

# PENGARUH VARIASI INKLUSI TERHADAP KUAT TEKAN DAN PERUBAHAN DIMENSI PADA MORTAR INKLUSI TUNGGAL DALAM RASIO YANG DITETAPKAN

Vanessa Nurmalita<sup>1</sup>, Han Ay Lie<sup>2</sup>, dan Nuroji<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Magister Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto Semarang

<sup>2</sup>Departemen Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto Semarang

**Abstrak:** Beton adalah material komposit yang terdiri atas dua material utama yaitu mortar dan agregat. Karakteristik dari beton sangat tergantung dari peran kedua material tersebut. Namun sangat sulit untuk menentukan material mana yang paling berpengaruh sebagai pembentuk beton. Untuk mengetahui lebih lanjut mengenai pengaruh tersebut, pada penelitian ini akan dimodelkan mortar dengan inklusi tunggal. Mortar dibuat dengan  $f_c$  30 MPa. Inklusi terbuat dari mortar berbentuk silinder dengan 3 variasi  $f_c$  yaitu 20 MPa, 40 MPa, dan 60 MPa. Ukuran benda uji dibuat dengan tiga variasi ukuran dengan rasio diameter inklusi dibandingkan dengan mortar 0,2 dan rasio tinggi mortar dibanding tebal mortar 1. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan dimensi dan kuat tekan material komposit antara mortar dan inklusi yang merupakan representasi mortar dan agregat dalam beton. Masing-masing variasi ukuran benda uji akan dibuat sebanyak 24 buah yang terdiri atas masing-masing 6 buah untuk setiap nilai  $f_c$  inklusi dan 6 buah mortar tanpa inklusi sebagai kontrol. Pengujian akan dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Diponegoro. Terdapat pengaruh *size effect* pada hasil kuat tekan benda uji dengan perubahan dimensi. Benda uji dengan rasio kuat tekan inklusi dan selimut mortar 1,3 menghasilkan prosentase penurunan kuat tekan terkecil. Adanya pengaruh penurunan kuat tekan pada hasil kuat tekan benda uji mortar inklusi tunggal akibat adanya pengaruh ITZ.

**Kata kunci:** Beton, mortar, agregat, inklusi

## THE EFFECT OF INCLUSION VARIATION ON TENSILE STRENGTH AND THE DIMENSIONAL ALTERATION OF SINGLE INCLUSION MORTAR IN THE DETERMINED RATIO

**Abstract:** Concrete is a composite material consisting of two main materials, mortar and aggregate. Characteristics of the concrete depends on the role of the two materials. However it is very difficult to determine which one the most influential material as forming concrete. To find out more about these influences, in this study will be modeled mortar with a single inclusion. Mortar made with  $f_c$  30 Mpa. Inclusion mortar made from a cylinder with 3 variations  $f_c$ , 20 MPa, 40 MPa and 60 MPa. The dimension was made with three variations in size with a ratio diameter inclusion than mortar is 0.2 and the ratio of high level mortar than mortar thicker is 1. It is to determine the effects of changes in the dimensions and the compressive strength of the composite material between the mortar and the inclusion represents a mortar and aggregates in concrete. Each variation of the size of the test specimen shall be made 24 pieces consisting of each 6 pieces for each value  $f_c$  inclusion and 6 pieces of mortar without inclusion as controls. Tests will be conducted at the Laboratory of Construction Materials Civil Engineering Diponegoro University. There is the influence of size effect on the results of the compressive strength of specimens with dimensional changes. Specimens with compressive strength ratio of inclusion and specimen mortar 1.3 produces the smallest percentage decrease in compressive strength. Their influence on the result of a decrease in compressive strength compressive strength of mortar test specimen single inclusion due to the influence of ITZ.

