

PERKUATAN IKATAN PLASTIK DAN MATRIKS SEMEN MENGUNAKAN METODE *SOYBEAN CRUDE UREASE - CALCITE PRECIPITATION* (SCU-CP)

Rizki Amelia¹, Heriansyah Putra^{1*}

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Jl. Raya Dramaga Kampus IPB Dramaga Bogor 16680

*Corresponding authors: heriansyahptr@apps.ipb.ac.id

Abstract: Plastic is widely used because it is light, strong, and stable. However, plastic produces waste that is difficult to decompose. One effective way to manage plastic waste is recycling it into plastic pellets. Besides its utilization for making recycled plastic, plastic pellets has potential as a substitute for fine aggregate even it decreases compressive strength. It is due to plastic's slippery surface, which weakens the bond between plastic and cement matrix. This paper provides a solution of calcite deposition using Soybean Crude Urease-Calcite Precipitation (SCU-CP) method. This paper aims to analyze the effect of High Density Polyethylene (HDPE) plastic pellets as a substitute for fine aggregate in concrete. In addition, the potential for adding calcite to plastic ore was also evaluated. Based on the test, the addition of calcite in plastic pellets can increase the compressive strength of concrete compared to plastic concrete without SCU-CP. The optimal compressive strength is obtained at variation 1% plastic with the addition of 5% SCU-CP solution. This variation is able to increase the compressive strength of 7,5% of normal concrete and 2,8% of plastic concrete without SCU-CP. This paper states that the addition of SCU-CP solution to plastic concrete has potential to optimize the strength of concrete.

Keywords: concrete, calcite, compressive strength, plastic

Abstrak: Plastik banyak digunakan dikarenakan sifatnya yang ringan, kuat, dan stabil. Namun, plastik akan menghasilkan limbah yang sulit terurai. Salah satu cara efektif mengelola limbah plastik yaitu melakukan daur ulang menjadi biji plastik. Selain digunakan sebagai bahan baku pembuatan plastik daur ulang, biji plastik dapat digunakan menjadi pengganti sebagian agregat halus. Uji kuat tekan beton plastik menghasilkan penurunan kuat tekan. Hal ini disebabkan permukaan plastik yang licin sehingga membuat ikatan antara plastik dan matriks semen lemah. Endapan kalsit dengan metode *Soybean Crude Urease Calcite-Precipitation* (SCU-CP) mampu memberikan solusi dari masalah ini. Artikel ini bertujuan menganalisis pengaruh biji plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) sebagai substitusi agregat halus pada beton. Selain itu, potensi penambahan kalsit pada biji plastik HDPE juga dievaluasi. Berdasarkan data pengujian, penambahan kalsit pada biji plastik mampu meningkatkan kuat tekan beton dibandingkan beton plastik tanpa SCU-CP. Kuat tekan paling optimum diperoleh pada variasi beton plastik 1% dengan penambahan larutan SCU-CP 5%. Variasi ini mampu meningkatkan 7,5% kuat tekan dari beton normal dan 2,8% dari beton plastik tanpa SCU-CP. Penambahan larutan SCU-CP pada beton plastik yang dituliskan di artikel ini memiliki potensi untuk mengoptimalkan kekuatan beton.

Kata kunci: : beton, kalsit, kuat tekan, plastik

PENDAHULUAN

Beton sebagai material komposit banyak digunakan dalam industri konstruksi modern salah satunya karena sifatnya yang mudah dibentuk (Harrer & Gaudette, 2019). Di Indonesia sendiri, berdasarkan data dari *the Indonesian Prefabricated and Prefab Company Association* (AP3I) di tahun 2019 total produksi beton pracetak mencapai 41 juta ton dan diprediksi untuk 2 tahun ke depan akan

mengalami peningkatan (Myfab, 2021). Penggunaan beton secara masif disebabkan kemudahan dalam pengerjaannya, tahan dengan temperatur tinggi, kuat tekan yang tinggi, serta kemudahan dalam mendapatkan bahan baku (Kardiyono, 2007). Beton memerlukan semen dan agregat dalam pembuatannya sehingga dengan bertambahnya penggunaan beton maka kebutuhan agregatnya seperti kerikil dan pasir juga meningkat.

Penggunaan plastik di Indonesia termasuk dalam jumlah yang besar. Plastik dapat digunakan sebagai pembungkus makanan, botol kemasan, wadah penyimpanan, dan sebagainya. Plastik banyak digunakan karena bersifat ringan, kuat, dan stabil (Gunawan et al., 2017). Besarnya penggunaan plastik ini dapat dilihat dari data limbah plastik yang tercatat dalam Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) di tahun 2021 mencapai 16,1% menempati urutan kedua setelah sisa makanan dari 24.168.440,48 ton/tahun untuk keseluruhan timbulan sampah yang ada (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2021). Limbah plastik dalam jumlah yang tidak terkendali akan mencemari lingkungan terlebih plastik memiliki sifat sulit terurai (Rahmayani & Aminah, 2021). Menurut Hidayat et al., (2019) daur ulang plastik menjadi cacahan atau biji merupakan cara efektif dalam mengelola limbah plastik. Cacahan atau biji plastik ini nantinya digunakan sebagai bahan baku pembuatan plastik daur ulang. Selain sebagai pembuatan plastik daur ulang, cacahan atau biji plastik dapat digunakan sebagai pengganti agregat dalam campuran beton.

