

Available online at [www.jurnal.abulyatama.ac.id/tekniksipil](http://www.jurnal.abulyatama.ac.id/tekniksipil)  
ISSN 2407-9200 (Online)

## Universitas Abulyatama Jurnal Teknik Sipil Unaya



### Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton Normal yang Menggunakan Agregat Kasar Gabungan

Samuel Layang<sup>\*1</sup>, Petrisly Perkasa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Palangka Raya, Palangka Raya, 73112, Indonesia.

\*Email korespondensi: [samuel.layang@ptb.upr.ac.id](mailto:samuel.layang@ptb.upr.ac.id)

Diterima Agustus 2021; Disetujui Desember 2021; Dipublikasi Januari 2022

**Abstract:** This study aims to obtain the percentage of coarse aggregate combined between crushed stone and uncrushed stone which produces the optimum compressive strength and elastic modulus of concrete. To achieve this goal, an experimental study was carried out in the laboratory using a cylindrical specimen with a diameter of 150 mm, a height of 300 mm with six variations of the mixture. Concrete mix planning is based on SNI 03-2834-2000 concerning Procedures for Making Normal Concrete Mixture Plans. The test results show that the greatest compressive strength and elastic modulus is produced by a concrete mixture in which all coarse aggregates use crushed stone with a compressive strength value of 10.12 MPa and an elastic modulus of 16413.57 MPa. For concrete mixtures that use a combination of the coarse aggregate of crushed stone and unbroken stone, the largest compressive strength and elastic modulus are produced from a mixture of 80% crushed stone and 20% uncrushed stone.

**Keywords:** compressive strength, elastic modulus, combined coarse aggregate

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan prosentase agregat kasar gabungan antara batu pecah dan batu tak pecah yang menghasilkan kuat tekan dan modulus elatis beton yang optimum. Untuk mencapai tujuan tersebut dilakukan penelitian secara eksperimental di laboratorium menggunakan benda uji silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm dengan enam variasi campuran. Perencanaan campuran beton berdasarkan SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Hasil pengujian menunjukkan kuat tekan dan modulus elastisitas terbesar dihasilkan oleh campuran beton yang semua agregat kasarnya menggunakan batu pecah dengan nilai kuat tekan sebesar 10,12 MPa dan modulus elastisitas sebesar 16413,57 MPa. Untuk campuran beton yang menggunakan kombinasi agregat kasar batu pecah dan batu tak pecah, kuat tekan dan modulus elastisitas terbesar dihasilkan dari campuran 80% batu pecah dan 20% batu tak pecah.

**Kata kunci :** kuat tekan, modulus elastisitas, agregat kasar gabungan

Penggunaan beton sebagai bahan bangunan telah digunakan sejak ditemukannya semen pada abad ke-18. Perkembangan beton demikian pesat karena memiliki beberapa kelebihan, diantaranya harga relatif murah, bahan baku mudah diperoleh, tahan terhadap temperatur yang tinggi, tidak mengalami pembusukan, mudah dibentuk, biaya pemeliharaan yang kecil dan proses pembuatan beton yang relatif mudah (Arman A, 2018) (Polii et al., 2015). Selain itu, beton memiliki kemampuan yang baik dalam menerima gaya tekan. Oleh karena itu banyak penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan beton dengan mutu (kuat tekan) yang tinggi tetapi dengan memanfaatkan bahan sisa atau limbah.

Beton terbuat dari campuran semen, agregat kasar, agregat halus dan air dalam jumlah tertentu yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen. Hampir 70% bagian beton berasal dari agregat (Candra et al., 2020), terdiri dari agregat kasar dan agregat halus. Penggunaan jenis agregat disesuaikan dengan mutu beton yang ingin dihasilkan. Ada yang menggunakan agregat normal, agregat ringan dan agregat berat. Salah satu faktor yang mempengaruhi kekuatan tekan beton adalah agregat.

Beberapa sifat agregat yang mempengaruhi kekuatan beton diantaranya bentuk dan tekstur permukaan. Secara teori, agregat yang mempunyai bentuk bersudut (agregat batu pecah) akan menghasilkan kuat tekan yang lebih besar jika dibandingkan dengan agregat yang mempunyai bentuk bulat dan permukaan yang licin. Hal ini disebabkan karena agregat yang bentuknya bersudut menghasilkan gaya ikat (*interlocking*)

yang lebih besar.