**Keywords:** Concrete, mortar, inclusion

## PENDAHULUAN

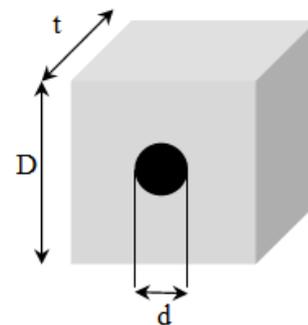
Setiap material memiliki nilai modulus elastisitas masing-masing sebagai karakteristik bahannya. Dalam dunia konstruksi dua atau lebih material bahan dengan nilai modulus elastisitas yang berbeda banyak diaplikasikan dalam dunia konstruksi, salah satunya adalah beton. Beton adalah material nonlinear yang memiliki karakteristik tarik dan tekan yang berbeda karena material penyusunnya terdiri atas dua material yang berbeda modulus elastisitasnya. Pada saat material ini diberi tekanan atau tarikan maka akan terjadi perilaku yang mewakili dari beton itu sendiri karena disebabkan adanya perbedaan kekakuan antara material penyusunnya.

Penggambaran nilai modulus elastisitas beton sebagai fungsi dari propertis materialnya dengan menggunakan model material komposit telah banyak dikembangkan. Model material komposit sederhana mulai dari model paralel dengan *uniform strain*, model seri dengan *uniform stress*, dan model *Hirsch* yang dilakukan oleh Hirsch (1962) dengan menggabungkan model paralel dan seri. Counto (1964) membuat model *Counto* dengan meletakkan agregat ditengah berbentuk persegi dan dikelilingi oleh mortar, model ini menghasilkan hasil yang paling representatif dengan perilaku beton. Sehingga pada penelitian ini dibuat model yang hampir mirip dengan model tersebut yaitu dengan membuat agregat berbentuk lingkaran yang dikelilingi dengan mortar, atau yang disebut dengan mortar dengan inklusi tunggal.

Model inklusi tunggal dengan inklusi berbentuk silinder dipilih untuk mengurangi efek terjadinya retak mikro pada benda uji. Retak mikro yang disebabkan dengan adanya daerah lekatan antara inklusi dengan mortar yang dapat menimbulkan konsentrasi tegangan pada daerah inklusi. Nilai dari tegangannya tergantung dari besarnya retak dan bentuk dari inklusinya (Han et al., 2014). Pada hasil penelitian Han et al. (2014) mortar dengan inklusi berbentuk segitiga kuat tekannya berkurang sebesar 32% dibandingkan dengan lingkaran. Pada bagian inklusi yang lancip menimbulkan terjadinya konsentrasi tegangan yang menimbulkan retak awal

pada mortar. Hal ini yang menyebabkan penurunan kuat tekan yang besar.

Untuk melihat dengan pasti bagaimana pengaruhnya, pada penelitian ini inklusi agregat akan dibuat dengan material mortar yang bisa dibatasi kuat tekannya. Kuat tekan mortar inklusi dibuat dengan tiga variasi kuat tekan, dimana kuat tekan pertama adalah kuat tekan lebih rendah dari mortar selimut, kuat tekan kedua mendekati mortar selimut, dan kuat tekan ketiga lebih besar dari mortar selimut. Dimana kuat tekan mortar selimut akan dibuat dengan kuat tekan yang sama yaitu mendekati 30 MPa. Variasi ukuran benda uji akan dibuat tiga variasi ukuran dengan rasio tinggi ( $D$ ) dibanding tebal ( $t$ ) disebut ( $T_{yz}$ ) adalah 1 dan rasio diameter inklusi ( $d$ ) dan tinggi ( $D$ ) disebut ( $T_{xy}$ ) adalah 0.2.



