

Pengaruh Substitusi Pasir Limbah *Tailing* Emas Sebagai Agregat Halus terhadap Sifat Mekanik Beton Normal

Riko Ardiansyah^{1*}, Hariyadi², Nurul Hidayati³

Universitas Muhammadiyah Mataram, Mataram-83115, Indonesia^{1,3}

Universitas Mataram, Mataram-83125, Indonesia²

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

Pasir limbah *tailing* emas; substitusi agregat halus; beton normal; kuat tekan; kuat tarik belah.

***Correspondence email:**

agustinus-sungsang@untagsmg.ac.id

Submitted: 15 Juli 2026

Revised: 24 Juli 2026

Accepted: 31 Juli 2026

Published: 01 Agustus 2026

ABSTRAK

Peningkatan kebutuhan pasir alam sebagai agregat halus dalam campuran beton mendorong pemanfaatan material alternatif yang lebih ramah lingkungan, salah satunya adalah pasir limbah *tailing* emas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh substitusi pasir limbah *tailing* emas sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap karakteristik beton segar dan sifat mekanik beton normal. Penelitian dilakukan secara eksperimen dengan menggunakan empat variasi campuran, yaitu beton normal, BTL 10%, BTL 20%, dan BTL 30%. Perencanaan campuran beton mengacu pada SNI 03-2834-2000, sedangkan benda uji berupa silinder berukuran 15 cm × 30 cm yang diuji pada umur 28 hari. Parameter yang diuji meliputi nilai slump, berat jenis agregat halus, kuat tekan, dan kuat tarik belah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beton normal memiliki nilai kuat tekan tertinggi sebesar 20,27 MPa, sedangkan pada variasi *tailing* 10% menurun sebesar 9,22% menjadi 18,40 MPa, pada variasi 20% menurun sebesar 4,75% menjadi 19,31 MPa, dan pada variasi 30% menurun sebesar 0,09% menjadi 20,25 MPa. Pada uji kuat tarik belah, nilai kuat tarik belah beton normal sebesar 1,72 MPa, sedangkan variasi 10%, 20%, dan 30% masing-masing sebesar 1,75 MPa, 1,73 MPa, dan 1,72 MPa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan pasir limbah *tailing* emas hingga 30% masih mampu menghasilkan kuat tekan yang hampir sama dengan beton normal, sedangkan substitusi 10% memberikan peningkatan kuat tarik belah tertinggi sebesar 1,37% dari beton normal. Penelitian ini menunjukkan bahwa pasir limbah *tailing* emas berpotensi dimanfaatkan sebagai material alternatif agregat halus yang lebih ramah lingkungan tanpa menurunkan sifat mekanik beton secara signifikan.

ABSTRACT

Keywords:

Gold mining tailings waste sand; fine aggregate substitution; normal concrete; compressive strength; splitting tensile strength.

The increasing demand for natural sand as fine aggregate in concrete mixtures encourages the utilization of more environmentally friendly alternative materials, one of which is gold mining tailings waste sand. This study aims to analyze the effect of substituting gold mining tailings waste sand as a partial replacement for fine aggregate on the fresh concrete characteristics and mechanical properties of normal concrete. The research was conducted experimentally using four mixture variations, namely normal concrete, BTL 10%, BTL 20%, and BTL 30%. The concrete mix design referred to SNI 03-2834-2000, while the specimens were cylindrical with dimensions of 150 mm × 300 mm and tested at the age of 28 days. The parameters tested included slump value, fine aggregate specific gravity, compressive strength, and splitting tensile strength. The results showed that normal concrete had the highest compressive strength of 20.27 MPa, while the 10% tailings variation decreased by 9.22% to 18.40 MPa, the 20% variation decreased by 4.75% to 19.31 MPa, and the 30% variation decreased by 0.09% to 20.25 MPa. In the splitting tensile strength test, normal concrete had a value of 1.72 MPa, while the 10%, 20%, and 30% variations had values of 1.75 MPa, 1.73 MPa, and 1.72 MPa, respectively. These results indicate that the use of gold mining tailings waste sand up to 30% is still capable of producing compressive strength nearly equivalent to normal concrete, while the 10% substitution provided the highest increase in splitting tensile strength of 1.37% compared to normal concrete. This study demonstrates that gold mining tailings waste sand has the potential to be utilized as an environmentally friendly alternative fine aggregate material without significantly reducing the mechanical properties of concrete.

PENDAHULUAN

Beton merupakan material yang paling dominan digunakan dalam membuat struktur suatu konstruksi baik konstruksi gedung, jalan, jembatan, bendungan dan lain-lain. Penggunaan beton yang terus meningkat sejalan dengan perkembangan pembangunan nasional menyebabkan kebutuhan terhadap bahan penyusun beton, terutama agregat halus

berupa pasir alam, juga semakin meningkat. Agregat merupakan komponen terbesar dalam campuran beton, yaitu sekitar 60–80% dari volume beton, sehingga kualitas agregat sangat memengaruhi mutu beton yang dihasilkan. Oleh karena itu, ketersediaan agregat halus menjadi salah satu faktor penting dalam industri konstruksi (Siregar et al., 2020).

Karena kebutuhan pasir yang berlebihan sebagai agregat halus dalam beton, eksploitasi sumber daya alam ini telah meningkat. Aktivitas ini dapat menyebabkan beberapa masalah lingkungan, seperti erosi tanah, pengendapan lumpur di sungai, perubahan saluran sungai, dan penurunan kualitas lingkungan secara keseluruhan. Sangat penting untuk menemukan material alternatif yang dapat mengurangi konsumsi agregat halus dan meningkatkan sifat beton sebagai pengganti pasir (Fahima et al., 2024).

