

PENGARUH VARIASI BUTIRAN AGREGAT PADA KUAT TEKAN DAN KECEPATAN GELOMBANG ULTRASONIK

Kukuh Kurniawan Dwi Sungkono

email: kukuhkds@yahoo.co.id

Diterima Tanggal: 01 Agustus 2016 Disetujui Tanggal: 06 Agustus 2016

Abstrak

Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) digunakan untuk mengetahui homogenitas beton dengan berbagai jenis agregat dan maksimum ukuran agregat. Agregat memakai Bantak dan Celereng, ukuran agregat maksimum 40 mm, 20 mm, 10 mm dan rasio air-semen dari 0,4; 0,5; 0,6. Pengujian UPV dilakukan dengan metode langsung dan tidak langsung pada balok dari agregat Bantak dan Agregat Celereng. Sembilan balok dari agregat Bantak dan agregat Celereng yang dari 15 × 15 × 60 dimensi cm³. pengujian UPV dilakukan pada usia 28 hari. Uji kuat tekan dilakukan setelah menerapkan uji UPV dengan memotong balok ke dalam kubus dari 15 x 15 x 15 dimensi cm³. Kuat tekan kubus agregat Bantak dan agregat Celereng dengan ukuran agregat maksimum 40 mm, 20 mm dan 10 mm, linier dengan penurunan rasio air semen. Kecepatan gelombang metode langsung lebih cepat dibanding tidak langsung, dengan faktor korelasi 1,020 dan 1,019.

Kata kunci: kuat tekan, UPV, agregat bantak, agregat celereng

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan elemen struktur yang telah dikenal dan banyak dimanfaatkan, karena beton mempunyai keuntungan dibanding dengan material yang lain. Beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambah yang membentuk massa.

Kekuatan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya: umur beton, faktor air-semen (fas), kepadatan, jumlah pasta semen, jenis semen, sifat agregat. Kekuatan beton berkurang jika kepadatan beton berkurang. Beton yang kurang padat adalah beton berongga, sehingga kuat tekannya berkurang. Kepadatan beton dapat dipengaruhi dari susunan agregat kasar. Gradasi butiran dapat mempengaruhi hasil mutu beton. Gradasi yang seragam atau diameter agregat yang sama dibanding dengan gradasi agregat campuran yang mempunyai diameter

berbeda akan mempunyai kepadatan yang berbeda pula.

Diameter agregat dan variasi butiran pada beton berhubungan dengan kepadatan beton. Perbedaan antara diameter agregat dan variasi butiran berdampak pada kehomogenan beton, yang menyebabkan suatu rongga pada beton. Difraksi suatu gelombang disekitar rongga akan menyebabkan peningkatan waktu rambat. Pada pembacaan kecepatan gelombang akan memiliki kecepatan yang berbeda.

Beberapa penelitian telah banyak mengkaji hubungan antara kecepatan dan kuat tekan beton. Evangelista, 2003 melakukan penelitian pada benda silinder beton (150 mm x 300 mm) dan balok (200 mm x 200 mm x 600 mm). Kuat tekan bervariasi antara 16 sampai 53 MPa dan diperoleh hubungan antara UPV dan kuat tekan beton berupa persamaan eksponensial. Sutan dkk, (2006) di Malaysia telah melakukan penelitian

perbandingan antara metode *direct* dan *indirect* dari *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) dalam mendeteksi kerusakan beton. Pengujian dilakukan untuk membandingkan akurasi antara metode *direct* dan *indirect* dari UPV dalam mendeteksi lokasi kerusakan dan menentukan kedalaman semasa awal umur beton. Turgut, (2004), dalam penelitiannya, hubungan antara kekuatan beton dan UPV ditentukan dengan menggunakan data yang didapat dari berbagai *core* yang diambil dari struktur beton bertulang dengan umur yang berbeda dan rasio campuran beton yang tidak diketahui. Dalam penelitian ini menyatakan hubungan kuat tekan dan kecepatan gelombang dengan bentuk eksponensial. Nugroho, (2008), melakukan pengujian UPV dengan metode *direct* dan *indirect* pada beton normal dan beton mutu tinggi dengan material lokal. Dari hasil penelitian UPV dengan cara *direct* diperoleh suatu hasil hubungan antara kecepatan dan kuat tekan beton yang dipresentasikan dengan suatu persamaan eksponensial. Malhotra & Carino, 2004, menyatakan bahwa kekuatan beton dapat diperkirakan dari kecepatan gelombang dengan sebelumnya membuat grafik hubungan antara dua parameter yaitu kekuatan dan kecepatan, walaupun tidak ada hubungan fisik antara keduanya. Hubungan antara kekuatan dan *pulse velocity* (PV) tidaklah khas dan dipengaruhi oleh banyak faktor misalnya ukuran, tipe, dan kandungan agregat; tipe dan kandungan semen; rasio air semen dan kandungan kelembaban. Pengaruh dari faktor-faktor demikian telah sangat banyak diteliti.

Dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan kecepatan gelombang dan kuat tekan beton dengan variasi butiran maksimum agregat Bantak dan agregat Celereng.

Prinsip kerja metode *pulse velocity* didasarkan pada kecepatan dari sebuah

pulsa gelombang tekan melintasi sebuah benda tergantung pada *properties elastic* dan kepadatan dari media. Untuk benda yang elastik dan homogen, mempunyai hubungan sebagai berikut :

$$V = \sqrt{\frac{KE}{\rho}}$$

dimana :

V = Kecepatan gelombang ultrasonik

$$K = \frac{(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)}$$

E = Modulus Elastisitas Dinamis

μ = Poisson Ratio Dinamis

ρ = *Density*

Kecepatan gelombang ultrasonik pada beton dihitung berdasarkan waktu yang dibutuhkan oleh gelombang untuk mencapai jarak tertentu (*travel time*). Kecepatan gelombang ultrasonik (v) dirumuskan sebagai berikut :

$$V = L / \Delta t$$

2. CARA PENELITIAN

Bahan pembuatan beton terdiri dari: semen yang digunakan adalah semen tipe I merk Gresik dalam kemasan 50 kg. Agregat halus (pasir) berasal dari Kalikuning, Cangkringan, Sleman dengan berat jenis SSD adalah 2,76; nilai serapan air sebesar 1,82%; kandungan lumpur 1,44%. Modulus halus butir sebesar 3,19 dengan gradasi kasar. Agregat kasar yang digunakan adalah kerikil dengan diameter 10mm, 20mm dan 40mm yang berasal dari agregat Bantak, Merapi dan agregat Celereng. Agregat Bantak yang dipakai dengan berat jenis SSD 2,46 nilai serapan air 4,21% kadar lumpur 1,01% dan ketahanan aus sebesar 47,30 %. Agregat Celereng yang dipakai dengan berat jenis SSD 2,61 nilai serapan air 2,76% kandungan lumpur 0,51% dan ketahanan aus 18,6%.