Gambar 1. Benda Uji Mortar Inklusi Tunggal

## STUDI EKSPERIMENTAL

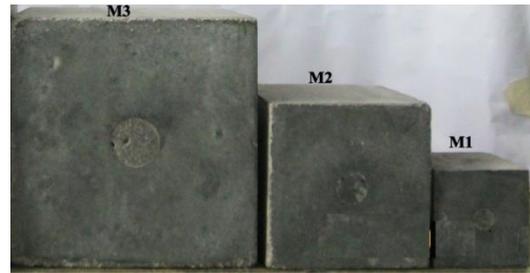
Benda uji terdiri atas dua bagian utama yaitu spesimen mortar dan inklusi mortar berbentuk silinder. Inklusi mortar dibuat dengan tiga diameter yaitu 11.7 mm; 20.8 mm; dan 29,7 mm. Ketiga inklusi mortar tersebut memiliki tinggi berturut-turut yaitu 60 mm; 100 mm; dan 150 mm. Kuat tekan inklusi ( $f_{ci}$ ) dibuat dengan tiga variasi yaitu 23,51 MPa; 42,19 MPa; 55,72 MPa, angka ini merupakan hasil pengujian  $f_c$  dengan silinder ukuran 150x300mm. Selimut mortar dibuat dengan kuat tekan ( $f_{cs}$ ) 32,38 MPa. Ukuran benda uji dibuat dengan tiga ukuran 60x60x60 mm; 100x100x100 mm; dan 150x150x150 mm. Inklusi akan dibuat terlebih dulu dengan cetakan kayu yang kemudian akan dilakukan pengecore-an setelah cetakan berumur 28 hari sesuai ukurannya.

Pada saat pengecoran benda uji, inklusi akan diberikan kesamaan permukaan (diratakan) dan diperlakukan SSD untuk

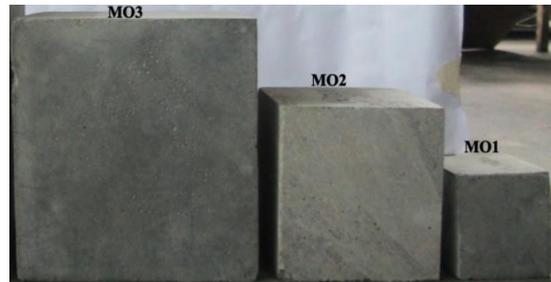
mengurangi pengurangan volume air pada selimut mortar. Pada saat pengecoran material selimut mortar dipadatkan dengan 25 pukulan yang dibagi menjadi tiga lapis untuk masing-masing ukuran benda uji. Sebagai kontrol dibuat mortar tanpa inklusi untuk masing-masing benda uji. Masing-masing variasi ukuran benda uji akan dibuat sebanyak 24 buah yang terdiri atas masing-masing 6 buah untuk setiap nilai  $f_c$  inklusi dan 6 buah mortar tanpa inklusi. Rasio kuat tekan ( $R_{f_c}$ ) merupakan perbandingan kuat tekan inklusi ( $f_{ci}$ ) dan kuat tekan selimut mortar ( $f_{cs}$ ). Pada penelitian ini terdapat tiga nilai  $R_{f_c}$  yaitu  $R_{f_c}(A):0,7$ ;  $R_{f_c}(B):1,3$ ; dan  $R_{f_c}(C):1,7$ .

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan dan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang. Campuran mix desain mortar semua kuat tekan pada penelitian ini mengacu pada penelitian Han et al. (2016). Perbandingan berat semen dan pasir untuk 23,51 MPa = 1: 3,81; 32,38 MPa = 1: 3,21; 42,19 MPa = 1: 2,62; dan 55,72 MPa = 1: 1,42;. Dengan menggunakan proporsi semen/air sebanyak 0,48 dan proporsi semen/*superplasticizer SIKA 1003* adalah 0,0028.

