

PENGARUH MUTU MORTAR DAN DIMENSI INKLUSI TERHADAP KUAT TEKAN MORTAR-INKLUSI

Purwanto¹, Himawan Indarto², Yulita Arni Pratiwi³, Nauval Rabbani⁴, dan Mona Dwi Anggraeni⁵

^{1,2,3}Departemen Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto, Semarang

^{4,5}Laboratorium Bahan dan Konstruksi Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto, Semarang

Email: purwatrend@gmail.com

Abstrak: Kuat tekan beton sangat dipengaruhi oleh material penyusunnya, perilaku saat pencampurannya, perawatannya, dan kekuatan hubungan lekatan yang terjadi antara permukaan agregat kasar dengan mortar atau yang disebut *Interfacial Transition Zone* (ITZ). Penelitian menunjukkan bahwa rasio kuat tekan inklusi agregat terhadap kuat tekan mortar sangat signifikan mempengaruhi perilaku ITZ dan keseluruhan benda uji. Namun sejauh ini penelitian difokuskan pada inklusi batuan, sedangkan perilaku ITZ dengan inklusi baja belum banyak dilakukan. Baja mempunyai sifat relatif lebih homogen dan stabil, tak memiliki retak mikro serta tak menyerap air, sehingga pengaruh mutu mortar pada ITZ akan tampak lebih jelas. Untuk mempelajari perilaku inklusi baja pada benda uji, maka dilakukan studi menggunakan beberapa varian mutu mortar dengan kuat tekan 20, 40, dan 60 MPa. Ukuran benda uji adalah 150×150×50 mm dengan inklusi silindris besi baja berdiameter 25 mm dan 32 mm. Silinder baja ditempatkan tepat pada pusat berat mortar. Disediakan pula benda uji kontrol berupa mortar tanpa inklusi dengan ukuran 150×150×50 mm untuk dapat membandingkan perilaku pengaruh dari variasi mutu dan variasi diameter inklusi silinder baja. Benda uji diuji dengan pembebanan satu arah (uniaksial) menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) dan *Linear Vertical Displacement Transducer* (LVDT) untuk mengetahui perilaku perubahan bentuk sebagai fungsi beban. Hasil analisa menunjukkan bahwa semakin besar diameter inklusi semakin rendah pula kuat tekan yang dihasilkan serta terjadinya pola retak di area inklusi yang merupakan daerah ITZ.

Kata kunci: inklusi baja, ITZ, perilaku kuat tekan, pola retak

THE INFLUENCE OF MORTAR QUALITY AND INCLUSION DIMENSION TO THE COMPRESIVE STRENGTH OF MORTAR INCLUSION

Abstract: *The compressive strength of the concrete is strongly influenced by its constituent material, its mixing, its treatment, and the strength of the adhesion that occurs between the surface of the aggregate with the mortar or the so-called Interfacial Transition Zone (ITZ). Research shows that the ratio of compressive strength of aggregate inclusion to mortar compressive strength significantly influences the behavior of ITZ and overall specimen. But so far the study has focused on rock inclusions, whereas the behavior of ITZ with steel inclusions has not been widely practiced. Steel has relatively more homogeneous and stable properties, has no micro-crack and does not absorb water, so the effect of mortar quality on ITZ will appear more clearly. To study the behavior of steel inclusions on specimens, a study was conducted using several variants of mortar with a compressive strength of 20, 40, and 60 MPa. The size of the specimen is 150 × 150 × 50 mm with a cylindrical steel inclusions of 25 mm and 32 mm diameter. The steel cylinder is placed exactly at the center of the mortar's mass. There is also provided a non-inclusive mortar control specimen with a size 150 × 150 × 50 mm in order to be able to compare the influence behavior of variations in quality and variation in diameter of steel cylinder inclusions. The test specimens were tested with one-way (uniaxial) loading using a Universal Testing Machine (UTM) and Linear Vertical Displacement Transducer (LVDT) to identify the behavioral changes as a function of the load. The result of the analysis shows that the larger the inclusion diameter the lower the compressive strength as well as the occurrence of cracking pattern in the inclusion area which is the ITZ area.*

Key words: *steel Inclusion, ITZ, compressive strength behavior, crack pattern*

PENDAHULUAN

Kuat tekan beton merupakan sifat yang paling penting pada beton. Kekuatan beton dipengaruhi kualitas material dasar, perbandingan mix design, metode pembuatan, hingga tahap perawatan beton. Salah satu faktor penting yang juga mempengaruhi kekuatan beton yaitu kekuatan lekatan daerah peralihan antara mortar dengan permukaan agregat kasar yang disebut *Interfacial Transition Zone* (Han dan Purwanto, 2013; Han and Sabdono, 2013). Agregat menempati 70-75% dari keseluruhan volume beton, sehingga kondisi ITZ perlu dipertimbangkan dalam perencanaan pencampuran beton karena dapat secara signifikan mempengaruhi mutu akhir.

