

KEKUATAN BETON DENGAN MENGGUNAKAN CAMPURAN ABU TERBANG SEBAGAI PENGANTI SEBAGIAN SEMEN

I Made Sastra Wibawa¹, I Putu Agus Putra Wirawan^{2*}, Alifian Rizky Saputra³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mahasaraswati Denpasar
Email: agusputrawirawan2020@unmas.ac.id

ABSTRAK: Saat ini, pembangunan infrastruktur menunjukkan perkembangan signifikan yang telah memicu perkembangan teknologi serta berbagai material baru dalam dunia konstruksi. Limbah dari pembangunan ini khususnya pada pembuatan semen yang nantinya dapat berimbas pada permasalahan lingkungan yang sudah semestinya ditangani dengan tepat dalam pengelolaannya. Penggunaan semen sebagai campuran beton hanya sekitar 10%-15%, tetapi proses produksi semen memerlukan konsumsi energi yang tinggi serta menghasilkan limbah dalam jumlah besar, yang berdampak signifikan terhadap lingkungan yang mana dalam hal ini dapat diatasi dengan menambah atau menggantikan sebagian semen dengan material lain yakni Abu Terbang (*Fly Ash*). Maka dari itu, penelitian ini bertujuan mengevaluasi campuran abu terbang (*Fly Ash*) tersebut terhadap kuat tekan beton. Tujuannya adalah guna mencari tahu pengaruh abu terbang sebagai substitusi parsial semen dalam upaya mempengaruhi kekuatan tekan beton. Ada beberapa variasi kandungan abu terbang yang digunakan yakni dengan campuran 0%, 10%, 20%, dan 30% yang nantinya akan disubstitusikan dengan material semennya. Penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk silinder sejumlah 8 buah pada masing-masing variasinya dengan umur benda uji selama 28 hari. Hasil kuat tekan yang diperoleh yakni berupa peningkatan pada kadar 10% sampai 20% dan mengalami penurunan ketika kandungan campuran abu terbang sebanyak 30%. Dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan kekuatan tekan pada beton dikarenakan adanya reaksi *pozzolanic* pada material abu terbang dan penurunannya disebabkan karena berkurangnya peran semen sebagai bahan pengikat utama.

Kata kunci: Abu terbang, Beton, Kuat tekan.

ABSTRACT: Infrastructure development is currently experiencing a significant increase, which has triggered advancements in technology and the emergence of new materials in the construction industry. The waste generated from this development poses environmental problems, thereby requiring proper management. Cement in concrete is only used around 10%–15%, yet the production of cement requires a large amount of energy and generates substantial waste, which significantly impacts the environment. This issue can be addressed by adding or partially replacing cement with another material, namely Fly Ash. This study evaluates the use of fly ash as a partial cement replacement in concrete. The aim is to determine the effect of fly ash on the compressive strength of concrete. Several variations of fly ash content were used: 0%, 10%, 20%, and 30%, which were substituted for cement in the mix. The research utilized cylindrical test specimens, with eight specimens prepared for each variation and tested at the age of 28 days. The results showed an increase in compressive strength at 10% to 20% fly ash content and a decrease when the fly ash content exceeded 30%. It can be concluded that the increase in compressive strength is due to the *pozzolanic* reaction of the fly ash material, while the decrease is caused by the reduced role of cement as the primary binding agent.

Keywords: Concrete, fly ash, compressive strength.

