

KARAKTERISTIK CAMPURAN MORTAR BERBAHAN DASAR *DRY STACK TAILING DAN STEEL SLAG*

Reffianno B. Manuse¹⁾, Linda J. Pinontoan²⁾, Vernando Ondang³⁾, Yorifki Tuidano⁴⁾, Stiven Rorimpandey⁵⁾, Steve Supit⁶

^{1,2,3,4,5} Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado

⁶ Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado

E-mail: stevesupit@polimdo.ac.id

Abstract

With the rapid development of infrastructure, it is important to explore innovative ways to utilize waste materials as substitutes for cement, a primary component in construction products. The objective of research is to reduce cement usage in mortar production for mortar applications by incorporating steel slag—a byproduct of iron processing—and tailings, which are waste materials from gold mining operations. This study focuses on examining the characteristics of mortar mixtures containing steel slag and tailings as a replacement of cement according to compressive strength, porosity and setting time tests. The percentage of tailing was set to be 15% and combined with steel slag with a percentage of 5%, 10%, and 15% by wt. of cement. The results show the influence of steel slag in compensating the use of tailing in mortar mixture. Furthermore, the blended tailing-slag binders is potential to be used in optimizing the industrial waste to partially replace cement in construction field especially for non-structural element application

Keywords: *Infrastructure, Steel slag, Tailing, Mortar, Construction*

PENDAHULUAN

Kemajuan pembangunan yang terjadi saat ini membawa peningkatan akan kebutuhan infrastruktur, namun peningkatan ini menimbulkan tantangan baru yang berpengaruh terhadap lingkungan. Contohnya adalah dalam pemanfaatan semen sebagai material utama pembuatan beton yang menjadi salah satu komponen konstruksi bangunan. Dimana produksi dari industri semen memerlukan jumlah energi yang cukup besar dan menghasilkan gas rumah kaca dalam jumlah masif sebagaimana yang dikemukakan oleh (1) yang menyebutkan bahwa emisi CO₂ yang dihasilkan dari industri semen berasal dari unit kiln semen yakni sebesar 98,43%. Konsumsi energi dalam produksi semen, termasuk penggunaan batu bara dan bahan bakar alternatif, menghasilkan prediksi peingkatan emisi CO₂ rata-rata sebesar 3-4% setiap tahunnya. Selain itu, proses ditribusi dengan volume besar juga seiring dengan permintaan pasar yang semakin bertambah bisa meningkatkan harga dari bahan semen.

Dengan latar belakang yang ada maka timbul dorongan kuat untuk menghadirkan inovasi material yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan disesuaikan dengan kebutuhan pasar. Misalnya pemanfaatan dari limbah industri sebagai bahan substitusi semen.

Pendekatan yang berpotensi signifikan adalah optimalisasi penggunaan tailing dan *steel slag* sebagai material alternatif. Tailing merupakan limbah hasil buangan dari industri pertambangan yang berasal dari batuan berharga yang diproses menjadi partikel halus, kemudian dipisahkan antara mineral yang berharga dan sisanya (2). Sementara *steel slag* adalah limbah padat yang dihasilkan dari proses peleburan baja dan dapat dimanfaatkan sebagai substitusi dalam pembuatan beton (3). Kedua jenis limbah ini umumnya masih kurang dimanfaatkan secara optimal dan kerap kali hanya menumpuk di area industri, sehingga menimbulkan masalah lingkungan termasuk persoalan penggunaan lahan. Pemanfaatan dari tailing dan *steel slag* sebagai pengganti dari semen dalam produk konstruksi, khususnya pada plesteran, berpotensi menjadi strategi yang menjanjikan guna meminimalisir dampak yang didapatkan dari penggunaan semen. Dengan memanfaatkan kedua jenis limbah ini, tidak hanya dapat mengurangi dampak lingkungan dari limbah, tetapi juga dapat menurunkan biaya produksi.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi potensi pemanfaatan tailing yang telah melalui proses *dry stack* dikombinasikan dengan penggunaan *ground granulated blast furnace slag* (GGBFS). Proses *dry stack* tailing adalah metode pengelolaan tailing (limbah padat hasil pengolahan mineral) dengan cara mengeringkan tailing hingga kadar airnya rendah, kemudian ditumpuk dan dipadatkan di area penimbunan khusus. Tujuannya adalah untuk menciptakan tumpukan tailing yang stabil dan mengurangi risiko dampak lingkungan dibandingkan dengan metode penimbunan tailing konvensional, seperti tailing dam (Rahmawati, F, dan Yushandiana, F, 2022).

