

ANALISIS HOMOGENITAS SELF COMPACTING MORTAR MENGUNAKAN SERAT POLYPROPYLENE BERDASARKAN KECEPATAN PERAMBATAN GELOMBANG ULTRASONIK (UPVM)

Oleh:

Faqih Ma'arif, Slamet Widodo, Agus Santoso

Dosen Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan

email: faqih_maarif07@yahoo.com

ABSTRACT

Nowadays, Non Destructive Tests have been applied in many quality evaluations of existing concrete structures. One of the Non Destructive Tests (NDT) is based on Ultrasonic Pulse Velocity (UPV). The use of UPV method among others are to estimate the strength of concrete, to detect the presence of crack, to measure the homogeneity of concrete, the thickness of concrete slab, and also to estimate the diameter of the embedded steel reinforcement. The NDT technique will apply on this research. This research used 24 cylinder test samples in four groups, which were reference cylinder (SR), cylinder-1 (S-01) with 0.5 kg/m^3 of fibers, cylinder-2 (S-02) with 1.0 kg/m^3 of fibers and cylinder-3 (S-03) with 1.5 kg/m^3 of fibers. Those cylinders were of 150 mm in diameter and 300mm in height. The Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) test was conducted with direct test method. The data are then analyzed using statistical program. The test result showed that the addition of polypropylene fibers optimum and pulse velocity were of 1 kg/m^3 and $3,19 \text{ km/s}$ respectively. The increase pulse velocity transmitter higher on variation of fibers 1 kg/m^3 is 9,12% in comparison to reference cylinder. The statistical test indicated that the significance value (2-tailed test) is homogeneity sample. This means that the ultrasonic pulse velocity method can used to knowing of homogeneity self compacting mortar using fibers.

Keyword: Homogeneity, polypropylene, Ultrasonic pulse velocity Method

PENDAHULUAN

Pengujian yang bersifat tidak merusak (*Non-Destructive Test*), saat ini telah banyak digunakan dalam evaluasi kualitas beton terpasang di lapangan. Salah satu metode *Non Destructive Test* (NDT) adalah menggunakan metode *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV). Secara umum penggunaan UPV sebagai salah satu metode NDT adalah untuk memperkirakan kekuatan beton, mendeteksi adanya retak, melihat ketidakhomogenitas beton, ketebalan pelat beton, serta memperkirakan diameter baja yang telah terpasang dengan menggunakan gelombang ultrasonik.

Pada penelitian ini digunakan pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) untuk mengetahui penambahan serat efektif *polypropylene* pada *self compacting mortar* (SCM), terhadap kecepatan perambatan gelombang ultrasonik pada benda uji silinder 150x300cm. Penelitian pendahuluan yang dilakukan oleh Faqih (2010) menunjukkan bahwa UPVM dapat digunakan untuk mengetahui homogenitas material beton. Beton berserat *self compacting mortar* adalah beton yang dapat memadat dengan sendirinya. Beton jenis ini sangat cocok digunakan pada daerah yang sulit dijangkau pada suatu konstruksi tanpa diperlukan suatu pemadatan, karena beton tersebut dapat memadat dengan sendirinya (*Self compacting mortar*). Permasalahan umum yang timbul pada beton berserat adalah adanya ketidakhomogenya suatu

campuran yang salah satu penyebabnya dikarenakan *bleeding* ataupun mirip seperti *snow ball effect*. Berdasarkan permasalahan tersebut di atas, untuk mengetahui homogenitas campuran *self compacting mortar* (SCM) diperlukan suatu metode pengujian yang tidak merusak (Non Destructive Test) dengan menggunakan *Ultrasonik pulse velocity Method* (UPVM).

Bjegovic et.al (2005), melakukan penelitian pada sebuah gedung pusat pembelajaran di Zagreb, Kroasia. Gedung tersebut mengalami retak-retak pada dinding *basement* dan dilakukan perbaikan retakan dengan injeksi *polymeric resins*. Pengujian UPV dengan metode *indirect* dilakukan untuk mengecek perbaikan yang telah dilakukan, dan kemudian dievaluasi berdasarkan analisis statistik dengan menggunakan *student t-test*. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa metode pengujian ini terbukti sesuai untuk kontrol perbaikan retak pada struktur beton.