Perkembangan pekerjaan konstruksi yang menggunakan beton di Palangka Raya demikian pesat. Hal ini dapat dilihat dengan semakin banyaknya pembangunan perumahan dan ruko, sangat berbeda kondisinya jika dibandingkan dengan 10 tahun lalu. Banyak penduduk dari kabupaten lain yang membangun rumah di Palangka Raya sebagai aset masa depan. Ketersediaan bahan baku untuk material beton menjadi salah satu perhatian, khususnya agregat kasar. Agregat kasar yang banyak tersedia di Palangka Raya adalah yang bentuknya bulat dengan permukaan yang licin. Untuk membuat beton dengan mutu yang tinggi diperlukan agregat kasar berupa batu pecah (*split*) yang didatangkan dari luar Palangka Raya. Sebagai akibatnya diperlukan tambahan biaya karena harganya yang lebih mahal dibandingkan agregat batu bulat. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran berapa nilai prosentase agregat batu pecah dan batu bulat untuk mendapatkan nilai kuat tekan dan modulus elastisitas yang optimum.

#### KAJIAN PUSTAKA

Beton merupakan campuran semen portland atau sembarang semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air dengan atau tanpa menggunakan bahan tambahan (Mulyono, 2007). Terdapat beberapa jenis beton diantaranya beton normal, beton ringan, beton polos, beton bertulang dan beton prategang (SNI 2847, 2013). Beton normal (*concrete normalweight*) merupakan beton yang memiliki berat jenis antara 2320 – 2400 kg/m<sup>3</sup> (Layang, 2021). Sementara itu beton prategang

prinsipnya sama dengan beton normal dengan mutu tinggi tetapi diberikan tegangan internal untuk menghilangkan tegangan tarik (Rahmawati & Zainuddin, 2016)

### Semen

Semen adalah bahan yang bertindak sebagai pengikat untuk agregat (Candra et al., 2020), jika dicampur dengan air, semen menjadi pasta (Nasution, 2009). Semen dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu semen non hidrolik dan semen hidrolik. Semen non hidrolik tidak dapat mengikat dan mengeras di dalam air tetapi dapat mengeras di udara, contohnya kapur. Semen hidrolik mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras di dalam air, contohnya semen portland (Mulyono, 2007). Semen jenis lainnya adalah semen dengan pencampuran nanomaterial dengan tujuan untuk meningkatkan kekuatan mekanisnya (Rahmawati et al., 2021).

### Agregat

Kandungan agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi, berkisar 60% - 70% dari berat campuran beton. Agregat yang digunakan dalam campuran beton dapat berupa agregat alam atau agregat buatan (*artificial aggregates*).

Secara umum agregat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar adalah batuan yang ukuran butirnya lebih besar dari 4,75 mm (Standar ASTM) dan agregat halus adalah batuan yang lebih kecil dari 4,75 mm (Mulyono, 2005:65). Agregat normal yang dipakai dalam campuran beton mempunyai berat isi tidak boleh kurang dari 1200 kg/m<sup>3</sup> (Mulyono, 2007).

### Air

Air diperlukan pada pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen, untuk membasahi agregat dan untuk melumas campuran agar mudah pengerjaannya (Nawy, 2008). Faktor air semen (*water cement ratio*) perlu diperhatikan dalam campuran beton karena merupakan ukuran kekuatan beton. Faktor air semen dinyatakan dalam perbandingan berat air terhadap berat semen dalam campuran.

### Sifat Mekanik Beton

Sifat mekanik beton keras dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu sifat jangka pendek (kuat tekan, tarik, geser, modulus elastisitas) sifat jangka panjang (rangkai dan susut) (Nawy, 2008). Kuat tekan beton ( $f^c$ ) ditentukan dengan benda uji berbentuk silinder (diameter 150 mm dan tinggi 300 mm) (BSI, 2002) yang dinyatakan dalam satuan MPa (Mega Pascal). Kuat tekan beton merupakan perbandingan gaya terhadap luas. Kuat tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar, agregat halus dan air (Khonado et al., 2019), ukuran agregat maksimum dan gradasi butiran (Putri & Tobing, 2013). Kuat tekan dirumuskan sebagai berikut (Ali, 2017):

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Keterangan:

$\sigma_c$  = kuat tekan beton (MPa)

P = besar beban tekan (N)

A = luas penampang beton (mm<sup>2</sup>)

Beton tidak memiliki modulus elastisitas (*modulus young*) yang pasti. Nilainya bervariasi tergantung dari kekuatan beton, umur beton, jenis pembebanan, karakteristik dan perbandingan semen

dan agregat. Pengujian modulus elastisitas dapat dilakukan bersamaan dengan pengujian kuat tekan dengan menggunakan benda uji silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.

