

# PENGARUH UKURAN BUTIRAN AGREGAT TERHADAP KUAT TEKAN DAN MODULUS ELASTISITAS BETON KINERJA TINGGI GRADE 80

Agus Purwati<sup>1)</sup>, Sholihin As'ad<sup>2)</sup>, Sunarmasto<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta

<sup>2),3)</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta

Jalan Ir. Sutami No. 36A Surakarta 57126. Telp: 0271647069

Email: aguspurwati.aqilah@gmail.com.

## Abstract

*The use of reactive materials with finer grains, like mikrosilica (silica fume) and superplasticizer enables to produce a more dense concrete with low water-cement ratio. Extra dense concrete improves the concrete compressive strength. One way to increase the concrete compressive strength with extra dense concrete manufacture is applying micro-sized particle filler. In addition, aggregate gradation plays an important role in determining the quality of the high performance concrete is grade 80. If the aggregates are finer and their grain are vary, the pore volume of concrete will be less. This is due the tiny grains that fill the pores between the larger grains. Less pore in concrete that leads to form more compact concrete. This study aims to acces the compressive strength and modulus of elasticity of high performance concrete by varying the size of the aggregates. The study used an experimental method with a total of 18 samples, there were 3 variations of each sample. Specimens used by cylinder in diameter 7.62 cm and 15.24 cm in height. The compressive strength and modulus of elasticity of concrete were tested at the 28 days of concrete age. Compressive strength of concrete with a larger grain size has a value lower compressive strength than concrete with a small grain size. Concrete made of aggregate size 19 mm has the lowest compressive strength recorded 42.66 MPa and its modulus of elasticity was 16366.887 MPa and concrete made of aggregate size 0.85 mm has the highest compressive strength recorded 84.7 MPa and its modulus of elasticity was 24870.674 MPa. Good aggregate gradation will be able to result in maximum density and minimum porosity. This generates higher compressive strength in concrete.*

**Keywords:** High performance concrete, Compressive strength, Mudulus of elasticity, Grain size aggregate

## Abstrak

Penggunaan material reaktif dengan butiran yang lebih halus seperti mikrosilica (*silica fume*) dan *superplasticizer* yang lebih baik memungkinkan diperolehnya beton yang lebih padat dengan faktor air semen yang rendah. Beton yang lebih padat akan meningkatkan kuat tekan beton. Salah satu cara meningkatkan kuat tekan beton dengan pembuatan beton ekstra padat yang menggunakan gradasi agregat yang baik dengan partikel yang berukuran mikro. Apabila agregat mempunyai ukuran butiran yang lebih halus dan dengan ukuran yang bervariasi, maka volume pori beton menjadi kecil. Hal ini disebabkan butiran yang lebih kecil akan mengisi pori antara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya menjadi sedikit dan beton memiliki kemampuan yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh ukuran butiran agregat terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas beton dengan menggunakan metode eksperimen berupa 6 campuran beton *grade 80* dengan ukuran butiran agregat maksimum yang bervariasi. Tiap variasi ada 3 sampel, sehingga total benda uji 18 buah. Benda uji yang digunakan adalah silinder berukuran diameter 7,62 cm dan tinggi 15,24 cm. Pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas dilakukan pada umur beton 28 hari. Kuat tekan beton dengan ukuran butiran yang lebih besar mempunyai nilai kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan beton dengan ukuran butiran kecil. Beton lolos saringan 19 mm memiliki kuat tekan terkecil sebesar 42,66 MPa dan modulus elastisitas 16366,887 MPa, dan beton lolos saringan 0,85 mm memiliki kuat tekan terbesar sebesar 84,7 MPa dan modulus elastisitas 24870,674 MPa. Gradasi agregat yang baik dan ukuran agregat yang kecil akan mampu menghasilkan kepadatan (*density*) yang maksimum dan porositas yang minimum. Hal ini berkontribusi dalam menghasilkan kuat tekan beton yang lebih tinggi.

**Kata Kunci:** beton kinerja tinggi, kuat tekan, modulus elastisitas, ukuran butiran agregat

## PENDAHULUAN

Kebutuhan material beton dengan kualitas yang lebih baik untuk rancangan bangunan yang semakin tinggi dan bentang yang semakin panjang memerlukan struktur yang ramping dan efisien. Penggunaan material reaktif dengan butiran yang lebih halus seperti mikrosilica (*silica fume*) dan *superplasticizer* yang lebih baik memungkinkan diperolehnya beton yang lebih padat dengan faktor air semen yang rendah sehingga mampu meningkatkan kuat tekan beton.

