

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH INKLUSI BAJA TERHADAP PERILAKU MORTAR-INKLUSI

Nauval Rabbani, Mona Dwi Anggraeni, Purwanto^{*)}, Yulita Arni P.^{*)}

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof Soedarto, SH., Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024) 7474770, Fax.: (024)

7460060

ABSTRAK

Beton merupakan material komposit yang tersusun dari mortar dan agregat kasar, serta disatukan oleh semen melalui proses hidrasi. Kuat tekan material beton sangat tergantung dari karakteristik material penyusunnya, dan kekuatan lekatan daerah peralihan antara mortar dengan permukaan agregat kasar yang disebut *Interfacial Transition Zone* (ITZ). Penelitian mengenai mortar inklusi sudah banyak dilakukan, namun masih sedikit penelitian yang memodelkan inklusi dengan baja. Untuk mengetahui lebih lanjut mengenai pengaruh ITZ baja terhadap mortar inklusi, maka dalam penelitian ini menggunakan beberapa macam mutu mortar yaitu dengan kuat tekan 20, 40, dan 60 MPa. Benda uji menggunakan ukuran 150 x 150 x 50 mm dengan inklusi silinder baja tipe BJTP-40 berdiameter 25 mm dan 32 mm. Silinder baja diletakkan tepat di pusat titik berat benda uji. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mutu mortar dan diameter inklusi sangat mempengaruhi perilaku dari benda uji. Kuat tekan mengalami penurunan diakibatkan oleh semakin luasnya diameter inklusi, sedangkan angka deformasi menurun dengan kenaikan pada nilai mutu mortar. Pengamatan yang dilakukan saat pengujian menunjukkan bahwa pola retak yang terjadi adalah columnar yang terjadi di daerah inklusi yang merupakan daerah terlemah dikarenakan oleh ITZ.

Kata kunci: inklusi, ITZ, mortar.

ABSTRACT

Concrete is a composite material composed from mortar and coarse aggregates, and formed by cement through a process of hydration. The compressive strength of the concrete material is highly dependent on the characteristics of the material, and the adhesive strength of the transition region between mortar and coarse aggregate surface called Interfacial Transition Zone (ITZ). Research on mortar inclusions has been widely practiced, but there is still few research about inclusion model with steel. To find out more knowing about the impact of ITZ steel on mortar inclusions, in this study used several types of mortar compressive strength with 20, 40, and 60 MPa. The size of specimens were 150 x 150 x 50 mm with inclusions of BJTP-40 steel cylinders with 25 mm and 32 mm in diameters. The steel cylinder is placed right in the center of the specimen. It was shown that the quality of mortar and inclusion's

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

diameter greatly influence the behavior of the specimen. The compressive strength decreases due to the increase in inclusion area, while the deformation rate decreases due to the increase in mortar quality value. Observations made during the test showed that the fracture pattern that occur is columnar that happens in the area of inclusion which is the weakest area due to ITZ.

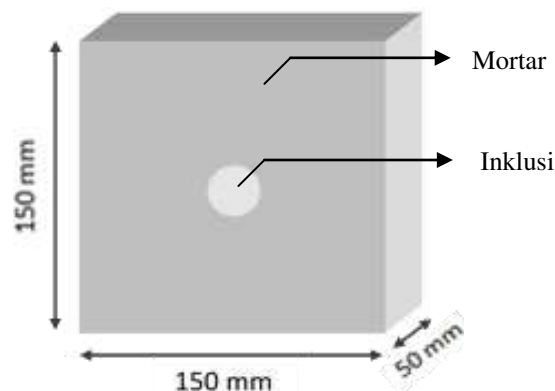
Keywords: inclusion, ITZ, mortar.