Pengujian modulus elastisitas mengacu pada ASTM C469/C469M – 10 (*Standar Test Method for Static Modulus Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression*). Pada benda uji dipasang dial gauge untuk mengukur pemendekan yang terjadi pada benda uji, pembacaan dial gauge dilakukan tiap interval tertentu. Nilai modulus elastisitas pengujian dihitung berdasarkan rumus:

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0,00005} \quad (2)$$

Keterangan:

E = modulus elastisitas beton (MPa)

S<sub>2</sub> = besar tegangan saat 40% beban batas

S<sub>1</sub> = besar tegangan saat regangan 0,00005

E<sub>2</sub> = tegangan saat 40% beban batas

SNI 03-2847-2013 menyatakan bahwa:

1. Nilai modulus elastisitas untuk berat isi beton ( $w_c$ ) diantara 1500 kg/m<sup>3</sup> dan 2500 kg/m<sup>3</sup>

$$E_c = 0,043 \cdot (w_c)^{1,5} \cdot \sqrt{f'_c} \quad (3)$$

2. Untuk beton normal

$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \quad (4)$$

Keterangan:

E<sub>c</sub> = modulus elastisitas (MPa)

w<sub>c</sub> = kerapatan massa (kg/m<sup>3</sup>)

f'<sub>c</sub> = kekuatan tekan beton (MPa)

## METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Pendidikan Teknik Bangunan Universitas Palangka Raya. Semen yang digunakan adalah semen portland pozzolan (PPC) yang diproduksi PT Semen Gresik. Agregat halus yang digunakan

berasal dari Tangkiling. Agregat kasar batu pecah yang digunakan berasal dari Desa Bangkal km. 15 Martapura Banjarbaru Kalimantan Selatan. Agregat kasar batu bulat yang digunakan berasal dari Sungai Kahayan Palangka Raya.

## Perencanaan Campuran

Perencanaan campuran beton (*mix design*) berdasarkan SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (Indonesia & Nasional, 2000). Data-data perencanaan didasarkan pada hasil pengujian sifat fisik agregat kasar dan halus. Campuran beton yang digunakan terdiri dari 6 variasi campuran, masing-masing variasi terdiri dari 5 buah benda uji.

**Tabel 1. Variasi Campuran Beton**

Camp.	% batu pecah	% batu tak pecah
A	100	0
B	90	10
C	80	20
D	70	30
E	60	40
F	50	50

## Pembuatan, perawatan dan pengujian benda uji

Penelitian ini menggunakan benda uji yang berbentuk silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Bahan-bahan campuran beton dimasukkan ke dalam mesin pengaduk (*mixer*) dengan urutan agregat kasar – agregat halus – semen – air. Sebelum beton segar dimasukkan ke dalam cetakan, terlebih dahulu dilakukan uji slump untuk mengetahui kekentalan adukan beton. Alat uji slump berupa kerucut terpancung dengan diameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm dengan tinggi 30 cm (disebut Kerucut Abram's) yang diletakkan di atas bidang yang rata yang tidak menyerap air. Adukan dimasukkan ke dalam

kerucut dalam cara tiga lapis yang sama tebalnya. Masing-masing lapis ditusuk dengan menggunakan tongkat baja dengan diameter 16 mm dan panjang 60 cm.

Perawatan benda uji dilakukan dengan merendam benda uji dalam bak rendaman yang terisi air. Perawatan dilakukan selama 28 hari, hal ini untuk menjamin pengeringan dapat merata sehingga mengurangi retak awal pada benda uji. Selain itu dapat menghambat proses hidrasi pada saat awal pengikatan. Perawatan (curing) benda uji dengan cara merendam dalam air merupakan salah cara untuk mendapatkan beton dengan kuat tekan yang baik (Mulyati & Arkis, 2020). Penelitian pengaruh perawatan terhadap kuat tekan yang dilakukan oleh Hermawan menghasilkan kuat tekan beton perawatan laboratorium lebih besar dibandingkan dengan beton perawatan lapangan dan tanpa perawatan (Hermawan, 2018).