Budi (2008), di Indonesia pengujian UPV dengan metode *direct* dan *indirect* pada beton normal dan beton mutu tinggi dengan material lokal. Hasil penelitian cara *direct* diperoleh suatu hubungan antara kecepatan dan kuat tekan beton yang dipresentasikan dengan suatu persamaan, sedang pada cara *indirect* diperoleh persamaan eksponensial. Pada pengujian *indirect* didapat kecepatan gelombang pada beton lebih rendah dari pada pengujian *direct*, dengan faktor koreksi rerata sebesar 1,064 pada posisi *transducer* dengan jarak 10, 15, 20, 25, 30, 35 dan 40 cm. Dari hasil yang konsisten didapatkan pada jarak *transducer* antara 10 cm – 30 cm.

Faqih (2010), di Indonesia meneliti pengaruh variasi gaya aksial kolom pada pengamatan kecepatan perambatan gelombang ultrasonik. Hasil penelitian disimpulkan bahwa adanya perbaikan retak dengan menggunakan bahan *epoxy resins* dapat di evaluasi dengan menggunakan UPV. Sedangkan dengan adanya penambahan *epoxy resins* dapat meningkatkan kapasitas beban lateral kolom, kekakuan dan *displacement* maksimal. Apabila ditinjau dari variasi gaya aksial kolom, hasilnya akan efektif apabila dikerjakan sebesar $0,3P_0$.

Sujiani (2008), di Indonesia meneliti akurasi uji *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) untuk mendeteksi kedalaman retak pada beton. Hasil penelitian disimpulkan bahwa pengujian UPV dengan metode *Indirect* cocok digunakan untuk mengukur kedalaman retak pada beton. Retak 1 dapat terdeteksi oleh UPV dengan akurasi yang lebih tinggi dibanding retak 2. Akurasi hasil UPV tidak dipengaruhi oleh mutu beton tetapi dipengaruhi oleh jarak *transducer*.

Menurut Pelisser, et.all (2010) serat *polypropylene* merupakan jenis serat yang paling efektif digunakan dalam mengurangi terjadi suatu retak yang diakibatkan oleh fenomena susut beton. Penambahan serat *polypropylene* dapat lebih efektif dibandingkan dengan serat nylon, PET maupun *glass fiber*. Pada penelitian tersebut besarnya *volume fraction* 0,10% merupakan kadar optimum penambahan serat polypropylene apabila ditinjau berdasarkan total panjang retak yang terjadi akibat adanya pengaruh susut pada beton.

Homogenitas Beton

Homogenitas beton terkait erat dengan proses pengolahan beton. Menurut Tjokrodinuljo (2007) Pengolahan beton adalah proses pembuatan beton dari pencampuran/pengadukan bahan-bahan beton, pengangkutan adukan beton, penuangan adukan beton, pemadatan adukan beton, perataan permukaan beton, dan perawatan selama proses pengerjaan. Sifat penting yang harus diketahui pada

saat beton beton segar adalah kelecakan, pemisahan kerikil dan pemisahan air. Beton segar pada penelitian ini adalah termasuk beton berserat (*fibre concrete*) *Self compacting mortar* (SCM) terdiri dari bahan seperti: air, semen portland, agregat halus, sikamenNN dan serat *polypropylene*.

Adanya serat *polypropylene* mengakibatkan berkurangnya sifat mudah dikerjakan dan mempersulit terjadinya segregasi. Serat dalam beton berfungsi untuk mencegah terjadinya retak pada beton, sehingga menjadikan beton berserat lebih daktail dari pada beton biasa. Beton berserat yang mempunyai modulus elastisitas lebih tinggi akan mempunyai kuat tekan, tarik, maupun modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan beton biasa. Beton berserat bersifat lebih tahan benturan dan lenturan, maka cocok digunakan pada landasan pesawat udara, jalan raya dan lantai jembatan (Tjokrodimuljo, 2007).

Perilaku mekanik beton berserat

Parameter yang diperoleh dari pengujian tekan terhadap beton berserat antara lain: modulus elastisitas, beban tekan maksimum. Dari hasil pencatatan defleksi diperoleh nilai regangan yang terjadi pada beban maksimum dan perilaku kurva beban (P) dan defleksi (δ) atau perilaku kurva tegangan dan regangan. Perubahan modulus elastisitas akibat penambahan serat sangat kecil. Penambahan serat pada beton normal dapat meningkatkan kapasitas beban maksimal. Beton berserat mempunyai energi yang lebih besar dibandingkan dengan beton normal sebelum hancur. Peningkatan volume serat dapat meningkatkan kapasitas peningkatan energi. Peningkatan penyerapan energi ini hanya terjadi pada batasan 0-0,7% volume fraksi. Apabila kandungan fraksinya dinaikkan menjadi lebih besar dari 0,7%, maka kenaikan energi yang terjadi tidak terlalu besar.