Tailing emas merupakan salah satu jenis limbah pertambangan yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan pengganti agregat halus. Material ini merupakan sisa dari proses ekstraksi mineral berharga yang menghasilkan limbah dalam jumlah besar. Pada umumnya, *tailing* hanya disimpan di lokasi penampungan tanpa pemanfaatan lebih lanjut. Kondisi tersebut berisiko menimbulkan pencemaran tanah dan air apabila pengelolaannya tidak dilakukan secara baik. Dengan memanfaatkan *tailing* sebagai bahan konstruksi, dampak lingkungan akibat limbah pertambangan dapat dikurangi sekaligus memberikan manfaat ekonomi melalui peningkatan nilai guna material tersebut (Hidayanti et al., 2024). Penelitian mengenai pemanfaatan limbah *tailing* sebagai bahan alternatif agregat halus pada material konstruksi telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Pada penelitian Vignesh et al. (2015) meneliti penggunaan *tailing* tambang emas sebagai substitusi sebagian pasir alam pada mortar pasangan. Hasil penelitian tersebut menunjukkan *tailing* emas memiliki potensi dimanfaatkan sebagai bahan alternatif pengganti sebagian pasir dalam material konstruksi. Penggunaan *tailing* sebagai pengganti agregat halus umumnya dapat meningkatkan kinerja mekanik beton pada tingkat substitusi rendah hingga mencapai nilai optimum, kemudian mengalami penurunan apabila persentase substitusi terlalu tinggi (Johansson et al., 2024).

Ikotun et al. (2024) melakukan penelitian dengan mengganti pasir menggunakan *secondary gold tailings* pada variasi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan beton tertinggi diperoleh pada substitusi 25% dengan nilai sebesar 66,19 MPa, lebih tinggi dibandingkan beton normal yang mencapai 63,64 MPa. Sementara itu, kuat tarik belah tertinggi diperoleh pada substitusi 50%, yaitu 4,29 MPa dibandingkan beton normal sebesar 3,22 MPa. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa penggunaan *tailing* emas sebagai pengganti sebagian pasir mampu meningkatkan sifat mekanik beton karena efek pengisian (*filler effect*) yang menghasilkan struktur beton lebih padat. Namun, pada substitusi 75% dan 100%, kuat tekan dan kuat tarik belah mulai mengalami penurunan akibat meningkatnya jumlah pasir *tailing* yang menyebabkan kebutuhan air lebih tinggi dan menurunkan kualitas ikatan pasta semen dengan agregat. Penggunaan *tailing* tambang emas sebagai pengganti sebagian pasir alam pada elemen struktur beton dengan variasi substitusi 10%, 20%, dan 30%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *tailing* emas dapat memengaruhi perilaku elemen struktur dan pada tingkat substitusi tertentu mampu memberikan hasil yang lebih baik dari beton normal (Krishna et al., 2017).

Song et al. (2024) juga melakukan penelitian memanfaatkan *gold tailings* sebagai pengganti pasir sungai dalam campuran beton. Penelitian tersebut menggunakan beberapa variasi substitusi dan memperoleh hasil bahwa persentase substitusi optimum berada pada sekitar 30%. Pada persentase tersebut terjadi peningkatan kuat tekan dan kuat tarik belah dibandingkan beton normal. Peningkatan ini disebabkan oleh aktivitas pozzolanik serta efek pengisian (*filler effect*) dari partikel *tailing* yang memperbaiki struktur mikro beton. Akan tetapi, penggunaan *tailing* dalam jumlah yang terlalu besar menyebabkan penurunan kekuatan beton karena meningkatnya porositas dan berkurangnya efektivitas ikatan antar material penyusun beton. Pada penelitian Amalia & Riyadi. (2019) meneliti kualitas beton *self-compacting concrete* dengan substitusi agregat halus menggunakan *tailing* tambang emas daerah Pongkor. Penelitian tersebut menggunakan variasi *tailing* 0%, 5%, 10%, dan 15%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *tailing* dapat meningkatkan kuat tekan beton, sedangkan kuat tarik beton cenderung mengalami penurunan. Persentase substitusi optimum dalam penelitian tersebut diperoleh sebesar 10%. Hasil ini menunjukkan bahwa persentase penggunaan *tailing* memiliki pengaruh terhadap sifat mekanik beton.

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa limbah *tailing* emas memiliki potensi sebagai substitusi pasir pada beton normal. Penggunaan *tailing* pada kisaran 25%–30% umumnya memberikan peningkatan terhadap kuat tekan, sedangkan kuat tarik belah masih dapat meningkat hingga sekitar 50%. Oleh karena itu, penelitian mengenai variasi substitusi pasir limbah *tailing* emas masih perlu dilakukan untuk menentukan persentase optimum yang sesuai dengan karakteristik material lokal dan mutu beton yang direncanakan.

Penelitian terkait pemanfaatan *tailing* sebagai bahan konstruksi telah berkembang. Keterbatasan penelitian tersebut terutama terlihat pada penggunaan *tailing* yang berasal dari lokasi pertambangan di Indonesia. Selain itu, perbedaan karakteristik material *tailing* yang dipengaruhi oleh kondisi geologi dan proses pengolahan tambang menyebabkan respons beton terhadap penggunaan *tailing* dapat bervariasi. Oleh karena itu, penelitian ini diperlukan untuk mengetahui pengaruh substitusi pasir limbah *tailing* emas terhadap sifat mekanik beton normal serta menentukan persentase substitusi optimum yang mampu menghasilkan mutu beton yang paling baik.

Namun demikian, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui dampak penggunaan pasir limbah *tailing* emas sebagai pengganti sebagian agregat halus terhadap sifat mekanik beton normal. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah beton pada umur 28 hari. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh wawasan mengenai potensi penggunaan limbah *tailing* emas sebagai bahan alternatif dalam konstruksi yang lebih ramah lingkungan, bernilai ekonomi, serta mendukung pembangunan berkelanjutan.

METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram. Spesimen yang digunakan adalah beton berbentuk silinder dengan Substitusi pasir limbah *tailing* emas sebagai agregat halus. Variasi pasir limbah *tailing* emas yang digunakan sebesar 10%, 20%, dan 30% dari pasir normal. Penelitian ini mengkaji pengaruh variasi persentase substitusi pasir limbah *tailing* emas terhadap sifat mekanik beton, khususnya kuat tekan beton dan tarik belah beton, serta menentukan komposisi campuran beton dengan Substitusi pasir limbah *tailing* emas sebagai agregat halus yang menghasilkan kinerja paling optimal sesuai dengan ketentuan teknis yang berlaku.

