

Analisis Pemanfaatan Serbuk Cangkang Telur Terhadap Kuat Tekan Beton Geopolimer

Analysis of Egg Shell Powder Utilization on the Compressive Strength of Geopolymer Concrete

Debby Sinta Devi^{1*} Henggar Risa Destania² Muhammad Rizky Cahyadi³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indo Global Mandiri, Jln. Jend. Sudirman Km.4 No. 62, Palembang, Sumatera Selatan 30129.
Email : debbysintadevi@uigm.ac.id

Abstrak

Pembangunan infrastruktur yang pesat saat ini menyebabkan peningkatan penerapan beton menjadi bahan konstruksi utama. Beton memiliki beberapa keutamaan, seperti kekuatan tekan yang tinggi, durabilitas, dan ketahanan terhadap api, meskipun penggunaannya dapat menimbulkan dampak lingkungan, terutama terkait dengan emisi karbon dari produksi semen. Beton geopolimer merupakan salah satu alternatif material ramah lingkungan yang tidak memerlukan semen Portland. Beton geopolimer menggunakan cairan alkali untuk bereaksi dengan silika dan aluminium dari bahan-bahan seperti *fly ash* dan serbuk cangkang telur. *Fly ash* dan cangkang telur, yang merupakan limbah industri dan domestik, dapat didaur ulang untuk menggantikan semen, mengurangi dampak lingkungan dari konstruksi beton. Penelitian ini mengevaluasi pemanfaatan serbuk cangkang telur dan *fly ash* pada kekuatan tekan beton geopolimer variasi serbuk cangkang telur dan *fly ash* menggunakan variasi 40:60, 50:50 dan 60:40. Hasil uji kuat tekan menunjukkan bahwa beton geopolimer dengan 0 % Serbuk cangkang telur adalah sebesar 30,77 MPa, sedangkan untuk semua variasi benda uji, penggunaan serbuk cangkang telur 40% dan *fly ash* 60% menghasilkan kuat tekan tertinggi yaitu adalah sebesar 32,33 MPa. Peningkatan kekuatan ini disebabkan magnesium, besi, dan kalsium karbonat sebagai senyawa yang ditemukan dalam serbuk cangkang telur dan semen Portland.

Kata Kunci: Beton, Geopolimer, Cangkang telur, *Fly ash*, Kuat tekan.

Abstract

The recent development of rapid infrastructure has led to an increase in the application of concrete as the main construction material. Concrete has several virtues, such as high compressive strength, durability, and fire resistance, although its use can have environmental impacts, especially related to carbon emissions from cement production. Geopolymer concrete is an alternative environmentally friendly material that does not require Portland cement. Geopolymer concrete uses an alkaline liquid to react with silica and aluminum from materials such as fly ash and eggshell powder. Fly ash and eggshells, which are industrial and domestic wastes, can be recycled to replace cement, reducing the environmental impact of concrete construction. This study evaluates the utilization of eggshell powder and fly ash on the compressive strength of geopolymer concrete using variations of 40:60, 50:50 and 60:40. The compressive strength test results show that geopolymer concrete with 0% eggshell powder is 30.77 MPa, while for all variations of test specimens, the use of 40% eggshell powder and 60% fly ash produces the highest compressive strength which is 32.33 MPa. This increase in strength is due to magnesium, iron, and calcium carbonate as compounds found in eggshell powder and Portland cement.

Keywords: Concrete, Geopolymer, Eggshell powder, Fly ash, Compressive strength.

PENDAHULUAN

Saat ini, pemerintah banyak membangun infrastruktur, termasuk hunian, bangunan tinggi, jembatan, waduk, jalan raya, pelabuhan, bandara, dan lainnya. Selain baja dan kayu, beton juga merupakan opsi struktural untuk konstruksi. Beton

didesain agar mampu bertahan terhadap berbagai kondisi lingkungan, termasuk perubahan cuaca dan paparan bahan kimia (Devi et al., 2023). Beton sangat diminati karena memiliki banyak keunggulan dibandingkan material lainnya. Beberapa keunggulannya meliputi harga yang relatif terjangkau, tinggi kuat tekan, durabilitas cuku tinggi,

ketahanan terhadap api, ketersediaan sumber daya material pembentuk yang mudah, serta sifatnya yang tidak akan terjadi pembusukan (Novianti et al., 2019).