Pengujian benda uji dilakukan setelah beton kering pada umur 28 hari. Silinder beton diuji dengan alat uji tekan Universal Testing Material (UTM), dengan mengatur kecepatan pembebanan agar konstan. Dari hasil pengujian ini akan diperoleh besarnya beban ultimit pada saat silinder mengalami kehancuran.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Sifat Fisik Agregat

Hasil pengujian sifat fisik agregat seperti pada Tabel 2.

**Tabel 2. Sifat Fisik Agregat**

Sifat	Ag. halus	Batu pecah	Batu tak pecah
Modulus Kehalusan	3,24	7,79	7,47
Zona Gradasi	II	II	II
Berat Jenis (SSD)	2,52	3,82	3,48
Penyerapan (Absorpsi)	7,68	1,68	1,17
Kadar Air Rata-Rata	0,89	1,17	0,71

Berdasarkan analisa saringan diperoleh nilai modulus kehalusan (fm) agregat halus yaitu 3,24. Batas modulus kehalusan agregat halus yang diijinkan (1,5-3,8) sesuai dengan peraturan SK SNI S-04-1989-F, dan masuk ke zona 2, agregat halus yang digunakan telah memenuhi standar yang diijinkan. Nilai modulus kehalusan (fm) agregat kasar batu pecah (7,79) dan batu tak pecah (7,47) memenuhi persyaratan modulus kehalusan agregat kasar yang diijinkan 7,47-9,55. Ukuran gradasi agregat kasar maksimum 20 mm.

### Proporsi Material Campuran Beton

Perencanaan campuran beton (*mix design*) berdasarkan SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal.

**Tabel 3. Proporsi Material**

Cam	Material (kg/m <sup>3</sup> )				
	PC	Ag. Halus	Bt. Pecah	Bt. Bulat	Air
A	1719,83	3807,28	6630,34	-	1308,80
B	1765,49	3682,29	6022,99	669,56	1299,68
C	1768,82	3672,15	5339,04	1335,43	1298,51
D	1781,25	3658,74	4654,60	1995,83	1297,08
E	1781,25	3658,74	3989,66	2661,11	1296,74
F	1797,30	3653,21	3319,68	3321,35	1295,96

### Kuat Tekan dan Kerapatan Massa Beton

Silinder beton diuji pada umur 28 hari. Gambar 1 memperlihatkan silinder beton yang belum dicapping dengan belerang, sedangkan gambar 2 memperlihatkan silinder beton yang telah

dicapping dengan tujuan agar pada saat dilakukan uji tekan, gaya tersebar merata pada seluruh permukaan.



Gambar 1. Benda Uji Sebelum Dicapping



Gambar 2. Benda Uji Setelah Dicapping

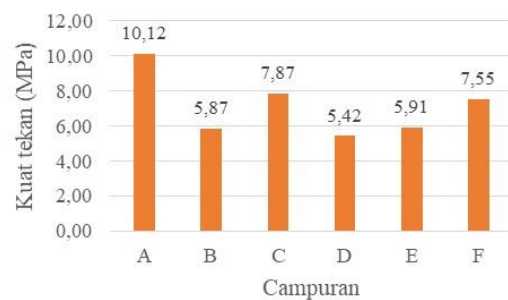
Hasil pengujian kuat tekan dan kerapatan massa silinder beton pada umur 28 hari seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Kuat Tekan dan Kerapatan Massa

Camp.	Kuat tekan rata-rata (MPa)	Kerapatan massa rata-rata ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
A	10,12	2432,92
B	5,87	2395,88
C	7,87	2440,82
D	5,42	2378,89
E	5,91	2478,78
F	7,55	2424,69

Campuran beton yang semua agregat kasarnya menggunakan batu pecah (campuran A) menghasilkan kuat tekan tertinggi dibandingkan dengan campuran beton lainnya. Hal ini disebabkan karena agregat batu pecah memiliki bentuk yang tajam sehingga menghasilkan gaya ikat (*interlocking*) antara agregat yang baik. Selain itu dari hasil analisa ayakan, nilai modulus kehalusan (*fineness modulus*) agregat batu pecah lebih besar dibanding batu bulat.