Berdasarkan uraian latar belakang, penelitian ini difokuskan pada pengaruh substitusi pasir limbah *tailing* emas sebagai agregat halus terhadap sifat mekanik beton normal, terutama pada kuat tekan dan kuat tarik belah. Persentase substitusi pasir limbah *tailing* emas yang di gunakan sebesar 10%, 20%, dan 30% dari pasir normal. Sehingga perbedaan sifat mekanik beton yang dihasilkan dapat dikaitkan langsung dengan variasi substitusi pasir limbah *tailing* emas dalam menentukan kuat tekan dan kuat tarik belah. Proses penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan yaitu:

1. Tahapan Persiapan Material Penelitian

Material yang digunakan meliputi semen Portland tipe I merek Tiga Roda sebagai bahan pengikat utama dalam campuran beton. Pasir sungai dengan ukuran butiran 0,15 mm sampai 4,7 mm dimanfaatkan sebagai agregat halus, sedangkan kerikil sungai berukuran 20 mm sampai 40 mm digunakan sebagai agregat kasar. Spesifikasi kedua agregat tersebut mengacu pada SNI 03-2847-2002. Air yang digunakan untuk proses pencampuran berasal dari laboratorium dan memenuhi standar SNI 2847-2019. Penelitian ini juga memanfaatkan pasir limbah *tailing* emas sebagai substitusi pasir normal dengan persentase sebesar 10%, 20%, dan 30% dari pasir normal. Sebelum pengujian kuat tekan dilakukan, permukaan benda uji diratakan melalui proses capping menggunakan sulfur berdasarkan ASTM C617.

2. Tahapan Persiapan Alat Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan yaitu timbangan digital, gelas ukur, wadah, *oven*, *sieve shaker*, *piknometer*, keranjang pemeriksaan berat jenis beton, *los angeles abrasion machine*, alat pencampuran beton atau cepang, wadah pencampuran beton, kerucut abrams, cetakan silinder 15 cm x 30 cm, dan *compression testing machine*.

3. Tahapan Pengujian Sifat Fisik Material Penelitian

Sebelum digunakan untuk membuat beton, semua bahan penyusun beton diuji terlebih dahulu untuk mengetahui mutu dan sifat fisiknya. Adapun tahapan pengujian sifat fisik material meliputi uji kadar lumpur, uji kadar air, uji berat volume, uji berat jenis, uji saringan/gradasi, dan uji abrasi (untuk agregat kasar).

4. Tahapan Job Mix Design

Job Mix Design (JMD) atau perencanaan campuran beton mengacu pada SNI 03-2834-2000 tentang perencanaan beton normal. Perancangan campuran dilakukan untuk memperoleh proporsi material penyusun beton yang memenuhi mutu rencana berdasarkan karakteristik bahan yang digunakan. Parameter yang diperhitungkan meliputi kuat tekan rencana, nilai slump, ukuran maksimum agregat, faktor air-semen (FAS), serta hasil pengujian sifat fisik agregat, seperti berat jenis, kadar air, daya serap, kadar lumpur, dan gradasi agregat. Pada penelitian ini, pasir limbah *tailing* emas digunakan sebagai substitusi sebagian agregat halus sesuai dengan variasi yang telah ditentukan, sedangkan komponen penyusun lainnya dipertahankan tetap agar pengaruh substitusi terhadap sifat mekanik beton dapat dievaluasi secara objektif (Badan Standardisasi Nasional. 2000).

5. Tahapan Pencampuran Material Beton

Tahapan ini dilakukan untuk menentukan komposisi campuran beton (*job mix design*) yang sesuai sehingga beton yang dihasilkan memiliki kekuatan sesuai dengan target perencanaan. Dalam tahapan ini dilakukan substitusi pasir limbah *tailing* emas sebagai agregat halus. Setelah campuran selesai dibuat, kemudian dilakukan pembuatan benda uji berbentuk silinder dengan prosedur sebagai berikut:

a. Pencampuran Beton

Dalam proses pembuatan beton, diperlukan perhitungan yang tepat mengenai jumlah setiap bahan penyusun agar diperoleh campuran yang sesuai dengan mutu yang direncanakan. Oleh karena itu, penyusunan *Job Mix Design* menjadi tahapan yang penting. *Job Mix Design* merupakan rancangan komposisi campuran beton yang telah diuji dan ditetapkan oleh laboratorium sebagai acuan awal dalam pembuatan beton. Perancangan ini didasarkan pada hasil pengujian material yang digunakan sehingga dapat menghasilkan campuran beton dengan kualitas yang diinginkan (Badan Standardisasi Nasional. 2000).

b. Uji *Slump Test*

Pengujian *slump test* merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui tingkat kelecakan (*workability*) atau kemudahan pengerjaan beton segar. Pengujian ini juga dapat memberikan gambaran mengenai tingkat kekentalan campuran beton yang dipengaruhi oleh jumlah air yang digunakan. Proses pengujian dilakukan dengan memasukkan beton segar ke dalam cetakan *kerucut Abrams*. Setelah cetakan diangkat secara vertikal, beton akan mengalami penurunan. Selisih antara tinggi beton sebelum dan sesudah cetakan diangkat disebut nilai slump (Karim et al., 2020).

c. Pencetakan Benda Uji Berbentuk Silinder

Pembuatan benda uji beton berbentuk silinder berukuran 30 cm × 15 cm diawali dengan membersihkan cetakan, kemudian mengoleskan pelumas tipis pada bagian dalam cetakan agar beton mudah dilepaskan setelah mengeras. Selanjutnya, cetakan diletakkan di atas permukaan yang rata dan kokoh agar tidak bergeser atau miring saat proses pengecoran. Setelah itu, bahan penyusun beton berupa semen, agregat halus, agregat kasar, dan air dicampur sesuai komposisi yang telah ditentukan. Campuran beton kemudian dimasukkan ke dalam cetakan dalam tiga lapisan dengan tinggi yang sama. Setiap lapisan dipadatkan menggunakan batang baja berdiameter 16 mm sebanyak 25 kali tusukan secara merata untuk menghilangkan udara yang terperangkap di dalam campuran. Penusukan pada lapisan berikutnya dilakukan hingga sedikit menembus lapisan sebelumnya agar kedua lapisan menyatu dengan baik. Setelah cetakan terisi penuh, permukaan beton diratakan menggunakan roskam hingga sejajar dengan bibir cetakan. Apabila permukaan masih kurang rata, ditambahkan sedikit adukan dan diratakan kembali. Kemudian, setiap benda uji diberi kode yang memuat informasi mengenai jenis campuran, tanggal pengecoran, dan nomor benda uji (Badan Standardisasi Nasional. 1998).