Peralatan yang digunakan untuk uji agregat halus adalah Saringan agregat yang dilengkapi dengan *shaker* merk Pascall Engineering, Kerucut konic dan batang penumbuk, Oven pengering merk Gallenkamp, *Piknometer*. Uji agregat kasar dipakai, timbangan halus, kapasitas 260, timbangan kasar, kapasitas 300 kg, Mesin abrasi *Los Angeles* merk ELE, Oven pengering merk Gallenkamp. Pembuatan benda uji beton dipakai, molen/mesin pengaduk beton, Kerucut *Abrams*, Cetakan benda uji balok 15 x 15 x 60 cm, *Kaliper* (jangka sorong) dan mistar, Meteran, *Compression Testing Machine* (CTM) merk Wykeham Farrance, *Coupling agent*, *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV), merk CNS tipe PUNDIT 6 (*Portable Ultrasonic*

Nondestructive Digital Indicating Test) dengan *transducer* 54 KHz, Mal.

Benda uji menggunakan balok dengan ukuran 15 x 15 x 60 cm dari agregat Bantak dan agregat Celereng. Untuk setiap jenis agregat, dengan variasi fas 0,4; 0,5 dan 0,6; untuk setiap fas terdiri dari variasi diameter butiran maksimum 10 mm, 20 mm dan 40 mm. Setiap variasi diameter butiran maksimum benda uji berjumlah 1 buah balok. Benda uji kubus beton didapatkan dari hasil pemotongan benda uji balok menjadi ukuran 15 x 15 x 15 cm sebanyak 4 buah. Kebutuhan bahan adukan beton per m³ untuk agregat Bantak dan agregat Celereng pada Tabel 1. dan Tabel 2.

Tabel 1. Kebutuhan bahan adukan per m³ agregat bantak

Diameter agregat	fas	Air liter	Semen kg	Pasir kg	Kerikil kg
40	0,4	175	437,50	680,20	1020,30
	0,5	175	350,00	715,20	1072,80
	0,6	175	291,67	738,53	1107,80
20	0,4	195	487,50	681,45	941,05
	0,5	195	390,00	722,40	997,60
	0,6	195	325,00	749,70	1035,30
10	0,4	225	562,50	732,25	732,25
	0,5	225	450,00	788,50	788,50
	0,6	225	375,00	826,00	826,00

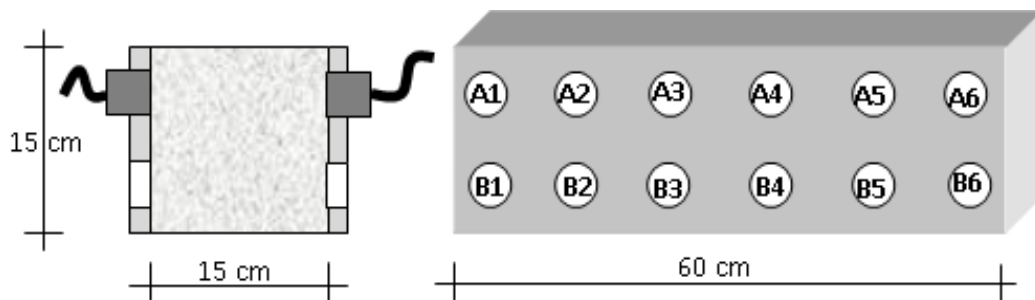
Tabel 2. Kebutuhan bahan adukan per m³ agregat celereng

Diameter agregat	fas	Air liter	Semen kg	Pasir kg	Kerikil kg
40	0,4	205	512,50	651,80	977,70
	0,5	205	410,00	692,80	1039,20
	0,6	205	341,67	720,13	1080,20
20	0,4	225	562,50	614,20	921,30
	0,5	225	450,00	659,20	988,80
	0,6	225	375,00	689,20	1033,80
10	0,4	250	625,00	706,50	706,50
	0,5	250	500,00	769,00	769,00
	0,6	250	416,67	810,67	810,67

Pengujian UPV dilakukan pada benda uji balok dengan dimensi 15 x 15 x 60 cm. Dengan variasi butiran maksimum 10 mm, 20 mm dan 40 mm, variasi faktor air semen 0,4; 0,5; 0,6. Jumlah benda uji untuk beton agregat bantak 9 balok dan untuk beton agregat celereng 9 balok. Dengan 2 metode pengujian, *direct* (langsung) dan *indirect* (tidak langsung).

1. Pengujian *direct* (langsung)

Pengujian *direct* dilakukan sebanyak 12 titik pembacaan, dengan interval 10 cm antar titik. Pada pengujian ini *transducer* diletakkan berhadapan pada kedua sisi balok. *Transducer* diletakkan secara berurutan dengan posisi A1, A2, A3, A4, A5, A6 dan B1, B2, B3, B4, B5, B6. *Setting up* pengujian dapat dilihat pada Gambar 1.