Penelitian pemanfaatan tailing sebagai material konstruksi telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Cintiya (2023) menemukan bahwa penggunaan tailing sampai 30% sebagai material pengganti semen dapat menurunkan kekuatan tekan dalam pembuatan batako. Namun penelitian lain menunjukkan potensi pemanfaatan tailing untuk plesteran dan *thinbed* bata ringan sebagai pengganti sebagian semen dikombinasikan dengan kapur dan *fly ash* sebagai filler. Dalam komposisi ini digunakan juga aditif Methylcellulose yang berfungsi mencegah keruntuhan mortar saat pengaplikasian (*anti shagging*)(Mulia

dkk, 2018). Oleh karena karakteristik tailing yang cenderung menurunkan kekuatan tekan mortar maupun beton maka dalam penelitian ini digunakan kombinasi campuran menggunakan *steel slag* yang berdasarkan penelitian merupakan material pozzolan aktif sehingga dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen (Anwar dkk, 2023). Diharapkan bahwa kombinasi tailing dan *steel slag* dapat menghasilkan karakteristik yang lebih baik sebagai pengganti sebagian semen untuk diimplementasikan sebagai campuran mortar maupun beton.

METODE PENELITIAN

Material dry tailing diambil dari PT. Nusa Halmahera Minerals Maluku Utara yang merupakan perusahaan tambang emas, dan material *steel slag* diambil dari PT. Krakatau Steel sedangkan dry stack tailing dari PT. Nusa Halmahera Minerals. Material ini dikeringkan melalui oven dan kemudian digunakan sebagai pengganti sebagian semen dalam campuran pembuatan mortar plesteran. Persentase tailing yang digunakan adalah sebesar 15% dari berat semen sedangkan *steel slag* divariasi dalam persentase 5%, 10%, dan 15% dari berat semen.

Pembuatan benda uji dilakukan berdasarkan komposisi campuran yang sudah dihitung. Pencampuran dilakukan menggunakan mortar mixer dimana pencampuran tahap pertama adalah antara agregat halus dan semen bersamaan dengan *steel slag* dan tailing selama kurang lebih 10 menit. Setelah itu dimasukkan air kemudian dicampur lagi selama 5 menit. Ketika campuran sudah merata, campuran dicetak di cetakan mortar berukuran 5cm x 5cm x 5cm untuk pengujian kuat tekan dan porositas. Pengujian kuat tekan dan porositas dilakukan pada umur 7 dan 28 hari setelah perawatan melalui perendaman dengan air. Selain itu dilakukan juga pengujian setting time pasta semen dengan tailing dan *steel slag* untuk mengetahui waktu setting awal dan setting akhir campuran sehingga dapat dievaluasi waktu pengerasan dari setiap campuran mortar. Metode pengujian mengikuti panduan Standard Nasional Indonesia. Gambar 1 menunjukkan proses pengujian yang dilakukan.



