

## Pengaruh Penggunaan Gradasi Agregat Berbasis SNI 03-2834-2000 dalam Campuran Beton terhadap Kuat Tekan dan *Fracture Toughness* Beton

Atur Parhorasan Nusantara Siregar<sup>(\*)</sup>

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Tadulako  
Jl. Soekarno Hatta Km. 9, Palu, Sulawesi Tengah, Indonesia (94118), Email: atur\_pns@yahoo.com

Nurul Idha

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Tadulako  
Jl. Soekarno Hatta Km. 9, Palu, Sulawesi Tengah, Indonesia (94118), Email: nurulidha5@gmail.com

I Wayan Suarnita

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Tadulako  
Jl. Soekarno Hatta Km. 9, Palu, Sulawesi Tengah, Indonesia (94118), Email: iwayansuarnita@yahoo.com

### Abstract

*Indonesian National Standard 03-2834-2000 (SNI 03-2834-2000) proposed four types of combined aggregate grading of coarse and fine aggregates in designing normal concrete strength. Investigation of four combined aggregate grading types was performed to determine its effect on the compressive strength and fracture toughness of the concrete. Basic material constituents of concrete were used from Palu river and fulfilling SNI criteria in manufacturing samples. Cubes of 150x150x150 mm were used to determine concrete compressive strength value ( $f_c'$ ), and four types of beams with dimension of width, height, and length: 50 x 100 x 300 mm, 50 x 150 x 450 mm, 50 x 300 x 900 mm, dan 50 x 400 x 1200 mm for Three-Point Bend (TPB) test method to determine fracture toughness of the concrete ( $K_{IC}$ ). Current research results were found that combined aggregate grading types influenced insignificantly on the  $f_c'$  value, but significantly on the  $K_{IC}$  value.*

**Keywords:** Aggregate grading, concrete, compressive strength, fracture toughness

### Abstrak

*Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 03-2834-2000 (SNI 03-2834-2000) memberikan empat jenis slope gradasi gabungan agregat kasar dan halus dalam pembuatan beton normal. Investigasi empat jenis slope gradasi agregat gabungan ini akan dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kuat tekan dan fracture toughness dari beton. Material dasar penyusun beton yang berasal dari Sungai Palu dan memenuhi kriteria standar SNI yang dipakai dalam membuat benda uji. Uji kuat tekan beton digunakan kubus berdimensi 150x150x150 mm dalam menentukan nilai kuat tekan beton ( $f_c'$ ), dan empat jenis balok berdimensi tebal, tinggi dan panjang: 50 x 100 x 300 mm, 50 x 150 x 450 mm, 50 x 300 x 900 mm, dan 50 x 400 x 1200 mm untuk uji Three-Point Bend (TPB) dalam menentukan fracture toughness beton ( $K_{IC}$ ). Hasil investigasi ini menunjukkan bahwa gradasi agregat gabungan yang dipakai dalam campuran beton akan berpengaruh tidak signifikan pada nilai  $f_c'$ , akan tetapi berpengaruh signifikan pada nilai  $K_{IC}$ .*

**Kata kunci:** Gradasi agregat, beton, kuat tekan, keteguhan runtuh

## 1. Pendahuluan

Dalam industri konstruksi bangunan sipil, material beton sangat banyak digunakan oleh masyarakat dan pelaku industri konstruksi karena ketersediaan material penyusun beton yang sangat mudah. Disamping biaya yang diperlukan dalam membuat bangunan berbasis material beton menjadi murah, material beton memiliki sifat-sifat umum yang baik yaitu mudah dikerjakan, tahan lama, kedap air, dan memiliki kuat tekan yang baik.

Beton merupakan material komposit yang tersusun dari beberapa material dasar penyusunnya: agregat kasar,

agregat halus, semen dan air. Oleh karena itu karakteristik beton akan sangat dipengaruhi oleh keempat material dasar penyusun beton tersebut. Agregat sebagai material dasar penyusun beton yang paling dominan yaitu lebih dari 70% dari volume total beton (Chen dan Liu, 2004; Siregar dkk, 2017). Dengan demikian karakteristik fisik dan mekanik dari agregat juga akan mempengaruhi karakteristik fisik dan mekanik beton secara dominan. Penelitian telah banyak dilakukan dalam menunjukkan akan pengaruh jenis/tipe (Abdullahi, 2012; Vilane and Sabelo, 2016), ukuran dan jumlah (Kozul dan Darwin, 1997; Vilane dan Sabelo, 2016; Musa dan Saim, 2017) dari aggregate terhadap karakteristik mekanik kuat tekan

