yang telah mendukung kegiatan penelitian, termasuk memberikan akses ke wilayah pemanfaatan di Kabupaten Mimika serta dukungan fasilitas laboratorium. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada PT Multi Mortar sebagai salah satu produsen mortar siap pakai (mortar instan) di Indonesia atas dukungannya selama pelaksanaan kegiatan penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Argane, R., M. Benzaazoua, R. Hakkou, dan A. Bouamrane. 2015. "Reuse of Base-Metal Tailings as Aggregates for Rendering Mortars: Assessment of Immobilization Performances and Environmental Behavior." *Construction and Building Materials* 96: 296–306. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.08.029>.
- . 2016. "A Comparative Study on the Practical Use of Low Sulfide Base-Metal Tailings as Aggregates for Rendering and Masonry Mortars." *Journal of Cleaner Production* 112: 914–25. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.004>.
- Badan Pusat Statistik. 2017. "Indeks Kemahalan Konstruksi Provinsi dan Kabupaten/Kota 2016." Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Badan Standardisasi Nasional. 2000. "SNI 03-2834-2000: Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal."
- . 2002a. "SNI 03-6820-2002: Spesifikasi Agregat Halus untuk Pekerjaan Adukan dan Plesteran dengan Bahan Dasar Semen."
- . 2002b. "SNI 03-6825-2002: Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland untuk Pekerjaan Sipil."
- . 2014. "SNI 6882:2014: Spesifikasi Mortar untuk Pekerjaan Unit Pasangan (ASTM C270-10, IDT)."
- Chen, Q Y, M Tyrer, Colin D Hills, X M Yang, dan Paula Carey. 2009. "Immobilisation of Heavy Metal in Cement-Based Solidification/Stabilisation: a Review." *Waste management* 29 (1): 390–403.
- Environmental Protection Agency. 1996. "EPA-902-B-96-001: Technical Assistance Document for Complying with the TC Rule and Implementing the Toxicity Characteristic Leaching Prosedure (TCLP)."
- Fontes, Wanna Carvalho, Júlia Castro Mendes, Sidney Nicodemos Da Silva, dan Ricardo André Fiorotti Peixoto. 2016. "Mortars for Laying and Coating Produced with Iron Ore Tailings from Tailing Dams." *Construction and Building Materials* 112: 988–95. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.027>.
- Gidley, James S, dan William A Sack. 1984. "Environmental aspects of waste utilization in construction." *Journal of environmental engineering* 110 (6): 1117–33.
- Gupta, Ramesh Chandra, Priyansha Mehra, dan Blessen Skariah Thomas. 2017. "Utilization of Copper Tailing in Developing Sustainable and Durable Concrete." *Journal of Materials in Civil Engineering*. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001813](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001813).
- Irawan, RR, S Hardono, R Wijaya, F Yuliarti, N Visco, dan F Mulyana. 2014. "Potential Use of Cementation of Copper Tailing for Infrastructure Development in Papua." In *Proceedings of the 34th Annual Cement and Concrete Science Conference, and Workshop on Waste Cementation*, diedit oleh Susan A. Bernal dan John L. Provis, 507–10. Sheffield: The University of Sheffield.
- López, Isabel, Iñaki Fernández Olmo, dan Angel Irabien. 2006. "Mechanical Properties and Environmental Assessment of Mortars Containing Metallic Oxides." *Journal of Environmental Engineering* 132 (8): 949–55.
- Onuaguluchi, Obinna, dan Özgür Eren. 2012. "Recycling of Copper Tailings as an Additive in Cement Mortars." *Construction and Building Materials* 37: 723–27. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.08.009>.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia. 2014. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*.
- Shettima, Ali Umara, Mohd Warid Hussin, Yusof Ahmad, dan Jahangir Mirza. 2016. "Evaluation of Iron ore Tailings as Replacement for Fine Aggregate in Concrete." *Construction and Building Materials* 120: 72–79. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.095>.
- Tripathi, Bhavna, Anurag Misra, dan Sandeep Chaudhary. 2013. "Strength and Abrasion Characteristics of ISF Slag Concrete." *Journal of Materials in Civil Engineering* 25: 1611–18. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000709](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000709).
- Wang, Wei, Yunliang Zhao, Hui Liu, dan Shaoxian Song. 2017. "Fabrication and Mechanism of Cement-Based Waterproof Material Using Silicate Tailings from Reverse Flotation." *Powder Technology* 315: 422–29. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.04.029>.