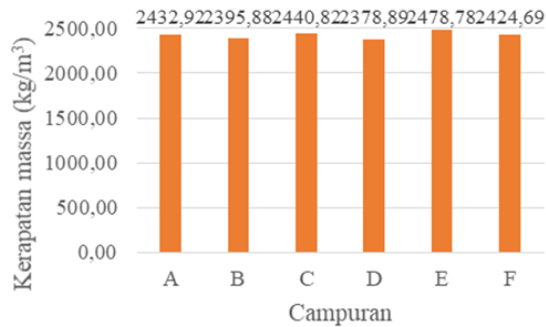
Untuk campuran beton yang agregat kasarnya menggunakan kombinasi batu pecah dan batu bulat, kuat tekan tertinggi dihasilkan dari campuran C (80% batu pecah dan 20% batu bulat) dengan kuat tekan sebesar 7,87 MPa. Batu bulat mempunyai permukaan yang licin sehingga gaya ikat antar agregat tidak sebaik jika dibandingkan dengan batu pecah sehingga kuat tekan yang dihasilkan lebih kecil.



Gambar 3. Kuat Tekan Rata-Rata Umur 28 Hari

Campuran beton yang menggunakan kombinasi agregat kasar batu pecah dan batu bulat tidak menunjukkan pola yang teratur. Campuran B dan C menghasilkan kuat tekan yang hampir sama, sedangkan campuran B, D dan E menunjukkan kecenderungan yang sama untuk kuat tekan. Hal ini dapat disebabkan karena proses pencampuran yang tidak merata sehingga terjadi pemisahan antara

agregat batu pecah dan batu bulat. Hal lain yang dapat menjadi penyebab terjadinya perbedaan kuat tekan karena kecepatan pembebanan pada saat pengujian tidak sama sehingga berpengaruh pula pada nilai beban maksimum yang dihasilkan.



Gambar 4. Kerapatan Massa Rata-Rata Umur 28 Hari

Nilai kerapatan massa pada umur 28 hari dari semua jenis campuran memiliki kecenderungan yang sama. Hal ini disebabkan karena proses pemadatan dilakukan dengan baik.

### Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan pada deformasi yang elastis, yang mana modulus elastisitas adalah ukuran kekuatan atau kekakuan material untuk berubah bentuk dan kembali ke bentuk semula ketika diberi gaya (Kuntari et al., 2019). Modulus elastisitas beton dipengaruhi oleh jenis agregat, kelembaban benda uji beton, faktor air semen, umur beton dan temperatur (Mustika et al., 2016). Peningkatan kuat tekan beton berbanding lurus dengan modulus elastisitas. Semakin besar kuat tekan beton, semakin besar pula modulus elastisitas, demikian sebaliknya.

Nilai modulus elastisitas beton dihitung dengan menggunakan persamaan 3.

Tabel 5. Modulus Elastisitas

Camp.	Modulus elastisitas rata-rata (MPa)
A	16413,57
B	12216,24
C	14549,59
D	11618,88
E	12900,98
F	14105,85

Campuran A (100% batu pecah) menghasilkan nilai modulus elastisitas terbesar dibanding campuran beton lainnya. Untuk campuran beton yang menggunakan kombinasi batu pecah dan batu bulat, modulus elatis terbesar dihasilkan campuran C (80% batu pecah dan 20% batu bulat).

Nilai modulus elastisitas beton sangat dipengaruhi oleh kuat tekan dan kerapatan massa beton. Semakin besar kuat tekan dan kerapatan massa beton, maka nilai modulus elastisitas semakin besar, demikian pula sebaliknya.

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### Kesimpulan

Campuran beton yang menggunakan 100% agregat kasar batu pecah menghasilkan kuat tekan dan modulus elastisitas terbesar dibanding campuran lainnya. Campuran beton yang terdiri dari 80% agregat kasar batu pecah dan 20% batu bulat menghasilkan kuat tekan dan modulus elastisitas terbesar untuk campuran yang menggunakan kombinasi agregat kasar batu pecah dan batu bulat.