PENDAHULUAN

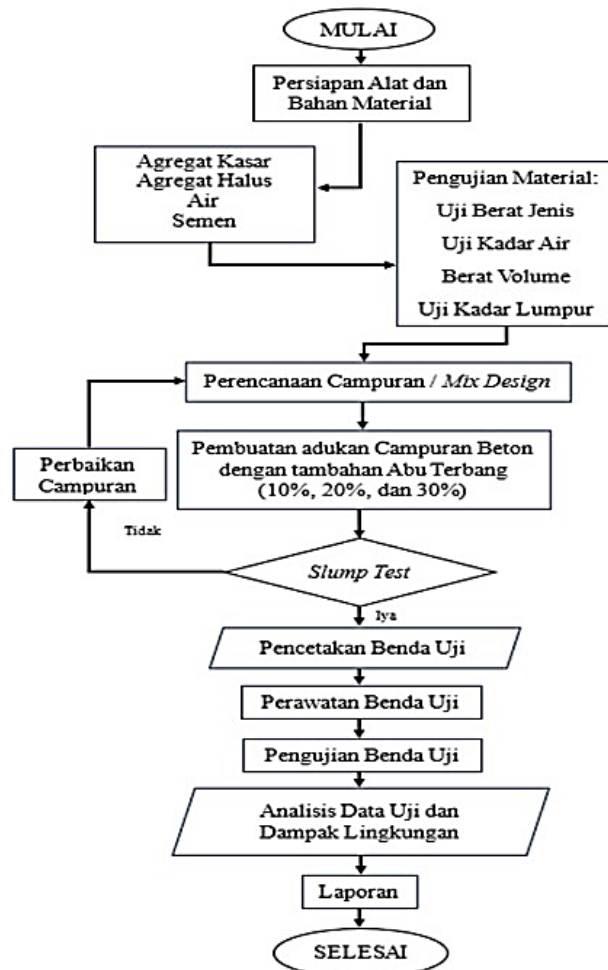
Dalam bidang konstruksi, beton telah banyak digunakan sebagai material utama untuk berbagai jenis struktur, seperti jembatan, jalan, menara, bendungan, gedung, dan elemen struktural lainnya. Pemilihannya sebagai bahan utama didasarkan pada sejumlah keunggulan yang dimiliki, seperti ketahanan terhadap api, umur pemakaian yang panjang, dan ketahanan terhadap pembusukan. Selain itu, beton juga dikenal memiliki kekuatan yang baik, harga yang relatif terjangkau, serta tersusun dari bahan-bahan baku yang mudah ditemukan di sekitar lingkungan. Karena alasan-alasan tersebut, penggunaan beton terus diandalkan dalam berbagai proyek pembangunan (Ilyas et al, 2022). Abu terbang umumnya dimanfaatkan menjadi material pengganti sebagian semen sebesar 5%-20%, dimana penyesuaian formulasi dilakukan agar campuran beton memiliki konsistensi dan kelenturan yang lebih optimal (Adibroto et al., 2018) (Sebayang, 2010). Pada material penyusun beton terdapat material pengikat yakni semen yang merupakan material utama dalam pembuatan beton. Namun pada persiapan material penyusun beton lainnya seperti agregat, air, beserta kandungan lain di dalamnya tidak terlalu berdampak pada lingkungan, lain hal-nya pada material semen yang dalam proses pembuatannya menimbulkan berbagai polusi yang terhitung tidak sedikit jumlahnya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja beton usia 28 hari dengan metode pengujian kuat tekan dengan mencampurkan material pengikat beton (semen) dengan material lain (Abu Terbang) ini dengan cara menggantikan sebagian semen yang telah direncanakan dengan material Abu Terbang (*Fly Ash*) sesuai dengan prosentase berat semen yang digantikan (Idris and Ashari, 2019). Abu terbang umumnya dimanfaatkan sebagai *substitusi* separuh semen sebesar 5%-20% di mana penyesuaian formulasi dilakukan agar campuran beton memiliki konsistensi dan kelenturan yang lebih optimal (Sebayang, 2010). Meskipun potensinya besar, masih diperlukan evaluasi terhadap prosentase campuran abu terbang yang akan digunakan (Zulkarnain and Putri, 2023). Dengan demikian, sebuah kontribusi dalam pengembangan material beton diharapkan dapat dihasilkan melalui penelitian ini inovatif yang mendukung keberlanjutan pembangunan dalam dunia konstruksi.