PENDAHULUAN

Agregat kasar atau split umumnya memiliki bentuk dan mutu yang bervariasi yang nantinya akan mempengaruhi nilai kuat tekan suatu beton. Terdapat lekatan daerah peralihan antara permukaan agregat kasar dengan mortar yang disebut *interfacial transition zone* (ITZ) dimana merupakan kondisi titik terlemah yang mempengaruhi kuat tekan beton. Penelitian tentang ITZ yang sudah banyak dilakukan yaitu dengan memodelkan agregat sebagai inklusi. Inklusi adalah sebuah bagian atau komponen yang terdapat pada komponen lain yang memiliki karakteristik berbeda. Setiawan dan Hutagalung (2013) yang memodelkan inklusi sebagai agregat kasar pada penelitiannya menyatakan bahwa spesimen dengan inklusi segitiga dengan sudut lancip sebesar 60 derajat, yang letak bagian lancipnya diatas mempunyai kapasitas kekuatan hanya 52% dari kapasitas spesimen mortar sedangkan kekuatan spesimen hanya menurun 40% dari kapasitas spesimen mortar dengan inklusi berbentuk lingkaran. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan inklusi bentuk silinder, untuk mengurangi efek terhadap *stress concentration*.

Penelitian Wahyu dan Wardhana (2016) serta Nurmalita (2016) menggunakan material inklusi berupa mortar menunjukkan bahwa semakin besar diameter inklusi maka nilai kuat tekan benda uji akan semakin menurun. Hal itu dikarenakan pada area lekatan antara inklusi dengan mortar terjadi pembesaran konsentrasi tegangan yang merupakan bagian terlemah dari benda uji tersebut. Sejauh ini inklusi yang digunakan dalam beberapa penelitian masih dalam bentuk batuan atau mortar, sedangkan pengetahuan mengenai perilaku ITZ akan inklusi dengan baja masih minim akan penelitiannya. Hal ini akan dikaji lebih lanjut dalam penelitian ini dengan menggunakan permodelan inklusi menggunakan baja tulangan.

Untuk mengetahui lebih lanjut mengenai pengaruh ITZ dari inklusi baja terhadap mortar inklusi, maka pada penelitian ini dimodelkan inklusi silinder baja dengan variasi diameter pada mortar yang bervariasi mutu rencananya. Model spesimen yang dibuat seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pemodelan Benda Uji

METODOLOGI PENELITIAN

Kerangka Penelitian

Pemodelan benda uji dalam penelitian ini yaitu mortar dengan ukuran 150x150x50 mm dengan variasi mutu rencana yaitu 20, 40, dan 60 MPa serta menggunakan inklusi baja dengan diameter 25,4 dan 32 mm. Terdapat benda uji tanpa inklusi dan mortar berukuran 50x50x50 mm yang digunakan untuk menentukan mutu mortar.

Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang. Untuk mendapatkan tiga macam variasi kuat tekan, campuran direncanakan berdasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh Han dan Sabdono (2011) seperti yang terlihat pada Tabel 1 serta menggunakan faktor air semen dan superplasticizer sebesar 0,482 dan 0,0028 dari berat semen.

Tabel 1. Proporsi Semen dan Pasir Mortar pada penelitian Han dan Sabdono (2011).

Kuat Tekan	Semen	:	Pasir
20 Mpa	1	:	3,81
40 Mpa	1	:	2,62
60 Mpa	1	:	1,42

Material yang digunakan dalam pembuatan benda uji yaitu pasir Muntilan, semen tipe *Ordinary Portland Cement*, superplasticizer dari SIKA Viscocrete 1003, silinder baja dan air yang berasal dari air PDAM di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Undip. Persiapan material dilakukan mulai dari pemeriksaan pasir, pengujian baja, dan *trial* mutu.

Pengecoran dilakukan pada bekisting yang sudah disiapkan, setelah 24 jam bekisting dibongkar dan dilakukan proses *curing* atau perawatan dengan cara direndam selama 28 hari. Pengujian benda uji dilakukan setelah tahap *curing* dengan menggunakan *Compression Test Machine* merk Hung Ta. Set-up pengujian berupa menempatkan dua lapisan *teflon* di atas dan di bawah benda uji. Dua buah LVDT (*Linear Variable Displacement Transducer*) ditempatkan di sisi kanan dan sisi bawah dari benda uji. Penggunaan LVDT untuk mengukur *displacement*. *Load cell* ditempatkan pada bagian bawah. *Load cell* dan LVDT dihubungkan dengan *data logger* komputer untuk membaca respon yang didapat berupa beban dan *displacement*