Plastik ditambahkan ke dalam campuran beton telah banyak dilakukan oleh penelitian terdahulu. Penelitian Jain et al., (2019) menggunakan tas plastik yang dihancurkan lalu dibentuk fiber ditambahkan ke dalam beton dengan variasi 0,5%, 1%, 2%, 3%, dan 5% dari berat beton. Hasilnya, semakin tinggi persen plastik akan mengurangi *workability* dari beton. Chen et al., (2015) menggunakan plastik HDPE yang dihancurkan sebagai pengganti agregat halus dengan variasi 0%, 10%, 20%, 30%, 50%, dan 100%. Hasil kuat tekan mengalami penurunan dibandingkan beton kontrol. Semakin besar penggantian plastik dengan agregat halus, semakin menurun kuat tekan yang dihasilkan. Campuran beton dengan plastik HDPE setelah diuji, mengalami penurunan pada kuat tekan sama seperti penelitian yang sudah dituliskan sebelumnya (Chen et al., 2015; Lopez et al., 2019). Babafemi et al., (2018) menuliskan penurunan kuat tekan dapat disebabkan oleh tiga hal yaitu plastik memiliki kekuatan dan kekakuan lebih rendah dibandingkan agregat naturalnya, ikatan transisi yang lemah antara plastik dan semen, dan meningkatnya porositas sehingga akan menurunkan kuat tekan. Limbah plastik yang memiliki bentuk lurus panjang

mengakibatkan penurunan kuat tekan signifikan dibandingkan limbah plastik dengan bentuk kecil tidak beraturan (Borg et al., 2016). Tekstur permukaan plastik yang licin dapat dibuat menjadi kasar salah satunya dengan pengendapan kalsit (CaCO_3) (Hao et al., 2018). Endapan kalsit dapat dihasilkan melalui metode *Microbially Induced Calcite Precipitation* (MICP) terhadap plastik. Metode MICP rumit diterapkan karena dibutuhkan lingkungan khusus dan terjaga agar bakteri dapat optimal (Neupane et al., 2015). Alternatif lain untuk menghasilkan endapan kalsit selain MICP yaitu dengan metode *Enzyme-Mediated Calcite Precipitation* (EMCP). Neupane et al., (2015) menuliskan metode EMCP akan membentuk kalsit (CaCO_3) dari reaksi ion karbonat (CO_3^{2-}) dan ion kalsium (Ca^{2+}). Ion karbonat diperoleh dari hasil pemecahan urea menggunakan enzim urease. Penggunaan enzim urease murni dinilai tidak efektif untuk skala besar (Cuccurullo et al., 2020; Sulistiawati et al., 2020). Oleh karena itu, digunakan ekstrak kedelai yang dikenal dengan metode *Soybean Crude Urease Calcite Precipitation* (SCU-CP) (Putra et al., 2021).

Tekstur biji plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) akan dibuat menjadi kasar dengan menambahkan kalsit menggunakan metode SCU-CP. Biji plastik HDPE yang digunakan berukuran relatif kecil serta berfungsi untuk menggantikan sebagian agregat halus. Penggunaan plastik HDPE sebagai campuran beton tidak sebanyak PET dan PP sehingga campuran plastik HDPE menarik untuk dilakukan. Oleh karena itu, analisis pengaruh dari penambahan biji plastik HDPE sebagai substitusi agregat halus, pengaruh penambahan kalsit pada biji plastik HDPE, dan pengaruh hubungan tegangan-regangan dari penambahan kalsit pada biji plastik HDPE dijelaskan pada artikel ini.

TINJAUAN PUSTAKA

Plastik sebagai Substitusi Agregat dalam Beton

Plastik merupakan suatu material yang tersusun dari polimer beserta bahan campuran lainnya bergantung pada jenis plastik yang akan dibuat. Polimer penyusun plastik dapat dibedakan menjadi dua, yaitu termoplastik dan termoseting (Cooper, 2007). Polimer termoplastik bisa dicetak ulang dengan cara dipanaskan. Sedangkan polimer termoseting

tidak mudah lunak dengan dipanaskan karena rantainya terikat kuat sehingga tidak bisa dicetak ulang (Singh et al., 2016). Plastik berjenis polimer termoplastik merupakan plastik yang lebih sering digunakan dalam kegiatan sehari-hari seperti *polyethylene* (PE), *polypropylene* (PP), *polystyrene* (PS), *polyethylene terephthalate* (PET), dan *polyvinyl chloride* (PVC). Menurut (Miltz et al., 1992) PE terbagi menjadi empat jenis salah satunya *High-Density Polyethylene* (HDPE). Plastik HDPE tersusun dari polimer linier yang rantainya memiliki sedikit cabang atau bahkan tidak sama sekali. HDPE tersusun dari atom karbon dan atom hidrogen yang berikatan membentuk produk molekular (Hamad et al., 2013). Jenis HDPE bersifat lebih kristal, lebih kuat, dan tingkat transparansi yang rendah dibandingkan LDPE (Miltz et al., 1992).

Cara efektif dalam menangani limbah plastik yaitu melalui daur ulang (*recycle*) untuk dibuat menjadi produk baru. Daur ulang biji plastik bisa dijadikan sebagai bahan baku untuk membuat produk plastik lainnya namun tidak untuk wadah minuman atau makanan. Selain digunakan untuk membuat produk baru, biji plastik digunakan sebagai tambahan atau pengganti dalam agregat pembuatan beton. Penggunaan biji plastik HDPE sebagai substitusi agregat halus dilakukan oleh Ul Huq et al., (2018) yang menghasilkan peningkatan kuat tekan seiring penambahan plastik hingga 4% lalu mengalami penurunan. Saikia & De Brito, (2014) menggunakan biji dan serpihan plastik PET sebagai agregat dan menghasilkan bahwa penambahan plastik berbentuk biji meminimalisir penurunan kuat tekan dibandingkan bentuk serpihan.

Soybean-Crude Urease Calcite Precipitation (SCU-CP)

Metode *calcite precipitation* atau pengendapan kalsit merupakan salah satu metode yang digunakan dalam perbaikan tanah dan perbaikan beton. Endapan kalsit dapat dihasilkan melalui dua metode yaitu *Microbial-Induced Calcite Precipitation* (MICP) dan *Enzyme-Mediated Calcite Precipitation* (EMCP). Endapan kalsit ini muncul akibat adanya kalsium karbonat (CaCO_3) yang dihasilkan dari hidrolisis urea untuk menghasilkan ammonia (NH_4^+) dan karbonat (CO_3^{2-}) yang selanjutnya karbonat bereaksi dengan ion kalsium (Ca^{2+}) membentuk CaCO_3

(Putra et al., 2017; Reinhardt et al., 2013). Hidrolisis urea memerlukan katalisator berupa enzim urease. Enzim urease ini dapat ditemukan dalam bakteri dan juga enzim murni.