6. Perawatan Benda Uji

Metode penanganan spesimen yang diterapkan dalam studi ini adalah water curing, yang melibatkan perawatan melalui perendaman dalam air. Dalam prosedur ini, spesimen beton ditempatkan dalam wadah berisi air bersih hingga mencapai usia pengujian yang ditentukan. Perawatan menggunakan air ini dirancang untuk mempertahankan tingkat kelembapan beton, sehingga memastikan proses hidrasi semen berjalan secara optimal. Selain dengan perendaman, metode water curing juga dapat dilakukan dengan menempatkan beton di ruangan yang lembap, menutup permukaan beton menggunakan karung basah, atau menyiram permukaan beton secara terus-menerus (Fernando et al., 2023).

7. Pengujian Kuat Tekan

Uji kuat tekan beton dilaksanakan setelah sampel menjalani proses perawatan yang memadai dan mencapai umur 28 hari. Investigasi ini bertujuan untuk menentukan kapasitas beton dalam menahan beban tekan sampai terjadi kegagalan pada sampel. Prosedur pengujian melibatkan penggunaan mesin tekan yang memberikan beban secara progresif dan bertahap sesuai dengan SNI 1974:2011 hingga sampel beton mengalami kehancuran. Besaran kuat tekan dihitung dengan membagi beban maksimum yang mampu ditahan beton dengan luas penampang sampel. Pemilihan umur 28 hari sebagai patokan didasarkan pada asumsi bahwa pada umur tersebut, beton telah mengembangkan sebagian besar kekuatan desainnya, sehingga hasil uji dapat dianggap merepresentasikan kualitas beton secara keseluruhan (Badan Standardisasi Nasional, 2011).

8. Pengujian Kuat Tarik Belah

Uji kuat tarik belah beton dilaksanakan setelah sampel menjalani proses perawatan yang memadai dan mencapai umur 28 hari. Pengujian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kapasitas beton dalam menahan beban tarik secara tidak langsung. Benda uji yang berbentuk silinder diposisikan secara horizontal pada mesin uji tekan, terletak di antara bantalan pembebanan. Pembebanan kemudian diaplikasikan secara progresif hingga terjadi keretakan pada beton dan terbelah menjadi dua segmen. Besaran kuat tarik belah dihitung berdasarkan beban puncak yang diterima oleh benda uji, dengan penerapan formula yang mengacu pada SNI 2491:2014. Pemilihan umur pengujian 28 hari didasarkan pada pertimbangan bahwa pada periode tersebut, beton pada umumnya telah mencapai kekuatan tekan dan tarik yang menjadi standar rujukan untuk penilaian kualitas beton (Badan Standardisasi Nasional, 2014).

HASIL

1. Hasil Uji Sifat Fisik Agregat

Penelitian ini dilaksanakan dengan melakukan pengujian di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram. Data hasil pengujian kemudian diolah dan dianalisis sesuai dengan variabel yang digunakan dalam penelitian. Selanjutnya hasil analisis ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik.

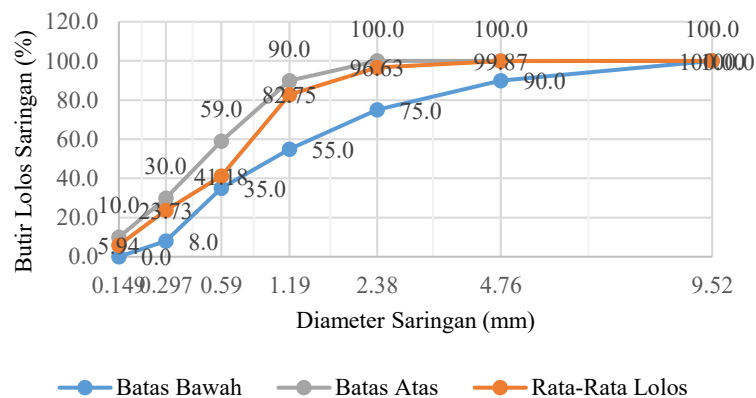
Beberapa pengujian terhadap sifat fisik agregat yang dilakukan antara lain terkait uji kadar lumpur, uji berat jenis dan penyerapan, uji gradasi, uji berat isi, uji kadar air serta uji abrasi/keausan, sedangkan hasil pengujiannya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Sifat Fisik Material

No.	Material	Jenis Pengujian	Hasil	Syarat	Keterangan	Acuan
1	Agregat Halus	Kadar Lumpur	2,0%	<5%	Memenuhi	SNI 03-4141-1996
2	Agregat Halus	Kadar Lumpur	0,91%	<5%	Memenuhi	SNI 03-4141-1996
3	Agregat Kasar	Kadar Lumpur	0,31%	<1%	Memenuhi	SNI 03-4142-1996
4	Agregat Halus	Kadar Air	12,4%	<5%	Tidak Memenuhi	SNI 03-1971-1990
5	Agregat Halus	Kadar Air	0,9%	<5%	Memenuhi	SNI 03-1971-1990
6	Agregat Kasar	Kadar Air	0,4%	<5%	Memenuhi	SNI 03-1971-1990
7	Agregat Halus	Berat Volume	1,4 g/cm ³	1,4–1,9 g/cm ³	Memenuhi	SNI 03-4804-1998
8	Agregat Halus	Berat Volume	1,5 g/cm ³	1,4–1,9 g/cm ³	Memenuhi	SNI 03-4804-1998
9	Agregat Kasar	Berat Volume	1,7 g/cm ³	1,4–1,9 g/cm ³	Memenuhi	SNI 03-4804-1998
10	Agregat Halus	Berat Jenis	2,0	1,6 – 3,2	Memenuhi	SNI 1969 : 2016
11	Agregat Halus	Berat Jenis	2,3	1,6 – 3,2	Memenuhi	SNI 1969 : 2016
12	Agregat Kasar	Berat Jenis	2,5	1,6 – 3,2	Memenuhi	SNI 1970 : 2008
13	Agregat Kasar	Abrasi	24,9%	<40%	Memenuhi	SNI 03-2417-2008