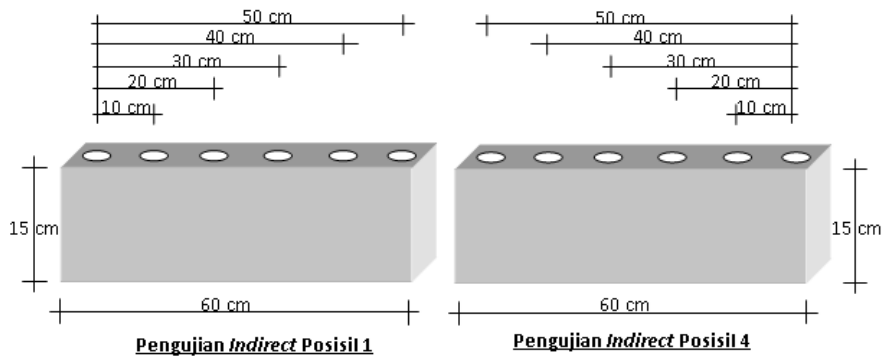


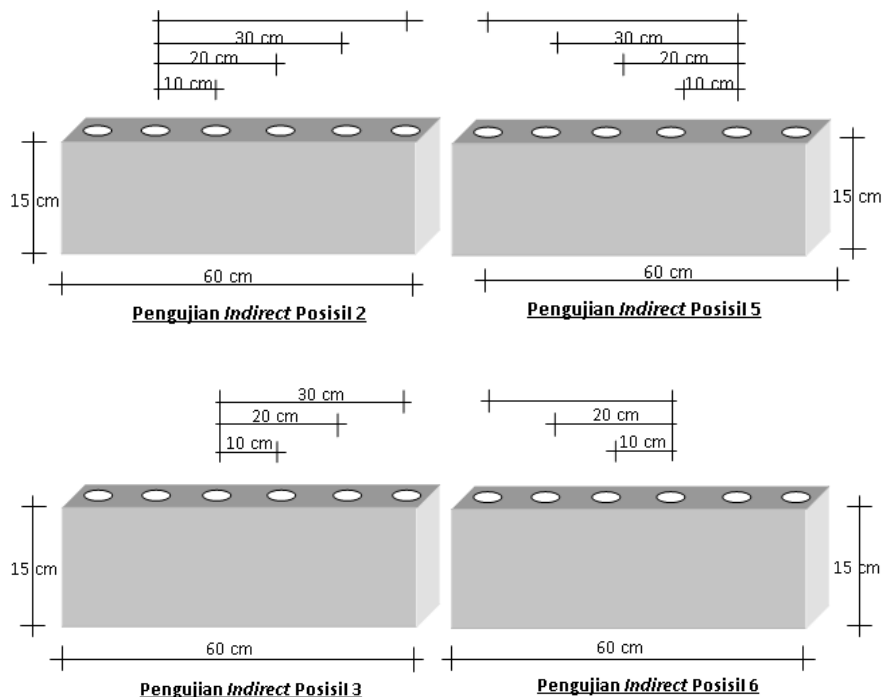
Gambar 1. *Seting up* pengujian *direct*.

2. Pengujian *indirect* (tidak langsung)

Pengujian *indirect* dilakukan posisi pembacaan sebanyak 6 posisi pembacaan *travel time*, dengan posisi *transceiver* diam dan *receiver* bergerak sesuai dengan interval. Interval antar

titik pembacaan *indirect* adalah 10, 20, 30, 40 dan 50 cm. Jarak interval tergantung dari posisi pembacaan atau posisi *transceiver* saat diam. Posisi pembacaan dapat dilihat pada Gambar 2.





Gambar 2. Setting up pengujian indirect.

Pemotongan benda uji balok dilakukan setelah pengujian UPV dilakukan. Pemotongan balok ini untuk mendapatkan benda uji kubus ukuran 15 x 15 x 15 cm, yang akan diuji kuat tekannya. Lokasi tempat pemotongan adalah di daerah Sayidan, Sleman.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Kuat Tekan Beton

Benda uji kubus diperoleh dari hasil pemotongan benda uji balok agregat Bantak dan agregat Celereng

yang dilakukan setelah pemeriksaan UPV selesai. Pengujian benda uji kubus dilakukan pada umur diatas 28 hari, sehingga ada faktor koreksi umur ke 28 hari sebesar 1,090.

Hasil uji tekan rerata pada beton dari benda uji kubus mempunyai hasil yang bervariasi, untuk beton dengan agregat bantak antara 26 MPa - 44 MPa dan beton dengan agregat celereng antara 25 MPa – 48 MPa. Hasil uji kuat tekan kubus terkoreksi pada umur 28 hari terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian kuat tekan beton umur 28 hari.

Diameter agregat (mm)	fas	Agregat Celereng Kuat Tekan(MPa)	Agregat Bantak Kuat Tekan (MPa)
40	0.4	48.89	44.69
	0.5	35.82	36.28
	0.6	29.56	30.45
20	0.4	47.34	43.19
	0.5	33.18	35.96
	0.6	25.17	29.14
10	0.4	44.34	42.42

Diameter agregat (mm)	fas	Agregat Celereng Kuat Tekan(MPa)	Agregat Bantak Kuat Tekan (MPa)
	0.5	32.86	32.36
	0.6	25.17	26.32

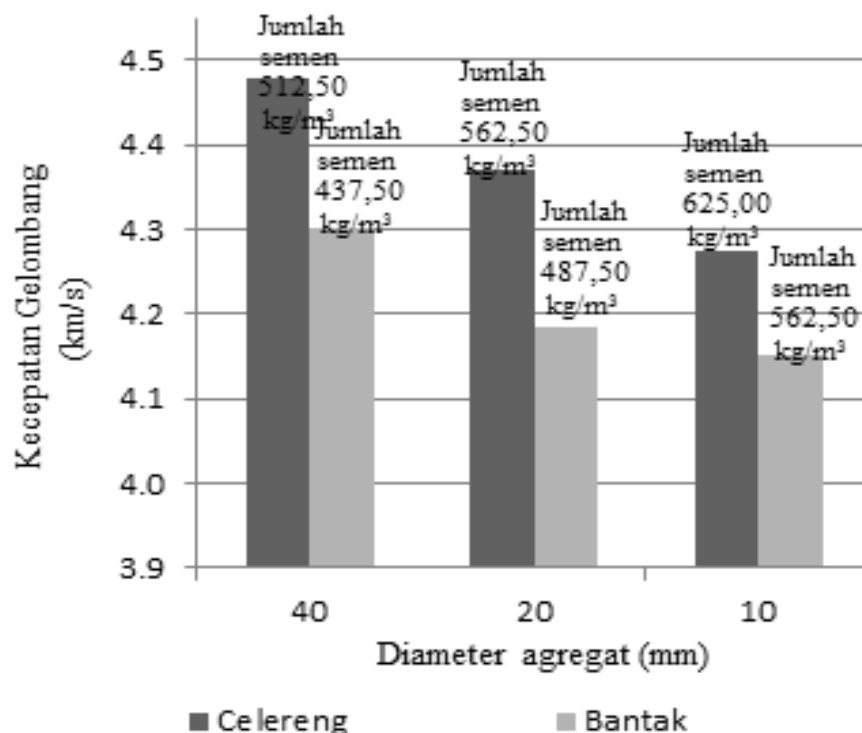
b. Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