Metode MICP sulit diterapkan pada beton karena beton bersifat alkali sehingga dapat membuat bakteri kesulitan bertahan hidup (Van Tittelboom et al., 2010). Oleh karena itu, penggunaan bakteri untuk menghasilkan kalsit terbilang cukup sulit. Enzim urease dapat menjadi alternatif dalam pembentukan kalsit tanpa menggunakan mikroorganisme yang disebut EMCP. Larutan campuran enzim dan *reagent* yang meliputi larutan kalsium klorida (CaCl_2), urea, dan larutan urease akan menghasilkan kalsit melalui reaksi kimia (Putra et al., 2016). Penggunaan enzim urease murni untuk skala besar membutuhkan biaya yang mahal (Sulistiawati et al., 2020). Penggunaan bubuk kedelai sebagai pengganti enzim urease murni mampu meminimalisir biaya. Bubuk kedelai ini diperoleh dari biji kedelai yang dihaluskan. Penggunaan bubuk kedelai dalam proses pembentukan kalsit disebut metode *Soybean-Crude Urease Calcite Precipitation* (SCU-CP).

Parameter Kekuatan Beton

Kuat tekan beton dapat mengindikasikan mutu dari sebuah struktur. Kuat tekan beton merupakan kemampuan beton dalam memikul beban baik beban hidup, beban mati, maupun beban lainnya pada sebuah struktur bangunan. Kuat tekan beton dipengaruhi oleh material penyusunnya terutama gradasi agregat penyusun. Apabila bahan material penyusunnya solid, maka akan menghasilkan beton dengan kuat tekan tinggi (Polii et al., 2015). Selain gradasi agregat, kuat tekan beton dipengaruhi oleh kekuatan, tekstur permukaan, kebersihan, dan bentuk partikel. Menurut SNI 1974-2011 (BSN, 2011). Kuat tekan beton diperoleh dari membagi antara beban maksimum yang diterima dengan luas penampang melintang. Kuat tekan beton diperoleh dari pengujian menggunakan mesin uji seperti *Universal Testing Machine* (UTM). Semakin tinggi mutu beton, maka semakin tinggi pula kemampuan beton dalam menahan beban. Kemampuan beton menahan beban menjadi parameter lain dalam mengetahui kualitas beton. Regangan yang terjadi pada beton saat menerima beban tidak boleh terlalu besar dan terlalu kecil.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Struktur & Infrastruktur, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor. Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu alat pembuatan sampel beton meliputi cetakan silinder beton berbahan pipa PVC berukuran 50 mm x 150 mm dan dop pipa 2", alat uji kuat tekan *Universal Testing Machine* (UTM), dan alat uji *properties* agregat. Berdasarkan SNI 1974:2011 sampel uji dalam pengujian kuat tekan adalah sampel silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Namun, dalam penelitian dibuat sampel silinder beton dengan diameter 50 mm dan tinggi 100 mm. Ukuran ini berbeda dari ukuran standar namun masih berbentuk silinder sehingga nilai kuat tekan yang diperoleh dilakukan koreksi.

Bahan yang digunakan meliputi semen PCC (*Portland Composite Cement*) merek Tiga Roda, *split* Lebak Wangi sebagai agregat kasar, pasir Cimangkok, air yang berasal dari laboratorium, larutan SCU-CP yang telah dibuat sebelumnya dan biji plastik yang lolos saringan nomor 4

(4,75 mm) dan tertahan saringan nomor 10 (2 mm) seperti yang disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Biji plastik HDPE

Pengujian *Properties* Agregat

Pengujian propertis dilakukan pada agregat yang akan digunakan sebagai bahan campuran beton. Pasir Cimangkok sebagai agregat halus terlebih dahulu dilakukan pengujian propertis. Hasil pengujian dibandingkan dengan standar pada acuan yang digunakan. Hasil pengujian propertis agregat halus disajikan pada Tabel 1. Pengujian propertis agregat kasar dilakukan pada batu pecah/*split* yang berasal dari Lebak Wangi. Hasil pengujian propertis agregat kasar dengan standar yang digunakan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Hasil uji propertis agregat halus

Parameter Pengujian	Hasil	Standar	Acuan
Kadar air (%)	4,3	3 – 5	SNI 03-1971-1990b (BSN, 1990)
Kadar organik (-)	No. 2	No. 3	ASTM C40-20 (ASTM, 2011)
Kekekalan (%)	11,4	< 12	SNI 03-3407-1994 (BSN 2008)
Kadar lumpur (%)	0,6	< 5	SK SNI S-04-1989-F (BSN, 1989)
Berat jenis (SSD) (-)	1,8	1,6 – 3,2	SNI 1970-2008 (BSN, 2008a)
Penyerapan air (%)	5,8	< 3	
Modulus kehalusan (-)	2,3	1,5 – 3,8	ASTM C33-86 (ASTM, 2010)

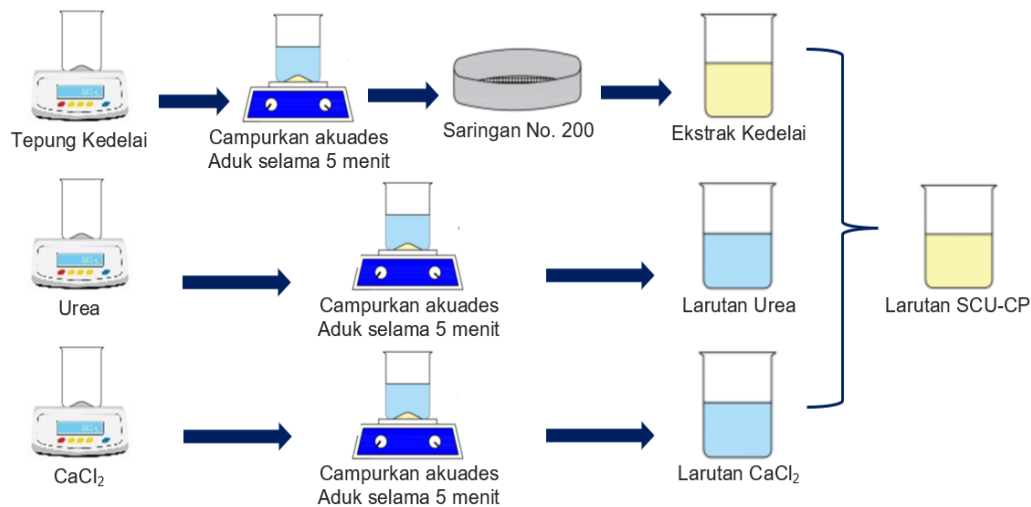
Tabel 2. Hasil uji propertis agregat kasar

