



## SUBSTITUSI SEMEN DENGAN LIMBAH MARMER TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR

Nanang Dalil Herman, Aida Fitriani S, Istiqomah\*,

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

\*Corresponding author, email: [istiqomah@upi.edu](mailto:istiqomah@upi.edu)

### ABSTRACTS

*This study will discuss the effect of cement substitution with marble waste against the compressive strength of mortar. marble waste which is used as research, of course, has been selected according to the size of the required. In this study, the attitude waste used from the Padalarang area, West Bandung Regency. The research method used is the experimental method with manufacture of test objects in the laboratory which are then carried out testing on the 3rd, 7th, 14th, 21st and 28th days. On research. This is made of 4 different types of mixtures as many as 3 pieces per type. As a comparison, ordinary mortar was also made. Design Method mortar using SK SNI M-111-1990-03 with compressive strength mortar the planned amount is 52 kg/cm<sup>2</sup>. Based on the mortar compressive strength test, it can be seen that mortar with a mixture of waste means decreased compressive strength*

### ARTICLE INFO

**Article history:**

Submitted/Received: 28 Oktober 2020

First revised: 20 November 2020

Accepted: 10 Desember 2020

First Available online: 30 Desember 2020

Publication Date: 01 Januari 2021

**Keywords:**

Cement, Compressive Strength, Marble Waste, Mortar, Substitution

## 1. PENDAHULUAN

Peningkatan pertumbuhan dan kesejahteraan masyarakat secara tidak langsung mendorong masyarakat untuk memenuhi kebutuhan akan suatu bangunan, baik sebagai tempat tinggal ataupun sebagai sarana umum.(Awandari,L.P.P. 2016). Disisi lain, pembangunan merupakan salah satu program pemerintah, sehingga perlu di dukung dengan ketersediaan bahan. Bahan bangunan adalah bahan yang dipakai untuk membuat barang bangunan atau bahan yang memberikan sifatsifat tertentu di dalam teknik bangunan, dalam arti yang luas. (Harahap,B. 2019). Bahan bangunan adalah semua bahan-bahan baik sebagai bahan pokok maupun penolong yang diperlukan untuk membangun suatu bangunan tertentu.(Suharjanto, 2011; Priyanto, 2019; Apriansyah, 2020). Salah satu bahan yang sering digunakan dalam pembuatan bangunan adalah semen. Dimana harga semen di lapangan saat ini semakin mahal karena keterbatasannya bahan di alam. Sehingga diperlukan alternatif bahan pengganti semen yang lebih ekonomis harganya.

Tabel 1. Kandungan kimia limbah pabrik marmer

| NO           | UNSUR KIMIA                            | KANDUNGAN (%) |
|--------------|--|---------------|
| 1            | Silikon Dioksida (SiO <sub>2</sub> )   | 0.13          |
| 2            | Alumunium Dioksida (AlO <sub>3</sub> ) | 0.31          |
| 3            | Feri Oksida (FeO <sub>3</sub> )        | 0.04          |
| 4            | Kalsium Oksida (CaO)                   | 55.07         |
| 5            | Magnesium Oksida (MgO)                 | 0.36          |
| 6            | Kalium Oksida (K <sub>2</sub> O)       | 0.01          |
| 7            | Sulfur Trioksida (SO <sub>3</sub> )    | 0.08          |
| 8            | Bahan lainnya                          | 44            |
| <b>TOTAL</b> |  | <b>100</b>    |

Sumber : (PT. Multi Marmer Alam)

Namun seiring dengan peningkatan permintaan material semen, dikhawatirkan ketersediaan sumber daya akan menurun secara drastis bahkan bisa sampai habis, sehingga pasti akan mempengaruhi keseimbangan lingkungan di sekitarnya.(Wohos, 2014; Rahmalia, 2018; Dewi, 2020). Memanfaatkan limbah industri marmer sebagai bahan alternatif penyusun beton dapat dilakukan untuk mengurangi masalah tersebut. Umumnya, limbah industri ini merupakan sisa hasil produksi yang tidak berfungsi dalam industrinya dan tidak memiliki nilai jual yang tinggi. (Lestari, A. D. 2021)