Pada dasarnya agregat kasar yang bergradasi baik sekalipun dirasakan tidak dapat menunjang diperolehnya kekuatan beton yang lebih besar. Agregat yang lebih kecil dijadikan alternatif penambahan kekuatan beton membentuk beton berkinerja tinggi. Beton dengan kinerja yang tinggi adalah dengan pembuatan beton ekstra padat yang menggunakan pengisi berupa partikel yang berukuran mikro. Gradasi agregat pun memegang peranan penting untuk menentukan mutu beton kinerja tinggi *grade 80* ini. Apabila agregat mempunyai ukuran butiran yang lebih halus dan dengan ukuran yang bervariasi, maka volume pori beton menjadi kecil. Hal ini disebabkan

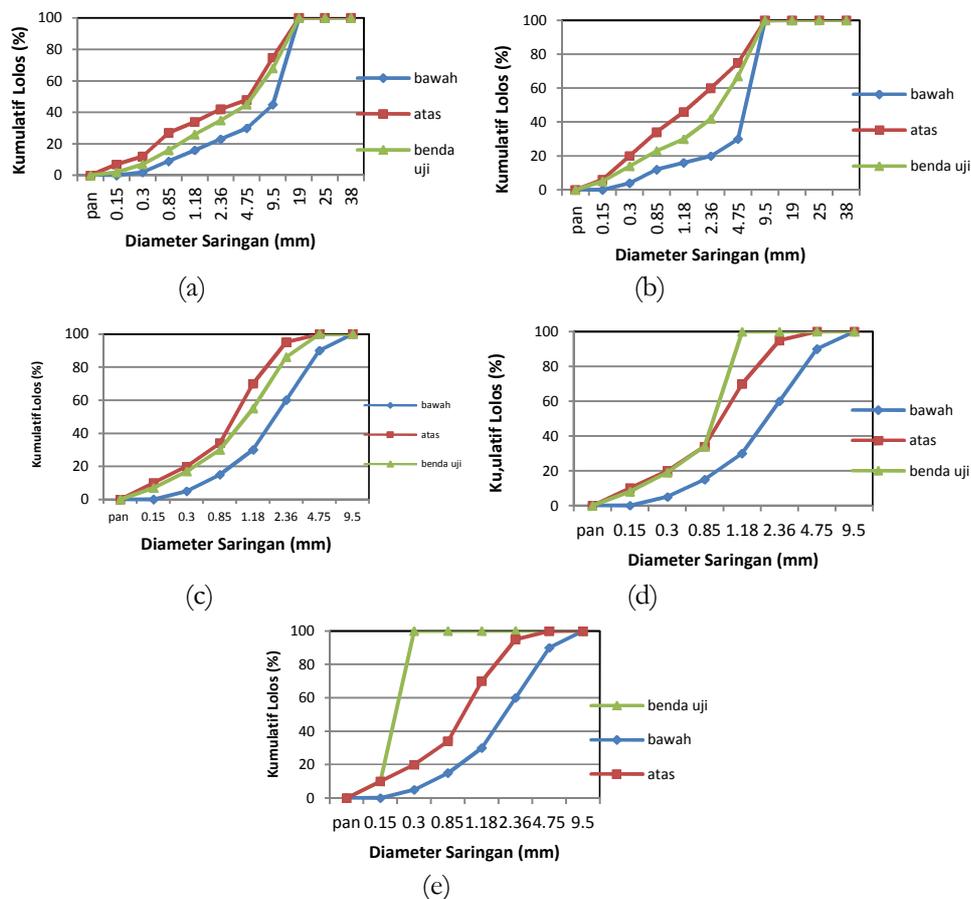
butiran yang lebih kecil akan mengisi pori antara butiran yang lebih besar, sehingga pori-porinya menjadi sedikit dan beton memiliki kemampuan yang tinggi. Selain itu, gradasi agregat juga merupakan faktor yang harus diperhatikan dalam pembuatan campuran beton, karena akan berpengaruh terhadap sifat-sifat workabilitas adukan tersebut. Susunan untuk butiran (gradasi) yang baik akan dapat menghasilkan kepadatan (*density*) maksimum dan porositas (*voids*) minimum.