Agregat kasar yang terdapat di alam memiliki bentuk dan mutu yang bermacam-macam yang nantinya dapat mempengaruhi nilai kuat tekan suatu beton. Untuk mengetahui lebih lanjut mengenai pengaruh inklusi serta interaksinya terhadap mutu mortar dalam beton, dalam penelitian ini dilakukan pengujian dengan pemodelan mortar dengan inklusi baja. Penelitian terhadap inklusi mortar dengan sifat tegangan-regangan non-linier dipadukan dengan inklusi yaitu agregat yang berperilaku linier menunjukkan bahwa kuat tekan sangat dipengaruhi rasio luas penampang inklusi terhadap benda uji, rasio kuat tekan inklusi terhadap mortar, bentuk dan konfigurasi benda uji serta jumlah inklusi (Han dkk., 2017, Han dkk., 2014, Nurmalita dkk., 2017; Wahyu and Wardhana, 2017). Dalam penelitian ini, digunakan inklusi berupa baja silinder dengan dua macam diameter, serta mortar dengan variasi kuat tekan. Penelitian ini mengamati dan menganalisa pengaruh inklusi dan variasi kuat tekan mortar terhadap kuat tekan benda uji, perilaku beban-deformasi, pola retak serta retak awal (*first crack*).

Wahyu dan Wardhana (2017) melakukan penelitian eksperimental mengenai pengaruh diameter dan kuat tekan inklusi terhadap kuat tekan mortar menggunakan inklusi mortar berbentuk lingkaran dengan empat variasi diameter 11,7, 20,8, 29,7, dan 45,7 mm. Dari penelitian itu mendapatkan kesimpulan bahwa semakin besar diameter inklusi maka nilai kuat tekan benda uji akan semakin menurun. Selain itu, semakin besar diameter inklusi juga mengakibatkan area mortar semakin sempit sehingga konsentrasi tegangan di sekeliling inklusi pun akan menjadi

sangat tinggi, menyebabkan tegangan batas mortar akan terlampaui. Pemodelan numeris terhadap lajur mortar di sisi kiri dan kanan inklusi menunjukkan adanya konsentrasi tegangan yang makin meningkat, seiring mengecilnya daerah ini akibat perbesaran inklusi (Han dkk., 2013).

Nurmalita dkk. (2017) melakukan penelitian pengaruh rasio kuat tekan dan efek dimensi benda uji terhadap perilaku benda uji. Dalam penelitiannya, rasio luas penampang inklusi terhadap benda uji ditentukan sebagai konstanta. Dengan berbagai variasi inklusi didapatkan benda uji berukuran 60×60×60 mm, 100×100×100 mm, dan 150×150×150 mm dengan inklusi tunggal berbentuk lingkaran yang terbuat dari mortar berdiameter 11,7, 20,8, dan 29,7 mm dengan variasi kuat tekan 20 MPa, 40 MPa, dan 60 MPa. Campuran mortar yang digunakan berdasarkan campuran yang telah dilakukan pada penelitian Han dan Sabdono (2011) seperti terlihat pada Tabel 1. Kesimpulan yang didapat yaitu semakin besar benda uji akan mengakibatkan penurunan kuat tekan yang diakibatkan oleh distribusi beban yang tadinya merata di benda uji saja, ketika ada inklusi maka beban juga akan dipikul oleh inklusi, namun karena kesenjangan kekakuan material, mortar di sekeliling inklusi akan menderita peningkatan tegangan yang tinggi yang bermuara pada terlampauinya tegangan batas bahan.

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

Dari penjelasan di atas, penelitian ini akan meninjau lebih spesifik pengaruh diameter inklusi dan kuat tekan mortar terhadap kapasitas kuat tekan dan pola retak inklusi baja yang terjadi pada mortar-inklusi berukuran 150×150×50 mm.