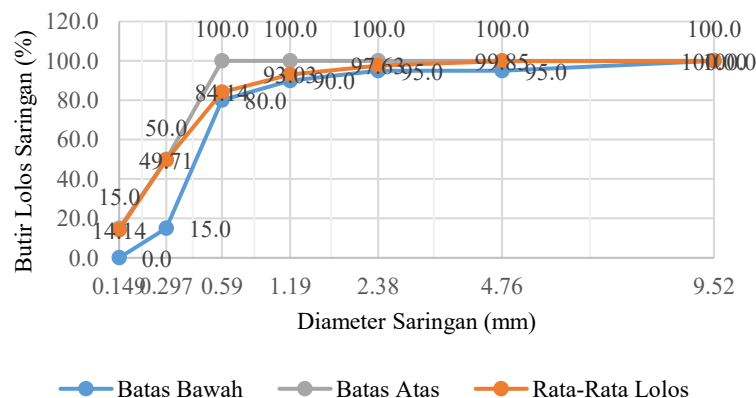
Sumber: Hasil data pengujian (2026)

Uji gradasi agregat dilakukan terhadap agregat halus baik pasir normal maupun pasir *tailing* serta agregat kasar. Hasil uji gradasi pasir normal dan pasir *tailing* mengacu pada SNI 03-2461-1991 sedangkan agregat kasar mengacu pada SNI 03-1968-1990. Grafik hasil uji agregat dapat dilihat pada Gambar 1 – 3.



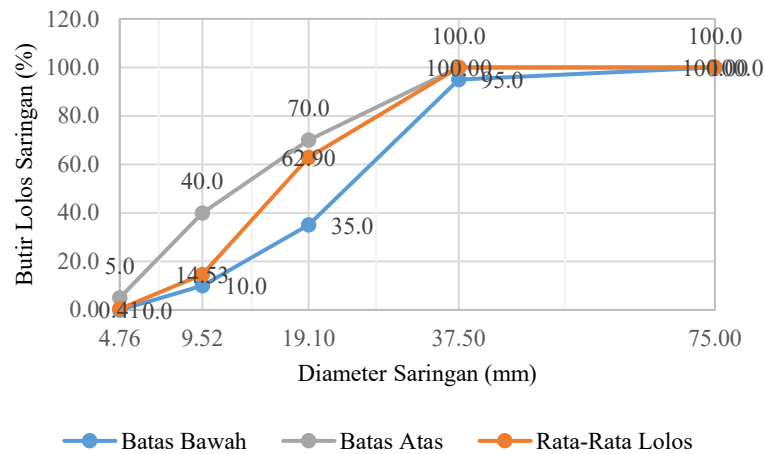
Gambar 1. Grafik Gradasi Pasir Normal

Sumber: Hasil data pengujian (2026)



Gambar 2. Grafik Gradasi Pasir Tailing

Sumber: Hasil data pengujian (2026)



Gambar 3. Grafik Gradasi Agregat Kasar

Sumber: Hasil data pengujian (2026)

2. Job Mix Design (JMD)

Job Mix Design (JMD) mengacu pada SNI 03-2843-2000 tentang perencanaan beton normal. JMD bertujuan untuk mengetahui proporsi setiap material yang diperlukan untuk campuran beton pada setiap variasi. Untuk setiap variasi ditampilkan pada Tabel 2.

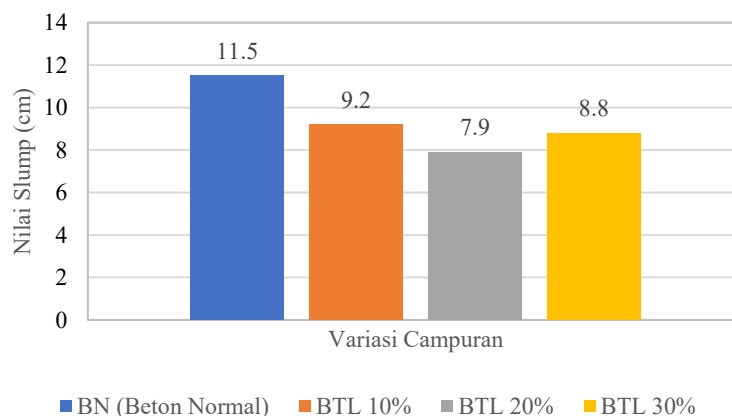
Tabel 2. Data Campuran Beton (*Job Mix Design*)

Variasi	Jumlah Sampel	Semen (Kg)	Air (Liter)	Pasir (Kg)	Kerikil (Kg)	Pasir Tailing (Kg)
BN (Beton Normal)	6	12,298	6,764	24,363	38,107	0,000
BTL 10%	6	12,298	6,764	21,927	38,107	2,436
BTL 20%	6	12,298	6,764	19,491	38,107	4,873
BTL 30%	6	12,298	6,764	17,054	38,107	7,309
Jumlah	24	49,192	27,055	82,835	152,427	14,618

Sumber: Hasil data perhitungan (2026)

3. Hasil Uji Slump

Uji slump mengacu pada SNI 03-1972-1990 yang bertujuan untuk mengetahui tingkat kekentalan dari campuran. Hasil uji slump setiap variasi campuran dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Hasil Uji Slump

Sumber: Hasil data pengujian (2026)

4. Hasil Uji Tekan

Setelah mencapai umur 28 hari sampel beton selanjutnya diuji menggunakan Compression Testing Machine (CTM). Tujuan pengujian ini adalah untuk mendapatkan beban maksimum yang dapat ditahan oleh setiap sampel