Uji kuat tekan

Uji porositas

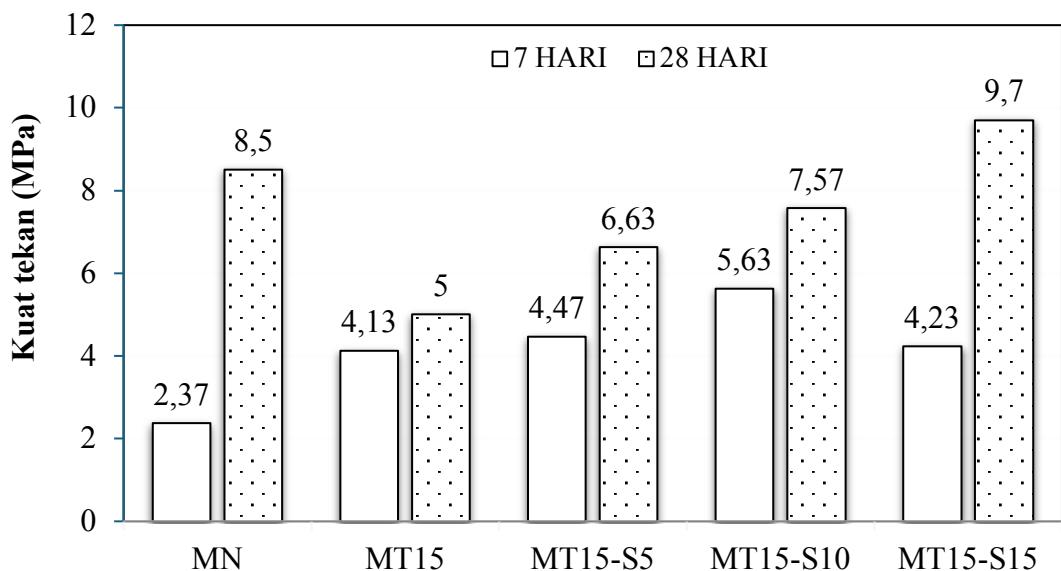
Uji setting time

Gambar 1. Proses pengujian (a) kuat tekan, (b) porositas, (c) setting time

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Kuat Tekan

Gambar 1 merupakan hasil kuat tekan dari semua variasi mortar pada umur 7 dan 28 hari. Dapat dilihat pada gambar, kekuatan tekan tertinggi pada umur 28 hari didapatkan oleh mortar dengan 15% tailing dan 15% *steel slag*, yang dalam hal ini secara total menggantikan semen sebesar 30%. Adapun kekuatan pada umur 7 hari pada komposisi ini terlihat lebih rendah dari campuran lain yang menggunakan tailing. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan *steel slag* dalam campuran mortar dengan 15% tailing memberikan pengaruh terhadap kekuatan tekan mortar, namun dengan bertambahnya prosentase *steel slag*, reaksi campuran menjadi lebih lambat sehingga signifikansi kekuatannya diperoleh pada umur 28 hari.



Gambar 1. Kuat tekan variasi mortar pada umur 7 dan 28 hari

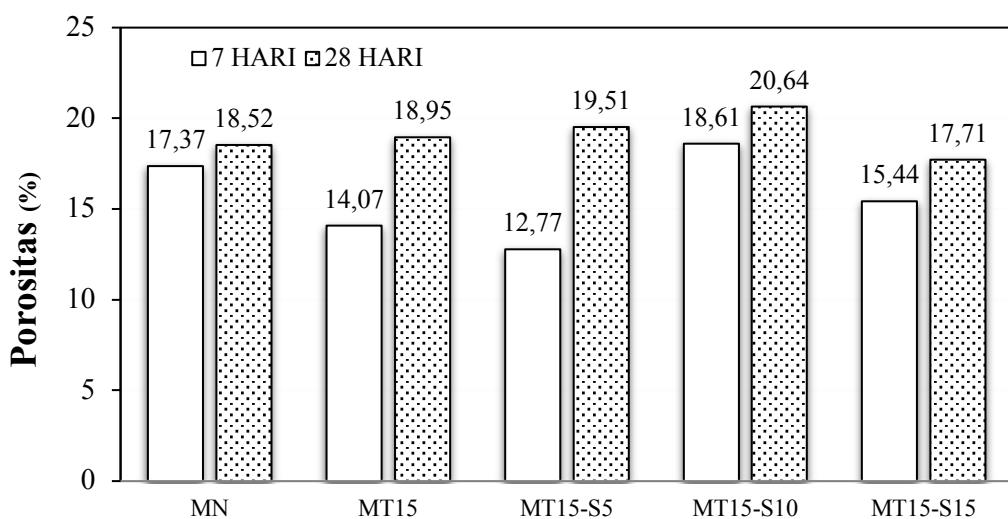
Hal lain yang dapat dijelaskan bahwa campuran dengan tailing 15 % (MT15) mengalami penurunan kuat tekan dibandingkan dengan campuran semen murni (MN) pada semua umur pengujian selama 28 hari. Hal ini disebabkan karena kandungan reaktif pada tailing yaitu silika (SiO_2) bersifat kurang aktif dalam proses hidrasi jika berdiri sendiri, sehingga kontribusinya terhadap pembentukan struktur kekuatan masih terbatas. Hal ini juga dilaporkan oleh Fakhruddin dan Probawati (2024). Namun ketika tailing dikombinasikan dengan *steel slag* sebesar 5% - 15% (MT15-S5, MT15-S10, MT15-S15) terjadi peningkatan pada hasil kuat tekan. *Steel slag* yang mengandung senyawa aktif seperti kasium oksida (CaO), magnesium oksida (MgO), dan alumunium oksida (Al_2O_3), mempercepat reaksi hidrasi dan membentuk produk hidrasi tambahan kalsium silika hidrat (C-S-H) yang memperkuat struktur mortar dan keberadaan senyawa besi (III) oksida (Fe_2O_3) dalam *steel slag* dapat meningkatkan alkalinitas campuran, yang dapat membantu mengaktifkan silika dalam tailing menjadi lebih reaktif.