METODE PENELITIAN

Kerangka Penelitian

Dalam pengujian ini dilakukan dua macam pemodelan benda uji, yaitu diameter inklusi pada 25,4 mm dan 32 mm, serta tiga variasi kuat tekan mortar sebesar 20, 40 dan 60 MPa.



(a)



(b)

Gambar 1. a) Bekisting benda uji mortar inklusi b) Bekisting benda uji sampel mutu mortar Untuk dapat melakukan analisa, dibuat juga benda uji kontrol berupa benda uji tanpa inklusi dan mortar ukuran 50×50×50 mm untuk menentukan mutu bahan mortar.

Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Pembuatan benda uji pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang. Benda uji dibuat dimulai dari pemeriksaan bahan material hingga proses perawatan atau *curing*. Prosedur pembuatan benda uji dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

- Pembuatan bekisting untuk benda uji mortar-inklusi dengan ukuran 150×150×50 mm dari bahan multipleks (Gambar 1a) dan bekisting benda uji sampel mutu mortar berukuran 50×50×50 mm (Gambar 1b).
- Pemeriksaan agregat halus untuk mendapatkan propertis seperti berat jenis, kadar lumpur, dan analisa saringan agregat. Benda uji inklusi baja dipersiapkan untuk menentukan perilaku uji material dengan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM).
- Agar variabel beban hanya berupa kuat tekan mortar dan diameter inklusi, maka pasir dinormalisasikan dan gradasi pasir disesuaikan ASTM C 33/03 dengan standar *fine aggregate*.
- Pencampuran material mortar yaitu semen, pasir, air dan *viscocrete* 1003 sebanyak

0,0028 dari berat semen menggunakan *concrete mixer* hingga homogen.

- Pengecoran ke dalam cetakan yang telah diolesi oli serta dilakukan penumbukan agar mendapatkan kondisi mortar yang sesuai.
- Perawatan (*curing*) dilakukan dengan merendam benda uji, benda uji kontrol, dan benda uji sampel mortar dalam kolam yang berisi air. Perawatan mortar dilakukan selama 28 hari.

Pengujian Benda Uji

Mortar yang sudah direndam selama 28 hari lalu dikeringkan dengan cara diangin-anginkan. Pengujian benda uji dilakukan dengan alat *Compression Test Machine* (Hung Ta HT-8391PC *Computer-Controlled Servo Hydraulic*). *Set up* pengujian sesuai dengan Gambar 2.

Pemberian beban pada pengujian benda uji berdasarkan pada ASTM 109/C 109M dengan menetapkan *Loading rate* pada tingkat 1.000 N/s hingga mencapai beban maksimum yang tidak dapat ditahan oleh benda uji. Selama proses pembebanan berlangsung, hal yang diamati adalah besarnya gaya yang diberikan (P), awal keretakan, dan pola retak yang terjadi.

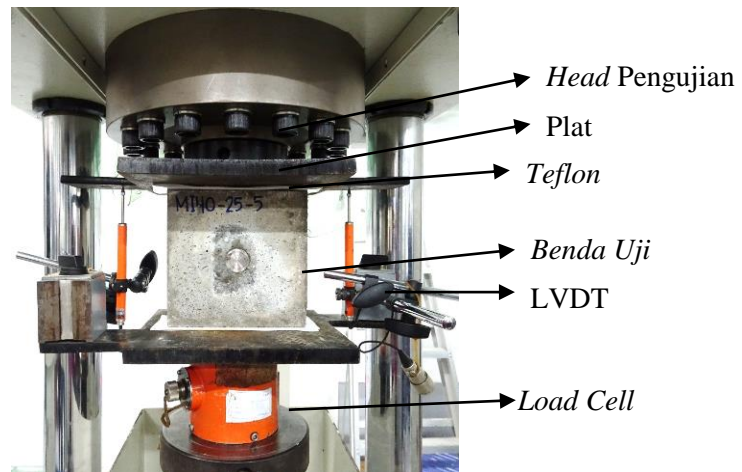
HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA DATA

Kuat Tekan Mortar

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan benda uji berbentuk kubus dengan ukuran 50×50×50 mm (ASTM C 109/C 109M – 07) sebagai sampel dari mutu mortar yang digunakan dalam pembuatan benda uji kontrol dan benda uji mortar-inklusi. Hasil kuat tekan sampel mutu mortar ditunjukkan pada Tabel 2.