Parameter Pengujian	Hasil	Standar	Acuan
Kadar air (%)	3,3	1,6 – 3,2	SNI 03-1971-1990b (BSN, 1990)
Kekekalan agregat (%)	8,5	< 12%	SNI 03-3407-1994 (BSN, 2008b)
Kadar lumpur (%)	0,5	< 1%	SK SNI S-04-1989-F (BSN, 1989)
Berat jenis (SSD) (-)	2,5	1,6 – 3,2	SNI 1969-2008 (BSN, 2008a)
Penyerapan air (%)	2,2	< 3	
Keausan (-)	29,02	< 40%	SNI 2417: 2008 (BSN, 2008c)
Modulus kehalusan (-)	6,5	6,0 – 7,1	ASTM C33-86 (ASTM, 2010)

Pembuatan Larutan *Soybean-Crude Urease Calcite Precipitation* (SCU-CP)

Pembuatan larutan SCU-CP mengacu pada penelitian yang dilakukan Putra et al., (2021) & Pratama et al., (2021). Larutan *reagent* dan larutan kedelai dibuat secara terpisah. Larutan *reagent* terdiri dari 1 mol/L urea dan 1 mol/L CaCl_2 yang selanjutnya dicampurkan dengan larutan kedelai 20 g/L. Bahan yang digunakan dalam pembuatan larutan SCU-CP meliputi urea spesifikasi *laboratory grade* merek ACS,

kalsium klorida (CaCl_2) dihidrat dengan spesifikasi *laboratory grade* merek Emsure grade ACS, bubuk kedelai dengan *food grade* merek gasol yang memiliki tingkat kemurnian 100%, dan air aquades. Bubuk kedelai dilarutkan dengan air aquades lalu disaring menggunakan saringan no. 200 (0,075 mm). Larutan *reagent* meliputi CaCl_2 dan urea disiapkan. Lalu ketiganya dicampurkan untuk mendapatkan larutan SCU-CP. Secara skematik pembuatan larutan SCU-CP disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skematik pembuatan larutan SCU-CP

Pembuatan Sampel Beton

Sampel beton yang digunakan pada penelitian di artikel ini menggunakan dua jenis variasi, yaitu persentase plastik dan persentase larutan SCU-CP. Variasi persentase plastik sebagai pengganti agregat halus dan larutan SCU-CP sebagai pengganti sebagian air mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Kane et al., (2021) yaitu 1% dan 5%. Sampel beton akan dibuat 2 buah untuk setiap variasi.

Plastik sebagai bahan substitusi agregat halus dicampurkan secara langsung dengan agregat kasar, agregat halus, dan semen. Larutan SCU-CP ditambahkan bersamaan dengan air ke dalam campuran beton. Setelah semua material tercampur, campuran beton dimasukkan ke dalam cetakan silinder beton yang terbuat dari pipa PVC berukuran 5 cm x 15 cm yang telah dioleskan *grease* sebelumnya. Sampel dibiarkan mengeras selama 24 jam sebelum dimasukkan ke dalam wadah untuk *curing*.

Pengujian Kuat Tekan Beton

Sampel beton di-*curing* dengan metode

rendaman air sesuai dengan umur yang disyaratkan yaitu 7 hari dan 28 hari. Beton terlebih dahulu di-*capping* agar permukaan beton rata sebelum kuat tekan beton dievaluasi menggunakan alat UTM. Uji kuat tekan beton mengacu pada SNI 1974-2011 (BSN, 2011) tentang cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder. Uji kuat tekan dilakukan untuk mengetahui kuat tekan yang menyebabkan benda uji hancur dan membandingkan antara beban maksimum yang diterima dengan luas penampang melintang. Kemampuan beton menahan beban menjadi parameter lain dalam mengetahui kualitas beton. Regangan yang terjadi pada beton saat menerima beban tidak boleh terlalu besar dan terlalu kecil.

Benda uji diletakkan pada tempat pengujian. Kemudian alat yang akan mengunci beban diturunkan dan disesuaikan dengan tinggi beton. Kemudian dorongan dari arah bawah akan menekan sampel hingga hancur. Nilai kuat tekan akan tercatat pada layar komputer yang terhubung langsung dengan alat. Data yang diperoleh dari komputer tersebut berupa grafik

load dan *displacement* yang kemudian diolah menjadi data kuat tekan, tegangan, dan regangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mix Design Campuran Beton

Mix design campuran beton pada artikel ini dibuat mengacu pada Surat Edaran Menteri PUPR No. 07/SE/M/2016 mengenai pedoman tata cara penentuan campuran beton normal dengan semen OPC, PPC, dan PCC. Penelitian ini menggunakan semen PCC (*Portland Composite Cement*) karena semen jenis OPC (*Ordinary Portland Cement*) jarang ditemukan di pasaran. Semen PCC memiliki kelebihan meliputi biaya yang lebih rendah, polusi dan emisi yang dihasilkan ketika pembuatannya juga rendah (Kencanawati et al., 2020). *Mix design* dalam pembuatan beton merupakan tahapan dalam merancang bahan yang tepat dalam mencapai beton dengan kuat tekan, *durability*, dan *workability* yang telah ditentukan (Demissew, 2022). Persyaratan dan ketentuan dalam pembuatan campuran beton dituliskan untuk menghasilkan kombinasi bahan paling ekonomis dalam memenuhi persyaratan dan spesifikasi (Zanwar & Jamkar, 2016). Sampel beton yang dibuat dalam penelitian ini sebanyak

14 buah untuk beton umur 7 hari dan 14 buah untuk beton umur 28 hari.