\*Penulis Korespondensi

beton. Demikian juga investigasi dari pengaruh karakteristik fisik agregat terhadap *fracture toughness* beton telah dilakukan terhadap jenis/tipe agregat (Wu dkk, 2001), ukuran dan jumlah (Wolinski, 1987; Mihashi dkk, 1991; Kozul dan Darwin, 1997; Elices dan Rocco 2008; Marques dkk, 2010) dan jumlah agregat (Tasdemir dan Karihaloo, 2001).

SNI-03-2834-2000 tentang *tata cara pembuatan rencana campuran beton normal* merekomendasikan bahwa slope gradasi agregat kasar yang dapat digunakan dalam campuran terdapat 3 jenis yang didasarkan pada ukuran butiran maksimumnya, yaitu berdiameter 10, 20 dan 40 mm, sedangkan slope gradasi agregat halus terdapat 4 jenis yang didasarkan pada kekasarannya (setara dengan ukuran butiran maksimum pasirnya), dan slope gradasi gabungan dari agregat kasar dan halus terdapat 3 jenis didasarkan atas ukuran butiran maksimumnya yang masing-masing jenis ukuran butiran maksimum terbagi secara lebih detail dalam 4 kriteria slope. Dilain pihak hasil penelitian dari Arakai dan Fukui (1957) menyimpulkan bahwa penggunaan gradasi agregat yang tepat untuk beton akan menghasilkan beton yang ekonomis dengan kekuatan dan kemampuan kerja yang optimal, serta penggunaan slope gradasi yang tepat akan menghasilkan bulk density dan kuat tekan beton yang optimal.

Pada sebuah campuran dengan volume semen dan agregat yang sama, maka campuran dengan menggunakan agregat berdiameter kecil akan menghasilkan karakteristik mekanik kuat tekan beton yang lebih kecil jika dibandingkan dengan yang menggunakan agregat berdiameter lebih besar (Ginting, 2014). Hasil senada pada investigasi dari Hermanto dan Prabowo (2010) yang menyimpulkan bahwa semakin besar dimensi agregat kasar yang digunakan dalam pembuatan campuran beton akan menghasilkan nilai kuat tekan beton yang semakin besar saat beton mengeras. Pada campuran yang menggunakan agregat berdiameter kecil akan memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan yang berdiameter besar sehingga akan membutuhkan pasta semen yang lebih banyak guna membungkus semua partikel agregat sehingga dapat terikat dengan baik antar partikel didalam beton. Dengan demikian partikel agregat yang berdiameter lebih kecil akan cenderung memiliki nilai kuat tekan yang lebih kecil. Dengan menggunakan terminologi kekasaran internal beton ( $\lambda$ ), hasil investigasi Siregar (2016) menyimpulkan hal yang sama bahwa beton dengan menggunakan agregat yang menghasilkan nilai kekasaran internal beton yang besar (nilai  $\lambda$  kecil) menghasilkan nilai kuat tekan yang lebih besar juga nilai *fracture toughness* ( $K_{IC}$ ) beton tersebut.

Dengan demikian pengaruh gradasi aggregate gabungan (kasar dan halus) akan memegang peranan penting dalam menentukan karakteristik mekanik dari beton: kuat tekan dan *fracture toughness*. Data dan informasi tentang pengaruh dari gradasi agregat gabungan terhadap kuat tekan dan *fracture toughness* dari beton masih sangat minim sehingga perlu untuk dilakukan investigasi lebih mendalam tentang hal ini.