Benda Uji Kontrol (BUK)

Benda uji dengan ukuran yang sama dengan benda uji mortar-inklusi 150×150×50 mm dibuat sebagai alat kontrol untuk mengamati perbedaan perilaku, beban runtuh, dan pola kehancuran masing-masing spesimen dengan dua variasi diameter inklusi dan tiga mutu mortar yang berbeda. Data nilai beban maksimum pada masing-masing benda uji kontrol ditunjukkan pada Tabel 3.



Gambar 2. Set up pengujian benda uji

Tabel 2. Hasil Kuat Tekan Sampel Mutu Mortar

Kuat tekan rencana	Gaya Tekan (N)	Kokoh Tekan (N/mm ²)	Kokoh Tekan Rata-Rata (N/mm ²)
20 Mpa	58512,44	23,40	23,73
	57902,50	23,16	
	61530,00	24,61	
40 Mpa	106232,63	42,49	42,81
	110987,40	44,39	
	103842,39	41,54	
60 Mpa	156975,00	62,79	63,02
	159957,65	63,98	
	155712,61	62,29	

Tabel 3. Nilai Beban Maksimum pada Benda Uji Kontrol (BUK)

Mutu Benda Uji	Beban Maksimum (kN)	Beban Maksimum Rata-Rata (kN)
23,73 Mpa	137,526	127,447
	116,074	
	128,742	
42,81 Mpa	256,493	263,182
	272,430	
	260,623	
63,02 Mpa	462,551	429,054
	422,163	
	402,448	

Tabel 4. Nilai Beban Maksimum pada Benda Uji Mortar-Inklusi 23,73 MPa

Diameter Inklusi (mm)	Beban Maksimum (kN)	Beban Maksimum Rata-Rata (kN)
25	118,586	115,521
	105,904	
	122,073	
32	113,125	101,501
	99,341	
	92,035	

Benda Uji dengan Mutu Mortar 23,73 MPa

Benda uji mortar-inklusi dengan mutu mortar 23,73 MPa yang memiliki ukuran 150×150×50 mm, dengan inklusi baja silinder diameter Ø25 mm dan Ø32 mm di titik berat benda uji tersebut. Data nilai beban maksimum benda uji mortar-inklusi dengan mutu mortar 23.73 MPa ditunjukkan pada Tabel 4. Terlihat pada Tabel 4 bahwa benda uji mortar-inklusi 23,73 MPa dengan inklusi Ø25 mm mampu menerima beban lebih besar dibandingkan dengan benda uji inklusi Ø32 mm. Temuan ini menggaris bawahi kesimpulan yang didapatkan oleh Han dkk. (2014) bahwa peningkatan luas rasio inklusi akan mengakibatkan penurunan kuat tekan.

Benda Uji dengan Mutu Mortar 42,81 MPa

Pada benda uji dengan mutu mortar 42,81 MPa, mortar-inklusi Ø25 mm memiliki beban maksimum rata-rata yang lebih besar yaitu 243.896 kN, dibandingkan dengan mortar-inklusi Ø32 mm yang hanya memiliki beban maksimum rata-rata 226.620 kN seperti terlihat pada Tabel 5.

Benda Uji dengan Mutu Mortar 63,02 MPa

Tipikal dengan hasil yang diperoleh

benda uji mortar-inklusi dengan mutu mortar 23,73 MPa dan 42,81 MPa, terlihat pada Tabel 6 bahwa benda uji mutu mortar 63,02 MPa dengan inklusi Ø25 mm memiliki beban maksimum rata-rata yaitu 418.981 kN. Nilai tersebut sedikit lebih besar dibandingkan terhadap inklusi Ø32 mm dengan beban maksimum 389.760 kN.

Data-data yang sudah ditunjukkan sebelumnya, yang terdiri dari benda uji kontrol, benda uji mortar-inklusi 20 MPa, benda uji mortar-inklusi 40 MPa, dan benda uji mortar inklusi 60 MPa, dapat dibuat grafik hubungan antara variasi mutu mortar dan diameter inklusi terhadap beban maksimum yang mampu diterima oleh benda uji tersebut seperti terlihat pada Gambar 3.

Dari ketiga grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa mutu mortar mempengaruhi beban maksimum yang mampu diterima oleh benda uji. Semakin tinggi mutu mortar yang digunakan maka beban yang mampu diterima akan semakin besar. Sebaliknya, beban maksimum yang mampu diterima oleh mutu mortar yang lebih rendah akan lebih kecil pula.