Beton yang dibuat dalam penelitian ini dirancang memiliki mutu 21 MPa. Berdasarkan SNI 2847:2019, beton dengan mutu 21 MPa digunakan sebagai dinding structural khusus (BSN, 2019). Deviasi standar yang digunakan dalam perhitungan campuran beton yaitu 7 MPa. Deviasi standar ini dapat mengevaluasi kuat tekan beton yang dihasilkan dengan memperhitungkan simpangan dari nilai rata-rata. Nilai deviasi standar ini menjadi batas nilai keamanan dan kualitas dalam perancangan *mix design* campuran beton (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017). Rasio air semen yang digunakan sebesar 0,56. Menurut Mindess et al., (2003) rasio air semen yang rendah mengakibatkan adukan beton sulit dipadatkan. Nilai slump yang direncanakan sebesar 75-100 mm. Menurut Kardiyono (2007), nilai slump dalam rentang tersebut digunakan untuk elemen struktur pelat, balok, kolom, dan dinding. Setelah semua parameter perhitungan diketahui, rancangan *mix design* campuran beton pada penelitian ini dapat dibuat. Rancangan *mix design* dibuat untuk setiap 1 m³ beton sesuai dengan ukuran sampel yang dibuat yaitu 50 x 100 mm disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Proporsi campuran beton tiap 1 m³

Sampel Beton	Semen	Air	Kerikil	Pasir	Plastik	SCU-CP
	kg	kg	kg	kg	kg	kg
Kontrol	367	146	1054	526,7	-	-
Plastik 1%	367	146	1054	521,43	5,27	-
Plastik 5%	367	146	1054	500,37	26,34	-
Plastik 1% + SCU-CP 1%	367	144	1054	521,43	5,27	1,83
Plastik 1% + SCU-CP 5%	367	139	1054	521,43	5,27	9,13
Plastik 5% + SCU-CP 1%	367	144	1054	500,37	26,34	1,83
Plastik 5% + SCU-CP 5%	367	139	1054	500,37	26,34	9,13

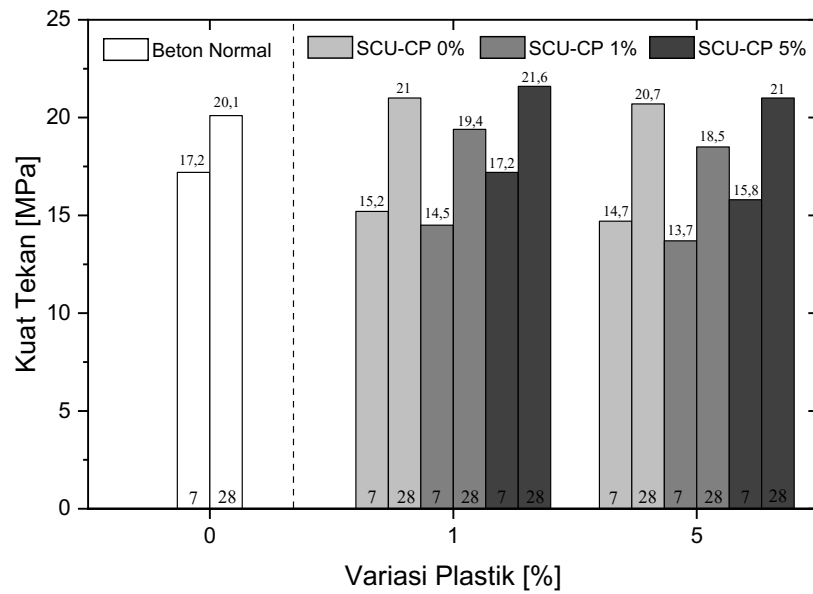
Kuat Tekan Beton

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan yang disajikan pada Gambar 3 dengan variasi plastik 1% dan 5%, keduanya menghasilkan penurunan kuat tekan yang tidak signifikan dengan kuat tekan beton normal untuk umur 7 dan 28 hari, yaitu 15,2 MPa dan 14,7 MPa. Semakin bertambah plastik, nilai kuat tekan semakin menurun. Beberapa penelitian terdahulu juga menuliskan, kuat tekan beton menurun dengan bertambahnya persenan plastik (Jain et al., 2019). Turunnya kuat tekan seiring bertambahnya plastik disebabkan beberapa hal

meliputi kekuatan plastik lebih rendah jika dibandingkan dengan pasir, permukaan biji plastik mempunyai tekstur yang halus sehingga sulit untuk berikatan, serta sifat plastik yang tidak dapat dilalui air yang dapat meningkatkan porositas. Penurunan kuat tekan disebabkan ikatan transisi yang lemah antara plastik dan matriks semen, porositas yang meningkat, dan kekuatan plastik yang rendah dibandingkan agregat naturalnya (Babafemi et al., 2018). Permukaan halus yang dimiliki oleh plastik menyebabkan lemahnya ikatan antara matriks semen dan agregat sehingga kuat tekan menurun (Babafemi et al., 2018). Beton dengan campuran

plastik bernilai sedikit lebih tinggi dibandingkan beton normal di umur beton 28 hari dapat disebabkan oleh faktor lain seperti campuran agregat pada beton tercampur lebih merata dan susunan agregat yang baik sehingga lebih siap ketika menerima beban. Thorneycroft et al., (2018) menyatakan ukuran dan bentuk mempengaruhi kuat tekan beton. Bentuk biji

plastik yang digunakan memiliki bentuk kecil seperti agregat halus dan bervariasi dapat mempengaruhi hasil kuat tekan ini. Selain itu, Pratama, (2020) menuliskan penambahan plastik PET ke dalam campuran beton meningkatkan kuat tekan disebabkan sifat fisik plastik yang sukar hancur sehingga mampu menahan beban dengan baik.



