

Hubungan Tegangan Regangan Dan Kuat Tekan Eco-Friendly Ductile Cementitious Composite Dengan Menggunakan Serat Polypropilene

Said Jalalul Akbar¹⁾, Maizuar²⁾, David Sarana³⁾, M. Fauzan⁴⁾, Arif Rahman⁵⁾

^{1, 2, 3, 4, 5)} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh
Jalan Batam, Blang Pulo, Muara Satu, Lhokseumawe, Aceh

Email: saidjalalul.akbar@unimal.ac.id¹⁾, maizuar@unimal.ac.id²⁾,

david.sarana@unimal.ac.id³⁾, mfauzan@unimal.ac.id⁴⁾, zunrisearif911@gmail.com⁵⁾

(Received: 11 Oktober 2023 / Revised: 28 Oktober 2023 / Accepted: 02 November 2023)

Abstrak

Mortar *Eco-friendly Ductile Cementitious Composite* (EDCC) merupakan tipe baru dari *High Performance Fiber-Reinforced Cementitious Composite* (HPFRCC) dengan 2% serat dari volume *binder* yang dapat menghasilkan mortar beton dengan kuat tekan yang besar dan daktilitas yang tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kadar optimal penambahan serat *polypropilene* terhadap kuat tekan dan hubungan tegangan regangan mortar EDCC. Pada penelitian ini variasi persentase penggunaan serat sebesar 0,25 %, 0,5 %, 0,75 %, 1 % dari volume mortar. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tekan dan kuat tarik beton. Benda uji yang digunakan untuk kuat tekan berbentuk kubus ukuran 5cm x 5cm dan untuk kuat tarik berbentuk *dogbone*. Banyak benda uji 3 buah setiap variasinya sehingga total keseluruhan sebesar 30 buah. Pengujian dilakukan saat mortar berumur 28 hari. Dari hasil penelitian didapat bahwa hasil kuat tekan optimal sebesar 47,7 MPa pada variasi serat 0,75%. Hasil kuat tarik diperoleh regangan optimal sebesar 0,00041 pada variasi 0,5 %.

Kata kunci: *EDCC, kuat tekan, tegangan regangan, fly ash, serat polypropylene*

Abstract

Eco-friendly Ductile Cementitious Composite (EDCC) mortar is a new type of *High Performance Fiber-Reinforced Cementitious Composite* (HPFRCC) with 2% fiber by volume showing high ductility. The purpose of this study was to determine the optimal level of *polypropilene* fiber addition on the compressive strength and stress strain relationship of EDCC mortar. In this study, the percentage variation of fiber usage was 0.25%, 0.5%, 0.75%, 1% of mortar volume. For the tests carried out are compressive strength and tensile strength tests, the test objects used for compressive strength are cubes measuring 5cm x 5cm and for tensile strength in the form of *dogbones*. There were 3 test specimens for each variation, making a total of 30 specimens. Testing was carried out when the mortar was 28 days old. From the research results, it was found that the optimal compressive strength result was 47.7 MPa in the 0.75% fiber variation. Then in the tensile strength results, the optimal strain is obtained at 0.00041 in the 0.5% variation.

Keywords: *EDCC, compressive strength, stress-strain, fly ash, polypropylene fiber*

1. Latar Belakang

Batubara merupakan salah satu sumber energi pembangkit listrik di Indonesia. Berdasarkan data statistik dari Badan Pusat Statistik jumlah produksi batubara tahun 2021 mencapai 290 juta ton. Jumlah produksi batu bara tersebut dapat menghasilkan listrik hingga 191 GWh. Oleh karena itu hasil sisa pembakaran dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) menghasilkan limbah *fly ash*.

Fly ash didefinisikan sebagai bahan hasil pembakaran batubara pada tungku pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk halus dan memiliki sifat yang dapat mengikat seperti semen. Penggunaan *fly ash* dapat dijadikan substitusi sebagian semen. Sehingga beton yang menggunakan *fly ash* dapat dikatakan sebagai beton ramah lingkungan. Salah satu produk yang menggunakan *fly ash* ini adalah mortar *Eco-Friendly Ductile Cementitious Composites* (EDCC).