Hannant (1978:6) dalam Agus dan Slamet (2010) memberikan persamaan hubungan antara volume fraksi dengan perbandingan serat dalam matriks sebagai berikut:

$$W'f = \frac{\text{Weight of Fibre}}{\text{Weight of Matrix}} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

$$W'f = \frac{V_f D_f}{V_m D_m} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

dimana:

- W'f = persentase berat serat terhadap matrik beton, (%)
- V_f = persentase volume fraksi serat terhadap matrik beton (%)
- V_m = persentase matrik beton (%)
- D_f = density dari serat (kg/m³)
- D_m = density dari matrik beton (kg/m³)

Pada penelitian ini digunakan serat *polypropylene* karena mudah diperoleh, mudah, awet dan tidak bersifat reaktif terhadap semen.

Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

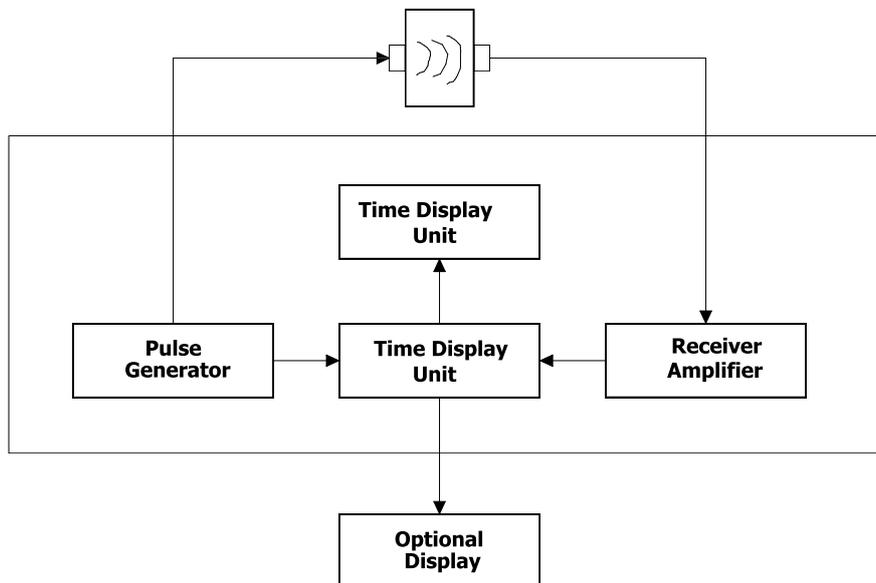
Prinsip penggunaan metode *Ultrasonic Pulse Velocity* didasarkan pada kecepatan gelombang tekan yang melintasi sebuah benda yang tergantung pada *elastic properties* dan kepadatan bendanya. Menurut ASTM C597-02 (2003), cara kerja UPV yaitu *transducer* pengirim (*transmitter*) mengirimkan gelombang dan

ditangkap oleh *transducer* penerima (*receiver*) yang terletak sejauh L dari *transmitter*. Alat *Ultrasonic Pulse Velocity* menampilkan besarnya waktu yang diperlukan oleh gelombang untuk melalui beton yang disebut *travel time* (Δ_t) (Mahotra,2004). Dengan demikian kecepatan gelombang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V = \frac{L}{\Delta_t} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

V : kecepatan perambatan gelombang ultrasonik (km/s); L : panjang lintasan gelombang (m) dan Δ_t : *travel time* (s).



Gambar 1. Skema cara kerja alat UPV
(Sumber: ASTM C597-02 2003)

Analisis statistik inferen

Dalam analisis statistik inferen dapat dibedakan menjadi dua desain dasar penelitian, yaitu desain *between-subject* dan *within subject*. Dalam desain *between subject* sebagai contoh adalah *one way anova* (analisis varians untuk satu variabel independen), *general linear model*, *independent sample t-test*. Analisis *within subject* diantaranya adalah *one sample t-test*, *paired sample t-test*.

Analisis statistik non parametrik

Analisis statistik non parametrik dilakukan untuk sampel yang berdistribusi normal. Apabila persyaratan tidak dipenuhi, maka terjadi penyimpangan dan analisis menjadi tidak valid. Syarat uji statistik non-parametrik lebih longgar, yaitu tidak berdasar berdistribusi sampel, sehingga uji ini sering disebut uji bebas berdistribusi.