Gambar 3. Hasil uji kuat tekan beton umur 7 dan 28 hari

Penambahan larutan SCU-CP 1% pada variasi plastik 1% dan 5% keduanya menghasilkan penurunan kuat tekan. Penurunan kuat tekan ini dapat disebabkan karena rendahnya persentase larutan SCU-CP yang dicampurkan. Pada plastik 1%, penambahan SCU-CP menghasilkan kuat tekan sebesar 19,4 MPa atau menurun 7,6% dari beton plastik 1% tanpa SCU-CP. Sementara itu, kekuatan juga menurun dengan penambahan SCU-CP 1% pada plastik 5% yaitu 18,5 MPa. Putra et al., (2016) menuliskan konsentrasi ion Ca^{2+} yang rendah dapat menimbulkan pembentukan kalsit yang berstruktur *amorphous*. Selain itu, dengan persentase larutan yang kecil ada potensi tidak terbentuknya kalsit secara sempurna atau berbentuk *amorphous*. Bentuk *amorphous* yang berada antara ikatan plastik dan matriks semen, membuat ikatan antara keduanya semakin lemah daripada ikatan plastik dan matriks semen itu sendiri. Sehingga, bentuk *amorphous* memperlemah ikatan. Berbeda dengan kalsit dalam bentuk kristal yang bersifat stabil, kalsit dalam bentuk *amorphous* memiliki sifat tidak

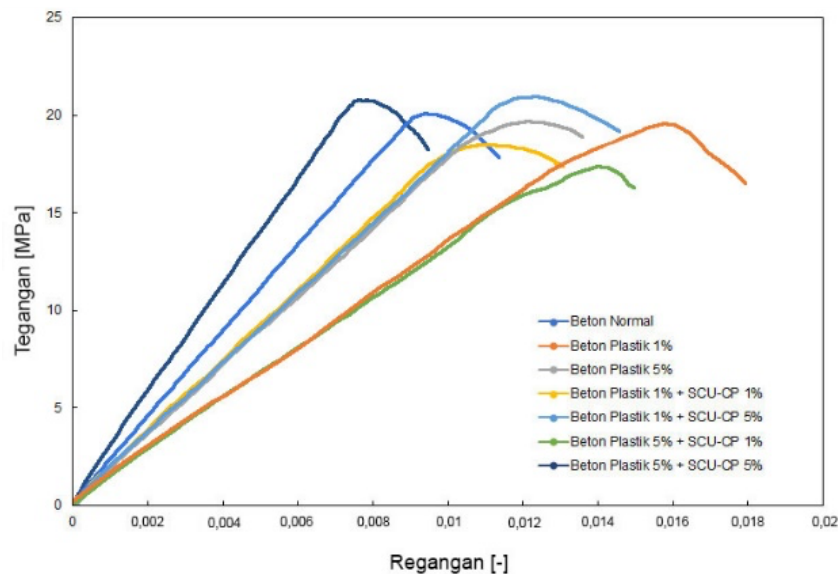
stabil (Al Omari et al., 2016).

Penambahan SCU-CP 5% mampu meningkatkan kuat tekan untuk dua variasi plastik tersebut. Kuat tekan optimum dari berbagai variasi yang ada diperoleh pada variasi beton plastik 1% dengan penambahan SCU-CP 5% yaitu mencapai 21,6 MPa, atau mengalami peningkatan sebesar 2,8% dari beton plastik 1% tanpa SCU-CP. Penambahan SCU-CP 5% mampu meningkatkan kuat tekan karena terbentuknya kalsit pada ikatan antara plastik dan matriks semen. Adanya kalsit ini secara lebih jelas dapat dilihat melalui pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM). Wang et al., (2014) menuliskan banyaknya endapan kalsit yang bekerja dengan baik untuk berikatan dengan matriks semen mampu meningkatkan kuat tekan. Pengendapan kalsit (CaCO_3) pada permukaan plastik mampu meningkatkan kekuatan antarmuka antara plastik dan matriks semen serta mampu meningkatkan hidrasi. Endapan kalsit pada permukaan plastik memperluas area interaksi dengan matriks semen selama proses hidrasi (Kane et al., 2021).

Tegangan-Regangan Beton

Berdasarkan grafik pada Gambar 4, diketahui adanya penambahan plastik meningkatkan kemampuan meregang beton ketika menerima beban. Hal ini ditandai dengan grafik yang landai. Nilai regangan yang bertambah ini menunjukkan pengaruh sifat plastik yang bersifat elastis. Grafik yang landai ini menunjukkan ketika menerima beban, beton tidak akan langsung patah tetapi meregang

terlebih dahulu. Namun, penambahan plastik ini selain meningkatkan kemampuan regang beton, menurunkan kuat tekan beton itu sendiri. Kuat tekan yang rendah dengan kemampuan meregang yang besar bukan merupakan kombinasi yang bagus. Hal ini karena sifat beton itu unggul pada kuat tekannya yang tinggi. Sifat plastik relatif mampu menahan ketika diberi beban dan mampu mencegah interaksi antara pasta semen dengan agregat kasar sehingga kekakuan beton menurun (Frigione, 2010).