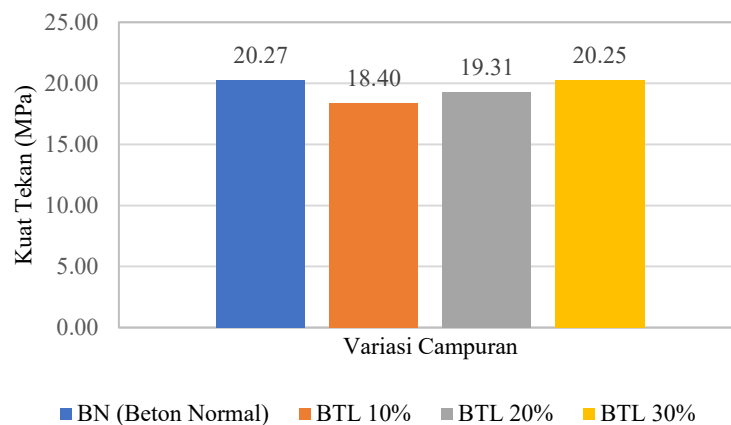
sebelum mengalami kerusakan. Beban maksimum yang tercatat kemudian digunakan sebagai acuan untuk menghitung kuat tekan beton. Hasil pengujian untuk setiap variasi ditampilkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Tekan Beton

No.	Variasi	Umur (hari)	Berat Sample Rata-Rata (kg)	Gaya Tekan Rata-Rata (kN)	Gaya Tekan Rata-Rata (N)	Luas Penampang (mm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	BN (Beton Normal)	28	12,521	358	358000	17662,5	20,27
2	BTL 10%	28	12,197	325	325000	17662,5	18,40
3	BTL 20%	28	12,035	341	341000	17662,5	19,31
4	BTL 30%	28	12,245	358	357667	17662,5	20,25

Sumber: Hasil data perhitungan (2026)

Berdasarkan hasil uji tekan pada tabel 3 diperoleh nilai uji tekan untuk setiap variasi campuran menunjukkan untuk beton normal sebesar 20,27 MPa dan beton tailing 10% sebesar 18,40 MPa untuk beton *tailing* terjadi peningkatan dan penurunan nilai kuat tekan pada beberapa variasi. Lebih jelasnya nilai kuat tekan ditampilkan dalam bentuk grafik perbandingan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Hasil Uji Kuat Tekan

Sumber: Hasil data pengujian (2026)

Berdasarkan grafik perbandingan hasil uji tekan pada Gambar 5, diperoleh nilai kuat tekan memiliki selisih nilai yang akan ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Kuat Tekan Terhadap Beton Normal

No.	Variasi	Kuat Tekan (MPa)	Selisih Terhadap BN (MPa)	Persentase Selisih (%)
1	BN (Beton Normal)	20,27	0,00	0,00
2	BTL 10%	18,40	1,87	9,22
3	BTL 20%	19,31	0,96	4,75
4	BTL 30%	20,25	0,02	0,09

Sumber: Hasil data perhitungan (2026)

Berdasarkan Tabel 4, hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 28 hari, beton normal memiliki nilai kuat tekan sebesar 20,27 MPa telah mencapai mutu rencana yaitu 20 MPa. Penggunaan pasir limbah *tailing* emas sebagai substitusi agregat halus pada variasi BTL 10% menghasilkan kuat tekan sebesar 18,40 MPa mengalami penurunan sebesar 1,87 MPa dengan persentase penurunan 9,22% dari beton normal.

Pada variasi campuran beton menggunakan pasir limbah *tailing* emas memberikan pengaruh yang berbeda-beda pada setiap variasi campuran. Pada variasi BTL 20% nilai kuat tekan meningkat menjadi 19,31 MPa dengan selisih 0,96 MPa mengalami penurunan sebesar 4,75% dari beton normal. Sementara pada variasi BTL 30% nilai kuat tekan beton mencapai 20,25 MPa dengan selisih 0,02 MPa dengan persentase penurunan sebesar 0,09% dari beton normal.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan pasir limbah *tailing* emas dengan persentase substitusi 30% dari pasir normal menghasilkan kuat tekan yang hampir setara dengan beton normal.

5. Hasil Uji Tarik Belah

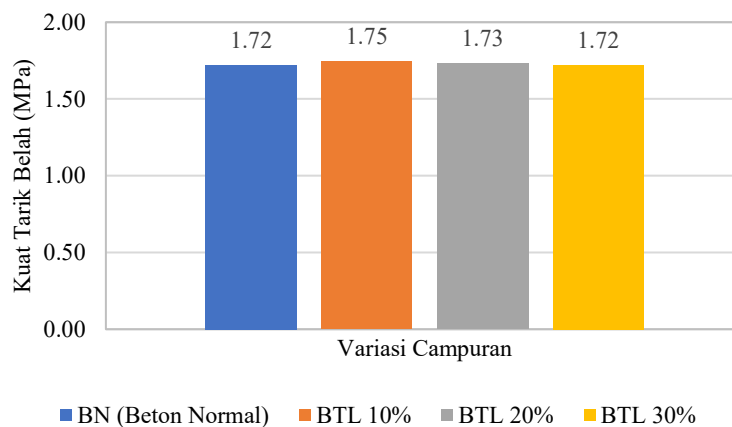
Setelah mencapai umur 28 hari sampel beton selanjutnya diuji menggunakan Compression Testing Machine (CTM). Tujuan pengujian ini adalah untuk mendapatkan beban maksimum yang dapat ditahan oleh setiap sampel sebelum mengalami kerusakan. Beban maksimum yang tercatat kemudian digunakan sebagai acuan untuk menghitung kuat tarik belah beton. Hasil pengujian untuk setiap variasi ditampilkan dalam Tabel 3.