Dalam hal peningkatan penggunaan beton konvensional, muncul berbagai permasalahan, salah satunya adalah tingginya pemakaian semen yang dapat berdampak negatif terhadap lingkungan. Bergantung pada berat semen yang dihasilkan, pembuatan semen dapat menghasilkan gas karbon dioksida (CO₂) yang meningkatkan kerusakan lingkungan, termasuk efek pemanasan global (Devi et al., 2022). Hingga saat ini telah ditemukan inovasi bahan pembuatan beton dari *fly ash* dan Serbuk cangkang telur, karena cangkang telur tidak mengandung bahan berbahaya atau beracun, serbuk cangkang telur dapat dianggap sebagai material konstruksi ramah lingkungan (Gunarso et al., 2020).

Beton geopolimer merupakan tipe beton yang diproduksi dengan tanpa memakai bahan pengikat berupa semen portland. Beton geopolimer diperkenalkan pertama kali oleh Joseph Davidovits, seorang ilmuwan asal Prancis pada tahun 1978. Beton geopolimer (GPC) adalah beton tanpa semen yang berkelanjutan yang dibuat dengan abu terbang, terak, dan bahan limbah lainnya sebagai produk sampingan industri (Chary et al., 2023). Bahan geopolimer dapat mengikat agregat menjadi bahan komposit yang kuat seperti hidrasi pada semen (Tran et al., 2023). Dalam hidrasi semen Portland, produk Geopolimer ditunjukkan sebagai senyawa semen, yang dapat mengikat agregat longgar menjadi bahan komposit yang kuat. Pada pembuatan beton geopolimer, larutan alkali digunakan untuk bereaksi dengan silika (Si) dan aluminium (Al) yang ditemukan dalam mineral alami seperti clay dan kaolin. Dalam pembuatan beton geopolimer, limbah seperti terak, abu sekam padi, abu burung, dan abu merah dapat digunakan sebagai pengganti semen. Dengan penggunaan natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH) dengan natrium silikat (Na₂SiO₃) atau kalium silikat (K₂SiO₃), cairan alkali terdiri dari logam alkali yang larut. Cangkang telur dan *fly ash* (FA) dihasilkan dalam jumlah yang cukup besar setiap tahunnya. Indonesia memiliki kapasitas yang sangat besar hingga 178.566,33 ton limbah cangkang telur per tahun (Dalimunthe et al., 2022). Kedua bahan limbah tersebut dapat didaur ulang sebagai konstruksi bahan karena komposisi mineraloginya. Cangkang telur mengandung bentuk murni kalsium karbonat, yang bisa bermanfaat pengganti kapur dalam produksi semen. Selain itu, Serbuk Cangkang Telur mengandung jumlah CaO yang hampir sama dengan semen. Dengan demikian, Serbuk cangkang telur mempunyai komposisi kimia yang mirip dengan semen dapat digunakan sebagai

pengganti sebagian bahan konstruksi apa pun (Shekhawat, 2019).

Dengan digunakannya cangkang telur dan *fly ash* sebagai bahan campuran beton Geopolimer, maka akan dilakukan penelitian yang bersifat eksperimental terhadap analisis pemanfaatan serbuk cangkang telur dan *fly ash* terhadap kekuatan beton geopolimer untuk mengetahui bagaimana pengaruh pemanfaatan serbuk cangkang telur dan *fly ash* dalam campuran beton Geopolimer.