Gambar 4. Grafik hubungan tegangan-regangan berbagai variasi beton

Nilai regangan beton plastik 1% yang dicampurkan larutan SCU-CP dengan persentase 1% dan 5%, keduanya mengalami penurunan nilai regangan. Namun kemampuan meregang beton ini, lebih besar dibandingkan beton normal. Artinya, dengan terbentuknya endapan kalsit mampu meningkatkan kekakuan ikatan plastik dan matriks semen di dalam beton ketika menerima beban. Variasi beton plastik 1% dan SCU-CP 5% ini merupakan variasi yang optimal dalam kuat tekan dan kemampuan beton meregang. Hal ini karena beton memiliki kesempatan untuk meregang ketika menerima beban dan tidak langsung patah. Beban yang mampu diterima oleh beton variasi ini juga termasuk tinggi. Adanya endapan kalsit pada permukaan plastik, membuat permukaan menjadi kasar. Kasarnya permukaan ini memperbesar gaya gesek sehingga semakin sulit bergerak. Sehingga membutuhkan kuat tarik yang besar hingga ke titik puncak tertentu (Feng et al., 2020). Nilai regangan beton plastik 5% dengan campuran SCU-CP 1% mengalami

peningkatan nilai regangan dan penurunan kemampuan menahan beban dibandingkan beton plastik 5% tanpa SCU-CP. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti banyaknya plastik dalam campuran beton serta endapan kalsit berbentuk *amorphous* atau kalsit yang terbentuk memiliki sifat yang lebih lemah sehingga memperlemah kekakuan ikatan plastik dan matriks semen dalam beton itu sendiri. Hao et al., (2018) menuliskan, lapisan endapan kalsit yang rapuh mengakibatkan mudah terlepas dari plastik. Penelitian dan pengujian lanjutan seperti uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan uji XRD (*X-Ray Diffraction*) diperlukan untuk mengetahui lebih lanjut mengenai kalsit yang terbentuk.

KESIMPULAN

Substitusi sebagian agregat halus dengan biji plastik HDPE menghasilkan penurunan kuat tekan dan peningkatan regangan yang terjadi pada beton ketika diberikan beban dibandingkan beton normal. Penambahan kalsit dengan cara

mencampurkan larutan SCU-CP sebagai pengganti sebagian air, mampu meningkatkan kuat tekan beton 2,8% dari beton plastik tanpa SCU-CP. Kuat tekan yang paling optimum diperoleh dengan variasi beton plastik 1% dan SCU-CP 5%. Hubungan tegangan-regangan pada beton plastik dengan kalsit menurunkan nilai regangan pada kuat tekan yang senilai. Rendahnya nilai regangan diartikan beton tersebut memiliki kekakuan. Adanya penambahan 5% SCU-CP pada beton plastik 1%, mampu mengurangi nilai regangan 20% dari beton plastik 1% tanpa SCU-CP.

DAFTAR PUSTAKA

- [ASTM] American Society for Testing and Material. (2010). *ASTM C33-86 Standard Specification for Concrete Aggregates*.
- [ASTM] American Society for Testing and Material. (2011). *ASTM C40-20 Standard Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete*. <https://doi.org/10.1520/C0040>
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (1989). *SK SNI 2-04-1989-F Spesifikasi bahan bangunan*.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (1990). *SNI 03-1971-1990 Metode Pengujian Kadar Air Agregat*.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2008a). *SNI 1969-2008 Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar*.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2008b). *SNI 1970-2008 Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus*.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2008c). *SNI 2417: 2008 Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles*.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2008d). *SNI 3407-2008 Cara Uji Sifat Kekakuan Agregat dengan Cara Perendaman Menggunakan Larutan Natrium Sulfat atau Magnesium Sulfat*.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2011). *SNI 1974:2011 Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder*.
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. In *Standar Nasional Indonesia (SNI)*. www.bsn.go.id.
- Al Omari, M. M. H., Rashid, I. S., Qinna, N. A., Jaber, A. M., & Badwan, A. A. (2016). Calcium Carbonate. In *Profiles of Drug Substances, Excipients and Related Methodology* (1st ed., Vol. 41). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.podrm.2015.11.003>
- Babafemi, A. J., Šavija, B., Paul, S. C., & Anggraini, V. (2018). *Engineering Properties of Concrete with Waste Recycled Plastic: A Review*. <https://doi.org/10.3390/su10113875>
- Borg, R. P., Baldacchino, O., & Ferrara, L. (2016). Early age performance and mechanical characteristics of recycled PET fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, *108*, 29–47. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.01.029>
- Chen, C.-C., Jaffe, N., Koppitz, M., & Weimer, W. (2015). Concrete mixture with plastic as fine aggregates. *International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering*, *2*(4), 49–53.
- Cooper, I. (2007). Plastics and chemical migration into food. In *Chemical migration and food contact materials*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9781845692094.3.228>
- Cuccurullo, A., Gallipoli, D., Bruno, A. W., Augarde, C., Hughes, P., & La Borderie, C. (2020). Earth stabilisation via carbonate precipitation by plant-derived urease for building applications. *Geomechanics for Energy and the Environment*, December. <https://doi.org/10.1016/j.gete.2020.100230>
- Demissew, A. (2022). Comparative Analysis of Selected Concrete Mix Design Methods Based on Cost-Effectiveness. *Advances in Civil Engineering*, *2022*, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2022/4240774>
- Feng, J., Yang, F., & Qian, S. (2020). Improving the bond between polypropylene fiber and cement matrix by nano calcium carbonate modification. *Construction and Building Materials*, *269*(xxxx), 121249. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.12.1249>
- Frigione, M. (2010). Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete. *Waste Management*, *30*(6), 1101–1106. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.01.030>
- Gunawan, R., Daud, S., & Yenie, E. (2017). Pengaruh Suhu dan Variasi Rasio Plastik Jenis Polypropylene dan Plastik Polytyrene terhadap Yield dengan proses Pirolisis. *Jom FTEKNIK*, *4*(2), 1–6.
- Hamad, K., Kaseem, M., & Deri, F. (2013). Recycling of waste from polymer materials: An overview of the recent works. *Polymer Degradation and Stability*, *98*(12), 2801–2812. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.09.025>
- Hao, Y., Cheng, L., Hao, H., & Shahin, M. A. (2018). Enhancing fiber/matrix bonding in polypropylene fiber reinforced cementitious composites by microbially induced calcite precipitation pre-treatment. *Cement and Concrete Composites*, *88*, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.01.001>
- Harrer, A., & Gaudette, P. (2019). Challenges of