Pengujian semua benda uji dilakukan setelah mencapai umur 28 hari. Sebelum dilakukan pengujian benda uji akan dikeringkan dan diratakan untuk mendapatkan permukaan halus, dan rata diukur dengan menggunakan *waterpass*. Untuk set-up pengujian, dua lapisan *Teflon Virgin PTFE Sheet* ditempatkan di atas dan di bawah benda uji. *Loading rate* ditetapkan pada tingkat 1000N/s sesuai dengan ASTM 109/C 109M-02 “*Compressive Strenght of Hydraulic Cement Mortars*”. Pengujian menggunakan alat uji tekan *Hung Ta, HT-8391PC Computer-Controlled Servo Hydraulic* yang memiliki kapasitas 1500kN. Respon beban dan perpindahan dibaca oleh load cell dan LVDT yang berhubungan langsung dengan data logger komputer.



Gambar 2. Variasi Ukuran Benda Uji Mortar Inklusi Tunggal



Gambar 3. Variasi Ukuran Benda Uji Kontrol

## HASIL PENGUJIAN

Pengujian semua benda uji dilakukan pada umur 28 hari. Nilai beban maksimum pada tiap benda uji dicatat. Dan dirubah menjadi kuat tekan pada semua benda uji. Hasil 6 data pada tiap kode benda uji dikoreksi dengan menghilangkan beberapa data yang dapat merusak rata-rata masing-masing tipe benda uji. Berikut hasil kuat tekan benda uji kontrol yang akan ditampilkan pada tabel 1. Hasil kuat tekan nantinya akan dinormalisasikan ke hasil dari benda uji MO3 yang memiliki ukuran 150x150x150 mm.  $A_p$  merupakan luas spesimen mortar terkena beban.  $RA_{pm3}$  adalah rasio luas terkena beban benda uji dinormalisasikan ke MO3. Sedangkan  $R\sigma_{m3}$  yaitu rasio hasil kuat tekan benda uji dinormalisasikan ke MO3.

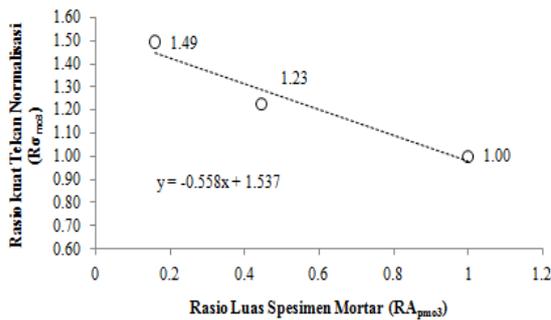
Tabel 1. Hasil Pengujian Benda Uji Kontrol

Kode	$A_p$ (mm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (MPa)	$RA_{pm3}$	$R\sigma_{m3}$
MO1	3600	39,47	0,16	1,49
MO2	10000	32,52	0,44	1,23
MO3	22500	26,50	1	1

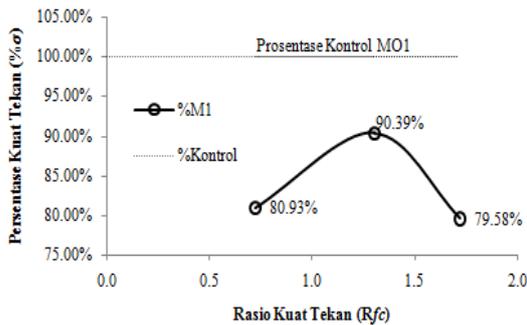
Dari Tabel 1 tersebut terlihat bahwa dengan material yang sama terlihat hasil yang berbeda dengan perbedaan ukuran benda uji. Semakin besar dimensinya akan menghasilkan kuat tekan yang semakin mengecil. Terlihat dari nilai  $R\sigma_{m3}$  yang semakin mengecil. Hal ini menunjukkan

bahwa adanya pengaruh dimensi (*size effect*) yang mempengaruhi dari hasilnya. Pada Gambar 4 berikut ini akan diperlihatkan bagaimana pola penurunannya. Terlihat pada Gambar 4 kemiringan grafiknya adalah sebesar 29,16°.