METODE

Penelitian ini merupakan studi eksperimental yang bertujuan mengetahui pengaruh perbandingan *fly ash* dan Serbuk Cangkang Telur terhadap karakteristik kuat tekan beton geopolimer. Variasi Perbandingan *fly ash* dan Serbuk Cangkang Telur sebesar 60%:40%, 50%:50%, dan 40%:60%. Uji kuat tekan dilaksanakan pada sampel berbentuk silinder berdiameter 10 cm dan tinggi 20 cm dengan rencana beton mutu Fc'25 MPa. Beberapa tahapan yang dilakukan dari penelitian ini antara lain:

1. Tahap pertama adalah persiapan material dan alat. Tahap ini berupa persiapan peralatan dan material yang diperlukan selama proses pembuatan beton geopolimer. Pada penelitian ini memanfaatkan *fly ash* yang didapatkan dari PT. Pupuk Sriwidjaja, berupa *fly ash* tipe F serta material lainnya seperti agregat kasar, agregat halus, air suling (aquades) dan larutan alkali aktivator yang terdiri dari soda api (NaOH) dan waterglass (Na₂SiO₃). Untuk peralatan yang digunakan berupa saringan (ayakan), timbangan, oven, piknometer, *sieve shaker*, *hand mix*, cetakan benda uji (silinder), kerucut abrams, vicat, jangka sorong dan mesin uji kuat tekan beton.
2. Tahap kedua adalah pengujian awal. Sebelum memulai pembuatan beton, dilakukan pengujian awal untuk mengidentifikasi sifat-sifat fisik dari material penyusunnya, serta agregat kasar dan halus. Dengan melakukan uji kelayakan agregat dapat diketahui karakteristik masing-masing material sebelum dicampurkan. Berikut tahapan pada pengujian agregat:
 - a) Analisis saringan agregat halus, agregat kasar, dan serbuk cangkang telur (SNI 03-1990-2000).
 - b) Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus dan agregat kasar (SNI 1970-2008).
 - c) Pemeriksaan kadar air agregat halus dan agregat kasar (SNI 03-1971-1990-1990).
 - d) Pemeriksaan kadar lumpur agregat halus (SNI 03-4142-1996).

- e) Pemeriksaan berat isi atau volume agregat halus dan agregat kasar (SNI 03-4804-1998).
3. Tahap ketiga adalah Perencanaan campuran pembuatan beton DMF (*design mix formula*). Tahap ini bertujuan untuk menentukan kombinasi terbaik antara agregat halus, agregat kasar, serbuk cangkang telur, fly ash dan air. Untuk larutan alkali aktivator menggunakan perbandingan 2,5 (Na₂SiO₃) : 1 (NaOH). Prosedur pencampuran beton normal mengikuti standar (SNI 03-2834-2000, 2000), sedangkan untuk beton geopolimer ini merujuk pada penelitian terdahulu (Putri et.al., 2022). Proporsi campuran beton normal terdapat pada Tabel 1, sedangkan proporsi beton geopolimer per-m³ bisa dilihat pada Tabel 2 dan jumlah sampel benda uji dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 1. Komposisi campuran beton normal

Variasi	Komposisi Campuran Beton (Kg)			
	Agregat Halus	Agregat Kasar	Semen	Air
BN	1,003	2,034	0,963	0,423

Tabel 2. Proporsi campuran beton variasi per-m³

Variasi	BG	BG-1	BG-2	BG-3
Fly ash (kg)	0,963	0,578	0,481	0,385
Agregat Halus (kg)	1,003	1,003	1,003	1,003
Agregat kasar (kg)	2,030	2,030	2,030	2,030
Air Suling (ltr)	0,240	0,240	0,240	0,240
Serbuk cangkang Telur (kg)	-	0,385	0,481	0,578
Soda Api (NaOH) (kg)	0,134	0,134	0,134	0,134
Water glass (Na ₂ SiO ₃) (kg)	0,168	0,168	0,168	0,168

Tabel 3. Jumlah sampel benda uji

Kode	Kuat Tekan			Jumlah Sampel
	7 Hari	14 Hari	28 Hari	
BG	3	3	3	9
BG - 1	3	3	3	9
BG - 2	3	3	3	9
BG - 3	3	3	3	9
Total Jumlah Sampel Benda Uji				36