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

Kuat Tekan Mortar

Pengujian kuat tekan mortar bertujuan untuk mengetahui nilai kuat tekan mortar yang digunakan untuk membuat benda uji mortar-inklusi. Pengujian kuat tekan mortar pada penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk kubus sesuai dengan ASTM C 109/C 109M – 07 dengan ukuran 50x50x50 mm sebanyak 3 buah kubus untuk masing-masing mutu mortar. Hasil kuat tekan mortar ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Kuat Tekan Mortar

No	Mutu Mortar (Mpa)	Umur (hari)	Gaya Tekan (N)	Kokoh Tekan (N/mm ²)	Kokoh Tekan Rata-Rata (N/mm ²)
1	20	28	58513,68	23,405	23,726
2		28	57901,28	23,161	
3		28	61529,40	24,612	
4	40	28	105232,61	42,093	42,675
5		28	110987,81	44,395	
6		28	103841,29	41,537	
7	60	28	156975,21	62,790	63,019
8		28	159956,61	63,983	
9		28	155711,36	62,285	
Keterangan: A = 50 x 50 mm					

Benda Uji Kontrol Perilaku

Benda uji tanpa inklusi dibuat sebagai benda uji kontrol perilaku dengan ukuran 150×150×50 mm, untuk mengetahui perbedaan perilaku mortar normal terhadap mortar yang telah ditambahkan inklusi baja silinder. Data nilai deformasi pada masing-masing benda uji tanpa inklusi (BUK) ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Deformasi pada Benda Uji Kontrol Perilaku (BUK)

Mutu Benda Uji	Deformasi (mm)	Deformasi Rata-Rata (mm)
20 Mpa	2,285	1,896
	1,782	
	1,622	
40 Mpa	0,888	1,034
	1,223	
	0,991	
60 Mpa	0,472	0,595
	0,629	
	0,683	

Benda Uji dengan Mutu Mortar 20 MPa

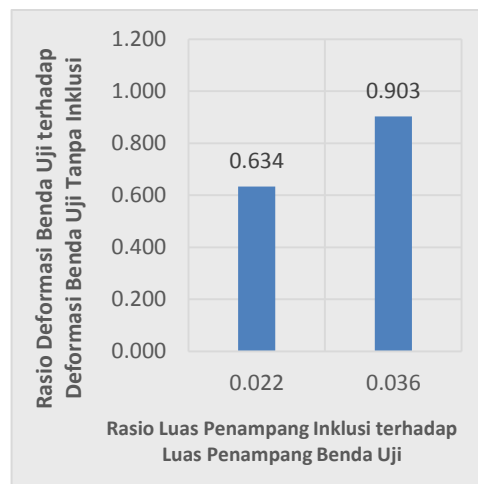
Pada benda uji dengan mutu mortar 20 MPa ditambahkan inklusi berupa baja silinder dengan 2 macam diameter yaitu Ø 25 mm dan Ø 32 mm yang diletakkan pada titik berat benda uji. Hasil pengujian benda uji mortar inklusi 20 MPa berupa nilai deformasi dapat dilihat pada Tabel 4. Sedangkan hasil rasio deformasi benda uji terhadap benda uji tanpa inklusi (BUK) dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 2.

Tabel 4. Nilai Deformasi pada Benda Uji Mortar Inklusi 20 MPa

Diameter Inklusi (mm)	Deformasi (mm)	Deformasi Rata-Rata (mm)
25	0,976	1,201
	1,445	
	1,183	
32	1,964	1,713
	1,517	
	1,657	

Tabel 5. Deformasi Benda Uji Mortar Inklusi 20 MPa

Diameter Inklusi (mm)	Rasio Luas Inklusi terhadap Luas Benda Uji	Deformasi (mm)	Rasio Deformasi Benda Uji terhadap Deformasi Benda Uji Tanpa Inklusi
25	0,022	1,201	0,634
32	0,036	1,713	0,903



Gambar 2. Grafik Hubungan Rasio Luas Penampang Inklusi terhadap Luas Penampang Benda Uji pada Mortar Inklusi dengan Rasio Deformasi Benda Uji terhadap Deformasi Benda Uji tanpa Inklusi pada Mutu 20 MPa