Tabel 5. Nilai Beban Maksimum pada Benda Uji Mortar-Inklusi 42,81 MPa

Diameter Inklusi (mm)	Beban Maksimum (kN)	Beban Maksimum Rata-Rata (kN)
25	219,355	243,896
	251,001	
	261,332	
32	248,468	226,620
	205,988	
	225,404	

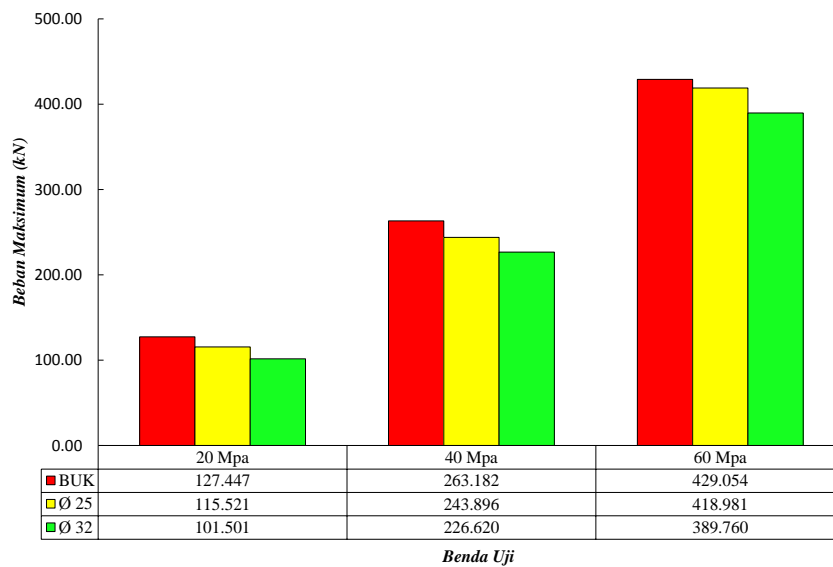
Tabel 6. Nilai Beban Maksimum pada Benda Uji Mortar-Inklusi 63,02 MPa

Diameter Inklusi (mm)	Beban Maksimum (kN)	Beban Maksimum Rata-Rata (kN)
25	384,941	418,981
	447,777	
	424,226	
32	384,057	389,760
	420,035	
	365,189	

Melalui Gambar 3 juga terlihat bahwa diameter inklusi baja silinder mempengaruhi beban maksimum yang mampu diterima oleh benda uji. Grafik tersebut menunjukkan bahwa inklusi berdiameter yang besar akan menurunkan kapasitas pemikulan beban. Sebaliknya dengan diameter yang lebih kecil maka beban yang mampu diterima cenderung lebih besar. Penambahan inklusi baja silinder juga tampak menurunkan kuat tekan spesimen, semua benda uji berinklusi menunjukkan kuat tekan yang lebih rendah bila dibandingkan dengan benda uji kontrol tanpa inklusi. Pengujian eksperimental (Wahyu dan Wardhana, 2017; Han dkk., 2014; dan Han dan Purwanto, 2013) menggaris bawahi semua benda uji dengan inklusi akan selalu

mempunyai kuat tekan dibawah benda uji kontrol berupa mortar saja. Pemodelan *numerisn* (Setiawan dkk., 2017) menunjukkan bahwa penurunan ini disebabkan karena adanya ITZ.

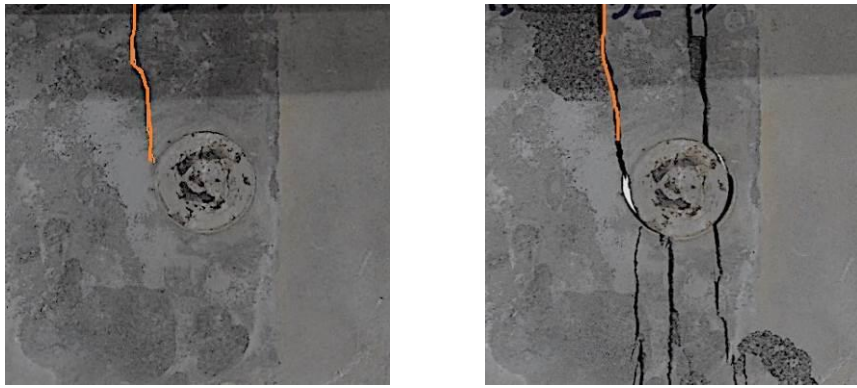
Pola retak yang terjadi pada benda uji mortar-inklusi juga termasuk dalam pola retak *columnar* yaitu pola retak vertikal dari ujung ke ujung. Baik pada benda uji dengan diameter inklusi 25 mm maupun 32 mm, pola retak yang terjadi memiliki kecenderungan dari atas agak di samping seperti terlihat pada Gambar 5 yang kemudian menerus ke bagian bidang kontak daerah lekatan antara inklusi dengan mortar. Hingga akhirnya pada saat benda uji mencapai beban maksimum inklusi terlepas dari mortar.