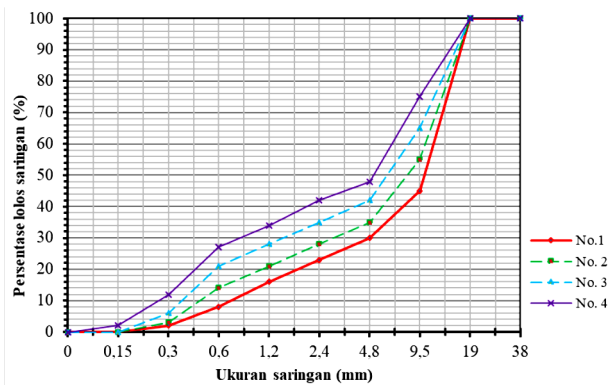
Dengan menggunakan gradasi agregat gabungan berbasis pada gradasi agregat gabungan SNI 03-2834-2000, maka pengaruh dari penggunaan agregat terhadap kuat tekan dan *fracture toughness* dari beton akan terlihat pengaruhnya. Disamping itu, dapat melihat pengaruh penggunaan agregat gabungan berbasis SNI 03-2834-2000 dalam campuran beton terhadap karakteristik kuat tekan dan *fracture toughness* dari beton kerasnya.

## 2. Methodology Penelitian

### 2.1 Bahan dan peralatan

Agregat halus yang digunakan adalah pasir dari Sungai Palu dengan nilai kadar lumpur 0,6%. Agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah produksi *Stone Crusher* Gunung Loli dengan diameter butir maksimum 20 mm dengan kandungan lumpur 0,2%. Kadar lumpur kedua agregat jauh dibawah ambang batas yang disyaratkan (SNI 03-4142-1996). Kandungan bahan organik yang terkandung dalam pasir menunjukkan warna setara dengan no.1, jauh di bawah ambang batas yang disyaratkan (SNI 03-2816-1992). Gradasi gabungan agregat kasar dan agregat halus yang dipakai dalam campuran beton dibentuk sesuai dengan grafik gradasi gabungan No.1, 2, 3, dan 4 (SNI 03-2834-2000), **Gambar 1**.

Pengujian bahan dasar material penyusun beton, kuat tekan dan *fracture toughness* dari beton dilakukan pada Laboratorium Bahan dan Beton, Universitas Tadulako.



**Gambar 1. Empat kriteria slope gradasi gabungan untuk ukuran maksimum 20 mm berdasarkan SNI 03-2834-2002**

### 2.2 Kuat tekan beton

Benda uji yang digunakan untuk menguji kuat tekan beton setiap campuran adalah kubus ukuran 150x150x150 mm sebanyak 3 buah. Prosedur pengujian kuat tekan dilaksanakan berdasarkan SNI 03-1974-1990. Mesin uji tekan yang digunakan adalah seperti **Gambar 2**. Kuat tekan beton ( $f_c'$ ) diperoleh sebagai berikut:

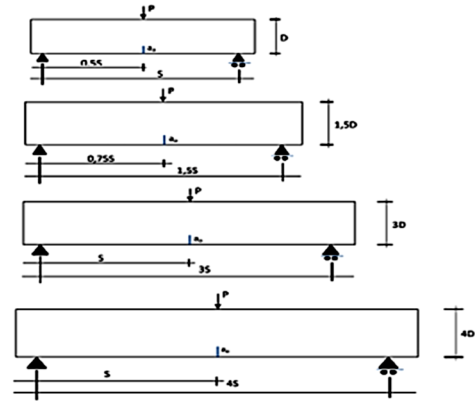
$$f_c' = \frac{P_{maks}}{A_c} \quad (1)$$

dengan:  $f_c'$  = kuat tekan beton (MPa),  $P_{maks}$  = beban

maksimum (N), dan  $A_c$  = luas penampang benda uji (mm<sup>2</sup>)

### 2.3 Fracture toughness

Pengujian Three-Point Bend (TPB) yang merujuk pada RILEM TC 89-FMT digunakan dalam mendapatkan nilai *fracture toughness* ( $K_{IC}$ ) dari beton. Empat macam dimensi benda uji yang dipakai pada pengujian ini adalah balok berdimensi tebal, tinggi dan panjang: 50 x 100 x 300 mm, 50 x 150 x 450 mm, 50 x 300 x 900 mm, dan 50 x 400 x 1200 mm. Setiap balok beton dibuat retakan awal buatan ( $a_o$ ) setebal 2 mm (Siregar dkk, 2017) dan setinggi ¼ tinggi benda uji. Benda uji balok beton dilakukan perlakuan pemeliharaan dengan perendaman air selama 28 hari sebelum dilakukan pengujian. Posisi benda uji dan perletakan dalam uji ini tergambar seperti **Gambar 3**. Pengujian dilakukan menggunakan Universal Testing Machine (UTM) nomor seri: Mod. C091-08, **Gambar 4**.