1) *Direct Test* (Uji Langsung)

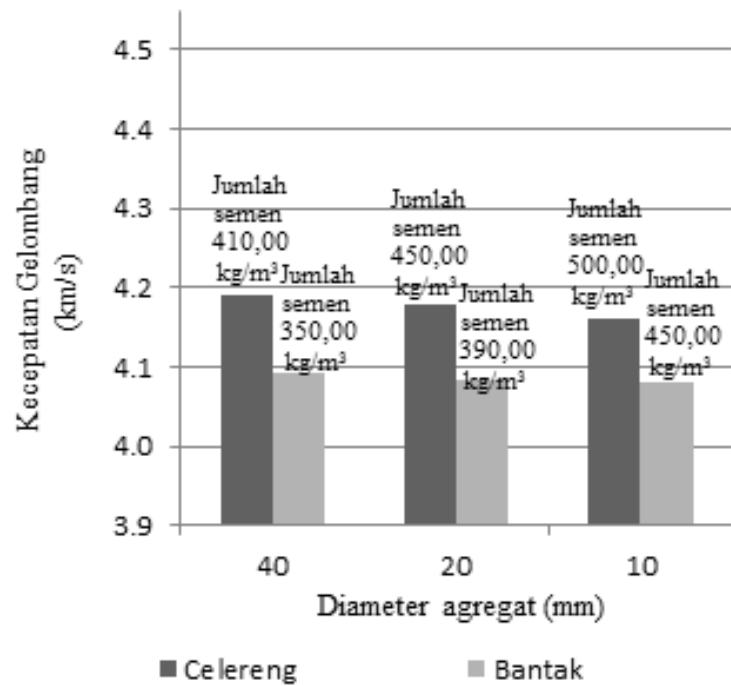
Dalam pengujian menggunakan UPV dengan cara *direct* dilakukan pada umur 28 hari. Pengujian kecepatan gelombang dengan UPV dilakukan pada benda uji balok dengan dimensi 15 x 15 x 60 cm.

Pengujian pada setiap balok dilakukan sebanyak 12 titik

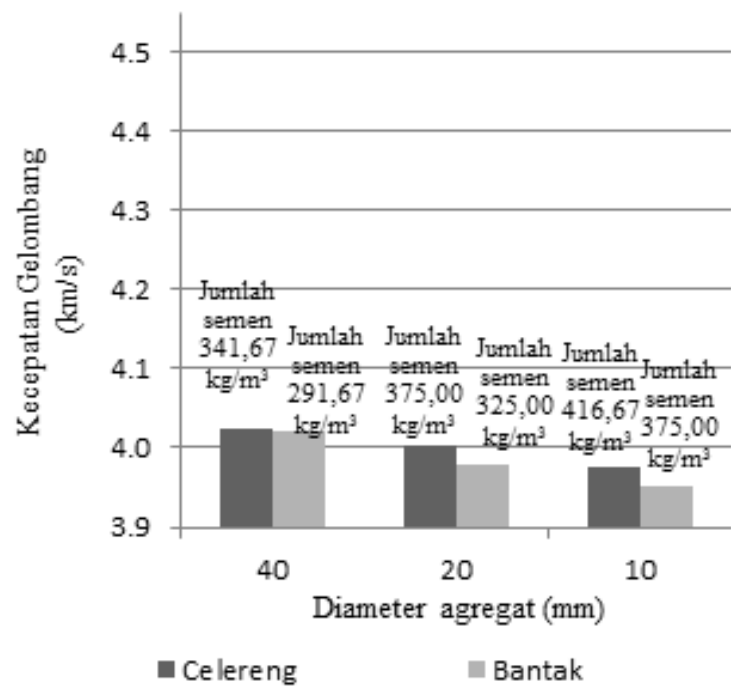
pembacaan. Dengan titik A1 - A6 (kolom 1 – 6, pada baris 1) dan B1- B6 (kolom 1 – 6, pada baris 2). Hubungan kecepatan gelombang dengan diameter agregat bantak pada fas 0,4; 0,5; 0,6 berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 3; Gambar 4; Gambar 5.