Teknologi ukuran agregat super kecil (skala nanometer) membuka jalan untuk melakukan optimasi untuk mendapatkan susunan material pada suatu volume tertentu yang ultra padat atau disebut sebagai *packing density*. Kepadatan yang sangat tinggi diperoleh karena ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel diisi butiran debu halus berukuran nanometer seperti mikrosilika ataupun partikel mineral lainnya. Beton kinerja tinggi dibuat dengan susunan struktur beton yang sangat padat, dimana pori-pori yang terbentuk berada dalam ukuran 2 nm, lebih kecil dari ukuran kapiler atau praktis tidak mengandung lagi pori-pori berukuran kapiler. Akibat sedikitnya pori-pori yang ada pada suatu volume tertentu dari beton kinerja tinggi, maka pada campuran beton kinerja tinggi jumlah air dapat dikurangi sampai mencapai kurang lebih 20 % dari berat semen. Untuk menjamin agar campuran beton kinerja tinggi yang sedikit air ini dapat tetap dikerjakan, maka pada campuran beton kinerja tinggi diberi tambahan *superplastisizer*. *Superplastisizer* ini akan secara efektif membuat beton segar, yang walaupun kandungan airnya sedikit, menjadi sangat plastis sehingga dapat dikerjakan pengecorannya ke dalam cetakan.

Ukuran butiran maksimum dan gradasi butiran mempengaruhi perilaku beton keras karena pori dan kepadatan beton yang berbeda. Penelitian ini dimaksudkan untuk melihat pengaruh ukuran butiran maksimum dan gradasi butiran pada beton kinerja tinggi *grade 80*.

## MATERIAL DAN PENGUJIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimental, yang dilakukan di Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret. Enam campuran beton dengan ukuran butiran maksimum dengan distribusi butiran yang berbeda sebagaimana Gambar 1. disajikan.



Gambar 1. (a) Lolos Saringan 19 mm, (b) Lolos Saringan 9,5 mm, (c) Lolos Saringan 4,75 mm, (d) Lolos Saringan 1,18 mm, (e) Lolos Saringan 0,3 mm

Campuran beton mengikuti rancang campur pada Tabel 1. Rancang campur pada tersebut adalah hasil modifikasi rancang campur Hardjasaputra dkk (2011). Setelah dilakukan *trial*, target kuat tekan beton > 80 MPa atau beton *grade* 80.

Tabel 1. *Mix Design* Beton Kinerja Tinggi *Grade* 80

Material	Berat (kg/m <sup>3</sup> )
Semen	729
Agregat	817
<i>Silica</i>	254
<i>Superplasticizer</i>	33
Air	160
(w/c)	0,225

Masing-masing campuran beton dibuat 3 benda uji, sehingga disediakan 18 benda uji untuk 6 campuran yang berbeda. Rincian benda uji disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Benda Uji Penelitian

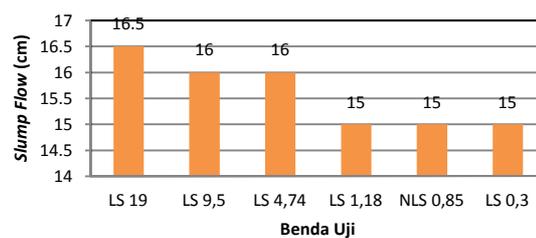
Kode	Agregat Lolos Saringan (mm)	Jumlah (Sampel)	Umur (Hari)
LS 19	19	3	28
LS 9,5	9,5	3	28
LS 4,74	4,75	3	28
LS 1,18	1,18	3	28
NLS 0,85	0,85	3	28
LS 0,3	0,3	3	28
Jumlah		18	

Pengujian beton segar menggunakan uji *slump flow* dilakukan sesaat setelah pencampuran atau sebelum pencetakan benda uji. *Curing* benda uji di dalam air dilakukan setelah benda uji dilepas dari cetakan silinder. Berat beton juga diukur setelah mengetahui berat beton dan volume beton. Pengujian ditinjau dari kuat tekan dilakukan saat beton berumur 28 hari. Benda uji penelitian berupa silinder beton dengan diameter 7,62 cm dan tinggi 15,24 cm.

## HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

### a. Pengujian Beton Segar (*Slump Flow Test*)

Gambar 2. menyajikan hasil uji *slump flow* beton segar.