Benda Uji dengan Mutu Mortar 40 MPa

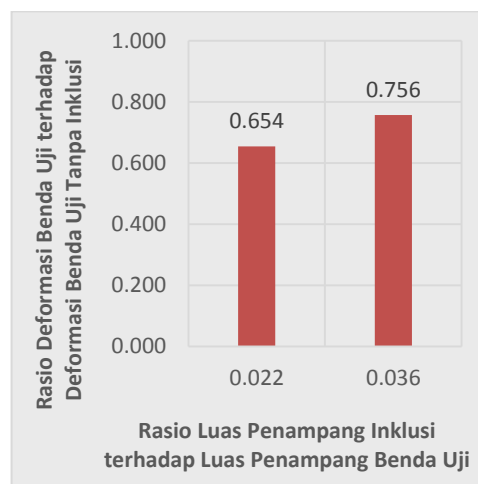
Pada benda uji dengan mutu mortar 40 MPa ditambahkan inklusi berupa baja silinder dengan 2 macam diameter yaitu \varnothing 25 mm dan \varnothing 32 mm yang diletakkan pada titik berat benda uji. Hasil pengujian benda uji mortar inklusi 40 MPa berupa nilai deformasi dapat dilihat pada Tabel 6. Sedangkan hasil rasio deformasi benda uji terhadap benda uji tanpa inklusi (BUK) dapat dilihat pada Tabel 7 dan Gambar 3.

Tabel 6. Nilai Deformasi pada Benda Uji Mortar Inklusi 40 MPa

Diameter Inklusi (mm)	Deformasi (mm)	Deformasi Rata-Rata (mm)
25	0,807	0,676
	0,898	
	0,324	
32	0,781	0,782
	0,913	
	0,652	

Tabel 7. Deformasi Benda Uji Mortar Inklusi 40 MPa

Diameter Inklusi (mm)	Rasio Luas Inklusi terhadap Luas Benda Uji	Deformasi (mm)	Rasio Deformasi Benda Uji terhadap Deformasi Benda Uji Tanpa Inklusi
25	0,022	0,676	0,654
32	0,036	0,782	0,756



Gambar 3. Grafik Hubungan Rasio Luas Penampang Inklusi terhadap Luas Penampang Benda Uji pada Mortar Inklusi dengan Rasio Deformasi Benda Uji terhadap Deformasi Benda Uji tanpa Inklusi pada Mutu 40 MPa

Benda Uji dengan Mutu Mortar 60 MPa

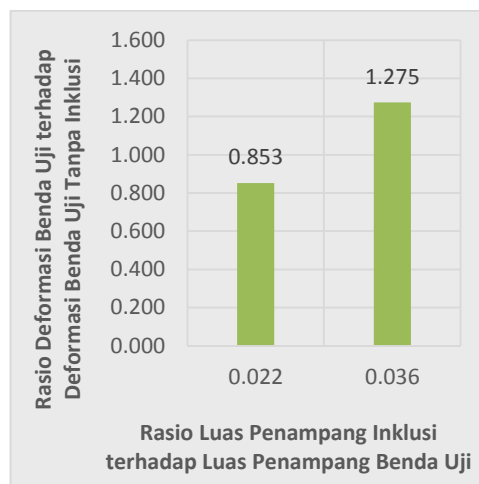
Pada benda uji dengan mutu mortar 60 MPa ditambahkan inklusi berupa baja silinder dengan 2 macam diameter yaitu \varnothing 25 mm dan \varnothing 32 mm yang diletakkan pada titik berat benda uji. Hasil pengujian benda uji mortar inklusi 60 MPa berupa nilai deformasi dapat dilihat pada Tabel 8. Sedangkan hasil rasio deformasi benda uji terhadap benda uji tanpa inklusi (BUK) dapat dilihat pada Tabel 9 dan Gambar 4.