Keterangan :

- BG = Beton Geopolimer FA 100%
 BG 1 = FA 60% + SCT 40%
 BG 2 = FA 50% + SCT 50%
 BG 3 = FA 40% + SCT 60%

4. Pada tahap keempat yaitu pembuatan beton. Mutu beton direncanakan sebesar Fc' 25 Mpa dengan

campuran *fly ash* sebagai bahan pengikat, campuran bahan agregat halus, agregat kasar, alkali aktivator yang berupa soda api dan *waterglass* serta penggunaan variasi serbuk cangkang telur dan *fly ash* sebagai bahan pengikat beton geopolimer. Tahap-tahap pembuatan benda uji antara lain:

- a) Katalisasi dilakukan dengan menggabungkan soda api (NaOH) dengan air suling selama waktu 24 jam.
 - b) Kemudian *waterglass* (Na₂SiO₃) dicampurkan dengan hasil dari katalisasi sebelumnya diaduk sampai rata.
 - c) Fly ash, serbuk cangkang telur, agregat halus, dicampurkan dengan larutan alkali aktivator sampai rata hingga merata.
 - d) Setelah mortar diatas tercampur rata, agregat kasar dicampurkan dan diaduk kembali sampai merata.
 - e) Kemudian campuran tersebut dimasukkan kedalam cetakan silinder dan dipadatkan ditusuk dengan besi.
 - f) Setelah selesai dilakukan pemadatan, benda uji ditutupi dengan plastik warp agar menjaga proses hidrasi dan ditempatkan pada suhu ruangan selama 7, 14, hingga 28 hari untuk kemudian diuji kuat tekan beton.
5. Tahap kelima adalah pengujian *slump test*. Pengujian ini bertujuan untuk menilai kelecakan beton atau kualitas campuran beton. *Workability* diukur melalui *slump test*, yang merupakan faktor penting dalam kemudahan pengerjaan beton. Pengujian *slump test* dalam penelitian ini merujuk pada (SNI-1972-2008) dan akan digunakan untuk menentukan *workability* beton dengan substitusi serbuk cangkang telur.
6. Tahap keenam adalah perawatan beton (*curing*). Tahap *curing* dilakukan setelah benda uji mengeras dengan tujuan untuk menjaga kelembaban baik didalam maupun dipermukaan beton, serta memastikan kualitas beton sesuai dengan standar yang diinginkan. Metode *curing* untuk beton normal dan beton substitusi cangkang kerang dara, benda uji yang telah mengeras dilakukan proses perendaman dalam bak perendaman selama 7,14,dan 28 hari.
7. Tahap ketujuh adalah pengujian akhir. Di tahap pengujian akhir ini meliputi uji berat jenis beton dan pengujian kekuatan tekan pada beton yang dilakukan setelah proses *curing*. Beton pada hari ke 7, 14, dan 28 hari diuji kekuatan tekan. Sample ditempatkan secara vertikal pada mesin uji dan dibebani hingga mengalami kerusakan. Prosedur pengujian ini mengacu pada standar nasional Indonesia, yaitu SNI-1974-2011.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Agregat Halus

Agregat halus merupakan butiran pasir alam atau hasil pemecahan batu dengan ukuran lulus saringan no. 4 (4,75 mm). Beberapa sifat agregat halus, seperti kebersihan, gradasi, berat jenis, dan kadar lumpur, sangat mempengaruhi kualitas beton. Penelitian ini dilakukan pengujian terhadap agregat halus yang mencakup analisis saringan, berat jenis, kadar lumpur, dan penyerapan air. Berdasarkan hasil pengujian dari agregat halus berupa pasir disajikan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian agregat halus