One sample Kolmogorov-Smirnov

Prosedur *one sample* Kolmogorov-Smirnov digunakan untuk menguji nul hipotesis suatu sampel tentang suatu distribusi tertentu. Uji ini dilakukan dengan menemukan perbedaan terbesar (nilai *absolut*) antara dua fungsi distribusi kumulatif, yaitu distribusi yang berasal dari data dan distribusi secara teori matematika. Analisis ini digunakan untuk mengetahui bahwa data hasil pembacaan kecepatan perambatan gelombang ultrasonik berdistribusi normal.

One-way Anova (Analisis varian untuk satu variabel Independen)

Analisis varian satu variabel independen digunakan untuk menentukan apakah rata-rata dua data atau lebih kelompok berbeda secara nyata. Dalam kasus ini, analisis *one-way anova* digunakan untuk mengetahui apakah data hasil pengujian kecepatan perambatan gelombang ultrasonik homogen yang mengindikasikan bahwa campuran beton berserat pada seluruh sampel homogen dengan tingkat kinerja baik.

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

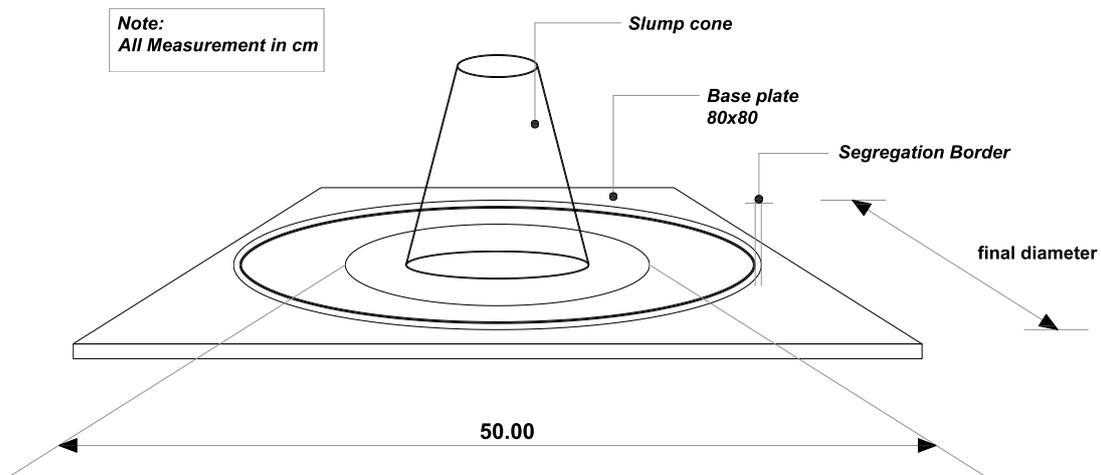
Menggunakan bahan tambah sikamen NN 1,2% dari berat semen, serat *polypropylene* dengan 3 variasi: 0,5kg/m³; 1,0kg/m³ dan 1,5kg/m³ dari volume adukan; Serat yang digunakan sebagai bahan tambahan adalah serat *polypropylene* monofilament dengan diameter 18mm dan panjang 12mm. pengamatan benda uji serat dilakukan secara visual; *Coupling agent* merk ROTARY.

Alat yang digunakan

Alat yang digunakan adalah *Portable Ultrasonic Non-Destructive Indicating Tester* (PUNDIT), kaliper merk *Vernier* dengan tingkat ketelitian 0-300 mm atau 0-12 *inchi*, dan lain-lain.

Flowability* dengan cara pengujian *slump-flow test

Pengujian ini dilakukan untuk menilai aliran bebas arah horizontal tanpa adanya penghalang. Pertama kali pengujian ini dikembangkan di Jepang untuk menilai beton di bawah air. Metode yang digunakan berdasarkan kepada metode test untuk beton di bawah air. Metode yang digunakan berdasarkan pada metode test untuk menentukan nilai slump. Diameter lingkaran adukan beton menunjukkan nilai *filling ability*. Dalam pengujian ini perlu diperhatikan adalah homogenitas beton, yang dapat dilihat dengan kondisi beton yang tidak terjadi segregasi, *bleeding* dan agregat secara merata.