Batu marmer adalah salah satu jenis batuan metamorf atau malihan, dimana proses terbentuknya batu marmer ini karena diakibatkan oleh proses metamorfosis batu kapur atau batu gamping.(Fitriadi,N. 2018). Batu marmer merupakan salah satu bahan galian industri yang diperoleh dari alam. Secara umum proses industri selalu ditandai oleh dua produk yang dihasilkan, yaitu produk yang direncanakan dan produk yang tidak direncanakan. Produk yang direncanakan dapat berupa benda yang memang direncanakan untuk dihasilkan, sedangkan produk yang tidak direncanakan biasanya terbentuk dengan sendirinya seiring dengan

dihasilkannya benda yang diinginkan. Dengan kata lain, produk ini merupakan bahan buangan atau biasa disebut sebagai limbah.

Limbah marmer adalah residu dari industri batu marmer. Proses pembuatan marmer dari batu marmer yang ditambang menghasilkan pecahan dari hasil penggergajian. Residu ini berupa kerikil, pasir, dan serbuk. (Arifin,W. 2019). Limbah marmer yang berupa pasir mempunyai ukuran butiran antara 0,5 mm dan 5 mm, berwarna putih kecoklatan, permukaan tajam dan keras serta bersih dari lempung dan lumpur sehingga memberikan ikatan yang kuat (Aditya, Halim dan Silviana, 2016). Campuran limbah marmer adalah suatu material alternatif yang dapat dijadikan material pengganti ataupun material pengisi.(Razali, 2016; Irfansyah, 2021). Penggunaan kalsium karbonat pada campuran beton dapat meningkatkan kuat tekan dan meningkatkan sifat kohesif dari campuran beton

Pada umumnya limbah merupakan material yang tidak diinginkan, apalagi jika limbah yang dihasilkan jumlahnya melimpah. Limbah marmer yang melimpah, khususnya di daerah penghasil batu marmer (padalarang), menarik minat peneliti untuk menggunakan limbah marmer sebagai bahan pengganti semen pada campuran mortar, dengan harapan dapat menghasilkan mortar alternatif yang lebih ekonomis namun tetap memiliki mutu yang baik. Salah satu studi yang menunjukkan bahwa marmer sisa dapat digunakan kembali sebagai pengganti agregat butiran halus pada material lainnya. Riset ini masih terus dilakukan untuk mengoptimalkan metode penggantian limbah marmer dengan pasir pada sungai dan silika untuk pengganti semen (Aditya et.al. 2017). Banyak penelitian yang menggunakan campuran limbah marmer untuk pengganti semen karena keahliannya untuk mengikat (Ergün, 2010).

Adapun permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah: pertama, seberapa besar pengaruh limbah halus marmer terhadap kuat tekan mortar. Kedua, Bagaimana pengaruh limbah halus marmer sebagai Pengganti semen pada mortar terhadap kuat tekan mortar. ketiga, Seberapa besar perbandingan kuat tekan mortar dengan menggunakan semen dengan kuat tekan mortar dengan menggunakan limbah halus marmer.

## **2. METODE**

Penelitian substitusi semen dengan limbah marmer terhadap kuat tekan mortar menggunakan pendekatan survei dengan jenis penelitian deskriptif kualitatif. (Arifin,I.A. 2018). Mortar merupakan material yang terbuat dari campuran semen dan agregat halus (pasir) yang ditambah air. Faktor penting yang perlu diperhatikan dalam pembuatan adukan mortar adalah workability dan compactibility.(Puryanto, 2014; Lutfi, 2017; Suhudi. 2018). Kedua faktor tersebut akan meningkat jika adukan bersifat homogen (seragam). Compactibility atau pemadatan akan diperoleh ketika membuat adukan dengan komposisi yang tepat, yaitu antara material pasir, semen dan air.

Mortar marmer dapat digunakan dalam aplikasi pasangan, plesteran, lantai dan lain-lain. Serta bermanfaat bagi masyarakat yang tinggal di daerah penambangan marmer sebagai bahan pengganti semen. Sehingga kebutuhan semen dapat dikurangi. Berdasarkan standart kuat tekan, mortar tipe mortar semen pasangan dapat dibedakan menjadi 4 tipe, yaitu: mortar tipe M adalah mortar yang yang mempunyai kekuatan 172 kg/cm<sup>2</sup>. mortar tipe S adalah mortar yang yang mempunyai kekuatan 125 kg/cm<sup>2</sup>. mortar tipe N adalah mortar yang yang mempunyai kekuatan 52 kg/cm<sup>2</sup>. mortar tipe 0 adalah mortar yang yang mempunyai kekuatan 24 kg/cm<sup>2</sup>.