Gambar 3. Hubungan kecepatan gelombang dan diameter agregat pada fas 0.4



Gambar 4. Hubungan kecepatan gelombang dan diameter agregat pada fas 0.5

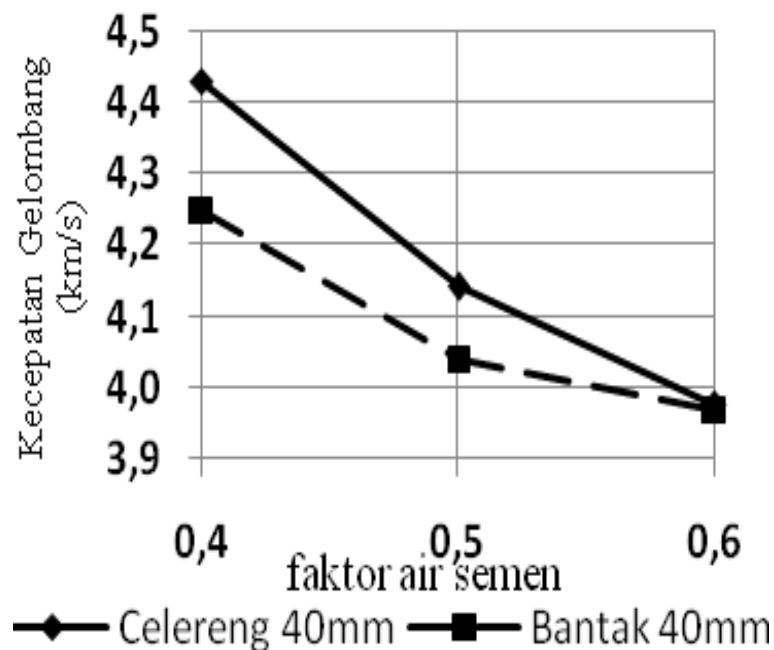


Gambar 5. Hubungan kecepatan gelombang dan diameter agregat pada fas 0.6

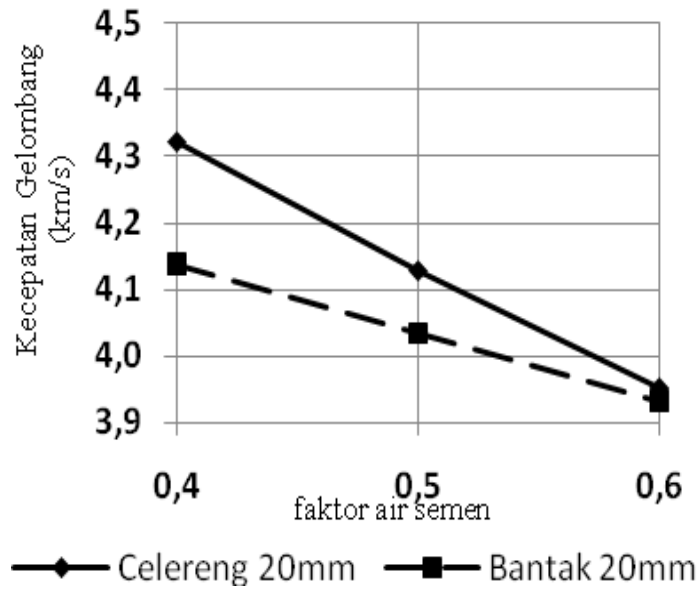
Dengan nilai fas yang sama, agregat dengan diameter agregat maksimum lebih besar mempunyai kecepatan UPV yang tinggi. Diameter agregat mempunyai pengaruh pada kecepatan UPV, diameter yang seragam akan lebih pada. Sehingga gradasi dalam agregat sangat baik, hal ini ditunjang dengan proporsi gradasi campuran agregat kasar dan agregat halus yang seragam.

Pada agregat celereng kecepatan gelombang lebih tinggi daripada agregat bantak. Agregat celereng mempunyai propertis material yang lebih padat daripada agregat bantak. Hal ini sudah dibuktikan dari pemeriksaan bahan, agregat bantak lebih berongga dengan ditandai prosentase serapan air dalam agregat yang besar.

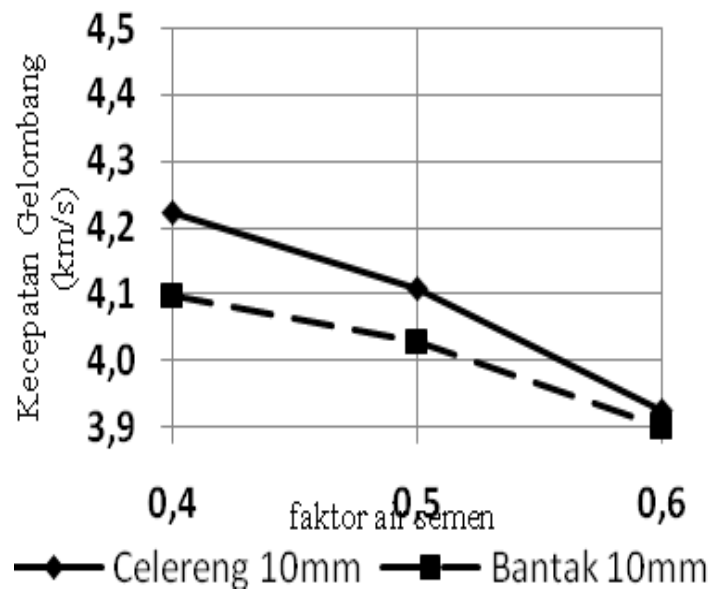
Peningkatan kecepatan yang diikuti dengan penurunan faktor air semen menunjukkan bahwa, semakin kecil faktor air semen maka pasta semen dapat lebih maksimal mengisi pori antar agregat. Sehingga kohesi antar agregat menjadi lebih padat. Tetapi saat faktor air semen meningkat atau jumlah semen semakin turun tetapi jumlah air tetap, memungkinkan adanya rongga atau *void* yang diakibatkan air dalam pasta semen yang berlebihan. Kecepatan gelombang sangat dipengaruhi oleh diameter maksimum agregat dan faktor air semen, yang mempengaruhi homogen suatu beton. Hubungan kecepatan gelombang dan faktor air semen ditunjukkan pada Gambar 6; Gambar 7; Gambar 8.



Gambar 6. Hubungan Kecepatan Gelombang dengan fas pada diameter maksimum agregat Celereng dan Bantak 40mm.



Gambar 7. Hubungan Kecepatan Gelombang dengan fas pada diameter maksimum agregat Celereng dan agregat Bantak 20mm.