Mortar EDCC adalah inovasi pengembangan dari mortar *Engineered Cementitious Composite* (ECC). Pada penelitian ECC sebelumnya digunakan material yang terdiri dari komposit semen dengan distribusi serat pendek secara acak dengan volume sekitar 2 %. Namun, EDCC mencapai kapasitas yang sama dengan ECC dengan penggantian 60% kandungan semen dengan *fly ash* dan hanya menggunakan 2% serat *polypropilene*. Mortar EDCC memiliki daktilitas yang tinggi namun tetap mempertahankan kuat tekan yang tinggi juga. Bahan yang dipakai untuk membuat mortar EDCC adalah semen, *fly ash*, *silica fume*, dan agregat halus (pasir) ditambah *superplastisizer* sebagai pengurang air. Adapun agregat kasar (kerikil) tidak digunakan pada EDCC sama seperti pada ECC dikarenakan material tersebut dapat berpengaruh buruk terhadap daktilitas komposit material tersebut (Li & Mishra, 1996).

Penggunaan serat pada beton berguna untuk menambah kuat tarik beton, mengingat kuat tarik beton yang sangat rendah. Penambahan serat pada beton menjadikan beton semakin lebih daktil. Salah satu dari jenis serat di atas adalah serat *polypropilene*. Terdapat kadar optimum serat yang dapat dimasukkan ke dalam beton. Penggunaan kadar yang terlalu sedikit tidak menghasilkan efek yang baik terhadap beton. Jika serat yang digunakan terlalu banyak maka akan mengurangi kekecekan beton dengan sangat drastis. Beton akan sulit dipadatkan dan banyak rongga udara yang terjebak di dalamnya. Persentase optimum serat antara lain dipengaruhi oleh bentuk, aspek rasio (perbandingan antara panjang dan diameter) dan jenis material yang digunakan. Diperlukan pengujian trial mix untuk mendapatkan beton yang baik dengan kekecekan yang cukup (Hasanr et al., 2013).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kadar optimal penambahan serat *polypropilene* terhadap kuat tekan dan hubungan tegangan regangan mortar EDCC. Pada penelitian ini variasi persentase penggunaan serat sebesar 0,25 %, 0,5 %, 0,75 %, 1 % dari volume mortar

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental. Metode eksperimental adalah penelitian yang dilakukan dengan menciptakan fenomena pada kondisi terkendali. Tahapan-tahapan yang dilakukan di mulai dari persiapan peralatan, pemeriksaan sifat fisis material, perencanaan campuran beton (*mix design*), pembuatan dan perawatan benda uji beton, pengujian kuat tekan dan kuat tarik dan yang terakhir merupakan pelaporan hasil penelitian.

Tahap persiapan dimulai dengan melakukan studi pustaka dari jurnal-jurnal dan penelitian-penelitian terdahulu sebagai referensi dasar penelitian. Setelah sumber referensi mencukupi, maka dilakukan persiapan material dan peralatan yang dibutuhkan. Selanjutnya dilakukan *trial* EDCC konvensional tanpa tambahan serat. Setelah dilakukan *trial* EDCC, kemudian dilakukan rencana variasi penggunaan serat *polypropilene*.

Sebelum pembuatan benda uji untuk penelitian, terlebih dahulu dilakukan pengujian sifat fisis agregat halus yang digunakan untuk diketahui karakteristiknya. Setelah diketahui karakteristik dari agregat halus yang digunakan, maka dilakukan *mix design* benda uji yang meliputi benda uji tarik dan tekan. Setelah dilakukan *mix design*, dilakukan pembuatan benda uji untuk setiap variasi 0,25%; 0,5%; 0,75%; dan 1%. Pada saat pembuatan benda uji, campuran dari EDCC dengan serat *polypropilene* yang telah diaduk dilakukan *slump-flow* test untuk mengetahui kemampuan alir dan kemudahan pengerjaan material tersebut. Selanjutnya material yang telah diaduk dituangkan ke dalam cetakan uji tekan dan tarik dan dilakukan pemadatan dengan diketuk dengan palu karet. Campuran yang telah dituang ke dalam cetakan didiamkan selama 1 hari untuk kemudian dilakukan perawatan normal dengan merendam benda uji di dalam rendaman air bersih. Pengujian kuat tekan dan kuat tarik dilakukan pada umur beton (benda uji) 28 hari. Jika kuat tekan dan kuat tarik tidak mendapatkan hasil seperti yang ditargetkan maka perlu dilakukan *mix design* kembali. Setelah didapat data pengujian, lalu dilakukan pengolahan data dengan menggunakan persamaan yang sudah ditentukan. Kemudian data yang sudah diolah sesuai dengan persamaan diambil kesimpulan dan saran.