## 2.1. Bahan Campuran Mortar

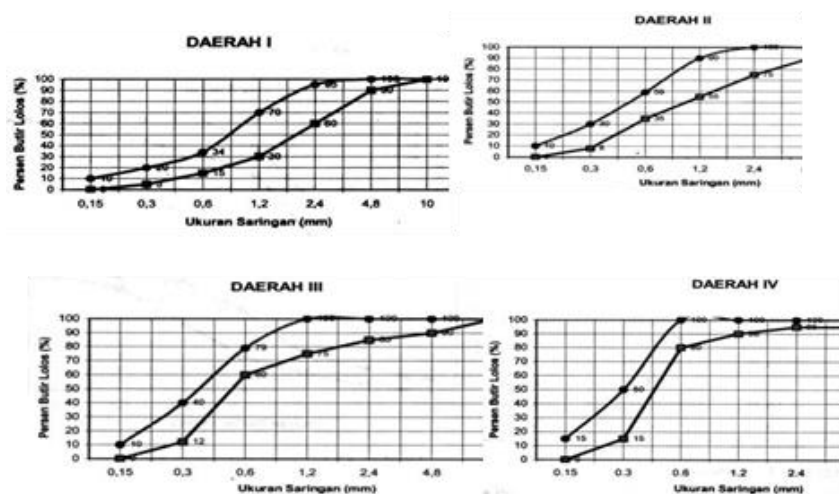
### 2.1.1. Semen Portland (*Portland Cement*)

Semen Portland Ordinary atau biasa disebut dengan semen Portland, merupakan semen hidrolis yang dibuat dengan menggiling terak semen portland yang sebagian besar merupakan asam silikat hidraulik yang tersusun dari kalsium dan dapat ditumbuk bersama-sama dengan semen portland. bahan tambahan. Satu atau lebih bentuk kristal dari senyawa kalsium sulfat dapat ditambahkan bersama dengan aditif lainnya. (Darwis, Z., Kuncoro, H. B. B., & Sitorus, J. 2022).

Pada campuran mortar, semen berfungsi sebagai lem untuk mengikat pasir, lem yang dimaksud adalah pasta semen yang terbentuk dari campuran semen dan air. Semen portland bersifat hidrolis, yaitu semen yang akan mengeras bila bereaksi dengan air (water resistance) dan stabil dalam air setelah mengeras.

### 2.1.2. Agregat Halus

Agregat halus adalah butiran mineral yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar. Dengan pasir yang baik, mortar dapat dikerjakan (workable), kuat, tahan lama (durable) dan ekonomis. Agregat halus, ialah agregat yang semua butirnya menembus ayakan berlubang 4,80 mm berdasarkan (SII 0052 1980), atau 4,75 mm berdasarkan (ASTM C33 1982), atau 5,00 mm berdasarkan (BS 812 1976).



Gambar 1. Daerah Gradasi Pasir

Sumber: Hasil Olah Data (2021)

**2.1.3. Air**

Air sebagai bahan pencampur semen berperan sebagai bahan perekat, sehingga penambahan air dalam pembuatan spesi mortar merupakan unsur yang sangat penting. Peranan air sebagai bahan perekat terjadi melalui reaksi hidrasi, yaitu semen dan air akan membentuk pasta semen dan mengikat agregat halus. Air harus memenuhi persyaratan:

1. Air harus bersih, dengan PH antara 6 – 8
2. Tidak mengandung: lumpur, minyak dan bahan terapung lainnya yang dapat dilihat secara visual, benda-benda tersuspensi lebih dari 2 gr/lit, garam yang dapat merusak beton
3. Kuat tekan mortar dari contoh minimum 90% dari kuat tekan mortar yang menggunakan air suling

**2.1.4. Marmer Sebagai Bahan Pengganti Semen pada Mortar**

Kata marmer berasal dari bahasa Yunani (*marmairon*) yang berarti berkilau. Batu marmer terbentuk dari baruan *limestone* yang mengkristal selama jutaan tahun. Batu ini berwarna indah dengan corak yang beraneka ragam sehingga banyak digunakan di dunia arsitektur.