Gambar 2. *Slump Flow Test*

Perubahan gradasi butiran agregat juga dapat mempengaruhi *workability* beton. Nilai *slump flow* beton dengan ukuran butiran agregat besar mempunyai *workability* yang lebih tinggi. Butiran yang lebih besar cenderung memiliki friksi yang kecil, sehingga dengan komposisi bahan yang sama kebutuhan air menjadi berlebih dan membuat adukan lebih encer. Berbeda untuk adukan dengan ukuran agregat yang lebih kecil, memiliki luas permukaan yang lebih besar dengan friksi yang lebih besar, sehingga membuat adukan lebih kaku.

### b. Berat Volume Beton

Tabel 3. menyajikan berat volume beton

Tabel 3. Berat Volume Beton

Lolos Saringan	Kode Benda Uji	Volume (m <sup>3</sup> )	Berat Beton (kg)	Berat Rerata (kg)	Berat Volume (kg/m <sup>3</sup> )	Berat Volume Rerata (kg/m <sup>3</sup> )
19 mm	LS 19A	0,000805	1,743	17,607	2166,37	2188,33
	LS 19B	0,000805	1,795		2231,00	
	LS 19C	0,000805	1,744		2167,61	
9,5 mm	LS 9,5A	0,000805	1,761	17,597	2188,74	2187,09
	LS 9,5B	0,000805	1,756		2182,53	
	LS 9,5C	0,000805	1,762		2189,99	
4,75 mm	LS 4,75A	0,000805	1,812	18,003	2252,13	2237,63
	LS 4,74B	0,000805	1,797		2233,49	
	LS 4,75C	0,000805	1,792		2227,27	
1,18 mm	LS 1,18A	0,000805	1,782	17,847	2214,84	2218,16
	LS 1,18B	0,000805	1,778		2209,87	
	LS 1,18C	0,000805	1,794		2229,76	
0,85 mm (normal)	NLS 0,85A	0,000805	1,853	18,183	2303,09	2260,00
	NLS 0,85B	0,000805	1,798		2234,73	
	NLS 0,85C	0,000805	1,804		2242,19	
0,3 mm	LS 0,3A	0,000805	1,784	17,760	2217,33	2207,39
	LS 0,3B	0,000805	1,791		2226,03	
	LS 0,3C	0,000805	1,753		2178,80	

### c. Kuat Tekan Beton

Nilai kuat tekan benda uji disajikan pada Tabel 4 dan Gambar 3.

Tabel 4. Kuat Tekan Beton

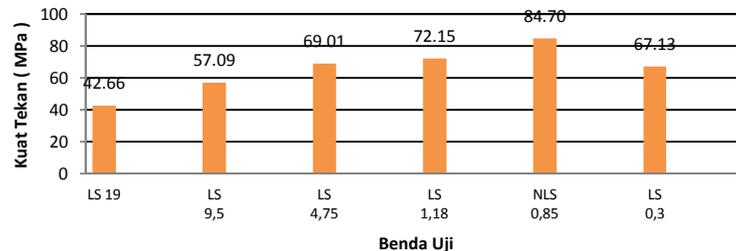
Lolos Saringan	Kode Benda Uji	P maks (kN)	f'c (MPa)	f'c Konversi (MPa)	f'c Rerata (MPa)
19 mm	LS 19A	200	39,79	37,64	42,66
	LS 19B	320	63,76	60,23	
	LS 19C	160	31,83	30,11	
9,5 mm	LS 9,5A	280	55,70	52,70	57,09
	LS 9,5B	370	73,61	69,64	
	LS 9,5C	260	51,73	48,94	
4,75 mm	LS 4,75A	380	75,60	71,52	69,01
	LS 4,75B	380	75,60	71,52	
	LS 4,75C	340	67,64	63,99	
1,18 mm	LS 1,18A	400	79,58	75,29	72,15
	LS 1,18B	410	81,57	77,17	
	LS 1,18C	340	67,64	63,99	
0,85 mm (normal)	NLS 0,85A	420	83,56	79,05	84,7
	NLS 0,85B	490	97,48	92,23	
	NLS 0,85C	440	87,54	82,82	
0,3 mm	LS 0,3A	380	75,60	71,52	67,13
	LS 0,3B	390	77,59	73,40	
	LS 0,3C	300	59,68	56,47	

Kuat tekan beton dengan ukuran butiran yang lebih besar mempunyai nilai kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan beton dengan ukuran butiran kecil. Hal ini bisa dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti dari gradasi ukuran agregat yang akan berpengaruh pada kepadatan dan tingkat porositas beton. Peran gradasi agregat merupakan faktor yang harus diperhatikan. Susunan butiran (gradasi) yang baik dapat menghasilkan kepadatan (*density*) maksimum dan porositas (*voids*) minimum. Gradasi yang baik adalah gradasi yang menerus dimana seluruh ukuran butiran terdapat dalam agregat tersebut sehingga menciptakan butiran yang heterogen. Butiran yang heterogen akan mampu untuk menempatkan posisi untuk saling mengisi rongga-rongga yang kosong sesuai dengan ukurannya.