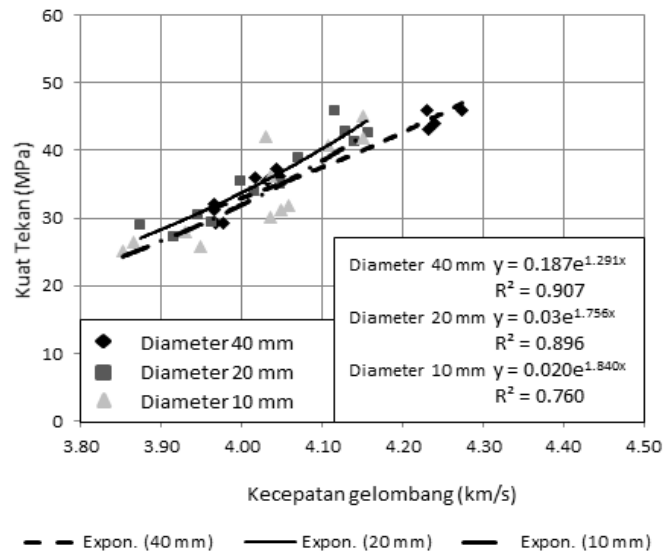
Gambar 8. Hubungan Kecepatan Gelombang dengan fas pada diameter maksimum agregat Celereng dan agregat Bantak 10mm.

Dari pengujian kuat tekan beton agregat bantak dan agregat celereng pada pengukuran kecepatan gelombang UPV dapat disimpulkan bahwa terjadi kenaikan kecepatan

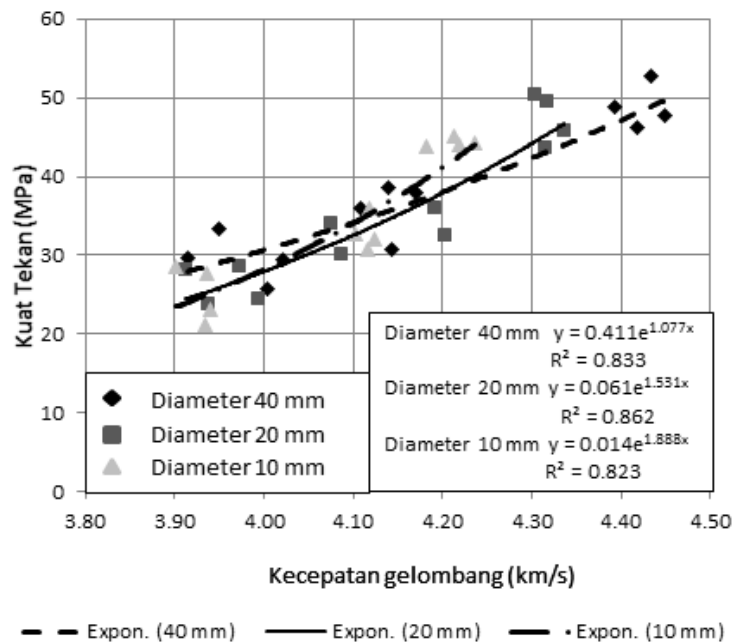
pada beton dengan kuat tekan yang tinggi. Semakin tinggi kuat tekan beton, kecepatan UPV juga semakin meningkat. Pada diameter agregat yang sama, kecenderungan

peningkatan kecepatan dan kuat tekan semakin meningkat. Seperti Gambar

9. dan Gambar 10. dibawah ini.



Gambar 9. Hubungan kecepatan UPV dan kuat tekan Agregat Bantak



Gambar 10. Hubungan kecepatan UPV dan kuat tekan Agregat Celereng

Hubungan kuat tekan dan kecepatan gelombang dapat didekati dengan pendekatan eksponensial. Untuk agregat bantak dengan diameter agregat maksimum 40 mm

pendekatan eksponensial seperti persamaan 3.1. Agregat maksimum 20 mm dan 10 mm pada persamaan 3.2 dan persamaan 3.3 dibawah ini.

$$y = 0,187e^{1.291x}$$

dengan korelasi $R^2 = 0,907$

$$y = 0,03e^{1,756x}$$

dengan korelasi $R^2 = 0,896$

$$y = 0,020e^{1,840x}$$

dengan korelasi $R^2 = 0,760$

Untuk agregat celereang dengan diameter agregat maksimum 40 mm pendekatan eksponensial seperti persamaan 3.4. Agregat maksimum 20 mm dan 10 mm pada persamaan 3.5 dan persamaan 3.6 dibawah ini.