2.1 Material Penyusun EDCC

2.1.1 Fly Ash

Fly ash yang digunakan adalah fly ash tipe C. Fly ash diperoleh dari PLTU Pangkalan Susu. *Fly ash* tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen, namun dengan kehadiran air dan ukurannya yang halus, silika oksida (SiO_2) yang dikandung di dalam abu terbang akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan yang mengikat. Adapun kandungan dari fly ash adalah sebagai berikut.

Tabel 1 Senyawa Oksida Pada Fly Ash Pangkalan Susu

Nama Senyawa	Persentase
SiO_2	34,81%
CaO	23,39%
Al_2O_3	14,92%
Fe_2O_3	16,49%
MgO	4,92%
Total senyawa SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3	66,22%

Sumber: Rozi dan Tarigan (2020)

2.1.2 Semen

Semen dalam pengertian umum adalah bahan perekat yang mempunyai sifat-sifat yang mampu mengikat agregat-agregat padat menjadi satu kesatuan yang kompak dan kuat. Semen juga mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat (Mulyono, 2004). Semen yang digunakan adalah semen tipe 1 merk semen padang.

2.1.3 Air

Air berfungsi untuk memicu proses kimia yang menyebabkan pengikatan. Air yang digunakan untuk campuran harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, zat organik atau bahan lainnya yang dapat merusak beton atau tulangan (Mulyono, 2004).

2.1.4 Agregat Halus

Menurut SNI 03 – 6820 – 2002, agregat halus adalah agregat berupa pasir alam sebagai hasil disintegrasi batuan atau pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu dan mempunyai butiran sebesar 4,76 mm.

2.1.5 Silica Fume

Silica fume merupakan *pozzolan* halus yang digunakan sebagai bahan tambah pada beton. Penambahan *silica fume* dapat menaikkan nilai karakteristik beton seperti kuat lentur dan kuat tekan. *Silica fume* juga dapat menjadikan beton tahan terhadap bahan kimia dan kedap terhadap air, karena ukuran partikel *silica fume* yang lebih halus daripada semen sehingga dapat mengisi rongga dalam beton (Sudiby et al., 2021).

2.1.6 Superplastisizer

Superplasticizer adalah bahan tambah yang dimasukkan ke dalam beton segar yang berfungsi dapat meningkatkan nilai slump untuk memudahkan workability.

2.1.7 Serat Polypropilene

Serat *polypropilene* sering kali kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari diantaranya adalah plastik pembungkus makanan ringan, tali rafia, sedotan, kantong obat, dan lain sebagainya. Serat ini bersifat hidrofobik sehingga mempunyai kekurangan berupa karakteristik ikatan yang buruk dengan matrik semen, titik lebur yang rendah, mudah terbakar, dan modulus elastis rendah (Keer, 1984).

2.2 Pengujian Yang Dilakukan

2.2.1 Pengujian Kuat Tekan

Salah satu pengujian untuk mengetahui kualitas beton adalah dengan dilakukan uji kuat tekan. Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan (SNI 03-1974-1990). Dalam pengujian kuat tekan beton, benda uji dapat berupa kubus atau silinder lalu ditekan menggunakan alat mesin tekan (*Compressive Testing Machine*) hingga mengalami keruntuhan atau retak. Rumus yang digunakan untuk menghitung kuat tekan beton berdasarkan percobaan di laboratorium adalah sebagai berikut:

$$f'c = P.A \quad (1)$$

Keterangan:

$f'c$ = Kuat tekan benda uji (MPa)

P = Gaya tekan aksial maksimum (N)

A = Luas penampang melintang benda uji (mm²)

2.2.2 Hubungan Tegangan Regangan

Tegangan adalah gaya persatuan luas penampang benda dan dinotasikan dengan simbol “ σ ”. Tegangan yang dihasilkan mempunyai arah tegak lurus terhadap permukaan benda uji. Secara matematis tegangan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2)$$

Keterangan:

σ = Tegangan (MPa)

P = Gaya (N)

A = Luas penampang melintang benda uji (mm²)