Gambar 3. Uji TPB pada 4 tipe benda uji



Gambar 2. Alat uji kuat tekan beton



Gambar 4. UTM untuk uji TPB pada 4 tipe benda uji

*Fracture toughness* dari beton merupakan salah satu parameter runtuh awal dari beton yang dapat diukur dengan nilai  $K_{IC}$  (Shah dkk., 1995) dan dihitung dengan menggunakan formula berikut ini:

$$K_{IC} = 3(P_c + 0.5W) \frac{s(\pi a_o)^{0.8} g(\frac{a_o}{D})}{2D^2t} \quad (2)$$

dengan:  $a_o$  = tinggi patahan (mm),  $D$  = tinggi benda uji (mm),  $S$  = bentang bersih benda uji (mm),  $T$  = lebar benda uji (mm),  $P_c$  = pembebanan maksimum (N),  $W$  = berat benda uji (N), dan  $K_{IC}$  = critical stress intensity factor (Mpa.mm<sup>1/2</sup>).

### 2.4 Campuran beton

Proporsi campuran beton yang digunakan untuk membuat benda uji kubus dan semua tipe balok beton seperti yang terlihat dalam **Tabel 1**.

### 2.5 Tahapan uji laboratorium

Alur pelaksanaan uji laboratrium terhadap sampel beton uji dapat dilihat pada **Gambar 5**.

Tabel 1. Desain campuran beton

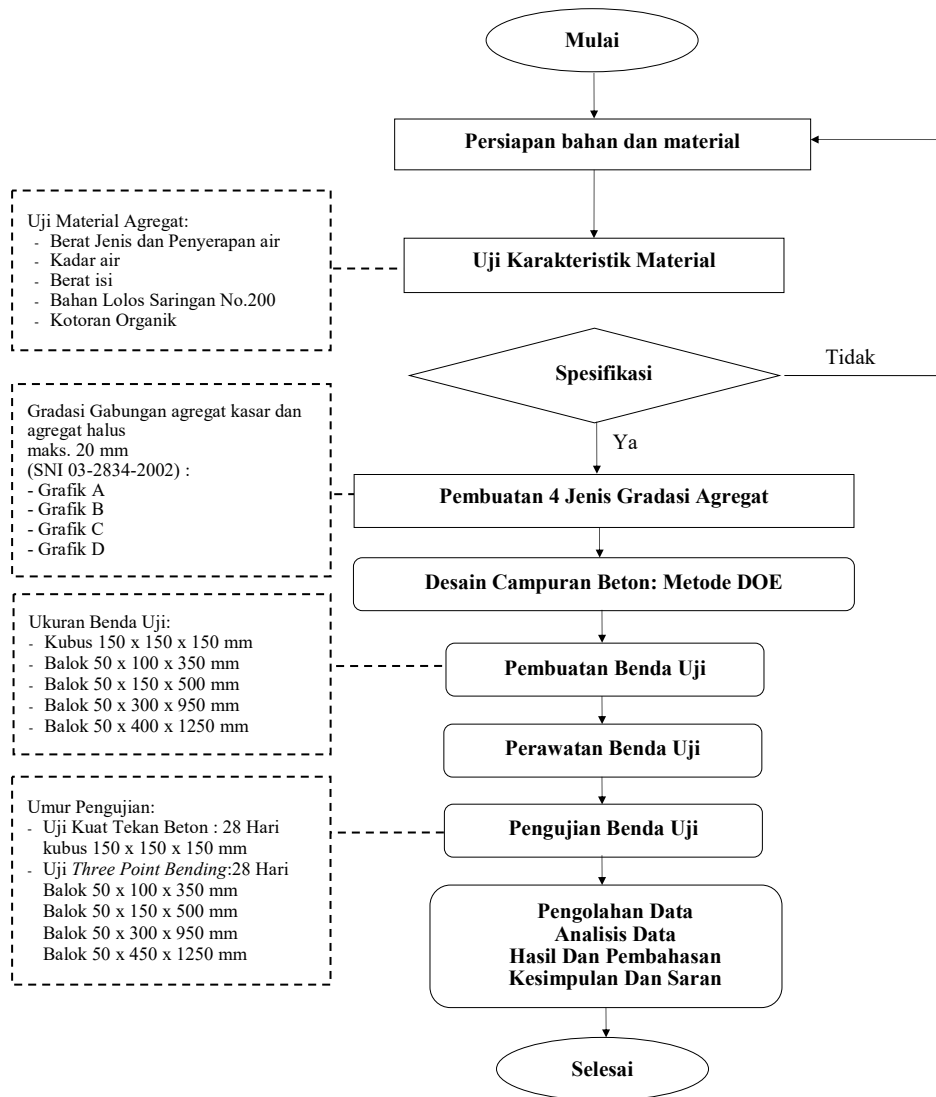
MIX	w/c*	Unit Berat (kg/m <sup>3</sup> )				Super plasticizer (ml)
		Total Agregat	Tipe Gradasi <sup>†</sup>	Semen	Air	
1	0,4	1606	No.1	679	272	30
2	0,4	1606	No.2	679	272	30
3	0,4	1606	No.3	679	272	30
4	0,4	1606	No.4	679	272	30