- preserving modernist concrete. *MATEC Web of Conferences*, 289. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201928907003>
- Hidayat, Y. A., Kiranamahsa, S., & Zamal, M. A. (2019). A study of plastic waste management effectiveness in Indonesia industries. *AIMS Energy*, 7(3), 350–370. <https://doi.org/10.3934/ENERGY.2019.3.350>
- Jain, A., Siddique, S., Gupta, T., Jain, S., Sharma, R. K., & Chaudhary, S. (2019). Fresh, Strength, Durability and Microstructural Properties of Shredded Waste Plastic Concrete. *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering*, 43, 455–465. <https://doi.org/10.1007/s40996-018-0178-0>
- Kane, S., Thane, A., Espinal, M., Lunday, K., Armağan, H., Phillips, A., Heveran, C., & Ryan, C. (2021). Biomineralization of plastic waste to improve the strength of plastic-reinforced cement mortar. *Materials*, 14(8), 1–19. <https://doi.org/10.3390/ma14081949>
- Kardiyono, T. (2007). *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UGM, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2021). *Grafik Komposisi Sampah*. Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN). <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017). Diklat Perkerasan Kaku Modul 3 Rancangan Campuran Beton. In *Pusdiklat Jalan, Perumahan, Permukiman, dan Pengembangan Infrastruktur Wilayah*. https://bpsdm.pu.go.id/center/pelatihan/upload/s/edok/2019/02/923ef_Modul_3-_Rancangan_Campuran_Beton_final.pdf
- Kencanawati, N. N., Rawiana, S., & Darmayanti, N. P. R. R. (2020). Characteristics of Pozzolan and Composite Portland Cements for Sustainable Concrete's Material. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 9(1), 40–49. <https://doi.org/10.13170/aijst.9.1.16177>
- Lopez, N., Collado, E., Diacos, L. A., & Morente, H. D. (2019). *Evaluation of Pervious Concrete Utilizing Recycled HDPE as Partial Replacement of Coarse Aggregate with Acrylic as Additive*. 18.
- Miltz, J., Passy, N., & Mannheim, C. H. (1992). Mass transfer from and through packaging materials. *Packaging Technology and Science*, 5(1), 49–56. <https://doi.org/10.1002/pts.2770050110>
- Mindess, S., Young, J., & Darwin, D. (2003). Concrete SECOND EDITION. In *Pearson Education, Inc. Upper Saddle River, NJ 07458* (Vol. 1, Issue).
- Myfab. (2021). *Prefabrikasi di Indonesia*. The Indonesian Prefabricated and Prefab Company Association (AP3I). <https://www.myfab.id/prefabrikasi-di-indonesia/>
- Neupane, D., Yasuhara, H., Kinoshita, N., & Ando, Y. (2015). Distribution of mineralized carbonate and its quantification method in enzyme mediated calcite precipitation technique. *Soils and Foundations*, 55(2), 447–457. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2015.02.018>
- 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. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/8159>
- Pratama, A. I. (2020). *Pengaruh Pengganti Sebagian Agregat Kasar dengan Limbah Plastik PET dan Bahan Tambah Sabut Kelapa terhadap Sifat Mekanik Beton*. Universitas Mataram.
- Pratama, G., Yasuhara, H., Kinoshita, N., & Putra, H. (2021). Application of soybean powder as urease enzyme replacement on EICP method for soil improvement technique. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 622(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/622/1/012035>
- Putra, H., Erizal, Sutoyo, Simatupang, M., & Yanto, D. H. Y. (2021). Improvement of organic soil shear strength through calcite precipitation method using soybeans as bio-catalyst. *Crystals*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/cryst11091044>
- Putra, H., Yasuhara, H., & Kinoshita, N. (2017). Optimum condition for the application of enzyme-mediated calcite precipitation technique as soil improvement method. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 7(6), 2145–2151. <https://doi.org/10.18517/ijaseit.7.6.3425>
- Putra, H., Yasuhara, H., Kinoshita, N., Neupane, D., & Lu, C. W. (2016). Effect of magnesium as substitute material in enzyme-mediated calcite precipitation for soil-improvement technique. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 4. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2016.00037>
- Rahmayani, C. A., & Aminah, A. (2021). Efektivitas Pengendalian Sampah Plastik Untuk Mendukung Kelestarian Lingkungan Hidup Di Kota Semarang. *Jurnal Pembangunan Hukum Indonesia*, 3(1), 18–33.
- Reinhardt, H. W., Jonkers, H., Van Tittelboom, K., Snoeck, D., De Belie, N., De Muynck, W., Verstraete, W., Wang, J., & Mechtcherine, V. (2013). Recovery against environmental action. *RILEM State-of-the-Art Reports*, 11, 65–117.

- https://doi.org/10.1007/978-94-007-6624-2_3
Saikia, N., & De Brito, J. (2014). Mechanical properties and abrasion behaviour of concrete containing shredded PET bottle waste as a partial substitution of natural aggregate. *Construction and Building Materials*, *52*, 236–244.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.11.049>
- Singh, N., Hui, D., Singh, R., Ahuja, I. P. S., Feo, L., & Fraternali, F. (2016). Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applications. *Composites Part B*, *115*, 409–422.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.09.013>
- Sulistiawati, B. H., Yasuhara, H., Kinoshita, N., Putra, H., & Johan, E. (2020). Examination of calcite precipitation using plant-derived urease enzyme for soil improvement. *International Journal of GEOMATE*, *19*(72), 231–237.
<https://doi.org/10.21660/2020.72.9481>
- Thorneycroft, J., Orr, J., Savoikar, P., & Ball, R. J. (2018). Performance of structural concrete with recycled plastic waste as a partial replacement for sand. *Construction and Building Materials*, *161*, 63–69.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.127>
- Ul Huq, I., Ajith, C., Balaji, A., Mohideen, M., & Navas, M. (2018). *Replacement of Sand by the Mixture of M-Sand and Plastic Pellets (PP) as Fine Aggregate in Concrete*. *3*(5), 31–35.
- Van Tittelboom, K., De Belie, N., De Muynck, W., & Verstraete, W. (2010). Use of bacteria to repair cracks in concrete. *Cement and Concrete Research*, *40*(1), 157–166.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.08.025>
- Zanwar, A. B., & Jamkar, S. (2016). *Comparative Study of Mix Proportioning of High Strength Concrete using DOE and ACI Method*. *4*(30), 1–3.