Ada beberapa permasalahan yang dapat diambil dari latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya diantaranya berapakah prosentase semen dan abu terbang yang tepat untuk menghasilkan kuat tekan yang maksimal, serta bagaimana pencapaian kuat tekan beton tersebut jika dibandingkan dengan beton biasa tanpa campuran material lain (beton konvensional). Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk membuat beton dengan campuran abu terbang yang dapat menghasilkan kuat tekan terbaik tentunya dengan membandingkan kuat tekan tersebut dengan beton konvensional sebagai kontrol dalam penelitian ini.

METODE PENELITIAN

Pada bagan alir dijelaskan bahwa awal penelitian ini dimulai dari mempersiapkan alat dan bahan terlebih dahulu seperti alat pengujian, material yang akan digunakan, wadah dari material tersebut, sampai pada alat yang digunakan untuk pengujiannya. Setelah mempersiapkan berbagai alat dan material bahan barulah dilakukan pengujian materialnya. Kemudian pembuatan perencanaan campuran, pencetakan benda uji, perawatan selama 28 hari, dan sampai pada pengujian benda uji yang telah disiapkan.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

1. Pengujian Material

Terdapat beberapa pengujian dari material yang telah disiapkan untuk campuran beton, diantaranya berupa pengukuran berat jenis agregat dan daya serap air (*water absorption*), sebagai bagian dari rangkaian pengujian material dengan tujuan memberikan nilai kemampuan material dalam menyerap air serta mengetahui kandungan air yang tersimpan dalam suatu agregat ketika akan digunakan. Pengujian tersebut sangat berpengaruh pada faktor air semen yang nantinya akan digunakan pada pembuatan campuran beton uji. Analisis saringan juga sangat diperlukan dalam menentukan gradasi agregat yang akan digunakan serta mengetahui modulus kehalusan suatu agregat yang telah diujikan. Pengujian ketahanan atau keausan dan pemeriksaan kadar lumpur pada agregat kasar juga dapat dilakukan untuk mengidentifikasi bahwa material yang akan digunakan ini memenuhi kriteria standart yang telah ditetapkan dalam SNI yang dituju. Tata cara dan pelaksanaan pengujian material tersebut dilandasi dari panduan Standart Nasional Indonesia (SNI) sesuai dengan jenis pengujian yang dilakukan. Berikut merupakan rumus perhitungan dari masing masing pengujian material yang dilakukan.

a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air pada Agregat Halus

Berat Jenis SSD (Ss) : $(A / (A+C-D))$

Berat Jenis Kering Oven (Sd) : $(E / (A+C-D))$

Berat Jenis Bulk (Sa) : $(E / (E+C-D))$

Penyerapan Air (Sw) : $((A-E) / E) \times 100\%$

Keterangan:

A = berat kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*).

B = berat piknometer.

C = berat piknometer dengan air sampai batas tertentu.

D = berat piknometer + air + material SSD sampai batas tertentu.

E = berat benda uji kondisi kering oven.

b. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air pada Agregat Kasar

Berat Jenis SSD (Ss) : $(A / (A-B))$

Berat Jenis Kering Oven (Sd) : $(C / (A-B))$

Berat Jenis Bulk (Sa) : $(C / (C-B))$

Penyerapan Air (Sw) : $((A-C) / C) \times 100\%$

Keterangan:

A = berat kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*).

B = berat material contoh kondisi SSD di dalam air.

C = berat material kondisi kering oven.

c. Pengujian Kadar Lumpur pada Agregat.

Kadar Lumpur (P) : $((A-B) / A) \times 100\%$

Keterangan:

A = berat kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*).

B = berat material kondisi kering oven.

d. Pengujian Keausan pada Agregat Kasar.

Keausan : $((A-B) / A) \times 100\%$

Keterangan:

A = berat benda uji awal.

B = berat benda uji yang tertahan pada saringan No. 12 (1,70mm).