Benda uji yang diberi gaya akan mengalami pemanjangan arah aksial atau longitudinal dan pengecilan kearah samping. Regangan adalah perubahan relatif ukuran atau bentuk. Regangan dinotasikan dengan simbol “ ε ” Secara matematis tegangan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (3)$$

Keterangan:

ε = Regangan

Δl = Selisih panjang awal dan panjang akhir (mm)

l_0 = Panjang awal (mm)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Mix Design

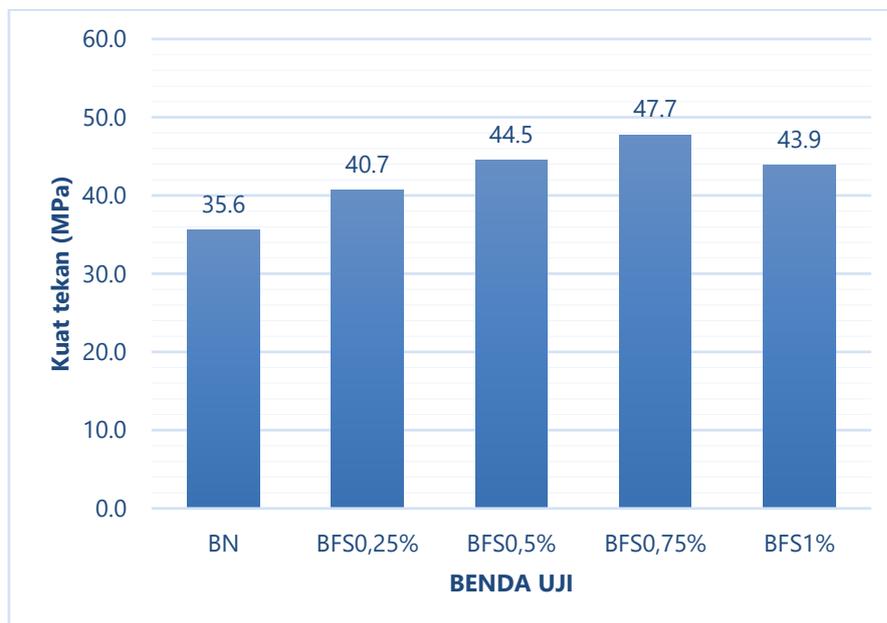
Setelah dilakukannya seluruh pengujian sifat fisis material, selanjutnya dilakukan pembuatan *mix design*. Penelitian ini mengacu pada penelitian Soleimani-Dashtaki (2017) sebagai pedoman rencana campuran. Untuk banyaknya material yang digunakan untuk penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Mix Design EDCC

No	Variasi	FA (gr)	SF (gr)	Semen (gr)	Air (gr)	Pasir (gr)	SP (gr)	Serat (gr)	Jumlah Benda Uji
1	Normal	0	0	937,5	227,8	351,6	22,5	0	6
2	0,25%	562,5	56,3	318,8	227,8	351,6	22,5	3,8	6
3	0,5%	562,5	56,3	318,8	227,8	351,6	22,5	7,7	6
4	0,75%	562,5	56,3	318,8	227,8	351,6	22,5	11,5	6
5	1%	562,5	56,3	318,8	227,8	351,5	22,5	15,4	6
Jumlah Benda Uji									30