Benda uji lolos saringan 0,3 mm dengan ukuran butiran yang lebih kecil ternyata mengalami penurunan kuat tekan. Ini bisa disebabkan karena ukuran agregat yang digunakan tidak merata sehingga susunan butiran (gradasi) yang dihasilkan kurang baik. Agregat halus yang tersedia cenderung memiliki ragam ukuran yang homogen sehingga agregat kurang mampu untuk saling terikat dan mengisi rongga-rongga yang ada. Gradasi agregat yang seragam juga mempengaruhi nilai kuat tekan beton yang dihasilkan karena berpengaruh terhadap *workability* adukan beton. Dilihat pada gradasi benda uji lolos saringan 0,3 mm, dimana agregat tidak memiliki variasi ukuran butiran yang berbeda. Dalam proses pembuatannya, beton dengan agregat lolos saringan terkecil 0,3 mm lebih

sulit pengadukannya dibandingkan yang lain, karena ukuran butiran yang kecil dengan luas penyerapan air yang besar, dan butiran yang homogen menyebabkan adukan sulit tercampur dengan baik.

Kuat tekan terbesar dihasilkan pada benda uji normal lolos saringan 0,85 mm (NLS 0,85), yaitu sebesar 84,7 MPa. Dimana NLS 0,85 juga memiliki berat jenis terbesar, yaitu sebesar 2260 kg/m<sup>3</sup>. Ini menunjukkan benda uji lolos 0,85 menghasilkan tingkat kepadatan yang maksimum dan porositas yang minimum.



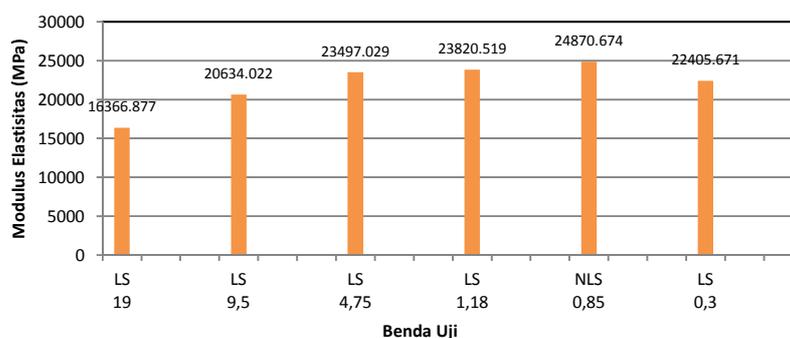
Gambar 3. Kuat tekan beton pada benda uji dengan ukuran agregat maksimum yang berbeda.

#### d. Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas beton ditentukan dari hubungan antara tegangan-regangan beton pada daerah plastis. Pengujian ini bertujuan untuk mengamati besarnya perubahan panjang (regangan) silinder beton akibat pembebanan serta besarnya beban (P) pada saat beton mulai retak. Tabel 5 dan Gambar 4 menyajikan hasil pengujian modulus elastisitas.

Tabel 5. Modulus Elastisitas Beton

No	Benda Uji	Ec (MPa)	Ec Rerata (MPa)	Ec Validasi SNI (MPa)	Ec Validasi Rerata (MPa)	Selisih Hitungan dengan Validasi SNI (%)
1	LS 19A	14,967,665	16,366,877	28,836,360	30,367,938	46,105
	LS 19B	17,900,017		36,475,430		
	LS 19C	16,232,950		25,792,024		
2	LS 9,5A	19,467,743	20,634,022	34,119,641	35,228,729	41,428
	LS 9,5B	22,393,852		38,688,036		
	LS 9,5C	20,040,473		32,878,509		
3	LS 4,75A	23,763,166	23,497,029	34,119,641	37,155,278	36,760
	LS 4,74B	19,606,128		39,748,179		
	LS 4,75C	27,121,792		37,598,013		
4	LS 1,18A	21,458,677	23,820,519	40,780,771	39,719,852	40,029
	LS 1,18B	29,842,594		40,780,771		
	LS 1,18C	20,160,285		37,598,013		
5	NLS 0,85A	23,521,967	24,870,674	41,787,855	43,231,710	42,471
	NLS 0,85B	25,203,666		45,136,042		
	NLS 0,85C	25,886,391		42,771,233		
6	LS 0,3A	13,877,583	22,405,671	39,748,179	38,271,180	41,456
	LS 0,3B	20,957,741		39,748,179		
	LS 0,3C	32,381,689		35,317,184		