2. Perencanaan Campuran

Perencanaan model yang dipilih dalam campuran beton (*Mix Design*) ini adalah ACI Committee 211 dan mengacu pada (Badan Standardisasi Nasional, 2012) yang membahas terkait “Tata Cara Pemilihan Campuran Untuk Beton Normal, Beton Berat, dan Beton Massa”. Di Amerika Serikat, teknik perancangan campuran ini digunakan untuk menguji kekuatan tekan beton silinder berdiameter 15 cm, serta tinggi mencapai 30 cm (Sofyan *et al.*, 2022). Berikut hal yang perlu diketahui dalam perencanaannya.

- Pemilihan nilai Slump dan kuat tekan yang dikehendaki dan spesifikasi lainnya,
- Pemilihan ukuran besar butir agregat maksimum,
- Menetapkan deviasi standart (s) dan faktor koreksinya,
- Perkiraan air pencampur dan kadar udara menurut nilai slump dan ukuran agregat maksimum
- Pemilihan faktor air semen beserta rasio air-semen beton dengan dan tanpa tambahan udara
- Perhitungan kadar semen yang dapat diperoleh dari pembagian kadar air dengan rasio air-semen
- Perkiraan kadar agregat kasar
- Perkiraan kadar agregat halus
- Koreksi kandungan air dan penyesuaian terhadap kelembaban agregat,
- Pengujian campuran menggunakan pengujian *Slump*.

3. Kuat Tekan

Setelah 28 hari, beton akan menjadi lebih mengeras dan mencapai kekuatan rencana (f'_c) setelah diuji dengan mesin press melalui benda uji berbentuk silinder (Punusingon, Handono dan Pandaleke, 2019). Berikut formula perhitungan besar kuat tekan beton:

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

f'_c = Kuat tekan benda uji (Mpa)

A = Luas penampang benda uji (mm²)

P = Gaya tekan aksial maksimum (N)

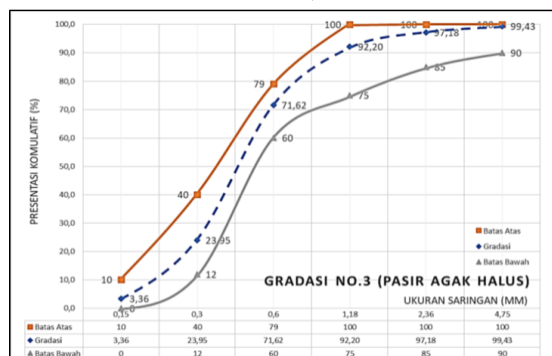
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian berisikan perhitungan dari pemeriksaan material dimulai dari pengujian pada agregat kasar dan halus terkait penyerapan, berat jenis, serta pengujian ayakan agregat, sampai pada pengujian tekan benda uji beton yang berusia 28 hari, dan evaluasinya terhadap penggunaan abu terbang terhadap konsumsi semen pertahunnya.

Tabel 1. Rekap Hasil Pengujian Agregat Halus

Keterangan	Notasi	Benda Uji I	Benda Uji II	Rata-rata (%)
Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan	Ss	2,222	2,222	2,22
Berat Jenis Kering Oven	Sd	2,111	2,109	2,11
Berat Jenis Bulk	Sa	2,36	2,36	2,36
Penyerapan Air (%)	Sw	1,44	1,69	1,57
Kadar Lumpur (%)	P	4,95	4,91	4,93
Finnes Modulus	FM	3,095	3,132	3,11

Data ini diperoleh dari pengujian berat jenis dan kadar lumpur yang dilakukan untuk menentukan kelayakan pada agregat serta memberikan gambaran apakah agregat tersebut lebih memiliki tekstur yang kasar atau halus. Pada hasil yang telah diperoleh terdapat modulus kehalusan sebesar 3,11% yang menandakan agregat halus memiliki karakter yang cukup baik untuk digunakan sebagai material campuran beton (Badan Standardisasi Nasional, 1990).