Pengujian	Ketentuan Kriteria	Hasil	Keterangan
Analisa penyaringan (FM)	(SNI 03-1968-1990)	1,5-3,88	3,08 Terpenuhi
Berat jenis dan penyerapan	(SNI 03-1970-1990)	1,6-3,3 dan maks 4%	2,54% Terpenuhi
Persentase lumpur	SNI 03-4428-1997	maks 5%	1,25% Terpenuhi
Penyerapan air	(SNI 03-1971-1990)	maks 4%	0,77% Terpenuhi

Berdasarkan hasil uji karakteristik agregat halus menunjukkan bahwa pasir yang digunakan telah memenuhi standar kualitas sesuai SNI. Agregat halus menunjukkan gradasi yang bagus, tidak terikat material organik, lumpur, serta unsur lain yang berpotensi memengaruhi kualitas beton. Berdasarkan pengujian kadar lumpur, diketahui bahwa kandungannya berada dibawah batas maksimum yang diperbolehkan, sehingga tidak akan mengganggu proses hidrasi dalam campuran beton. Selain itu, berat jenis dan tingkat penyerapan air pasir berada dalam rentang sesuai persyaratan untuk mendukung kekuatan beton secara optimal, sehingga campuran beton dapat tercampur dengan baik tanpa risiko segregasi atau kelebihan kadar air.

Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian karakteristik agregat kasar dilakukan untuk menentukan gradasi agregat kasar dan mengetahui butiran maksimum agregat. Berikut adalah hasil dari beberapa pengujian agregat kasar sesuai standar yang dijelaskan pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil pengujian agregat kasar

Pengujian	Ketentuan Kriteria	Hasil	Keterangan
Analisa penyaringan (FM)	(SNI 03-1968-1990)	5,50-8,50	4,67 Terpenuhi
Berat jenis dan penyerapan	(SNI 03-1970-1990)	2,58-2,83 dan maks 3%	2,61% Terpenuhi
Persentase lumpur	SNI 03-4428-1997	maks 1%	0,89% Terpenuhi
Penyerapan air	(SNI 03-1971-2011)	3-5%	4,09% Terpenuhi

Berdasarkan hasil pengujian diatas dapat disimpulkan bahwa agregat kasar berupa kerikil yang digunakan sudah memenuhi syarat agregat kasar standar untuk digunakan dalam pembuatan beton struktural. Agregat kasar memiliki tingkat kekerasan yang memadai dan bebas dari bahan organik yang dapat memengaruhi kualitas beton.

Hasil Pengujian Slump

Uji *slump* bertujuan untuk menilai *workability* dari campuran beton. Parameter ini penting untuk menentukan kemudahan dalam menempatkan, memadatkan, dan menyelesaikan beton segar. Baik beton normal maupun beton geopolimer, pengujian *slump* dilakukan sesuai dengan SNI:1972-2008. Hasil pengujian disajikan secara lengkap pada Tabel 6.

Tabel 6. *Slump test*

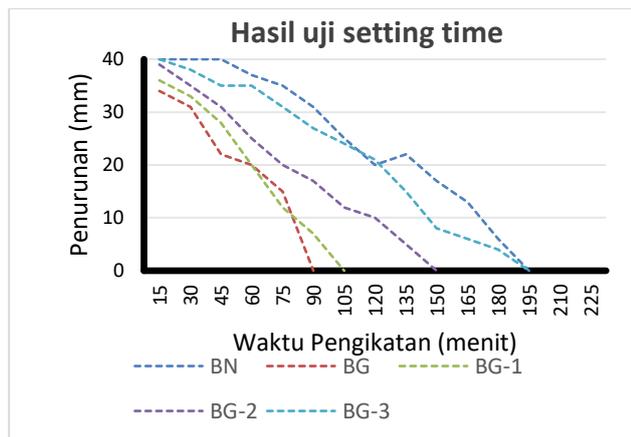
Sampel	Pengujian <i>Slump</i>	
	Hasil <i>Slump</i> (cm)	
BG	22,5	
BG 1	21,7	
BG 2	24,5	
BG 3	25	

Hasil *slump test* pada serbuk cangkang telur untuk beton geopolimer dengan variasi fly ash 100% sebesar 22,5 cm, nilai serbuk cangkang telur untuk BG-1 sebesar 21,7 cm, nilai serbuk cangkang telur untuk BG-2 sebesar 24,5 cm, dan nilai serbuk cangkang telur untuk BG-3 sebesar 25 cm. Berdasarkan dari hasil *slump test* beton geopolimer dengan serbuk cangkang telur 40% menunjukkan tingkat kepadatan yang lebih tinggi dibandingkan variasi lainnya.