Gambar 4. Modulus elastisitas beton pada benda uji

Nilai modulus elastisitas cenderung mengalami peningkatan dari beton dengan agregat ukuran besar ke agregat ukuran kecil. Hal ini seiringan dengan nilai kuat tekan beton yang juga mengalami kenaikan sampai pada benda uji NLS 0,85. Modulus elastisitas tertinggi sebesar 24870,674 (NLS 0,85).

## SIMPULAN

Dari hasil pengujian, analisis data dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Ukuran butiran agregat mempengaruhi kuat tekan beton. Hal ini ditunjukkan dari hasil pengujian agregat dengan ukuran butiran besar memiliki kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan agregat dengan ukuran butiran kecil. Beton lolos saringan 19 mm memiliki nilai kuat tekan terkecil sebesar 42,66 MPa dan modulus elastisitas 16366,887 MPa, dan beton lolos saringan 0,85 mm memiliki nilai kuat tekan terbesar sebesar 84,7 MPa dan modulus elastisitas 24870,674 MPa.
- b. Susunan butiran (gradasi) yang baik dapat menghasilkan kepadatan (*density*) maksimum dan porositas (*voids*) minimum. Sifat penting dari suatu agregat baik agregat kasar maupun agregat halus adalah kekuatan hancur dan ketahanan terhadap benturan yang dapat mempengaruhi ikatannya dengan pasta semen, porositas dan karakteristik penyerapan air yang mempengaruhi daya tahan beton, sehingga beton dengan gradasi yang baik akan mampu menghasilkan kuat tekan yang tinggi.
- c. Nilai modulus elastisitas cenderung mengalami peningkatan dari beton dengan agregat ukuran besar ke agregat ukuran kecil. Hal ini seiringan dengan nilai kuat tekan beton yang juga mengalami kenaikan sampai pada benda uji NLS 0,85.

## REKOMENDASI

Penulis memberikan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya:

1. Perlu perencanaan dan pengembangan *mix design* yang lebih baik lagi.
2. Perlu perencanaan gradasi agregat yang baik agar didapat gradasi yang baik untuk semua sampel.
3. Perlu Pengadukan yang baik untuk menghasilkan adukan beton yang baik.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada Laboratorium Bahan Jurusan Teknik Sipil FT UNS dan sahabat sipil 2009 yang telah banyak membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir.

## REFERENSI

ACI Committe 611 , *American Concrete Institute*.

Hardjasaputra, Harianto, Joey Tirtawijaya dan S, Giovanni Tandaju. 2011. *The Recent Development of Ultra High Performance Concrete (UHPC) In Indonesia. Internasional Conference of EACEF ( European Asian Civil Engineering Forum) B 111-116, Univ. Atma Jaya Yogyakarta, Indonesia.*

M. Schmidt, E. Fehling (2007). *Ultra High Performance Concrete (UHPC) – 10 Years of Research and Development at the University of Kassel, Kassel University Press, Schriften Reihe Baustoffe und Massivbau Heft 7.*

Mulyono, T. 2003. *Teknologi Beton*, Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta, Jakarta.

Murdock, L. J., dan Brook, K. M., .1991. *Bahan dan Praktek Beton*, Erlangga, Jakarta.

Murwani Widi N. (2011) “Tinjauan Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Berserat Baja Dengan Menggunakan Filler Nanomaterial”. Skripsi, Universitas Sebelas Maret: Surakarta.

Sentana U.M.I, 2003, *Pengaruh Ukuran Butiran Maksimum Agregat Kasar Batu Pecah dan Kerikil 20 mm Dan 40 mm terhadap Kuat Tekan Beton (Mengacu Pada SK- SNI, T-15-1990-03)*, Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Mataram, Mataram.

Tjokrodinuljo, Kardiyono. 1996. *Teknologi Beton*. Arif: Yogyakarta.

Zuraidah Safrin, Hardi Wiratno. 2007. *Pengaruh Gradasi Butiran Batu Pecah terhadap Kekuatan Beton*, Jurnal, Surabaya.