3.2 Pengujian Kuat Tekan

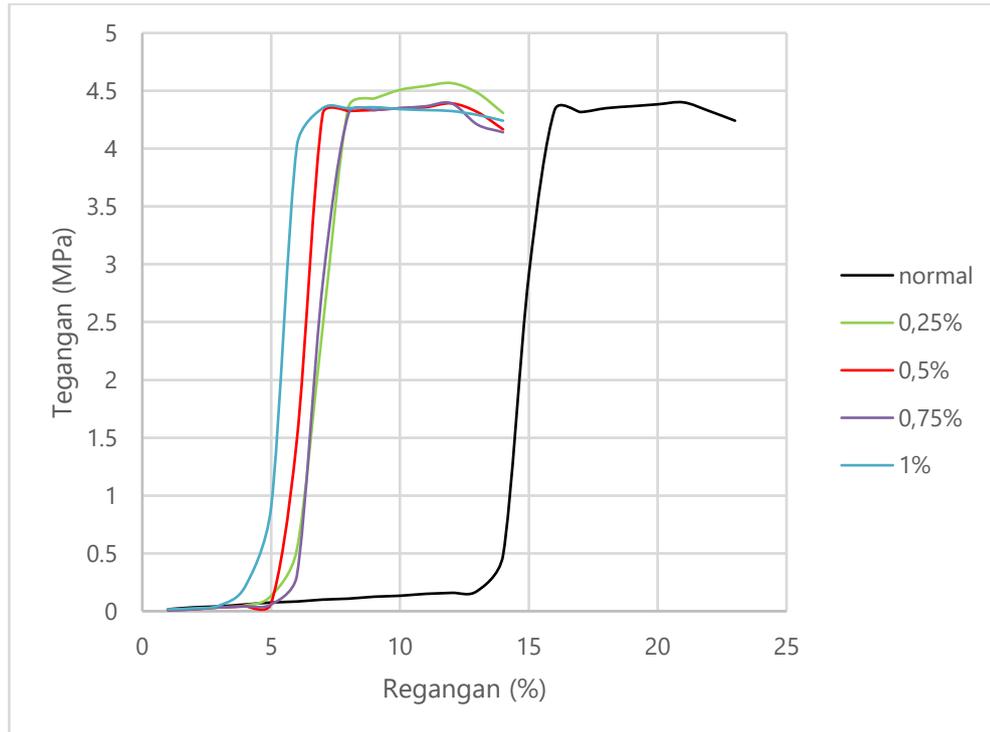
Pengujian Kuat Tekan dilakukan pada saat umur benda uji 28 hari. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan yang sudah dilakukan, dapat dilihat bahwa penambahan serat *polypropilene* pada EDCC mengalami peningkatan kuat tekan pada variasi penambahan serat 0,25%; 0,5%; 0,75%; dan 1%. Untuk benda uji BFS0,25 didapat nilai rata-rata kuat tekan sebesar 40,7 MPa dimana mengalami peningkatan sebanyak 12%. Pada benda uji BFS0,5 didapat nilai rata-rata kuat tekan sebesar 44,5 MPa dimana meningkatkan sampai 20%. Lalu pada benda uji BFS0,75 didapat nilai rata-rata kuat tekan sebesar 47,7 mengalami peningkatan hingga 25%. Kemudian pada variasi 1% didapat nilai kuat tekan rata-rata sebesar 43,9 MPa dimana hanya meningkat sampai 19%. Sehingga variasi pada persentase 0,75% serat *polypropilene* adalah variasi optimal untuk meningkatkan kuat tekan. Hasil dari pengujian kuat tekan dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 1 Grafik kuat tekan EDCC dengan serat *polypropilene*

3.3 Hubungan Tegangan Regangan

Berdasarkan hasil pengujian kuat tarik yang sudah dilakukan, persentase penambahan serat *polypropilene* meningkatkan regangan mortar. Dapat dilihat bahwa penambahan serat *polypropilene* pada EDCC mengalami peningkatan regangan pada variasi penambahan serat 0,25%; 0,5%; 0,75%; dan 1%. Untuk benda uji BFS0,25 didapat nilai regangan sebesar 0,0002. Pada benda uji BFS0,5 didapat nilai regangan sebesar 0,0004. Lalu pada benda uji BFS0,75 didapat nilai regangan sebesar 0,0002. Kemudian pada variasi 1% didapat nilai regangan sebesar 0,0002. Sehingga variasi pada persentase 0,5% serat *polypropilene* adalah variasi optimal. Grafik tegangan regangan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Grafik hubungan tegangan regangan EDCC

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Pada pengujian kuat tekan EDCC dengan penambahan serat *polypropilene* sebanyak 0,25%; 0,5%; 0,75%; 1% dari total volume mortar masing-masing memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 40,7 MPa, 44,5 MPa, 47,7 MPa, 43,9 MPa. Persentase penambahan serat *polypropilene* yang memiliki nilai kuat tekan optimum adalah variasi penambahan sebanyak 0,75% yaitu 47,7 MPa dan nilai kuat terendah pada variasi penambahan sebanyak 0,25% yaitu 40,7 MPa. Didapat perbandingan dari data kuat tekan rata-rata benda uji dibandingkan dengan mortar kontrol dapat meningkat hingga 25%.