Gambar 2. Slump flow test
(Sumber: Agus dan Slamet, 2010)

METODE PENGUJIAN

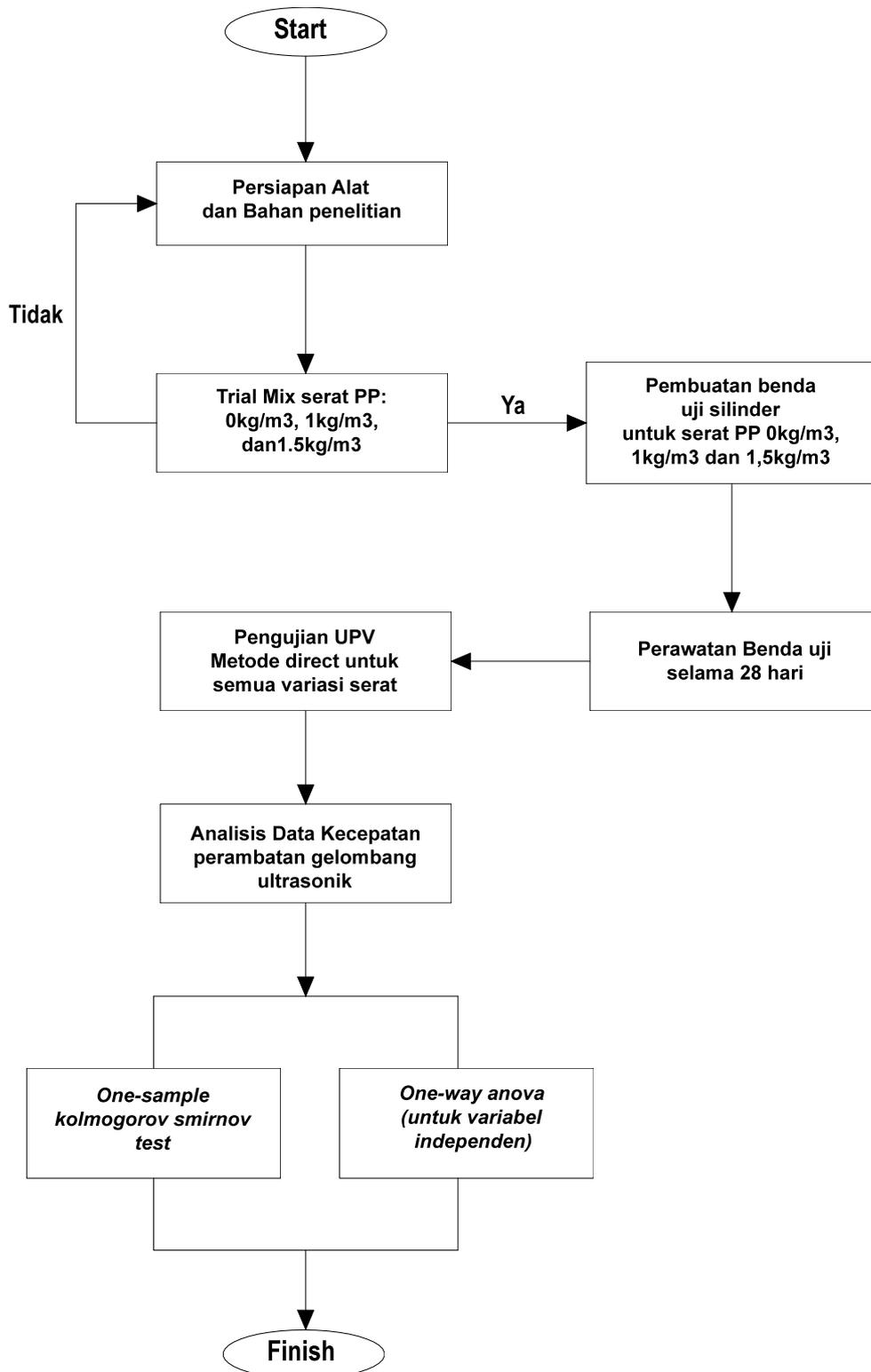
Persiapan Pengujian

Kerucut Abrams (*Abrams' cone*) atau *slump cone*; Alas yang kedap air, berukuran 800x800mm, yang telah diberi tanda ditengah-tengah dengan diameter 500mm.

Pelaksanaan pengujian

1. Bahan adukan dipersiapkan terlebih dahulu, alas dan bagian dalam *slump cone* dibersihkan terlebih dahulu
2. *Slump cone* diletakkan tepat ditengah diameter yang sudah dibuat, kemudian ditekan dengan kuat, agar tidak ada mortar yang menyebar keluar, apabila ada sisa kelebihan mortar, segera dibersihkan/dibuang.
3. Mengangkat secara bebas vertikal dan biarkan beton mengalir bebas, kemudian secara bersamaan, stopwatch dimulai dan dicatat pada saat adukan beton mencapai diameter 500mm sebagai waktu T_{500} (sec).
4. Mengukur diameter akhir dari mortar yang tersebar dalam kedua arah yang saling tegak lurus, kemudian dirata-rata hasilnya, dan didapatkan sebagai nilai *slump flow*.
5. Interpretasi hasil penelitian: Nilai *slump* yang tinggi, semakin besar kemampuan untuk mengisi begesting akibat berat sendiri.
6. Untuk *self compacting mortar* diperlukan minimal nilai *slump flow* 500 ± 50 mm.