Tabel 8. Nilai Deformasi pada Benda Uji Mortar Inklusi 60 MPa

Diameter Inklusi (mm)	Deformasi (mm)	Deformasi Rata-Rata (mm)
25	0,448	0,507
	0,472	
	0,601	
32	0,817	0,758
	0,922	
	0,535	

Tabel 9. Deformasi Benda Uji Mortar Inklusi 60 MPa

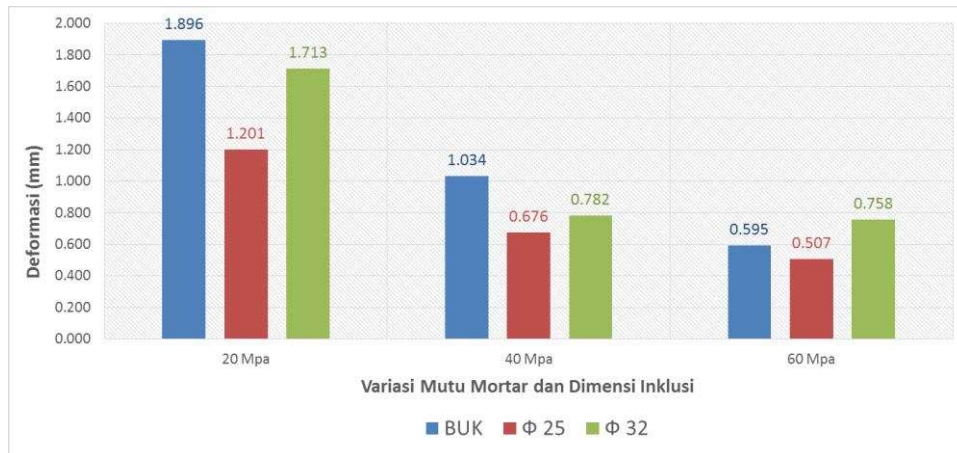
Diameter Inklusi (mm)	Rasio Luas Inklusi terhadap Luas Benda Uji	Deformasi (mm)	Rasio Deformasi Benda Uji terhadap Deformasi Benda Uji Tanpa Inklusi
25	0,022	0,507	0,853
32	0,036	0,758	1,275



Gambar 4. Grafik Hubungan Rasio Luas Penampang Inklusi terhadap Luas Penampang Benda Uji pada Mortar Inklusi dengan Rasio Deformasi Benda Uji terhadap Deformasi Benda Uji tanpa Inklusi pada Mutu 60 MPa

Hubungan Pengaruh Mutu Mortar dan Diameter Inklusi Terhadap Deformasi dan Kekuatan Benda Uji

Penelitian ini menggunakan 3 variasi mutu mortar yang digunakan yaitu 20, 40, dan 60 Mpa. Mutu mortar yang berbeda akan menghasilkan perilaku benda uji yang berbeda juga. Hal tersebut yang akan mempengaruhi besar kecilnya deformasi yang terjadi. Grafik hubungan antara variasi mutu mortar dan diameter inklusi dengan besarnya deformasi yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Hubungan Variasi Mutu Mortar dan Dimensi Inklusi terhadap Deformasi

Melalui Gambar 5, ketiga grafik tersebut menunjukkan bahwa mutu mortar mempengaruhi nilai deformasi yang terjadi pada benda uji mortar-inklusi. Terlihat bahwa semakin tinggi mutu mortar yang digunakan maka nilai deformasi yang dihasilkan semakin kecil. Sebaliknya mutu mortar yang lebih rendah akan menghasilkan nilai deformasi yang lebih tinggi. Semakin tinggi mutu mortar maka kekuatan yang dimiliki untuk menahan beban gaya tekan juga akan semakin besar. Melalui Gambar 5 terlihat nilai deformasi yang dihasilkan oleh mortar mutu tinggi 60 MPa menunjukkan bahwa benda uji tersebut dapat menahan beban yang lebih besar dibandingkan dengan mortar dengan mutu yang lebih rendah.

Selain itu grafik tersebut menunjukkan bahwa semakin besar diameter inklusi yang digunakan maka deformasi yang terjadi akan semakin besar. Sebaliknya penggunaan diameter inklusi yang lebih kecil akan memiliki kecenderungan menghasilkan angka deformasi yang lebih rendah.

Pada benda uji kontrol tanpa inklusi, deformasi yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan benda uji diameter inklusi 25 mm. Akibat dari tidak adanya inklusi maka beban yang ada seluruhnya hanya diterima oleh mortar tersebut. Lain halnya dengan benda uji mortar-inklusi diameter 25 mm, pada benda uji ini terjadi penurunan angka deformasi. Hal tersebut disebabkan oleh adanya penambahan inklusi berupa baja silinder yang memungkinkan inklusi baja tersebut turut serta dalam menahan beban yang diterima oleh benda uji sehingga dapat mempertahankan bentuk dan memperkecil nilai deformasi yang terjadi.