Dengan demikian, campuran MT15-S10 dan MT15-S15 dapat dianggap sebagai komposisi yang paling seimbang dalam aspek percepatan pengerasan dan pencapaian kuat tekan yang tinggi mulai awal umur mortar 7 hari hingga 28 hari. Campuran seperti ini cocok untuk digunakan untuk konstruksi yang membutuhkan kekuatan di atas 5 MPa yakni untuk dinding biasa, pasangan bata atau batako ringan (ASTM C 270).

Hasil pengujian Porositas

Hasil pengujian porositas dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan data hasil pengujian porositas mortar pada umur 7 hari dan 28 hari, dapat dilihat bahwa seluruh variasi campuran mengalami peningkatan porositas seiring waktu. Campuran mortar normal (MN) menunjukkan porositas yang cukup stabil dengan peningkatan kecil dari 17,37% menjadi 18,52%. Pada campuran dengan penambahan tailing sebesar 15% (MT15), porositas awalnya rendah sebesar 14,07% namun meningkat tajam menjadi 18,95% pada umur 28 hari, hal tersebut menunjukkan bahwa tailing sebagai filler kurang efektif menjaga kestabilan pori dalam jangka panjang. Penambahan *steel slag* sebesar 5% (MT15-S5) menghasilkan porositas yang paling rendah pada umur 7 hari yaitu 12,77%, namun meningkat cukup signifikan menjadi 19,51% setelah 28 hari. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun *steel slag* mampu mengisi pori-pori, jumlahnya masih terlalu sedikit

untuk mempertahankan densitas mikrostruktur secara berkelanjutan. Campuran tambahan steel *slag* sebesar 10% (MT15-S10) justru menunjukkan angka porositas yang tinggi sejak awal yaitu 18,61% dan terus meningkat hingga 20,64%, yang mengindikasikan adanya ketidakseimbangan komposisi bahan tambah atau distribusi partikel yang tidak optimal. Dan pada campuran tambahan *steel slag* 15% (MT15-S15), porositas awalnya berada diangka 15,44% dan meningkat menjadi 17,71%. Walaupun terjadi peningkatan porositas, data tetap menunjukkan bahwa penambahan *steel slag* dalam campuran teling cukup efektif untuk memberikan pengaruh peningkatan kepadatan mortar dibandingkan porositas pada mortar normal dan mortar dengan tailing saja.

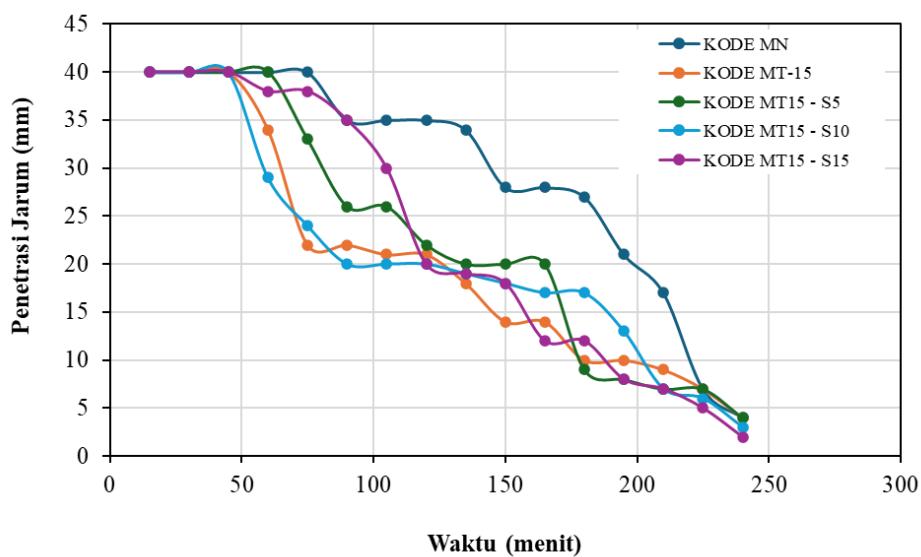


Gambar 2. Porositas variasi mortar pada umur 7 dan 28 hari

Hasil Pengujian Setting Time

Rekapitulasi pengujian setting time dapat dilihat pada Tabel 1. MT15-S10, MT15-S15) menunjukkan waktu ikat yang relatif mirip pada 60 menit awal. Namun ketika seiring waktu berjalan terjadi perbedaan pada waktu ikat antar sampel tersebut. Berdasarkan hasil pengujian setting time, pasta semen dengan campuran normal menunjukkan waktu yang lebih lama untuk mengeras berbeda dengan campuran semen (MN) dengan penambahan tailing sebesar 15% (MT15) dan tailing dengan penambahan *steel slag*. Hal ini disebabkan kandungan utama pada tailing yang didominasi oleh silika (SiO_2) dalam bentuk amorf atau kristalin dan *steel slag* memiliki kandungan aktif seperti kalsium oksida bebas (free CaO), magnesium oksida (MgO), dan alumunium oksida (Al_2O_3). Senyawa-senyawa