\*w/c = ratio air per semen

†Slope gradasi agregat gabungan terlihat seperti pada Gambar 1

## 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian kuat tekan beton dan  $K_{IC}$  dengan metode TPB dari benda uji yang terbuat dari empat jenis gradasi agregat gabungan merujuk pada SNI 03-2834-2002 dengan faktor air semen yang sama (0,40) ditabulasikan pada **Tabel 2**. Dari hasil pengujian ini, **Tabel 2**, terlihat bahwa pengujian kuat tekan beton memiliki tingkat deviasi (kurang dari 3,5 MPa) yang lebih kecil dibandingkan dengan hasil pengujian  $K_{IC}$  (kurang dari 28.9 MPa.mm<sup>1/2</sup>) untuk semua jenis benda uji. Dengan demikian ketidakpastian hasil uji nilai kuat tekan beton akan lebih kecil dibandingkan nilai  $K_{IC}$  dari suatu benda uji.



Gambar 5. Proses pengujian laboratorium

$K_{IC}$  merupakan salah satu fracture parameter yang umum dipakai untuk beton (Hillerborg dkk, 1976; Ince dan Alyamac, 2008, Kumar dan Barai, 2011, Siregar dkk, 2016) dalam menilai tingkat keteguhan runtuh suatu material (critical fracture toughness) walaupun tingkat deviasi nilai  $K_{IC}$  beton relatif cukup besar. Dengan parameter ini maka dapat dilihat pengaruh dari penggunaan gradasi agregat dalam campuran beton terhadap kualitas keteguhan runtuh dari beton tersebut.

Kelebihan pasta semen akan mengisi rongga diantara partikel-partikel dalam beton sebagai material pengisi sekaligus elemen perekat. Karakteristik fisik semen adalah sangat halus sehingga kelebihan pasta semen yang mengisi rongga diantara partikel-partikel beton merupakan material pengisi yang padat dengan sedikit rongga udara. Pasta semen lebih ini merupakan material pengisi dengan kekuatan yang sangat baik karena pasta semen merupakan penentu utama kualitas dari suatu beton sebagaimana postulat Abram: “for a given cement, method of test and age, the compressive strength of fully compacted concrete depend only on the free water/cement ratio” (Neville dan Brooks,

1990). Dengan demikian pada suatu campuran beton dengan jumlah semen yang tertentu, maka makin tinggi tingkat kekasaran gradasi agregat gabungan yang dipakai dalam campuran beton akan memiliki kecenderungan untuk menghasilkan matriks ikatan pasta semen yang lebih baik/kuat jika dibandingkan dengan campuran beton yang menggunakan gradasi agregat campuran dengan tingkat kekasaran yang rendah.