Pada benda uji mortar-inklusi diameter 32 mm terjadi kenaikan angka deformasi dibandingkan dengan benda uji kontrol dan benda uji mortar-inklusi diameter 25 mm. Semakin bertambah besar diameter inklusi memiliki kecenderungan terjadinya konsentrasi tegangan yang menyebabkan melemahnya daerah ITZ pada benda uji. Semakin besar diameter inklusi, maka daerah lekatan ITZ akan bertambah besar sehingga ketika daerah pertahanan mortar berkurang maka keruntuhan benda uji terjadi lebih cepat.

Terkait dengan kekuatan benda uji, melalui Gambar 5 terlihat bahwa kekuatan benda uji meningkat seiring dengan semakin besarnya mutu mortar. Selain itu penggunaan diameter inklusi yang semakin kecil akan menghasilkan benda uji mortar-inklusi yang lebih besar kekuatannya. Diameter inklusi yang semakin besar akan mengurangi area mortar yang menyebabkan konsentrasi tegangan akan terjadi lebih cepat sehingga kekuatan benda uji tersebut akan menurun.

Pola Retak Benda Uji

Pola retak yang terjadi pada benda uji mortar-inklusi dipengaruhi oleh variasi mutu mortar dan diameter inklusi. Pola retak yang terjadi pada benda uji mortar-inklusi bersifat columnar yaitu dari ujung atas cenderung agak ke samping kemudian menerus ke bawah ke daerah lekatan antara inklusi dengan mortar sampai pada beban maksimum dan benda uji akan runtuh seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pola Retak pada Benda Uji Mortar-Inklusi

Kesimpulan

1. Semakin tinggi mutu mortar yang digunakan maka nilai deformasi yang dihasilkan semakin kecil. Sebaliknya mutu mortar yang lebih rendah akan menghasilkan nilai deformasi yang lebih besar. Benda uji dengan mutu mortar 20 MPa menghasilkan angka deformasi tertinggi, sedangkan benda uji dengan mutu mortar 60 MPa menghasilkan angka deformasi terendah.
2. Penggunaan diameter inklusi besar yaitu $\varnothing 32$ mm deformasi yang terjadi semakin tinggi. Sebaliknya penggunaan diameter inklusi yang kecil yaitu $\varnothing 25$ mm memiliki kecenderungan menghasilkan angka deformasi yang lebih rendah. Hal tersebut disebabkan oleh adanya penambahan inklusi berupa baja silinder yang memungkinkan inklusi baja tersebut turut serta dalam menahan beban yang diterima oleh benda uji sehingga dapat mempertahankan bentuk dan memperkecil nilai deformasi yang terjadi. Semakin bertambah besar diameter inklusi memiliki kecenderungan terjadinya konsentrasi tegangan yang menyebabkan melemahnya daerah ITZ (*Interfacial Transition Zone*) pada benda uji. Semakin besar diameter inklusi, maka daerah lekatan ITZ akan bertambah besar sehingga menyebabkan area mortar berkurang dan menyebabkan peningkatan nilai deformasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Han, A. L. and Sabdono, P., 2011, "Experimental Study to the Load-Displacement Response of the Interfacial Transition Zone in Concrete", The 3rd International Conference European Asian Civil Engineering Forum (EACEF-2011), Designing and Constructing Sustainability, Yogyakarta, Indonesia, 20-22 September 2011.
- Hutagalung, M. dan Setiawan, Y., 2013, "Pengaruh Bentuk dan Agregat terhadap Kuat Tekan Mortar", Civil Engineering Department, Diponegoro University.
- Nurmalita, Vanessa; Lie, Han Ay; Nuroji. Pengaruh Variasi Inklusi Terhadap Kuat Tekan dan Perubahan Dimensi pada Mortar Inklusi Tunggal Dalam Rasio yang Ditetapkan. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, [S.1.] feb. 2017. Available at : <https://ojs.unud.ac.id/index.php/jits/article/view/30396>
- Wahyu, R., and Wardhana, W., 2016. Studi Eksperimental Pengaruh Diameter Dan Kuat Tekan Inklusi Terhadap Kuat Tekan Mortar. *Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang*.