tersebut bersifat reaktif dan dapat mempercepat reaksi hidrasi, terutama pembentukan senyawa kalsium silikat hidrat (C-S-H) dan etringite dari C₃A (trikalsium aluminat) yang mempercepat pengikatan pasta. Campuran MT15-S15 menunjukkan waktu ikat tercepat di antara seluruh variasi campuran. Hal ini mengindikasikan bahwa kandungan oksida aktif dalam jumlah besar mendorong percepatan reaksi hidrasi secara signifikan. Secara umum penambahan *steel slag* mempercepat waktu setting campuran pasta yang menggunakan tailing sebagai pengganti sebagian semen.



Gambar 3. Setting time variasi mortar

SIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian setting time, porositas, dan kuat tekan mortar, dapat disimpulkan bahwa kombinasi tailing dan *steel slag* sebagai bahan substitusi sebagian semen memberikan pengaruh yang saling berkaitan terhadap sifat mekanik dan mikrostruktur mortar. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun tailing mampu bertindak sebagai filler pada awalnya, reaktivitasnya yang rendah menyebabkan kontribusi terhadap kekuatan dan kestabilan mikrostruktur jangka panjang terbatas. Ketika *steel slag* ditambahkan ke dalam campuran, terjadi percepatan reaksi yang disebabkan oleh kehadiran senyawa reaktif oleh *steel slag*. Hal ini menyebabkan adanya penurunan porositas dan percepatan waktu setting dari campuran mortar dengan tailing dan *steel slag*. Berdasarkan campuran ini maka keuatannya memenuhi spesifikasi untuk aplikasi

pada dinding biasa, pasangan bata atau batako ringan, sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk meningkatkan karakteristik campuran untuk aplikasi struktural untuk beban berat dan kondisi lingkungan korosif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Negeri Manado sebagai lembaga pemberi pendanaan Skema Penelitian Kreativitas Mahasiswa Tahun 2025.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahyat, M. F., & Hamzah, I. (2025). *Pemanfaatan Limbah Steel slag dan Fly Ash sebagai Substitusi dalam Pembuatan Beton Ditinjau dari Kuat Tekan, Kuat Lentur, dan Absorpsi*. Skripsi, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Anwar, A., Amin, M., Sudibyo, S., Birawida, D. C., Hendronursito , Y., Dwi Yanti, E., & Isnugroho, K. . (2023). Pengaruh Penggunaan Material Steel slag Sebagai Bahan Subtitusi Semen terhadap Sifat Fisis, Kuat Tekan dan Karakterisasi Mortar. *Jurnal Teknik Sipil*, 30(1). <https://doi.org/10.5614/jts.2023.30.1.7>
- ASTM International. (2023). *ASTM C270-23: Standard specification for mortar for unit masonry*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/C0270-23>
- Cintiya, D. (2023). Pemanfaatan Dry Tailing Sebagai Filler Mortar Pada Batako. Tugas Akhir Mahasiswa. Sarjana Teknik. Universitas Bakrie.
- Fakhruddin, M.M, dan Probawati, D. (2023). Kajian Pemanfaatan Tailing Pengolahan Emas Untuk Pembuatan Batako Sebagai Aplikasi Zero Waste Material Di PT Global Minerallium Corporindo Kecamatan Batu Sopang Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Penelitian Rumpun Ilmu Teknik*, 3(1), 149–166. <https://doi.org/10.55606/juprit.v3i1.3219>
- Mulia, A.Y, Sari, I.N, (2018). Karakteristik Limbah Tailing Sebagai Bahan Baku Mortar Siap Pakai. *Jurnal Permukiman*, Vol.12, No.1, pp.53-60.
- Napitupulu, L. S., & Purwanti, I. F. (2022). *Kajian Fitostabilisasi Limbah Hasil Tambang Tembaga (Tailing)*. Jurnal Teknik ITS, 11(3), F99–F104
- Rahmawati, F, Yushandiana, F. (2022). Dry Stacking Sebagai Metode Penanganan Tailing Pengganti Tailing Dam. *Journal of Metallurgical Engineering and Processing Technology*, Vol. 2, No.2, pp.11-20.
- SNI 03-6825-2002 Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjaan Sipil.
- Zahro, Fatimatuz (2024) *Kajian Reduksi Karbon Dioksida Dari Penggunaan Energi di Industri Semen (Studi Kasus PT X)*. Master Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.