**2.2. Hasil Analisis Material**

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Pengujian Material

| No. | Jenis Pengujian              | Hasil Pengujian          |
|-----|------------------------------|--------------------------|
| 1   | Kadar air pasir              | 3,64 %                   |
| 2   | Kadar air semen              | 0,23 %                   |
| 3   | Kadar air marmer             | 0,09 %                   |
| 4   | Berat jenis pasir            | 2,31 gr/ml               |
| 5   | Berat jenis semen            | 1,46 gr/ml               |
| 6   | Berat jenis marmer           | 0,91 gr/ml               |
| 7   | Berat satuan/volume pasir    | 1,642 gr/cm <sup>3</sup> |
| 8   | Berat satuan/volume pasir    | 1,451 gr/cm <sup>3</sup> |
| 9   | MHB pasir                    | 2,8330 %                 |
| 10  | Kandungan lumpur dalam pasir | 7,54 %                   |

Sumber: Hasil Olah Data (2021)

DOI:

### 2.3. Perancangan Campuran Mortar

Untuk pembuatan benda uji diperlukan bahan sebagai berikut:

Tabel 3. Kebutuhan Material untuk Mortar Normal

| Type   | Jenis Material | Berat Satuan Volume (m3) |          | Berat (kg) | FAS   | Air (l)   |
|--------|----------------|--------------------------|----------|------------|-------|-----------|
|        |                | (kg/m3)                  |          |            |       |           |
| Normal | Semen          | 1251                     | 0.000033 | 0.041283   |       |           |
|        | Pasir          | 1642                     | 0.000092 | 0.151064   | 0.485 | 0.0202245 |

Sumber: Hasil Olah Data (2021)

### 2.4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar

Tabel 4 Rata-rata Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar

| Usia (Hari) | Kuat Tekan Mortar Rata-Rata (kg/cm <sup>2</sup> ) |       |        |       |       |
|-------------|---|-------|--------|-------|-------|
|             | Normal  | I     | II     | III   | IV    |
| 3           | 69.41   | 22.33 | 47.51  | 26.43 | 26.27 |
| 7           | 118.00  | 36.27 | 77.20  | 30.27 | 42.67 |
| Usia (Hari) | Kuat Tekan Mortar Rata-Rata (kg/cm <sup>2</sup> ) |       |        |       |       |
|             | Normal  | I     | II     | III   | IV    |
| 14          | 126.27  | 64.73 | 83.73  | 42.93 | 48.80 |
| 21          | 136.13  | 73.60 | 92.27  | 43.60 | 53.33 |
| 28          | 137.20  | 80.93 | 126.00 | 43.73 | 73.47 |

Sumber: Hasil Olah Data (2021)

Keterangan :

N = Campuran mortar normal (0% dari total berat semen dengan limbah marmer).

I = Campuran mortar alternatif tipe I (10% dari total berat semen mortar disubstitusi dengan limbah marmer).

II = Campuran mortar alternatif tipe II (25% dari total berat semen mortar disubstitusi dengan limbah marmer).

III = Campuran mortar alternatif tipe III (50% dari total berat semen mortar disubstitusi dengan limbah marmer).

IV = Campuran mortar alternatif tipe IV (75% dari total berat semen mortar disubstitusi dengan limbah marmer).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

DOI:

p- ISSN 1412-050X e- ISSN 2828-5778

Senyawa kimia semen portland secara garis besar memiliki 4 senyawa kimia, yaitu: trikalsium silikat (C3S), dikalsium silikat(C2S), trikalsium aluminat (C3A), dan tetrakalsium aluminoferrit (C4AF).

Tabel 5. Senyawa-senyawa Utama pada Semen Portland

| Nama Senyawa   |          | Komposisi | Oksida  | Singkatan |
|--|----------|-----------|---|-----------|
| Tricalcium   | Silicate |           | 3CaO.SiO <sub>2</sub>   | C3S       |
| Dicalcium  | Silicate |           | 2CaO.SiO <sub>2</sub>   | C2S       |
| Tricalcium Aluminate   |          |           | 3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                 | C3A       |
| TertraCalcium Aluminoferrite   |          |           | 4CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | C4AF      |
| CaO = C; SiO <sub>2</sub> = S; Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = A; Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = F; H <sub>2</sub> O =H |          |           |   |           |