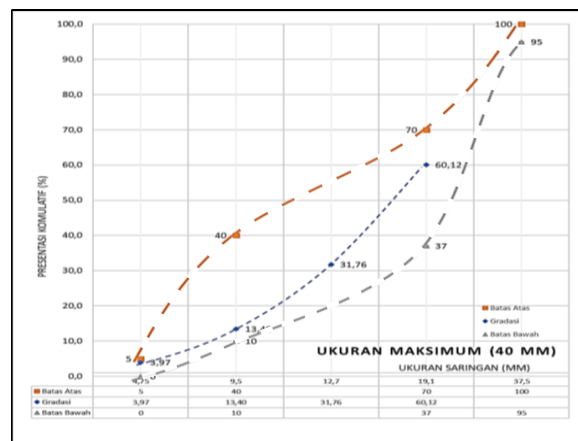
Gambar 2. Gravik Gradasi Agregat Halus

Agregat halus yang diujikan termasuk pada gradasi pasir No.3 (pasir agak halus) dengan rata-rata modulus kehalusan agregat dari dua percobaan analisa saringan yaitu 3,11%. Nilai ini memenuhi syarat karena secara umum butir modulus kehalusan pasir berkisar antara 1,5% - 3,8% sehingga agregat halus tersebut layak untuk digunakan.

Tabel 2. Rekap Hasil Pengujian Agregat Kasar

Keterangan	Notasi	Benda Uji I	Benda Uji II	Rata-rata (%)
Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan	Ss	2,32	2,29	2,31
Berat Jenis Kering Oven	Sd	2,20	2,18	2,19
Berat Jenis Bulk	Sa	2,50	2,47	2,48
Penyerapan Air (%)	Sw	5,39	5,48	5,44
Kadar Lumpur (%)	P	6,80	6,40	0,66
Finnes Modulus	FM	8,89	8,83	8,86

Tidak lebih dari 1% konsentrasi lumpur pada agregat kasar, di mana pada penelitian ini konsentrasi lumpur rata-rata dari kedua percobaan tersebut yaitu 0,66% dengan artian nilai persentase kadar lumpur dari agregat kasar memenuhi ketentuannya (Badan Standardisasi Nasional, 2011a). Pada perhitungan modulus kehalusan mendapatkan nilai sebesar 8,76%. Di bawah ini disajikan grafik gradasi dari agregat kasar.



Gambar 3. Grafik Gradasi Agregat Kasar

Tabel 3. Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar

Nomor Saringan	Berat Mula (gr)	Berat Final (gr)
36,1 (1½")	545	545
25,4 (1")	943	943
19,1 (¾")	1117	1117
12,7 (½")	922	922
9,52 (3/8")	1473	1473
(No.4) 4,75	0	0
(No.8) 2,36	0	0
(No.12) 1,18	0	0
(No.30) 0,6	0	375
(No.50) 0,3	0	289
(No.100) 0,15	0	217
Pan	0	0
Total	5000	4998
Berat bahan lolos saringan (No.12)		881
Keausan (%)		17,62

Pengujian keausan pada agregat kasar ini diambil dengan benda uji grade A, seberat 5000 gram, dengan 500 putaran, dan nantinya disaring dengan saringan No.12 untuk mencari berat yang lolos dari saringan tersebut. Dari data dan perhitungan yang telah diperoleh dapat disimpulkan bahwa dengan nilai sebesar 17,62% menandakan agregat kasar yang telah diuji masih dalam batas wajar keausannya serta masih layak untuk digunakan karena batas keausan maksimumnya sebesar 40%. Jika nilai keausan agregat mencapai lebih dari 40% maka agregat tersebut dinyatakan tidak layak untuk dipergunakan.