Hasil Pengujian Setting Time

Sesuai dengan persyaratan ASTM C191, dilakukan pengujian waktu ikat untuk menentukan

lamanya waktu yang dibutuhkan campuran beton untuk mengeras. Hasil pengujian ini bisa dilihat secara rinci pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil uji setting time

Dari hasil pengujian *setting time* beton normal tanpa bahan tambah serbuk cangkang telur menghasilkan waktu ikat akhir sebesar 195 menit sedangkan untuk beton yang menggunakan fly ash 105 menit dan yang menggunakan 40% serbuk cangkang telur waktu ikat nya adalah 90 menit. Beton yang menggunakan Serbuk cangkang telur efektif untuk mempercepat waktu ikat akhir beton.

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Untuk mengetahui kuat tekan pada beton, dilaksanakan pengujian beban tekan ketika beton mencapai umur 7,14, dan 28 hari. Data hasil pengujian kuat tekan disajikan rinci pada Tabel 7.

Tabel 7. Rekapitulasi hasil kuat tekan beton

Rekapitulasi Hasil Kuat Tekan Beton (MPa)			
Benda Uji	7 hari	14 hari	28 hari
BG	20	27,08	30,77
BG-1	21,1	24,56	32,33
BG-2	14,25	22,55	26,42
BG-3	15,99	22,13	25,58

Berdasarkan hasil uji kuat tekan beton Geopolimer dengan penggunaan 0 % Serbuk cangkang telur bebek adalah sebesar 30,77 Mpa, beton Geopolimer dengan penggunaan serbuk cangkang telur bebek 40% sebagai variasi *fly ash* sebesar 32,33 MPa, variasi serbuk cangkang telur bebek sebesar 50% adalah 26,42 MPa dan variasi serbuk cangkang telur bebek 60% adalah 25,58 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan serbuk cangkang telur bebek cukup efektif pada variasi 40% sedangkan pada variasi seterusnya menurun. Serbuk Cangkang Telur mengandung jumlah CaO yang

hampir sama dengan semen yang dapat berperan sebagai bahan pengikat pada proses hidrasi. Dengan demikian, Serbuk cangkang telur mempunyai komposisi kimia yang mirip dengan semen. Dari ketiga variasi substitusi sebagian semen dapat disimpulkan bahwa penggunaan cangkang telur bebek sebesar 40% pada umur 28 hari memiliki nilai kuat tekan tertinggi sebesar 32,33 MPa.

KESIMPULAN

Studi ekperimental menunjukkan bahwa pemanfaatan serbuk cangkang telur bebek dalam beton Geopolimer efektif untuk meningkatkan kekuatan tekan beton pada variasi 40%. Penggunaan serbuk cangkang telur bebek dalam proporsi ini tidak hanya mengoptimalkan kuat tekan beton, menunjukkan potensi sebagai bahan pengikat dalam campuran beton. Persentase yang lebih tinggi dari 40% cenderung mengurangi kekuatan tekan, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk penggunaan serbuk cangkang telur bebek dengan bahan tambah lainnya. Serbuk cangkang telur bebek mengandung CaO dalam jumlah yang hampir sama dengan semen, sehingga secara kimiawi, serbuk ini dapat berfungsi sebagai campuran bahan pengikat pada beton geopolimer.