Tabel 5. Hasil Uji Tarik Belah Beton

No.	Variasi	Umur (hari)	Berat Sample Rata-Rata (kg)	Kuat Tarik Belah (kN)	Kuat Tarik Belah (N)	2 x P (Beban Maksimum)	Dimensi Benda Uji (mm)		Kuat Tarik Belah (MPa)
							D	L	
1	BN (Beton Normal)	28	12,270	122	121667	243333	150	300	1,72
2	BTL 10%	28	12,256	123	123333	246667	150	300	1,75
3	BTL 20%	28	11,915	122	122333	244667	150	300	1,73
4	BTL 30%	28	12,193	122	121667	243333	150	300	1,72

Sumber: Hasil data perhitungan (2026)

Berdasarkan hasil uji tarik belah pada Tabel 5 diperoleh nilai uji tarik belah untuk setiap variasi campuran menunjukkan untuk beton normal sebesar 1,72 MPa dan BTL 10% sebesar 1,75 MPa untuk beton *tailing* terjadi peningkatan dan penurunan nilai kuat tarik belah pada beberapa variasi. Untuk lebih jelasnya nilai kuat tarik belah disajikan dalam bentuk grafik perbandingan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Perbandingan Hasil Uji Tarik Belah

Sumber: Hasil data pengujian (2026)

Berdasarkan grafik perbandingan hasil uji tarik belah pada Gambar 6, didapatkan nilai kuat tarik belah mempunyai selisih nilai yang akan ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Kuat Tarik Belah Terhadap Beton Normal

No.	Variasi	Kuat Tarik Belah (MPa)	Selisih Terhadap BN (MPa)	Persentase Selisih (%)
1	BN (Beton Normal)	1,72	0,00	0,00
2	BTL 10%	1,75	0,02	1,37
3	BTL 20%	1,73	0,01	0,55
4	BTL 30%	1,72	0,00	0,00

Sumber: Hasil data perhitungan (2026)

Berdasarkan Tabel 6, hasil pengujian kuat tarik belah beton pada umur 28 hari, beton normal memiliki nilai kuat tarik belah sebesar 1,72 MPa. Penggunaan pasir limbah *tailing* emas sebagai substitusi agregat halus pada variasi BTL 10% menghasilkan kuat tarik belah sebesar 1,75 MPa mengalami kenaikan sebesar 0,02 MPa dengan persentase 1,37% dari beton normal.

Pada variasi campuran beton menggunakan pasir limbah *tailing* emas memberikan pengaruh yang berbeda-beda pada setiap variasi campuran. Pada variasi BTL 20% nilai kuat tarik belah menurun menjadi 1,73 MPa dengan selisih 0,01 MPa mengalami kenaikan sebesar 0,55% dari pasir normal. Sementara pada variasi BTL 30% nilai kuat tarik belah sebesar 1,72 MPa sama dengan beton normal sehingga tidak terjadi peningkatan maupun penurunan terhadap beton normal.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa substitusi pasir *tailing* emas sebesar 10% merupakan variasi yang memberikan peningkatan kuat tarik belah paling baik dibandingkan variasi lainnya.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pasir limbah *tailing* emas sebagai substitusi sebagian agregat halus memberikan pengaruh terhadap karakteristik beton segar maupun sifat mekanik beton. Pengaruh tersebut dapat diamati melalui hasil pengujian nilai slump, berat jenis, kuat tekan, dan kuat tarik belah pada beton normal serta setiap variasi substitusi pasir limbah *tailing* emas.

Pada beton norma, diperoleh nilai slump sebesar 11,5 cm, kuat tekan sebesar 20,27 MPa, dan kuat tarik belah sebesar 1,72 MPa. Nilai slump yang paling tinggi menunjukkan bahwa campuran beton normal memiliki tingkat kelecakan (*workability*) yang lebih baik dibandingkan campuran yang menggunakan pasir limbah *tailing* emas. Hal ini disebabkan karena agregat halus yang digunakan seluruhnya berupa pasir normal dengan berat jenis sebesar 2,0, sehingga kebutuhan air dalam campuran lebih rendah dan campuran beton lebih mudah dikerjakan.

Pada variasi BTL 10%, nilai slump menurun menjadi 9,2 cm, sedangkan kuat tekan juga menurun menjadi 18,40 MPa. Di sisi lain, kuat tarik belah meningkat menjadi 1,75 MPa, yang merupakan nilai tertinggi dari seluruh variasi. Penurunan nilai slump menunjukkan bahwa penambahan pasir limbah *tailing* emas mulai mengurangi kelecakan campuran beton. Hal ini dipengaruhi oleh karakteristik pasir *tailing* yang memiliki ukuran butiran lebih halus dan berat jenis lebih tinggi sebesar 2,3 dibandingkan pasir normal 2,0, sehingga membutuhkan air lebih banyak untuk membasahi permukaan partikel. Pada kadar substitusi 10%, karakteristik tersebut belum mampu meningkatkan kuat tekan, namun masih memberikan pengaruh positif terhadap kuat tarik belah.

Pada variasi BTL 20%, nilai slump kembali menurun menjadi 7,9 cm, sedangkan kuat tekan meningkat menjadi 19,31 MPa dan kuat tarik belah sedikit menurun menjadi 1,73 MPa. Meskipun campuran beton menjadi lebih kaku dibandingkan BN dan BTL 10%, peningkatan kuat tekan menunjukkan bahwa penambahan pasir *tailing* mulai memberikan pengaruh terhadap kepadatan campuran. Berat jenis pasir *tailing* yang lebih tinggi diduga membantu menghasilkan susunan agregat halus yang lebih rapat sehingga ikatan antara pasta semen dan agregat menjadi lebih baik dibandingkan pada variasi BTL 10%.