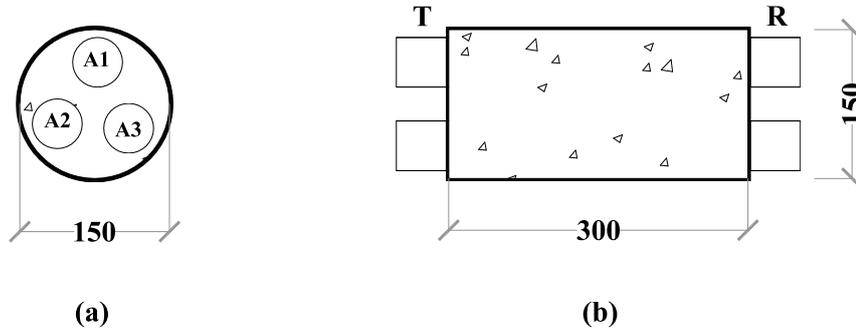
Secara garis besar, pelaksanaan penelitian ini disajikan pada Gambar 3. tentang diagram alir penelitian.



Gambar 3. Diagram alir pelaksanaan penelitian

Pengujian langsung (*direct method*).

Pengujian pendahuluan menggunakan metode *direct* dilakukan pada tiga titik data (A₁ s.d. A₃). Gambar pengujian metode *direct* disajikan dalam Gambar 4 di bawah.



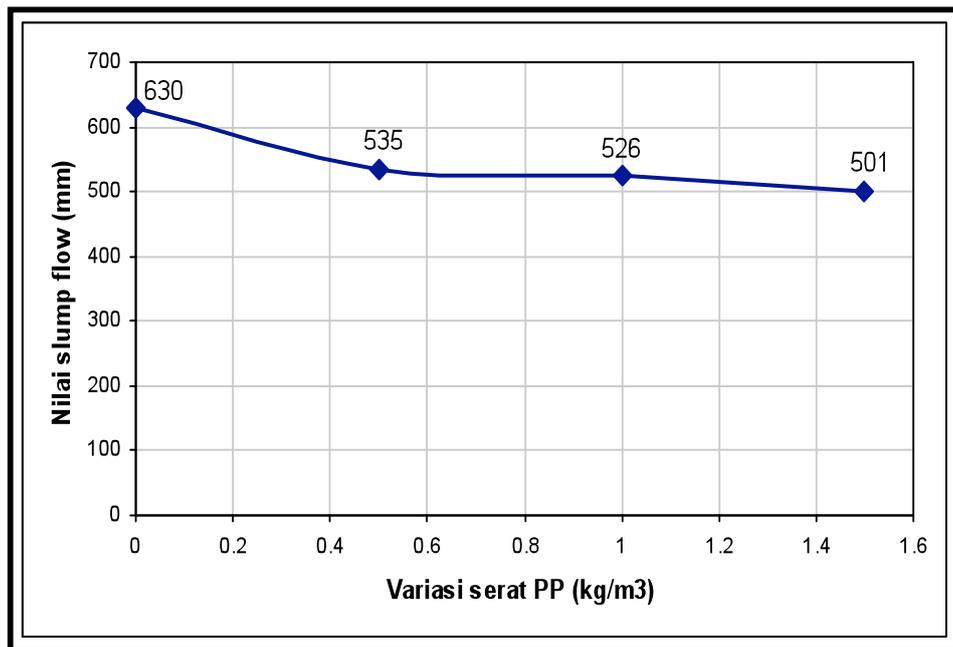
- Keterangan:**
T : Transducer
R : Receiver
(a). Potongan penampang pengujian UPV metode *direct* 3 titik data
(b). Pengujian UPV metode *direct* tampak samping silinder 150x300mm

Gambar 4. Setting pengujian dengan menggunakan metode *direct*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Workability Self Compacting Mortar (SCM)

Sifat ini merupakan tingkat kemudahan adukan untuk dikerjakan (diaduk), diangkut, dituang dan dipadatkan. Perbandingan bahan-bahan maupun sifat bahan secara bersama mempengaruhi sifat kemudahan pengerjaan beton segar. Tingkat kemudahan pengerjaan berkaitan erat dengan tingkat kelecakan (keenceran) adukan beton. Makin cair adukan makin mudah cara pengerjaannya (Tjokrodinuljo, 2007). Menurut Agus dan Slamet (2010) Secara umum semakin banyak jumlah serat yang ditambahkan, ke dalam adukan beton, maka nilai workabilitinya semakin menurun. Untuk mengetahui tingkat kelecakan beton, biasanya dilakukan dengan pengujian *slump flow*. Semakin besar *slump flow*, berarti adukan semakin encer dan ini berarti semakin mudah dikerjakan.