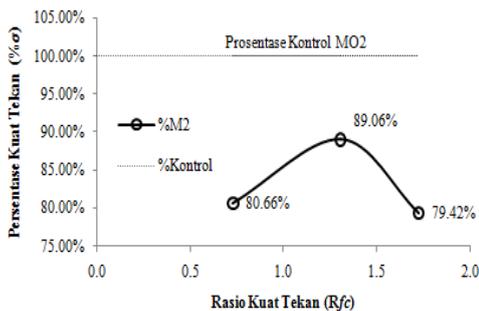
Untuk hasil benda uji mortar inklusi tunggal dengan kode M1, M2, dan M3 untuk tiga nilai  $R_{fc}$  akan ditampilkan pada Gambar 5,6,7 berikut ini. Hasil kuat tekan pada masing-masing benda uji akan dinormalisasikan menjadi nilai persentase kuat tekan ( $\% \sigma$ ) yang merupakan pembagian antara hasil kuat tekan benda uji tersebut ( $\sigma_x$ ) dibagi dengan kuat tekan benda uji kontrol ( $\sigma_k$ ) sesuai ukurannya masing-masing dikali 100%.



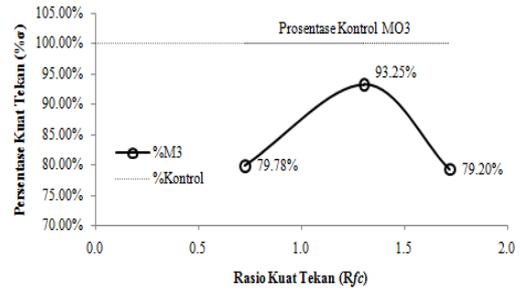
Gambar 4. Grafik Pengaruh Dimensi Benda Uji Kontrol



Gambar 5. Grafik Hubungan  $\% \sigma$  dan  $R_{fc}$  Benda Uji M1



Gambar 6. Grafik Hubungan  $\% \sigma$  dan  $R_{fc}$  Benda Uji M2



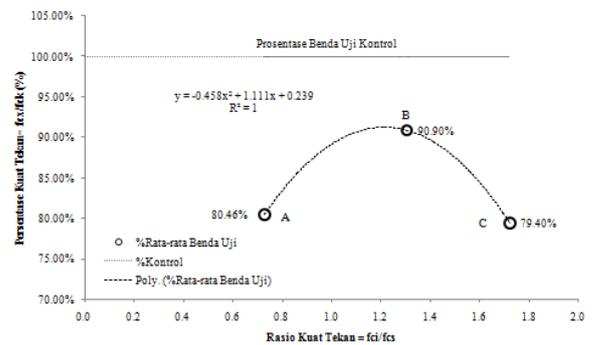
Gambar 7. Grafik Hubungan  $\% \sigma$  dan  $R_{fc}$  Benda Uji M3

Berdasarkan Gambar 5, 6, dan 7 dapat kita lihat bahwa pola perilaku dari rasio kuat tekan dari kecil ke besar, yaitu naik kemudian turun. Nilai maksimal terletak pada rasio kuat tekan 1,3. Tabel 2 akan menyajikan nilai persentase kuat tekan dari semua benda uji.

Tabel 2. Hasil  $\% \sigma$  Benda Uji

Kode	D (mm)	$\% \sigma$		
		A(0.7)	B(1.3)	C(1.7)
M1	60	80,93%	90,39%	79,58%
M2	100	80,66%	89,06%	79,42%
M3	150	79,78%	93,25%	79,20%
Rata-rata		80.46%	90,90%	79,40%

Pada Tabel 2 diperoleh juga nilai rata-rata  $\% \sigma$  untuk masing-masing  $R_{fc}$ . Berikut Gambar 8 merupakan grafik yang memperlihatkan hubungan pengaruh keduanya.