Pada variasi BTL 30%, nilai slump sedikit meningkat menjadi 8,8 cm, sedangkan kuat tekan kembali meningkat menjadi 20,25 MPa dan kuat tarik belah sebesar 1,72 MPa, sama dengan beton normal. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun nilai slump lebih rendah dibandingkan BN, penambahan pasir limbah *tailing* emas hingga 30% memberikan kecenderungan peningkatan terhadap kuat tekan dibandingkan variasi BTL 10% dan BTL 20%. Hal tersebut mengindikasikan bahwa pada kadar substitusi 30%, partikel pasir *tailing* yang memiliki berat jenis lebih tinggi dan ukuran lebih halus diduga mampu menghasilkan susunan agregat halus yang lebih padat sehingga kemampuan beton dalam menahan beban tekan meningkat. Namun, kondisi tersebut tidak diikuti oleh peningkatan kuat tarik belah, karena nilai yang diperoleh kembali sama dengan beton normal.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan pasir limbah *tailing* emas memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik beton normal. Penurunan nilai slump pada seluruh variasi BTL menunjukkan bahwa penggunaan pasir *tailing* mengurangi kelecakan campuran beton. Akan tetapi, berat jenis pasir *tailing* yang lebih tinggi dibandingkan pasir normal memberikan kecenderungan meningkatkan kepadatan susunan agregat halus. Pengaruh tersebut terlihat pada hasil kuat tekan yang meningkat secara bertahap dari BTL 10% ke BTL 20%, kemudian mencapai nilai tertinggi pada BTL 30%. Sebaliknya, pada kuat tarik belah tidak ditemukan kecenderungan peningkatan yang berkelanjutan, karena nilai tertinggi hanya terjadi pada BTL 10%, kemudian menurun pada BTL 20% dan kembali sama dengan beton normal pada BTL 30%.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh penggunaan pasir limbah *tailing* emas sebagai substitusi sebagian agregat halus memberikan pengaruh terhadap karakteristik beton segar dan sifat mekanik beton normal. Beton normal memiliki nilai slump sebesar 11,5 cm, sedangkan pada variasi BTL 10%, BTL 20%, dan BTL 30% berturut-turut sebesar 9,2 cm, 7,9 cm, dan 8,8 cm, yang menunjukkan bahwa penambahan pasir limbah *tailing* emas menurunkan tingkat kelecakan (*workability*) beton. Selain itu, pasir limbah *tailing* emas memiliki berat jenis sebesar 2,3, lebih tinggi dibandingkan pasir normal sebesar 2,0, sehingga menunjukkan karakteristik material yang lebih padat.

Pada pengujian sifat mekanik, beton normal menghasilkan kuat tekan sebesar 20,27 MPa. Nilai tersebut menurun pada variasi BTL 10% menjadi 18,40 MPa, kemudian meningkat pada variasi BTL 20% menjadi 19,31 MPa pada variasi 20% dan menjadi 20,25 MPa pada variasi BTL 30%. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan persentase substitusi pasir limbah *tailing* emas hingga 30% memberikan kecenderungan meningkatkan kuat tekan setelah terjadi penurunan pada substitusi awal. Sementara itu, kuat tarik belah beton normal sebesar 1,72 MPa, meningkat pada variasi BTL 10% menjadi 1,75 MPa, kemudian menurun pada variasi BTL 20% menjadi 1,73 MPa dan kembali pada variasi BTL 30% menjadi 1,72 MPa, sehingga tidak menunjukkan kecenderungan peningkatan yang konsisten.

Secara keseluruhan, substitusi pasir limbah *tailing* emas terbukti berpengaruh terhadap sifat mekanik beton normal. Pengaruh yang paling nyata terlihat pada kuat tekan, sedangkan terhadap kuat tarik belah peningkatannya hanya terjadi pada variasi BTL 10% dan tidak berlanjut pada persentase substitusi yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, & Riyadi, M. (2019). Kualitas Beton SCC dengan Substitusi Agregat Halus Tailing Tambang Emas Daerah Pongkor. In Media Komunikasi Teknik Sipil (Vol. 25, Number 1).
- Badan Standardisasi Nasional. (1998). Metode pembuatan dan perawatan benda uji beton di lapangan. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2000). SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2011). SNI 1974:2011: Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder yang dicetak. Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. (2014). SNI 2491:2014: Metode uji kekuatan tarik belah spesimen beton silinder (ASTM C496/C496M-04, IDT). Badan Standardisasi Nasional.
- Fahima, S., Tanjung, J. C., Sinatrya, A., Wulan, I. R., Ngadisih, N., & Lestari, P. (2024). Kajian Dampak Penambangan Pasir Terhadap Kualitas Air Sungai Untuk Irigasi di Indonesia. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 12(1), 284-293. <https://doi.org/10.26418/jtlb.v12i1.74581>
- Fernando, V., Hunggurami, E., & Sir, T. M. (2023). Pengaruh perawatan beton (curing) menggunakan water curing dan membrane curing terhadap kuat tekan beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 12(2), 137-144. <https://doi.org/10.29103/tj.v12i2.671>
- Hijayanti, F., Hartami, P. N., & Putra, D. (2024). Analisa Pengaruh Pemanfaatan Tailing Emas dalam Beton Terhadap Porositas dan Kuat Tekan. *Jurnal Pertambangan Dan Lingkungan*, 5(1), 20. <https://doi.org/10.31764/jpl.v5i1.21854>
- Ikotun, J. O., Adeyeye, R. A., & Otieno, M. (2024). Experimental Investigation on the Effect of Gold Tailings as a Partial Replacement for Sand in Concrete. *Sustainability (Switzerland)*, 16(17). <https://doi.org/10.3390/su16177762>
- Johansson, L., Bahrami, A., Wallhagen, M., & Cehlin, M. (2024). A comprehensive review on properties of tailings-based low-carbon concrete: Mechanical, environmental, and toxicological performances. In *Developments in the Built Environment* (Vol. 18). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100428>
- Karim, A., Meidiani, S., & Ramadhani, R. (2020). Studi Eksperimen Kombinasi Nilai Slump Tes dengan Fas Tetap Pada Pembuatan Beton Normal $f_c'25$ MPa. *TEKNIKA: Jurnal Teknik*, 7(2), 235-242. <https://doi.org/10.35449/teknika.v7i2.150>
- Krishna, R. P., Reddy, B. M. R., Satyanarayanan, K. S., & Reddy, H. N. J. (2017). Behaviour of Structural Elements Containing Gold Mine Tailings as Partial Substitute for Natural Sand. *Int. J. Civ. Eng. Technol*, 8, 2049-2061.
- Siregar, A. P. N., Idha, N., & Suarnita, I. W. (2020). Pengaruh penggunaan gradasi agregat berbasis SNI 03-2834-2000 dalam campuran beton terhadap kuat tekan dan fracture toughness beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 27(1), 71-78. <https://doi.org/10.5614/jts.2020.27.1.8>
- Song, Q., Zou, Y., Bao, J., & Zhang, P. (2024). Disposal of solid waste as building materials: A study on the mechanical and durability performance of concrete composed of gold tailings. *Journal of Materials Research and Technology*, 30, 2111-2124. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.03.191>
- Vignesh, S., Ramalinga Reddy, B. M., & Sindhu Nachiar, S. (2015). Effect of partial replacement of natural sand with gold mine tailings on some properties of masonry mortars. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 4(4). <https://doi.org/10.17577/IJERTV4IS040808>