Riset ini memanfaatkan semen Type I merk Semen Tiga Roda yang diproduksi oleh PT. Indocement dengan berat satuan semennya sebesar 1222,55 gram/liter. Produksi dari suatu pabrik semen, tanpa melewati keketatan prosedur pengawasan saat proses produksi. Air bersih laboratorium dimanfaatkan sebagai material dengan kondisi tidak mengandung bahan kimia lain seperti lumpur, minyak, garam, dan sebagainya. Produksi material abu terbang tepatnya di kota Malang, Jawa Timur yang telah melalui pengujian pabrik serta telah diperjualbelikan di lingkungan masyarakat sekitar. Abu terbang yang dipakai adalah abu terbang kelas F dengan berat satuan yang hampir sama dengan semen senilai 1221,7 gram/liter.

Pembuatan benda uji ini mengacu pada standar (Badan Standardisasi Nasional, 2011b) tentang Prosedur Pembuatan Campuran Beton. Campuran beton yang digunakan dalam pengujian terdiri atas air, semen, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), serta abu terbang yang dipakai sebagai pengganti semen dengan persentase tertentu. Upaya mencari bahan alternatif sangat perlu dilakukan, seperti penelitian yang dilakukan oleh (Wibawa and Maharani, 2024a), melakukan kajian tentang perbaikan tanah lempung sebagai pondasi yaitu dengan menambahkan semen. Diameter benda uji sebesar 15 cm dengan tinggi 30 cm dengan bentuk silinder dibuat sejumlah 32 buah di mana terdapat 8 buah benda di setiap variasinya (Subakti, 2010). Mesin uji tekan akan digunakan untuk menguji kuat tekan beton dengan usia 28 hari. Perbedaan tiap benda uji terletak pada komposisi abu terbang dan semen yang nantinya akan mempengaruhi skor kuat tekan beton.

Tabel 4. Kuat Tekan Beton Rata-rata

Kadar Abu Terbang (%)	Umur Beton (hari)	Berat Beton (kg/pcs)	Luas Penampang (mm ²)	Volume (m ³)	Beban Max. (kN)	Kuat Tekan (MPa)
0	28	12,53	17662,5	0,04239	302,50	33,80
10	28	12,52	17662,5	0,04239	284,38	31,00
20	28	12,51	17662,5	0,04239	284,10	30,93
30	28	12,51	17662,5	0,04239	267,95	29,43

Dari hasil kuat tekan menunjukkan peningkatan pada campuran 10% sampai 20% serta mengalami penurunan ketika campuran abu terbang melebihi 30%. Hal ini dikarenakan hilangnya peranan semen sebagai pengikat utama. Disarankan maksimal campuran abu terbang sebesar 20% sebagai pengganti sebagian semen.

Hasil penelitian ini sebanding dengan kajian yang dilakukan oleh (Wibawa and Maharani, 2024b), penelitiannya tentang penggunaan ekstraksi limbah batu lahar sebagai pengganti semen dalam campuran beton. Setelah penggantian 15% kekuatannya jauh berkurang bahkan diluar kuat tekan rencana.

SIMPULAN

Pada penelitian ini terdapat beberapa kesimpulan dari pencampuran material lain (abu terbang) terhadap campuran beton konvensional. Point penting dari riset ini ialah terbukti bahwa variasi kandungan abu terbang (0%, 10%, 20%, dan 30%) sebagai pengganti sebagian semen cukup memengaruhi kekuatan tekan beton. Beton dengan campuran abu terbang, pada uji kuat tekan terdapat penurunan nilai kuat tekan dari campuran 10% (31,00 MPa) menuju 20% (30,93 MPa), sampai pada campuran 30% (29,43 MPa). Hal ini menunjukkan pada campuran abu terbang kuat tekannya lebih rendah dibandingkan dengan beton konvensional yang bernilai (33,8 MPa). Namun dalam komposisi penggantian semen menggunakan abu terbang sebesar 20%, beton masih memenuhi syarat untuk dipergunakan.