Gambar 5. Grafik hubungan nilai slump flow dengan penambahan serat *polypropylene*

Nilai *slump flow* mengalami penurunan akibat penambahan serat *polypropylene*, dengan penambahan serat *polypropylene* kecacakan mortar akan berkurang, hal ini disebabkan Karena terjadi *blocking* pada adukan mortar. *Blocking* terjadi karena pada saat pencampuran adukan, serat yang dimensinya lebih kecil dari metrik beton tersebut menempati rongga-rongga beton, sehingga mengurangi *flowability* beton segar.

Pengujian UPV (*direct method*) silinder referensi (0kg/m³ serat *Polypropylene*)

Hasil pengujian pendahuluan UPV dengan metode langsung (*direct method*). Hasil pengujian UPV berupa *travel time*, kemudian dihitung kecepatannya, dilakukan pada tiga buah titik yang berbeda (A₁ s.d. A₃). Hasil pengujian *ultrasonic pulse velocity* untuk silinder A (enam buah silinder), disajikan pada Tabel 1 di bawah.

Tabel 2. Hasil pembacaan Kecepatan gelombang ultrasonik rata-rata menggunakan metode langsung (*direct*) (km/s)

| Kecepatan gelombang ultrasonik rata-rata menggunakan metode langsung (<i>direct</i>) (km/s) | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|-------------|--------|------------------|-------------------------------------|-------------|--------|------------------|-------------------------------------|-------------|--------|
| Silinder | SKMNN 1,2%+0.5kg/m ³ SPP | | | Silinder | SKMNN 1,2%+1.0kg/m ³ SPP | | | Silinder | SKMNN 1,2%+1.5kg/m ³ SPP | | |
| | Jarak Transducer | Travel time | V | | Jarak Transducer | Travel time | V | | Jarak Transducer | Travel time | V |
| | (cm) | μs | (km/s) | | (cm) | Ms | (km/s) | | (cm) | μs | (km/s) |
| SB ₁ | 29.86 | 92.80 | 3.22 | SC ₁ | 29.87 | 94.43 | 3.16 | SD ₁ | 30.02 | 84.93 | 3.53 |
| SB ₂ | 29.42 | 90.83 | 3.24 | SC ₂ | 29.54 | 92.70 | 3.19 | SD ₂ | 29.71 | 86.50 | 3.44 |
| SB ₃ | 29.68 | 90.07 | 3.30 | SC ₃ | 29.49 | 92.50 | 3.19 | SD ₃ | 29.89 | 89.93 | 3.32 |
| SB ₄ | 29.52 | 84.87 | 3.48 | SC ₄ | 29.64 | 93.03 | 3.19 | SD ₄ | 30.04 | 88.27 | 3.40 |
| SB ₅ | 29.44 | 83.63 | 3.52 | SC ₅ | 29.68 | 89.87 | 3.30 | SD ₅ | 30.32 | 86.77 | 3.49 |
| SB ₆ | 29.27 | 84.23 | 3.47 | SB ₆ | 29.75 | 96.03 | 3.10 | SD ₆ | 29.62 | 84.50 | 3.51 |
| Rerata Kecepatan | | | 3.37 | Rerata Kecepatan | | | 3.19 | Rerata Kecepatan | | | 3.45 |

Berdasarkan Tabel 2 di atas, dapat dilihat bahwa kecepatan rerata pembacaan perambatan gelombang ultrasonik untuk variasi serat *polypropylene* 0,5kg/m³; 1,0kg/m³; 1,5kg/m³ berturut-turut sebesar 3,37km/s; 3,19km/s dan 3,45km/s. Pada saat gelombang melalui media yang padat, maka nilai kecepataannya semakin kecil. Begitu juga sebaliknya pada saat melalui media yang berongga, maka kecepatan gelombangnya menjadi lambat dan pembacaan kecepatan menjadi lebih besar. Hal ini berarti bahwa pada penambahan serat *polypropylene* 1,0kg/m³ nilai kecepatan perambatan gelombangnya optimum apabila dibandingkan dengan pertambahan variasi serat 0,5kg/m³ dan 1,5kg/m³.