Gambar 3. Grafik Hubungan Variasi Mutu Mortar dan Diameter Inklusi terhadap Beban Maksimum



Gambar 4. Pola Retak Awal dan Akhir pada Benda Uji Kontrol



Gambar 5. Pola Retak Awal dan Akhir pada Benda Uji Mortar-Inklusi

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa terhadap beban maksimum yang mampu diterima dan pola retak yang terjadi pada benda uji “Pengaruh Mutu Mortar dan Dimensi Inklusi terhadap Kuat Tekan Mortar-Inklusi” dapat diperoleh kesimpulan:

1. Semakin tinggi mutu mortar yang digunakan maka beban maksimum yang mampu diterima akan semakin besar. Sebaliknya mutu mortar yang lebih rendah akan menghasilkan beban maksimum yang lebih rendah pula. Selain itu, semakin besar diameter inklusi yang digunakan maka beban maksimum yang mampu diterima akan semakin kecil. Justru penggunaan diameter inklusi yang lebih kecil menunjukkan bahwa benda uji mampu menerima beban maksimum yang lebih besar.
2. Pola retak yang terjadi pada benda uji mortar-inklusi merupakan pola retak *columnar* yaitu pola retak vertikal dari ujung ke ujung. Baik pada diameter inklusi 25 mm maupun 32 mm pola retak yang terjadi berawal dari ujung atas tetapi cenderung agak di samping, yang kemudian menerus ke daerah lekatan antara inklusi dengan mortar yang merupakan bagian terlemah pada benda uji.

DAFTAR PUSTAKA

Han, A.L. and Purwanto 2013. "The Effect of the Interfacial Transition Zone between Aggregate and Mortar to the Overall Performance of Concrete Structures, a comparative study, from micro to macro", 1st Annual Conference on Architecture and Civil Engineering (ACE 2013) in Singapore, March 2013, www.globalstf.org digital library OI: 10.5176/2301-394X_ACE13.23

Han, A.L. and Sabdono, P. 2013. "The Effect of the ITZ Area between Aggregate and Mortar to the Load-Displacement Behavior in Conventional Concrete and its Influence on Structures", the 4th International Conference of the EURO ASIAN CIVIL ENGINEERING FORUM (EACEF 2013) in Singapore, June 2013

Han, A.L., Tadjono, S. and Purnomo, J. 2013. "Modeling the Load-Displacement Response of Concrete with Multi-Inclusion-Cylindrical Aggregates Incorporating the Aggregate-Distance Effect and Configuration ", 13th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-13) in Sapporo, Japan, September 2013.

Han, A.L., Gan, B.S., Suryanto, B. and Priastiwi, Y.A. 2017. "Influence of Inclusion Stiffness Modulus on Compressive Strength of Concrete", *Procedia Engineering*, Vol. 171, pp. 760-767.

Han, A.L., Gan, B.S. and Setiawan, Y. 2014. "The influence of single inclusions to the crack initiation, propagation and compression strength of mortar", *Procedia Engineering*, Vol. 95, pp. 376-385.

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.

Nurmalita, V., Han, A.L., dan. Nuroji. 2017. Pengaruh Variasi Inklusi terhadap Kuat Tekan dan Perubahan Dimensi pada

Mortar Inklusi Tunggal dalam Rasio yang Ditetapkan. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, [S.l.], feb. 2017. Available at: <https://ojs.unud.ac.id/index.php/jits/article/view/30396>

Wahyu, R., dan Wardhana, W. 2017. Studi Eksperimental Pengaruh Diameter Dan Kuat Tekan Inklusi Terhadap Kuat Tekan Mortar. Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.

Setiawan, Y., Han, A.L. and Gan, B.S. 2017. "Modeling of the Interfacial Transition Zone in Concrete: Experiment and Numerical Simulation", accepted to the Journal of Structural Engineering and Mechanics, Techno Press.