$$y = 0,411e^{1,077x}$$

dengan korelasi $R^2 = 0.833$

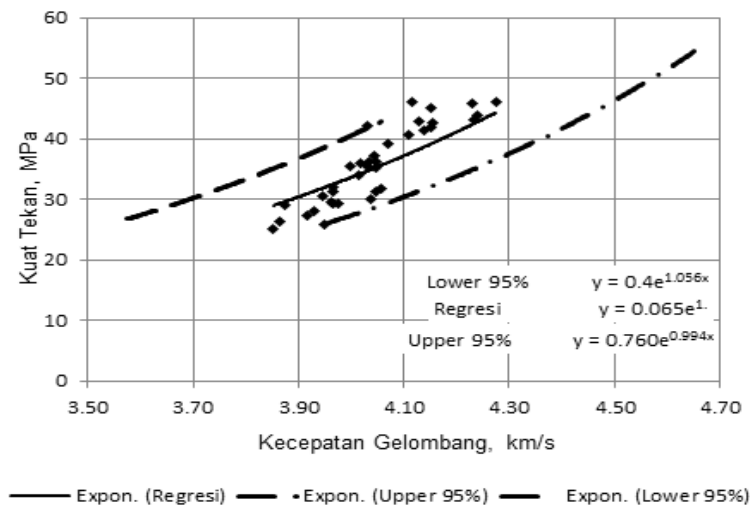
$$y = 0.091e^{1.460x}$$

dengan korelasi $R^2 = 0.706$

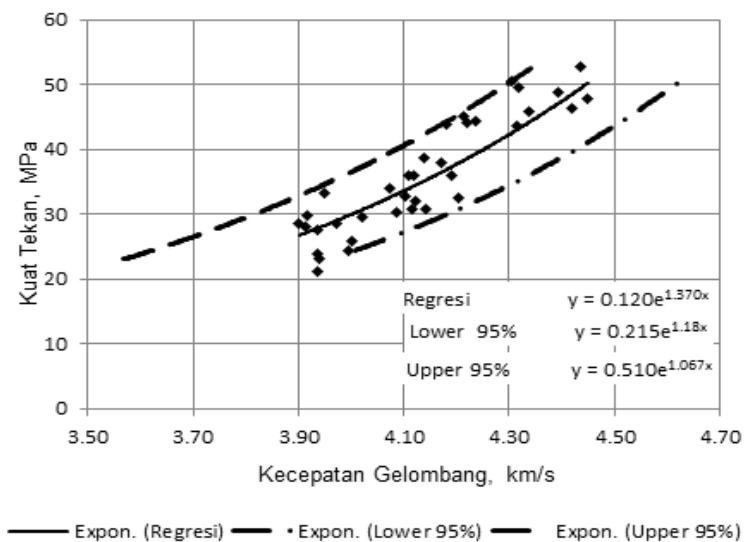
$$y = 0.014e^{1.888x}$$

dengan korelasi $R^2 = 0.823$

Hubungan kecepatan gelombang dan kuat tekan agregat Bantak dan agregat Celereang secara umum dapat digambarkan seperti Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 11. Hubungan kecepatan gelombang dan kuat tekan agregat Bantak

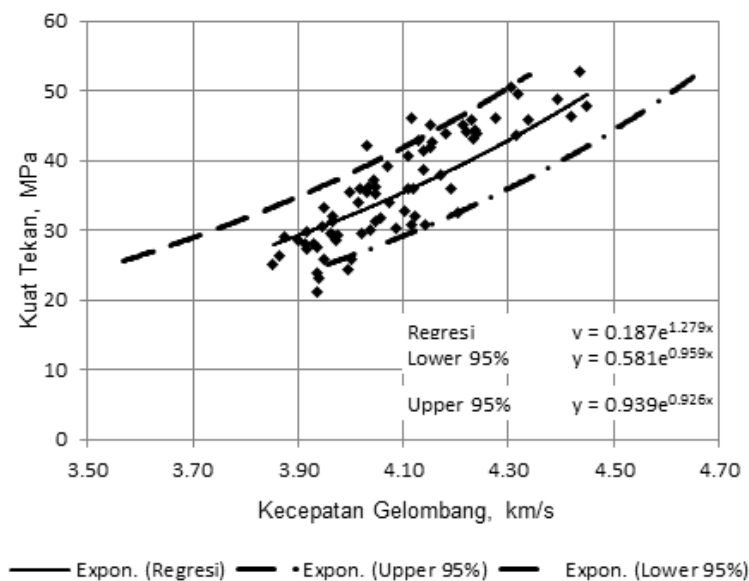


Gambar 12. Hubungan kecepatan gelombang dan kuat tekan agregat Celereang

Dari hubungan kecepatan gelombang dan kuat tekan pada agregat Bantak dan agregat Celereng dapat disimpulkan bahwa pasta semen mempengaruhi kecepatan gelombang dan kuat tekan beton. Pada kecepatan gelombang yang sama agregat Bantak mempunyai kuat tekan lebih tinggi dari pada agregat Celereng, tetapi pasta semen yang dibutuhkan semakin banyak. Pada kuat tekan yang sama agregat celereng menghasilkan kecepatan gelombang yang lebih tinggi

dari pada agregat Bantak. Kondisi ini disebabkan pasta semen pada beton dengan agregat Bantak berkurang, sehingga beton menjadi kurang padat dan kecepatan gelombangnya

Dengan melakukan regresi pada hasil pengujian kecepatan gelombang dan kuat tekan, dari agregat Bantak dan agregat Celereng pada satu regresi didapatkan hubungan seperti Gambar 13.



Gambar 13. Hubungan kecepatan gelombang dan kuat tekan

Dari hubungan kecepatan gelombang dan kuat tekan pada agregat Bantak dan agregat Celereng dapat disimpulkan bahwa pasta semen mempengaruhi kecepatan gelombang dan kuat tekan beton. Pada kecepatan gelombang yang sama agregat Bantak mempunyai kuat tekan lebih tinggi dari pada agregat Celereng, tetapi pasta semen yang dibutuhkan semakin banyak. Pada kuat tekan yang sama agregat Celereng menghasilkan kecepatan gelombang yang lebih tinggi dari pada agregat Bantak. Kondisi ini disebabkan pasta semen pada beton dengan agregat Bantak berkurang,

sehingga beton menjadi kurang padat dan kecepatan gelombangnya.

2) *Indirect Test* (Uji Tidak Langsung)

Hasil pengujian *indirect* dan *direct* cenderung menghasilkan kecepatan yang sama. jika dibandingkan metode *indirect* dan *direct* akan menghasilkan faktor koreksi pada agregat bantak yang besarnya seperti pada Tabel 4. Dan pada agregat celereng akan menghasilkan faktor koreksi seperti pada Tabel 5.

Tabel 4. Faktor koreksi perbandingan antara *indirect* dan *direct* Agregat Bantak

Agregat Bantak				
Diameter	fas	Kecepatan UPV Indirect (km/s)	Kecepatan UPV Direct (km/s)	Faktor Koreksi
40	0,4	4,14	4,25	1,026
	0,5	3,96	4,04	1,019
	0,6	3,87	3,97	1,025
20	0,4	4,03	4,14	1,025
	0,5	3,97	4,03	1,015
	0,6	3,88	3,93	1,014
10	0,4	4,05	4,10	1,013
	0,5	3,96	4,03	1,016
	0,6	3,82	3,90	1,020

Tabel 5. Faktor koreksi perbandingan antara *indirect* dan *direct* Agregat Bantak