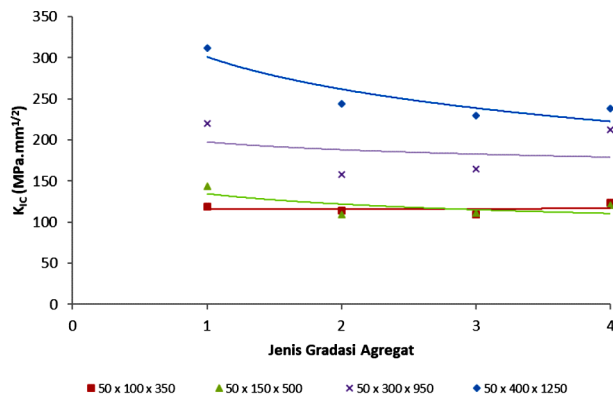
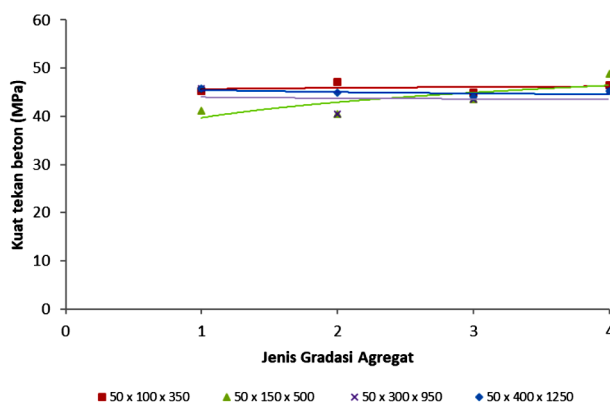
Tingkat kekasaran partikel-partikel dalam beton yang telah mengeras akan tergantung pada agregat yang dipakai dalam campuran beton (Amparano dan Roh, 2000; Siregar dkk, 2016). Dihitung dengan menggunakan formula yang disarankan oleh Amparano dan Roh (2000) sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{1}{D_{ave}(1-V_a)} \quad (3)$$

dengan  $D_{ave}$  adalah diameter rata-rata dari partikel agregat dan  $V_a$  adalah volume fraksi dari agregat kasar (diatas 4 mm). Dengan demikian maka tingkat

Tabel 2. Hasil pengujian kuat tekan dan fracture toughness beton

Mix	Ukuran benda uji (mm)	Kuat tekan rata-rata (MPa)	Standar deviasi (MPa)	$K_{IC}$ rata-rata (MPa.mm <sup>1/2</sup> )	Standar deviasi (MPa.mm <sup>1/2</sup> )
1	50 x 100 x 300	44	3,02	119,0	14,9
	50 x 150 x 450	44	3,02	143,5	28,9
	50 x 300 x 900	44	3,02	220,3	16,6
	50 x 400 x 1200	44	3,02	311,9	23,5
2	50 x 100 x 300	44	3,05	114,0	8,6
	50 x 150 x 450	44	3,05	108,8	10,6
	50 x 300 x 900	44	3,05	157,9	6,1
	50 x 400 x 1200	44	3,05	244,3	26,6
3	50 x 100 x 300	44	1,23	109,1	8,6
	50 x 150 x 450	44	1,23	111,1	10,0
	50 x 300 x 900	44	1,23	164,5	16,6
	50 x 400 x 1200	44	1,23	229,3	6,5
4	50 x 100 x 300	47	2,23	123,9	8,6
	50 x 150 x 450	47	2,23	120,4	16,0
	50 x 300 x 900	47	2,23	212,3	16,6
	50 x 400 x 1200	47	2,23	238,7	18,1

Gambar 6. Pengaruh gradasi agregat terhadap terhadap  $K_{IC}$ Gambar 7. Pengaruh gradasi agregat terhadap  $f_c'$ 

kekasaran partikel-partikel dalam beton ( $\lambda$ ) tergantung pada diameter rata-rata dari partikel agregat dan volume fraksi dari agregat kasar. Makin kecil nilai  $\lambda$  menunjukkan tingkat kekasaran partikel-partikel dalam beton makin tinggi yang mengartikan gradasi agregat yang dipakai pada campuran beton adalah tingkat kekasaran agregat gabungan yang tinggi. Demikian sebaliknya makin besar

nilai  $\lambda$  menunjukkan gradasi agregat yang dipakai pada campuran beton dengan tingkat kekasaran agregat gabungan yang rendah. Tingkat kekasaran ( $\lambda$ ) keempat gradasi yang dipakai sesuai dengan standard SNI 03-2834-2002 adalah gradasi No-1 ( $\lambda = 0,224$ ), No. -2 ( $\lambda = 0,229$ ), No. -3 ( $\lambda = 0,234$ ) dan No.-4 ( $\lambda = 0,239$ ).