Penyebab meningkatnya kuat tekan pada beton dengan campuran abu terbang adalah terdapatnya reaksi *pozzolanic* pada material abu terbang itu sendiri dan sebab utama menurunnya kekuatan tekan

terjadi diakibatkan dari berkurangnya peran material pengikat utama, yakni semen.

SARAN

Riset ini masih banyak kekurangan yang seharusnya dapat menunjang akurasi untuk mendapatkan kesempurnaan pada hasilnya, sehingga masih diperlukan riset lanjutan terkait dari penggunaan campuran abu terbang ini. Pemilihan kandungan abu terbang dalam menentukan proporsi material menjadi kunci utama dalam membentuk kuat tekan yang maksimal pada beton. Serta peninjauan lanjutan baik terhadap lingkungan hidup maupun dalam biaya pengeluaran selama pembuatan benda uji. Dengan ini saran tersebut diharapkan dapat menjadi penyempurna artikel ini. Pada akhirnya, manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat dirasakan oleh para pembaca serta semua pihak yang terkait dan berkepentingan.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 211 (2022) *Selecting Proportions for Normal-Density and High-Density Concrete-Guide*. First Printing. Farmington Hills: American Concrete Institute. Available at: www.concrete.org.
- Adibroto, F. *et al.* (2018) “Eksperimen Beton Mutu Tinggi Berbahan Fly Ash sebagai Pengganti Sebagian Semen,” *JIRS*, 1.
- Badan Standardisasi Nasional (2011a) “SNI 1971:2011 Cara Uji Kadar Air Total Agregat dengan Pengeringan.”
- Badan Standardisasi Nasional (2011b) “SNI 2493:2011 Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium.”
- Badan Standardisasi Nasional (2012) “SNI 7656:2012 Tata cara pemilihan campuran untuk beton normal, beton berat dan beton massa.”
- Idris, M. and Ashari, I. (2019) *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat*.
- Ilyas, Y., Yanti, G. and Putri, L. (2022) “Studi Beton Geopolimer Dengan Bahan Dasar Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Beton,” *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)*, 5, pp. 83–92. Available at: <https://doi.org/10.54367/jrkms.v5i2.2096>.
- Punusingon, M.A., Handono, B.D. and Pandaleke, R. (2019) “UJI EKSPERIMENTAL KUAT TEKAN BETON DAUR ULANG,” 7(1).
- Sebayang, S. (2010) “Pengaruh Kadar Abu Terbang sebagai Pengganti Sejumlah Semen pada Beton Alir Mutu Tinggi.”
- Sofyan, M. *et al.* (2022) “KELECAKAN DAN KEKUATAN TEKAN BETON BERBASIS ABU TERBANG SEBAGAI PENGANTI SEMEN DAN BATU APUNG UNTUK PENGANTI AGREGAT KASAR,” *INDONESIAN JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT (CESD)*, 5(2), pp. 1–6. Available at: <https://doi.org/10.25105/cesd.v5i2.15732>.
- Subakti, A. (2010) “Potential for Reduced Greenhouse Gas Emissions in Indonesia Through the Use of High-Volume Fly Ash Concrete for Transportation Infrastructures,” 7.
- Wibawa, I.M.S. and Maharani, S.E. (2024a) “Improvement of Clay Soils Using Cement as a Road Pavement Sub Grade (Case Study: Kuta-Tanah Lot Road),” *Civil and Environmental Engineering*, 20(1), pp. 124–136. Available at: <https://doi.org/10.2478/cee-2024-0011>.
- Wibawa, I.M.S. and Maharani, S.E. (2024b) “Lava Stone Waste Extract as a Substitute for Cement in the Mixture Concrete to Maintain Environmental Sustainability,” *Civil Engineering and Architecture*, 12(2), pp. 1180–1189. Available at: <https://doi.org/10.13189/cea.2024.120236>.
- Zulkarnain, F. and Putri, F. (2023) *KoNTekS Ke-17 Balikpapan*.