Agregat Celereng				
Diameter	fas	Kecepatan UPV Indirect (km/s)	Kecepatan UPV Direct (km/s)	Faktor Koreksi
40	0,4	4,27	4,43	1,037
	0,5	4,15	4,14	0,998
	0,6	3,92	3,98	1,014
20	0,4	4,18	4,32	1,033
	0,5	4,09	4,13	1,009
	0,6	3,91	3,95	1,012
10	0,4	4,07	4,22	1,039
	0,5	4,00	4,11	1,028
	0,6	3,92	3,93	1,001

c. Pengujian E meter

Dari hasil pengujian E-meter dibandingkan dengan pengujian UPV metode *direct*. kecepatan yang dihasilkan UPV lebih tinggi. Dengan

faktor koreksi rerata 1.028 atau 2.8% pada agregat celereng. dan pada agregat bantak faktor koreksi rerata 1.039 atau 3.9% seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengujian kecepatan dengan E-meter

Diameter Agregat	fas	Mutu Beton (MPa)	Kec. UPV (km/s)	E dinamik (MPa)	Poisson Ratio Dinamis	Koefisien Damping	Density (kg/m ³)	K	V (km/s)	Faktor Koreksi V _{upv} /V _{E-meter}
AGREGAT CELERENG										
40	0,4	48,89	4,429	34477	0,29	119,47	2481,5	1,323	4,288	1,033
	0,5	35,82	4,103	29819	0,29	81,20	2370,4	1,325	4,083	1,005
	0,6	29,56	3,975	27474	0,28	77,95	2281,5	1,281	3,927	1,012
20	0,4	47,34	4,322	29542	0,29	99,63	2296,3	1,320	4,121	1,049
	0,5	33,18	4,129	28711	0,29	77,67	2288,9	1,307	4,049	1,020
	0,6	26,19	3,952	26741	0,28	79,64	2259,3	1,276	3,886	1,017
10	0,4	44,34	4,223	27502	0,29	80,50	2274,1	1,304	3,972	1,063
	0,5	32,86	4,110	26966	0,29	73,82	2259,3	1,310	3,954	1,039
	0,6	25,17	3,927	26603	0,28	68,31	2244,4	1,272	3,883	1,011
AGREGAT BANTAK										
40	0,4	44,69	4,250	29691	0,29	119,86	2296,3	1,299	4,098	1,037
	0,5	36,28	4,041	28524	0,27	81,72	2288,9	1,258	3,960	1,021
	0,6	30,45	3,970	27354	0,28	78,11	2274,1	1,273	3,913	1,015
20	0,4	43,19	4,136	27280	0,28	82,47	2274,1	1,281	3,920	1,055
	0,5	35,96	4,034	26522	0,29	75,26	2251,9	1,300	3,913	1,031
	0,6	29,14	3,930	25354	0,28	67,02	2222,2	1,271	3,808	1,032
10	0,4	42,42	4,100	25978	0,29	80,74	2259,3	1,313	3,886	1,055
	0,5	32,36	4,030	25167	0,28	75,54	2237,0	1,274	3,786	1,064
	0,6	26,32	3,900	24458	0,28	72,63	2229,6	1,281	3,748	1,041

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Mutu beton dengan diameter agregat maksimum 40 mm, 20 mm dan 10 mm semakin besar, sejalan dengan menurunnya faktor air semen. Tetapi kuat tekan beton meningkat seiring dengan peningkatan diameter agregat maksimum, baik pada agregat Bantak dan agregat Celereng.
2. Kecepatan gelombang meningkat sejalan dengan meningkatnya diameter agregat maksimum, untuk agregat Bantak dan agregat Celereng. Kecepatan gelombang

dipengaruhi jenis agregat, bahwa kecepatan gelombang pada beton dengan agregat celereng menghasilkan kecepatan gelombang lebih tinggi dari pada agregat bantak.

3. Pada kecepatan gelombang yang sama agregat Bantak mempunyai kuat tekan lebih tinggi dari pada agregat Celereng, tetapi pasta semen yang dibutuhkan semakin banyak. Pada kuat tekan yang sama agregat celereng menghasilkan kecepatan gelombang yang lebih tinggi dari pada agregat Bantak.
4. Dari hasil pengujian *direct*, dengan pendekatan persamaan eksponensial mendapatkan persamaan hubungan kecepatan

dan kuat tekan pada agregat Bantak dengan diameter maksimum 40 mm, 20 mm dan 10 mm berturut-turut adalah $y = 0,187e^{1,291x}$, $y = 0,03e^{1,756x}$, $y = 0,020e^{1,840x}$ dan korelasi pada setiap persamaan berturut-turut sebesar $R^2 = 0,907$, $R^2 = 0,896$, $R^2 = 0,760$.

5. Dari hasil pengujian *direct*, dengan pendekatan persamaan eksponensial mendapatkan persamaan hubungan kecepatan dan kuat tekan pada agregat Celereng dengan diameter maksimum 40 mm, 20 mm dan 10 mm berturut-turut adalah $y = 0,411e^{1,077x}$, $y = 0,091e^{1,460x}$, $y = 0,014e^{1,888x}$ dan korelasi pada setiap persamaan berturut-turut sebesar $R^2 = 0,833$, $R^2 = 0,706$, $R^2 = 0,823$.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Evangelista A.C., 2003, *Parameters that Influence the Result of Non Destructive Test Methods for Concrete Strength*, International Symposium (NDT-CE).
- Malhotra V.M. and Carino N.J., 2004 *Handbook On Nondestructive Testing Of Concrete*, 2nd Ed, CRC Press LCC , USA.
- Nugroho, B., 2008, *Hubungan Kecepatan Gelombang Ultrasonic Pada Berbagai Variasi Mutu Beton Menggunakan Material Lokal Yogyakarta*. Tesis S-2, Sekolah PascaSarjana, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada.
- Sutan M. N. and Meganathan M., 2003, A *Comparison*

Between Direct And Indirect Method of Ultrasonik Pulse Velocity in Detecting Concrete Defect, NDT. Net, 2003, Vol. 8 No.05, Mei.

Turgut, P., 2004, *Research Into the Correlation Between Concrete Strength and UPV Values*, NDT.net , Vol. 12 No.12, Dec.

Biodata Penulis :

Kukuh Kurniawan Dwi Sungkono, Alumni S-1 Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang (2008), Pasca Sarjana (S2) Program Studi Teknik Sipil Struktur Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada (2010). Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UTP Surakarta (2015 – sekarang).