Pada pengujian tarik EDCC dengan penambahan serat *polypropilene* sebanyak 0,25%; 0,5%; 0,75%; dan 1% masing-masing memiliki nilai regangan pada titik leleh rata-rata sebesar 0,0002; 0,0004; 0,0002; dan 0,0002. Persentase penambahan serat *polypropilene* yang memiliki nilai regangan optimal adalah variasi penambahan sebanyak 0,5% yaitu 0,0004 dan regangan terendah yaitu dengan penambahan serat 1%.

4.2 Saran

Untuk selanjutnya disarankan menggunakan *fly ash* tipe F dengan persentase diatas 60%, *silica fume* diatas 10%, *superplastisizer* lebih sedikit dari 2,4% merk lain, semen dengan kualitas yang lebih baik, dan pengurangan air lebih dari 10% dengan harapan mendapatkan kuat tekan yang lebih tinggi.

Untuk penelitian berikutnya disarankan untuk melakukan penelitian EDCC dengan menggunakan serat yang lain seperti *polyethylene terephthalate (PET)*, *polyvinyl alcohol*, serat kaca (*fiberglass*) dengan harapan dapat meningkatkan kuat tarik sehingga punya daktilitas yang lebih baik.

Daftar Kepustakaan

- 1969:2008, S. (2008). Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 20.
- Amri, & Sjafei. (2005). *Teknologi Beton*. Yayasan John Hi-Tech Idetama
- EFNARC. (2005). ERMCO The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. *The European Guidelines for Self Compacting Concrete*, May.
- Hasanr, H., Tatong, B., & Tole, J. (2013). Pengaruh Penambahan Polypropylene Fiber Mesh Terhadap Sifat Mekanis Beton. *Majalah Ilmiah Mektek*.
- Keer, J. G. (1984). Fibre Reinforced Concrete. *New Reinf Concr*, m, 52–105.
- Li, V. C., & Mishra, D. K. (1996). Structural applications of engineered cementitious composites. *Indian Concrete Journal*, 70(10), 561–567. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(1998\)10](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(1998)10)
- Malino, L., Wallah, S. E., & Handono, D. B. (2019). Pemeriksaan Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Lentur Beton Serat Kawat Bendrat Yang Ditekuk Dengan Variasi Sudut Berbeda. *Jurnal Sipil Statik*, 7(Juni), 711–722.
- Mulyono, T. (2004). *Teknologi Beton*. Andi.
- Nugraha, P., & Antoni. (2007). *Teknologi beton: dari material, pembuatan, ke beton kinerja tinggi*. Andi.
- Pahlawan, T., Mahyar, H., Miswar, K., Sipil, J. T., & Lhokseumawe, P. N. (2018). *Industri Listrik Pltu Nagan Raya*. November, 565–575.
- SNI-2049-2015. (2015). Semen Portland. *Badan Standarisasi Nasional Indonesia Semen portland ICS | Course Hero*. (n.d.).
- SNI 03-1971-1990. (1990). Metode Pengujian Kadar Air Agregat. *Badan Standarisasi Nasional*, 27(5), 6889.
- 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. (1998). SNI 03-4804-1998 (Bobot Isi Agregat). *Sni 03-4804-1998*, 1–6.
- SNI 15-2531-1991. (1991). Metode Pengujian Berat Jenis Semen Portland. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 1–2.
- Soleimani-Dashtaki, S., Soleimani, S., Wang, Q., Banthia, N., & Ventura, C. E. (2017). Effect of high strain-rates on the tensile constitutive response of Ecofriendly Ductile Cementitious Composite (EDCC). *Procedia Engineering*, 210, 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.11.053>
- Sudibyo, A., Alwi, S., & Indirwana, A. P. (2021). Pengaruh Penggunaan Silica Fume Dengan Material Batu Laterit Sebagai Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton.

- Utami, R., Herbudiman, B., & Irawan, R. R. (2017). Efek Tipe Superplasticizer terhadap Sifat Beton Segar dan Beton Keras pada Beton Geopolimer Berbasis Fly Ash | Utami | RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*
- Wang, Q., Banthia, N., Sun, W., & Gu, C. (2020). Water permeability of Eco-Friendly Ductile Cementitious Composites (EDCC) under an applied compressive stress. *Cement and Concrete Composites*, 107, 103500. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2019.103500>
- Wesli. (2015). *Metodologi Penelitian Teknik Sipil*. Yayasan PeNA.