Sumber: Hasil Olah Data (2021)

Senyawa-senyawa minor semen yaitu: MgO, TiO<sub>2</sub>, Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O dan Na<sub>2</sub>O. K<sub>2</sub>O dan Na<sub>2</sub>O dikenal dengan sebutan bahan alkali. Bahan ini dapat bereaksi dengan silikat pada agregat sehingga dapat mengakibatkan disintegrasi beton dan mortar yang tentunya akan mempengaruhi kekuatan beton dan mortar. Berdasarkan penelitian senyawa-senyawa yang terkandung dalam marmer, setelah penulis amati senyawa-senyawa yang ada di marmer hampir sama dengan senyawa-senyawa pada semen, adapun perbandingan senyawa-senyawa marmer dan semen dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 6. Perbandingan Kandungan Semen dengan Marmer

| Unsur Kimia                                      | Kandungan (%) |        |
|--|---------------|--------|
|  | Semen         | Marmer |
| CaO  | 60-67         | 55.07  |
| SiO <sub>2</sub>                                 | 17-25         | 0.13   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                   | 3-8           | -      |
| AlO <sub>3</sub>                                 | -             | 0.31   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                   | 0.5-6.0       | -      |
| FeO <sub>3</sub>                                 | -             | 0.04   |
| MgO  | 0.1-4.0       | 0.36   |
| Alkalis (K <sub>2</sub> O dan Na <sub>2</sub> O) | 0.2-1.3       | 0.01   |
| SO <sub>3</sub>                                  | 1-3           | 0.08   |
| Bahan lainnya                                    | -             | 44     |

Sumber: Hasil Olah Data (2021)

Berdasarkan kandungan-kandungan diatas diasumsikan akan didapat campuran optimum, hasil pengujian di laboratorium di dapat semua tipe apabila dibandingkan dengan kuat tekan mortar normal semuanya mengalami penurunan. substitusi semen sebesar 10% mengalami penurunan sebesar 41,01%, substitusi semen sebesar 25% mengalami

DOI:

penurunan sebesar 8.16%, substitusi semen sebesar 50% mengalami penurunan sebesar 68.13%, dan substitusi semen sebesar 75% mengalami penurunan sebesar 46.45%. walaupun secara keseluruhan semua tipe mengalami penurunan. Tetapi, ada 3 tipe yang berada di atas kuat tekan mortar rencana sebesar 52 kg/cm<sup>2</sup> yaitu substitusi semen sebesar 10% dengan kuat tekan mortar sebesar 80.93 kg/cm<sup>2</sup>, substitusi semen sebesar 25% dengan kuat tekan mortar sebesar 126.00 kg/cm<sup>2</sup> dan substitusi semen sebesar 75% dengan kuat tekan mortar sebesar 73.47 kg/cm<sup>2</sup>.

Berdasarkan grafik 4.2 Umur Mortar terhadap Kuat Tekan Mortar didapat 2 tipe mortar alternatif yang normal dan 2 mortar alternatif yang tidak normal dibandingkan dengan mortar normal. Mortar alternatif yang normal yaitu substitusi semen sebesar 10% dan 50%. Sedangkan, yang tidak normal yaitu substitusi semen sebesar 25% dan 75%. Dimana seharusnya semakin tua umur mortar kenaikan kuat tekannya tidak terlalu tinggi. Tetapi mengalami kenaikan yang tidak terlalu jauh.

Berdasarkan grafik 4.3 Persentase Marmer terhadap Kuat Tekan Mortar pada Umur 28 Hari. Didapat grafik yang bergelombang (naik-turun). Dimana dari tipe normal ke tipe I mengalami penurunan, dari tipe I ke tipe II mengalami kenaikan, dari tipe II ke tipe III mengalami penurunan lagi dan dari tipe III ke tipe IV mengalami kenaikan lagi. Seharusnya grafik ini apabila tidak linear ke atas maka ke bawah atau lurus. Setelah dianalisis dari pelaksanaan di laboratorium ada beberapa pelaksanaan yang tidak sesuai dengan Faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan mortar, yaitu:

1. Pengadukan dilakukan secara manual karena mixer yang ada untuk volume bahan yang banyak. Jadi ketika dicoba memakai mixer ini bahan campurannya menempel di dinding-dinding mixernya. Sehingga dilakukan dengan cara manual pengadukannya. Dimana kecepatan pengadukan tiap tipe berbeda bagaimana kondisi saat mengaduknya.
2. Pemasakan juga dilakukan secara manual karena cetaknya terlalu kecil dengan ukuran 5 x 5 cm.
3. Kecepatan pengecoran dan pepadatan yang tidak sama karena dilakukan oleh beberapa orang dan pada saat proses pepadatan adukan mortar segar yang kaku dan encer tekanan yang diberikan terkadang jadi berbeda. Hal ini terjadi karena adukan mortar segar yang kaku jauh lebih keras dibandingkan dengan adukan mortar segar yang encer, sehingga tekanan untuk menusuk-nusuknya terkadang terlalu besar.

Dibawah ini faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan mortar sebagai pembanding pengerjaan di laboratorium, yaitu :

- Harus dihindari pengadukan dengan tangan atau dengan ujung vibrator.
- Mortar harus dicor dalam lapis-lapis yang seragam.
- Ketebalan lapisan harus cocok dengan metode vibrasi sehingga udara yang terperangkap dapat dikeluarkan dari dasar setiap lapisan.
- Kecepatan pengecoran dan pepadatan harus sama.



Setiap lapisan harus terlebih dahulu dipadatkan secara penuh sebelum pengecoran lapisan berikutnya dan setiap lapisan yang berurutan harus dicorkan ketika lapisan dibawahnya masih bersifat plastik sehingga diperoleh konstruksi yang monolit.

- Benturan antara campuran mortar dengan cetakan atau tulangan harus dihindarkan.
- Untuk penampang yang dalam, penggunaan pipa yang panjang menjamin penempatan mortar secara tepat pada lokasinya dan segregasi minimum.
- Mortar harus dicor secara vertikal.

Selain faktor-faktor yang mempengaruhi kuat tekan mortar juga harus diperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi pengikatan mortar, diantaranya :

- Kehalusan semen = makin halus makin cepat terjadi pengikatan.
- Kualitas air = makin baik kualitas makin cepat mengikat
- Temperatur = makin naik temperatur makin cepat pengikatannya.
- Bahan Kimia

Berdasarkan faktor-faktor pengikatan, dari hasil pengujian di lapangan ternyata marmer tidak memiliki daya ikat yang baik terbukti dengan pembuatan sampel yang 100% semennya disubstitusi dengan marmer setelah dilakukan perawatan benda uji dengan cara direndam dalam air sampel bukannya mengalami pengerasan tapi malah sebaliknya yaitu mengalami penguraian. Berbeda dengan semen apabila terkena air menjadi semakin keras.

Setelah pengujian tekan selesai seharusnya dilakukan pengujian sem untuk mengetahui reaksi apa yang terjadi pada campuran mortar tersebut. Tapi karena keteledoran waktu di laboratorium benda uji yang telah diuji tidak langsung diamankan jadi tidak dilakukan pengujian semen.

#### **4. KESIMPULAN**

Limbah marmer yang digunakan sebagai substitusi semen pada campuran mortar mempengaruhi kuat tekan mortar. Pengaruh semen dengan marmer pada setiap campuran mengalami penurunan. Hasil yang didapat dengan membandingkan mortar normal dengan mortar alternatif adalah: Substitusi semen 10% dengan limbah marmer mengalami penurunan sebesar 41,01%, Substitusi semen 25% dengan limbah marmer mengalami penurunan sebesar 8.16%, Substitusi semen 50% dengan limbah marmer mengalami penurunan sebesar 68.13%, dan Substitusi semen 75% dengan limbah marmer mengalami penurunan sebesar 46.45%.