**Gambar 6** dan **7** memperlihatkan pengaruh penggunaan gradasi agregat gabungan terhadap kuat tekan beton dan *fracture toughness* dengan faktor air semen 0,40 dan rasio agregat per semen sebesar 2,37. **Gambar 6** menunjukkan bahwa pada ketiga benda uji dengan dimensi 50 x 150 x 450 mm, 50 x 300 x 900 mm, dan 50 x 400 x 1200 memiliki kecenderungan yang sama bahwa semakin tinggi tingkat kekasaran gradasi agregat akan menghasilkan nilai  $K_{IC}$  yang semakin tinggi, kecuali pada dimensi 50 x 100 x 300 mm yang menunjukkan bahwa gradasi agregat tidak memiliki pengaruh terhadap nilai  $K_{IC}$ . Dilain pihak, pada **Gambar 7** memperlihatkan bahwa penggunaan gradasi agregat gabungan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kuat tekan yang dihasilkan, yaitu sekitar 44 – 47 MPa.

Penggunaan gradasi agregat yang berbeda dalam campuran beton akan berimplikasi dalam luasan permukaan partikel agregat yang perlu diselubungi oleh pasta semen; semakin rendah tingkat kekasaran gradasi agregat yang dipakai akan menghasilkan matriks pasta semen yang semakin tinggi kekuatannya. Dampak penggunaan gradasi agregat yang berbeda tersebut sangat jelas terlihat pada nilai *fracture toughness* beton dari pada kuat tekan beton. Dengan demikian faktor keruntuhan material beton akan terpengaruh secara signifikan pada penggunaan gradasi agregat gabungan, sedangkan terhadap kuat tekan beton berpengaruh secara tidak signifikan.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini maka beberapa poin yang dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Penggunaan gradasi agregat gabungan sangat berpengaruh terhadap nilai  $K_{IC}$  dari beton dan tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai  $f_c'$ .
- Semakin tinggi tingkat kekasaran gradasi agregat (nilai  $\lambda$  rendah) yang dipakai dalam campuran beton akan menghasilkan nilai  $K_{IC}$  beton yang tinggi dan demikian sebaliknya semakin rendah tingkat kekasaran gradasi agregat (nilai  $\lambda$  tinggi) yang dipakai dalam campuran beton akan menghasilkan nilai  $K_{IC}$  beton yang rendah.
- Penggunaan gradasi agregat gabungan sangat berpengaruh terhadap kualitas keteguhan runtuh beton yang dihasilkan dibandingkan terhadap kualitas kuat tekannya.

#### 5. Daftar Pustaka

Abdullahi. M., 2012, Effect of Aggregate Type on Compressive Strength of Concrete, *International Journal of Civil and Structural Engineering*, Vol. 2, No 3, pp. 791-800.