Gambar 8. Grafik Hubungan Rata-rata  $\% \sigma$  dan  $R_{fc}$  Semua Benda Uji

## PEMBAHASAN

Pada saat benda uji dilakukan uji tekan respon masing-masing dari tipe benda uji yang terjadi adalah berbeda-beda. Berdasarkan Gambar 4 bagaimana pengaruhnya dengan adanya perubahan dimensi. Material mortar yang dibuat dengan 3 ukuran benda uji akan mengalami

proses pemadatan yang berbeda karena ada perbedaan ukuran dimensi.

Semua material yang terbuat dari semen pasta seperti mortar akan mengalami proses susut. Proses susut disebabkan karena adanya reaksi hidrasi antara semen dan air. Semakin besar ukuran dari benda uji, volume semen yang ada akan semakin besar. Sehingga akan menambah besar efek proses hidrasinya. Pada saat bekisting dilepas, benda uji akan mengalami proses pengeringan, dimana bagian permukaan benda uji akan mengalami proses pengeringan yang lebih cepat. Sedangkan pada bagian dalam masih basah. Ketika bagian dalam mengalami proses hidrasi, proses susutnya akan terhambat. Hal ini terjadi karena bagian permukaan sudah mengalami pengeringan terlebih dahulu sehingga akan mengalami tekan, dan bagian dalam mengalami tarik. Sehingga akan menyebabkan terjadinya *microcrack*. Hal ini menjadi salah satu penjelasan dari Gambar 4, yang memperlihatkan nilai kuat tekan berkurang dengan bertambah besarnya dimensi benda uji.

Selain itu, proses susut bisa juga terjadi karena faktor adhesi antara material kayu bekisting dan material mortar. Sedangkan untuk faktor friksi antara kedua material tersebut telah dikurangi dengan melapisi kayu bekisting dengan lapisan halus berupa plastik film. Namun efek friksi tidak sepenuhnya hilang. Menurut Bazant (1999) hal ini akan menimbulkan adanya Fracture Process Zone (FPZ), retak mikro yang terjadi sebelum benda uji dikenakan beban.

Dilihat pada Gambar 4, semakin besar dimensi benda uji akan mengakibatkan nilai kuat tekan yang semakin menurun dengan material pembentuk yang sama. FPZ yang terjadi sebelum benda uji diberikan pembebanan dapat terjadi pada satu tempat pada benda uji atau pada banyak tempat dari benda uji. Semakin besar ukuran benda uji akan memberikan dampak bertambahnya FPZ pada benda uji. Pada teori Weibull menyatakan bahwa besarnya nilai beban maksimum dipengaruhi dari banyaknya FPZ pada titik tertentu dibanding dengan volume total benda uji (Lei et al., 1998).

Pada masing-masing benda uji pada Gambar 5, 6, dan 7 menampilkan perilaku

yang sama.  $\% \sigma$  tertinggi terletak pada rasio kuat tekan 1,3. Rasio kuat tekan 1,3 ini diasumsikan sebagai benda uji dengan kuat tekan inklusi yang hampir sama dengan kuat tekan spesimen mortar atau yang memiliki nilai  $R_{fc}=1$ .

Melalui Gambar 8 akan didapat sebuah persamaan (1) yang akan menentukan nilai maksimal dari  $\% \sigma$  dengan menurunkan persamaan ke arah sumbu x (nilai  $R_{fc}$ ).

$$y = -0,458x^2 + 1,111x + 0,239 \quad (1)$$

Dengan menggunakan persamaan (1), yang kemudian kita turunkan persamaan ke-x atau  $dy/dx = 0$  akan memperoleh nilai  $x=1,212$ . Dengan menggunakan nilai x ke persamaan (1) akan mendapatkan nilai  $y=0,9128$  atau 91,28%. Dengan menggunakan cara tersebut dapat diperoleh nilai  $\% \sigma$  maksimal dan nilai  $R_{fc}$  optimum yaitu berturut-turut 91,28% dan 1,212. Penurunan nilai  $\% \sigma$  minimal adalah sebesar 8,72% pada nilai  $R_{fc}$  1,212.