## REFERENSI

- Aditya, C., A. Halim dan Silviana. 2016. Pemanfaatan limbah marmer dan serbuk silika pada industri bata beton pejal dan berlubang. *Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri (Seniati)*. Institut Teknologi Nasional Malang. 16-22.
- Aditya, C., Halim, A., & Silviana, S. (2017, September). Pemanfaatan limbah marmer dan serbuk zeolit sebagai material pada bata ringan CLC (Cellular Lightweight Concrete). In *Seminar Nasional Sistem Informasi (SENASIF)* (Vol. 1, pp. 919-930).
- Arifin, W., Nurtamsari, Y., & Samampa, A. N. (2019). Pengaruh limbah batu marmer sebagai pengganti agregat kasar pada campuran aspal beton terhadap kuat tarik tidak langsung. *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, 4(3), 228-236.
- ARIFIN, I. A. (2018). Pengaruh substitusi limbah marmer pada fly ash terhadap kuat tekan dan porositas beton geopolimer pada molaritas 10m. *Rekayasa Teknik Sipil*, 16-23.
- Apriansyah, M. R. (2020). Pengembangan media pembelajaran video berbasis animasi mata kuliah ilmu bahan bangunan di Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta. *Jurnal Pensil: Pendidikan Teknik Sipil*, 9(1), 9-18.
- Awandari, L. P. P., & Indrajaya, I. G. B. (2016). Pengaruh infrastruktur, investasi, dan pertumbuhan ekonomi terhadap kesejahteraan masyarakat melalui kesempatan kerja. *E-Jurnal Ekonomi Pembangunan Universitas Udayana*, 5(12), 165388.
- Darwis, Z., Kuncoro, H. B. B., & Sitorus, J. (2022). Perencanaan beton mutu tinggi menggunakan superplasticizer ligno C-491 dan kombinasi ordinary portland cement (opc) Dengan Semen Slag. *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 179-188.
- Dewi, Y. F. Z., Manalip, H., & Windah, R. S. (2020). Pengaruh penggunaan serbuk cangkang telur sebagai substitusi parsial semen terhadap nilai kuat tarik belah beton. *Jurnal Sipil Statik*, 8(3).
- Ergün, A. (2010). Geçmişten günümüze standartlarda betonun nitelik denetimi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(2), 69-82.
- Fitriadi, N., & Fitriadi, N. (2018). Kajian sifat mekanik bata ringan dari limbah potong batu marmer diperkuat serat tandan kosong kelapa sawit. *Teknovasi J. Tek. dan Inov*, 4, 27-39.
- Harahap, B. (2019). Penerapan algoritma k-means untuk menentukan bahan bangunan laris (Studi kasus pada ud. toko bangunan yd indarung). *Ready Star*, 2(1), 394-403.

DOI:

- Irfansyah, M. H., Rakhmawati, A., & Arnandha, Y. (2021). Studi analisis beton mutu tinggi SCC (self compacting concrete) menggunakan campuran limbah marmer dan superplasticizer. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Sipil*, 2(1), 56-62.
- Lestari, A. D. (2021). Pengujian kuat tekan pada beton dengan limbah marmer sebagai substitusi agregat kasar. *Reka Buana: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 6(1), 61-69.
- Lutfi, M., Daniaty, D., Nuroji, N., & Priastiwi, Y. A. (2017). Pengaruh gradasi pasir dan faktor air semen pada mortar terhadap kekuatan beton prepacked. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 6(1), 147-156.
- Suharjanto, G. (2011). Bahan bangunan dalam peradaban manusia: sebuah tinjauan dalam sejarah peradaban manusia. *Humaniora*, 2(1), 814-825.
- Suhudi, S., & Telnoni, R. J. (2018). Kajian koefisien upah kerja pekerjaan pemasangan bata ringan pada pembangunan gereja kristen Indonesia Bromo Kota Malang. *Reka Buana: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 3(1), 10-15.
- Rahmalia, D., & Herlambang, T. (2018). Optimisasi masalah transportasi distribusi semen menggunakan algoritma artificial bee colony. *Multitek Indonesia*, 11(2), 105-113.
- Razali, M. R. (2016). Penggunaan limbah marmer sebagai filler pengganti pada campuran laston lapisan antara (Ac-Bc). *Inersia: Jurnal Teknik Sipil*, 8(2), 77-84.
- Puryanto, P., Absor, M., & Subrianto, A. (2014). Pengaruh penambahan gula pasir terhadap setting time semen dan kuat tekan mortar yang menggunakan pasir lokal. *PILAR*, 10(2).
- Priyanto, A., & Yasin, I. (2019). Pemanfaatan laminasi bambu petung untuk bahan bangunan. *Science Tech: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 5(2), 23-39.
- Wohos, I. P., Mandagi, R. J., & Walangitan, D. R. O. (2014). Pengendalian material proyek dengan metode material requirement planning pada pembangunan star square manado. *TEKNO*, 12(61).