REFERENSI

- Asri, R., & Nisumanti, S. 2014. Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Dengan Penambahan Conplast Sp 337. *JurnalTekno Global UIGM Fakultas Teknik*, 3(1)
- Ayuningtyas, U., Made Agus Dharma Susila, I., Leopold Sihombing, A. S., Adi Sasongko, N., Anggraeni, P., Pribadi Adi Nugroho, T., & Tjahyo Eka Darmayanti, N. 2022. Pemanfaatan Fly Ash Dan Bottom Ash Sebagai Material Konstruksi Ramah Lingkungan Dalam Rangka Mendukung Kriteria Bangunan Hijau. *Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Pada Masyarakat 2022*, 51–56.
- Chary, Konnoju Saikumar, and Nijagala Munilakshmi. 2023. "An Investigation on Mechanical and Durable Properties of Eggshell Based Geopolymer Concrete Using Flyash and GGBS." : 1–17.
- Dalimunthe, A., Nurbaya, S., Prilius, N and Pitalokasari br Ginting. 2022. "Analysis of Calcium Levels in Duck Egg (Anas Platyrhynchos-Domesticus) Shell for Making Toothpaste with Natural Dye from Pandan Leaf (Pandanus Amaryllifolius Roxb)." : 1–17.

- Farmanesia* 9(1): 34–40. <http://e-journal.sari-mutiara.ac.id/index.php/2/article/view/3427>.
- Devi, D. S., Baniva, R., & TT, M. N. 2022. Analisis Sifat Fisik Dan Mekanik Geopolymer *Foam Concrete* Dengan Variasi Rasio *Foaming Agent* Dan Air. *Bearing: Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil*, 7(4), 215-222.
- Devi, D.S., Fauzi, M., Syafitri, B., & Laksono, A. 2023. Durabilitas Geopolymer *Foam Concrete* Terhadap Ketahanan Sulfat. *Jurnal Tekno Global*, 12(01), 24–29.
- Gunarso., Purnawati, D. A. A., & Arbianto. 2024. Inovasi Eco-Friendly Self Compacting Concrete Menggunakan Serbuk Cangkang Telur, Serbuk Granit, dan Limbah Beton Untuk Mengurangi Limbah di Indonesia. *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur Vol. 29 No.1*.
- Ilyas, Y. A., Yanti, G., & Putri, L. D. (2022). Studi Beton Geopolimer dengan Bahan Dasar Fly Ash terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)*, 5(2), 83–92.
- Novianti, D., Putri, N. S., Tilik. L. F., & Hamdi. (2019). Pengaruh Cangkang Telur Ayam Sebagai Substitusi Semen Terhadap Kuat Tekan Beton (1-6)." *Pilar: Jurnal Teknik Sipil Politeknik Negeri Sriwijaya, vol. 14, no. 2*
- SNI-03-1971-1990 Metode Pengujian Kadar Air Agregat, SNI-03-1971-1990. Badan Standarisasi Nasional Indonesia, 3–6.
- SNI-1972. 2008. Cara Uji Slump Beton. Standar Nasional Indonesia (SNI) tentang Cara uji slump beton revisi dari SNI 03 – 1972 – 1990 Metode pengujian slump.
- SNI-1974. 2011. Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder, SNI 1974-2011. Badan Standardisasi Nasional Indonesia, 20.
- SNI 03-2834-2000. 2000. SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Sni 03-2834- 2000, 1–34.
- SNI 03-4804. 1998. Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga udara dalam agregat. Metode Pengujian Bobot Isi Dan Rongga Udara Dalam Agregat, 1–6.
- SNI 1970. 2008. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. Badan Standar Nasional Indonesia, 7–18.
- Tran, T. T., & Pham, V. M. H. 2023. Use Recycled Glass As Fine Aggregate in Slag-Blended Fly Ash-Based Geopolymer Mortar. *Journal of Technical Education Science, 78B*, 1–7
- Shekhawat, Poonam, Gunwant Sharma, and Rao Martand Singh. 2019. "Strength Behavior of Alkaline Activated Eggshell Powder and Flyash Geopolymer Cured at Ambient Temperature." *Construction and Building Materials* 223: 1112–22. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.07.325.