Dengan memasukkan nilai  $R_{fc} = 1$  atau dengan kata lain nilai  $f_c$  inklusi dan  $f_c$  spesimen mortar adalah sama, dari grafik tersebut didapat nilai  $\% \sigma$  adalah sebesar 89,2%. Diperoleh nilai penurunan sebesar 10,2% yang merupakan faktor dari adanya pengaruh ITZ, walaupun kita membuat  $R_{fc}=1$ . ITZ adalah bagian dari material pasta semen yang terletak di antara agregat dan mortar pada beton. ITZ juga terbentuk pada inklusi dan mortar yang menyebabkan peningkatan celah di antara inklusi dan spesimen mortarnya. Celah ini adalah bagian yang cukup berperan untuk menurunkan kuat tekan dari beton tersebut. Adanya inklusi dari benda uji walaupun memiliki nilai kuat tekan yang sama dengan spesimen mortarnya akan tetap terjadi penurunan kuat tekan.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh dari perbedaan dimensi pada mortar tanpa inklusi sangat berpengaruh terhadap hasil kuat tekan pada benda uji. Bahwa semakin besar volume benda uji akan mengakibatkan penurunan kuat tekan. Hal ini terjadi karena diduga terjadinya Fracture Process Zone (FPZ) atau retak

mikro awal sebelum dilakukan pembebanan. Semakin kecil ukuran dimensinya akan memperkecil pula pengaruhnya dari adanya perubahan dimensi atau *size effect*.

2. Nilai persentase kuat tekan benda uji mortar inklusi akan menghasilkan nilai persentase dibawah 100%, hal ini disebabkan oleh ketidaksempurnaan pada lekatan antara inklusi dan spesimen mortar atau karena adanya daerah ITZ.

3. Nilai persentase penurunan kuat tekan karena pengaruh ITZ di benda uji mortar inklusi tunggal dengan  $R_{fc}=1$  atau yang memiliki nilai kuat tekan inklusi yang sama dengan spesimen mortar adalah sebesar 10,2%.

4. Persentase kuat tekan maksimal yang dapat dicapai benda uji mortar inklusi tunggal adalah sebesar 91,28% atau menurun 8,72% dari hasil kuat tekan benda uji mortar tanpa inklusi. Persentase ini terjadi pada nilai optimal  $R_{fc}=1,212$ .

Lei, Y., O'Dowd, N.P., Busso, E.P., Webster, G.A. 1998. Weibull stress solution for 2-D cracks in elastic and elastic-plastic materials. *Int. J. Fracture* 89, p.245-268.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bazant, Z.P. 1999. Size Effect on Structural Strength. *Archive of Applied Mechanics* 69 Springer-Verlag, p.703-725.
- Carpinteri, A., Ferro, G., dan Ventura, G. 2004. *Scale-Independent Constitutive Law For Concrete in Compression*.
- Counto, V.J. 1964. The effect of the elastic modulus of the aggregate on the elastic modulus, creep, and creep recovery of concrete. *Magazine of Concrete Research* 16, 48, p.129-138.
- Han, A.L., Nurhuda, I., dan Setiawan, Y. 2014. The Effect of Aggregate Shape and Configuration to the Concrete Behavior. *Smart Science* 2, 2, p.85-90, <http://dx.doi.org/10.6493/SmartSci.2014.221>
- Han, A.L., Gan, B.S., Suryanto, B. dan Priastiwi, Y.A. 2016. Influence of Inclusion Stiffness Modulus on Compressive Strenght of Concrete. *The 3<sup>rd</sup> SCESCM Conference, Bali-Indonesia*.
- Hirsch, T.J. 1962. Modulus of Elasticity of Concrete Affected by Elastic Moduli of Cement Paste Matrix and Aggregate. *Journal of the American Concrete Institute* 59, 3, p.427-452.