Modulus elastisitas sangat dipengaruhi oleh kuat tekan dan kerapatan massa. Nilai kuat tekan berbanding lurus dengan modulus elastisitas. Semakin besar kuat tekan maka nilai modulus elastisitas semakin besar demikian sebaliknya.

## Saran

Perlu dilakukan penelitian dengan interval perbandingan yang lebih kecil, misalnya menggunakan keliptan 5. Untuk penelitian selanjutnya dapat dicoba menggunakan ukuran butiran yang lebih besar agar nilai modulus kehalusan dan gradasi butiran agregat kasar ideal. Selain itu perlu dilakukan pengujian bahan organik dan kimiawi air yang digunakan dalam campuran beton.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ali, A. (2017). *Teori dan Desain Balok Plat Beton Bertulang*. Muhammadiyah University Press.
- Arman A. (2018). Kajian Kuat Tekan Beton Normal Menggunakan Standart Sni 7656-2012 Dan Astm C 136-06. *Rang Teknik Journal*, 1(2), 142–148.
- BSI. (2002). SNI 03-2847-2002: Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. In *Bandung: Badan Standardisasi Indonesia*.
- Candra, A. I., Wahyudiono, H., Anam, S., & Aprillia, D. (2020). Kuat Tekan Beton  $f_c' 21, 7$  MPa Menggunakan Water Reducing and High Range Admixtures. *Jurnal CIVILA*, 5(1), 330–340.
- Hermawan, O. H. (2018). *Pengaruh Perawatan Terhadap Kuat Tekan Beton*. 16(1), 1–7.
- Indonesia, S. N., & Nasional, B. S. (2000). *Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal*.
- Khonado, M. F., Manalip, H., & Wallah, S. E. (2019). Kuat Tekan Dan Permeabilitas Beton Porous Dengan Variasi Ukuran Agregat. *Sipil Statik*, 7(3), 351–358.
- Kuntari, H. D., Lingga, A. A., & Supriyadi, A. (2019). Analisis PPerbandingan Desain Campuran Beton Normal Menggunakan SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656 : 2012 dengan Kuat Tekan 30 MPa. *Jurnal Elektronik Laut, Sipil, Tambang (JeLAST)*, 6(3).
- Layang, S. (2021). *Konstruksi Beton Bertulang- Analisa & Desain Balok, Pelat Beton Bertulang Berdasarkan SNI2847:2019* (1st ed.). Nas Media Pustaka.
- Mulyati, M., & Arkis, Z. (2020). Pengaruh Metode Perawatan Beton Terhadap Kuat Tekan Beton Normal. *Jurnal Teknik Sipil ITP*, 7(2), 78–84. <https://doi.org/10.21063/jts.2020.v702.05>
- Mulyono, T. (2007). *Teknologi Beton*. Andi.
- Mustika, W., Salain, I. M. A. K., & Sudarsana, I. K. (2016). Penggunaan Terak Nikel Sebagai Agregat Dalam Campuran Beton. *Jurnal Spektran*, 4(2), 36–45. <https://doi.org/10.24843/spektran.2016.v04.i02.p05>
- Nasution. (2009). *Analisa dan Desain Struktur Beton Bertulang*. Penerbit ITB.
- Nawy, E. G. (2008). *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Refika Aditama.
- Polii, R. A., Sumajouw, M. D. J., & Windah, R. S. (2015). Kuat Tekan Beton Dengan Variasi Agregat Yang Berasal Dari Beberapa Tempat Di Sulawesi Utara. *Jurnal Sipil Statik*, 3(3), 206–211.
- Putri, A. P., & Tobing, A. K. (2013). Analisa



- Kuat Tekan Beton Menggunakan Substitusi Bahan Ramah Lingkungan. *Jurnal Kajian Teknik Sipil*, 3(2), 105–109.
- Rahmawati, C., Aprilia, S., Saidi, T., Aulia, T. B., & Hadi, A. E. (2021). The Effects of Nanosilica on Mechanical Properties and Fracture Toughness of Geopolymer Cement. *Polymers*, 13(13), 2178. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/polym13132178>
- Rahmawati, C., & Zainuddin, Z. (2016). Analysing The Route Of PCI Girder-Type Prestressed Concrete Tendons. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 5, 1553–1559.
- SNI 2847. (2013). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung. *Bandung: Badan Standardisasi Indonesia*, 1–265.