- Ahmad, S dan Alghamdi, S. A., 2012, A Study on Effect of Coarse Aggregate Type on Concrete Performance, *Arabian Journal for Science and Engineering*, Vol. 37, Issue 7, pp. 1777–1786.
- Amparano, F. E., Xi, Y. dan Roh, Y. S., 2000, Experimental study on the effect of aggregate content on fracture behaviour of concrete. *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 67, pp. 65-84.
- Araki, K-I. dan Fukui, E., 1957, Effects of the Grading of Aggregates on the Bulk Density, Strength and Workability of Concrete, *Journal of the Japan society for Testing Materials*, Vol. 6, Issue 47, pp. 521-526.
- Chen, B. dan Liu, J., 2004, Effect of Aggregate on the Fracture Behaviour of High Strength Concrete, *Construction and Building Materials*, Vol. 18, pp. 585-590.
- Elices, M. dan Rocco, C. G., 2008, Effect of Aggregate Size on the Fracture and Mechanical Properties of a Simple Concrete, *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 75, No. 13, pp. 3839-3851.
- Ginting, A., 2014, Pengaruh Perbandingan Agregat Halus dan Agregat Kasar terhadap Workability dan Kuat Tekan Beton, *jurnalteknik.janabadra.ac.id*, pp. 1-7.
- Hermanto, O. S. dan Prabowo, S. L., 2010, Pengaruh Gradasi Agregat Gabungan pada Perilaku Beton, *Skripsi Jurusan Teknik Sipil*, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Hillerborg, A., Mod er, M. dan Petersson, P. E., 1976, Analysis of Crack Formation and Crack Growth in Concrete by means of Fracture Mechanics and Finite Elements, *Cement and Concrete Research*, Vol. 6, Issue 6, pp. 773-781.
- Ince, R. dan Alyamac, K. E., 2008, Determination of Fracture Parameters of Concrete based on Water-Cement Ratio, *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, Vol. 15, pp. 14-22.
- Kozul, R. dan Darwin, D., 1997, Effects of Aggregate Type, size, and Content on Concrete Strength and Fracture Energy, *SM Report No. 43*, University of Kansas Center for Research, Inc., Lawrence, Kansas USA.
- Kumar S. dan Barai S.V., 2011, Comparison of Fracture Parameters of Concrete Using Nonlinear Fracture Models In: *Concrete Fracture Models and Applications*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 235-247.
- Marques, A. S. A., Pedro M., Rosa, L. G., dan Fernandes, J. C., 2010, Study of Aggregate Size Effect on Fracture Toughness of Petreous Macrocomposites (Concrete), *Materials Science Forum*, Vol. 636-637, pp. 1342-1348.
- Mihashi, H., Nomura, N. dan Niiseki, S., 1991, Influence of Aggregate Size on Fracture Process Zone of Concrete Detected with Three Dimensional Accoustic Emission Technique. *Cement and Concrete Research*, Vol. 21, pp. 737-744.
- Musa, M. F. dan Saim, A. A., 2017, The Effect of Aggregate Size on The Strength of Concrete, *The colloquium*, Vol. 10, pp. 9-11.
- Neville, A. M. dan Brooks, J. J., 1990, *Concrete Technology*, Addison Wesley Longman Limited, Updated Revision, UK.
- Newman, J. dan Choo, B. S., 2003, *Advance Concrete Technology*, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK.
- Musa, M. F. dan Aziz bin Saim, A., 2017, The Effect of Aggregate Size on the Strength of Concrete, *The Colloquium*, Vol. 10, pp.9-11.
- RILEM TC89-FMT, 1990, Fracture mechanic of concrete test method, *Material and Structures*, Vol. 23, pp. 247-52.
- Shah S. P., Swartz S. E, dan Ouyang, C., 1995, *Fracture mechanic of concrete*, John Willey and sons Inc., Canada, USA.
- Siregar, A. P. N., Rafiq, M. I., dan Mulheron, M., 2016, Experimental Investigation on the Effect of Specimen Size in Determining Fracture Parameters of Concrete, *Civil Engineering Dimension*, Vol. 18, No.2, pp. 65–71.
- Siregar, A.P.N., Rafiq, M.I., dan Mulheron, M., 2017, Experimental Investigation of the Effects of Aggregate Size Distribution on the Fracture Behaviour of High Strength Concrete, *Construction and Building Materials*, Vol. 150, pp. 252-259.
- SNI 03-1974-1990. Pemeriksaan Kuat Tekan Beton. Standard Nasional Indonesia, 1990.
- SNI 03-2816-1992, Kotoran Organik dalam Pasir, Standard Nasional Indonesia, 1992.
- SNI 03-2834-1996, Tata Cara Pembuatan Campuran Beton Normal, Standard Nasional Indonesia, 1996.
- SNI 03-4142-1996. Pemeriksaan Bahan Lolos Saringan No. 200. Standard Nasional Indonesia, 1996
- SNI 03-2834-2000, Tata Cara Pembuatan Campuran Beton Normal, Standard Nasional Indonesia, 2002.
- Tasdemir, M .A .dan Karihaloo, L., 2001, Effect of Type and Volume Fraction of Aggregate on the

Fracture Properties of Concrete, *Fracture Mechanics of Concrete Structures*, de Borst et al (eds), Swets & Zeitlinger, Lisse.

Vilane, B. R. T. dan Sabelo, N., 2016, The Effect of Aggregate Size on the Compressive Strength of Concrete, *Journal of Agricultural Science and Engineering*, Vol. 2, No. 6, pp. 66-69.

Wolinski, S., Hordijk, D., Reinhardt, H., dan Cornelissent, H., 1987, Influence of Aggregate Size on Fracture Mechanics Parameters of Concrete. *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, Vol. 9, pp. 95-103.

Wu, K. R., Chen, B., Yao, W., dan Zhang, D., 2001, Effect of Coarse Aggregate Type on Mechanical Properties of High-Performance Concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 31, No. 10, pp. 1421-1425.