Hubungan antara Kecepatan perambatan gelombang ultrasonik dan variasi serat *polypropylene*

Berdasarkan pengujian metode *direct* dengan menggunakan *Ultrasonic Pulse Velocity* didapatkan besarnya nilai *travel time*. Kemudian dari nilai *travel time* dicari besarnya kecepatan perambatan gelombang ultrasoniknya (V). Perilaku gelombang ultrasonik apabila melalui media yang padat, maka kecepataannya akan semakin meningkat, begitu juga sebaliknya pada saat gelombang melalui media yang porous, kecepataannya akan melambat dikarenakan gelombang merambat melalui celah pori. Hal ini ditenggarai dengan besarnya nilai kecepatan (V) yang kecil. Penambahan serat *polypropylene* dan bahan tambah sikamenNN 1,2% dari berat semen untuk meningkatkan *workability* beton segar diharapkan dapat meningkatkan kepadatan dan kekuatan campuran beton mortar dan dapat menghasilkan kualitas pencampuran serta mutu yang lebih baik dibandingkan dengan beton biasa.

Tabel 2. Hasil pembacaan Kecepatan gelombang ultrasonik rata-rata menggunakan metode langsung (*direct*) (km/s)

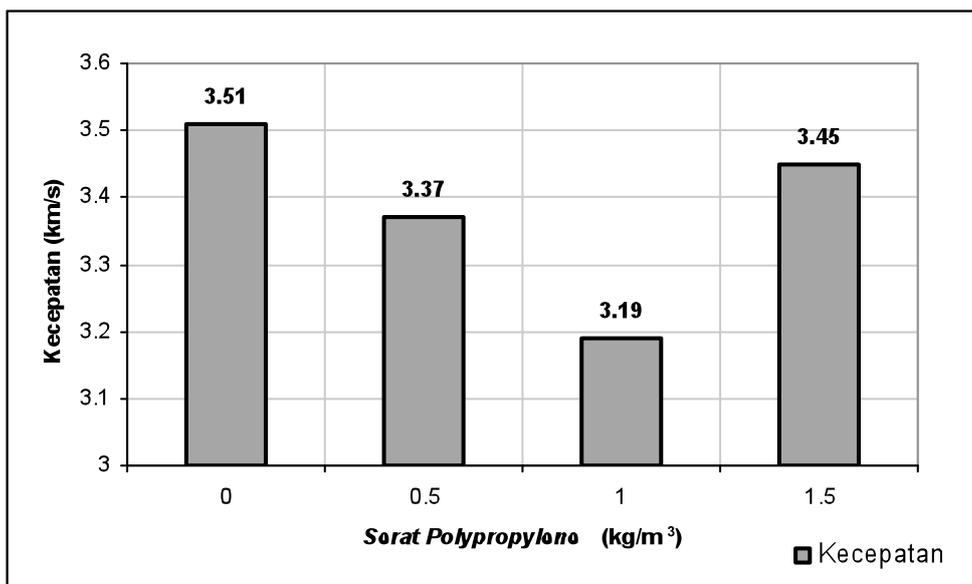
| Kecepatan gelombang ultrasonik rata-rata menggunakan metode langsung (<i>direct</i>) (km/s) | | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------------|-------------|--------|------------------|-------------------------------------|-------------|--------|------------------|-------------------------------------|-------------|--------|
| Silinder | SKMNN 1,2%+0.5kg/m ³ SPP | | | Silinder | SKMNN 1,2%+1.0kg/m ³ SPP | | | Silinder | SKMNN 1,2%+1.5kg/m ³ SPP | | |
| | Jarak Transducer | Travel time | V | | Jarak Transducer | Travel time | V | | Jarak Transducer | Travel time | V |
| | (cm) | µs | (km/s) | | (cm) | Ms | (km/s) | | (cm) | µs | (km/s) |
| SB ₁ | 29.86 | 92.80 | 3.22 | SC ₁ | 29.87 | 94.43 | 3.16 | SD ₁ | 30.02 | 84.93 | 3.53 |
| SB ₂ | 29.42 | 90.83 | 3.24 | SC ₂ | 29.54 | 92.70 | 3.19 | SD ₂ | 29.71 | 86.50 | 3.44 |
| SB ₃ | 29.68 | 90.07 | 3.30 | SC ₃ | 29.49 | 92.50 | 3.19 | SD ₃ | 29.89 | 89.93 | 3.32 |
| SB ₄ | 29.52 | 84.87 | 3.48 | SC ₄ | 29.64 | 93.03 | 3.19 | SD ₄ | 30.04 | 88.27 | 3.40 |
| SB ₅ | 29.44 | 83.63 | 3.52 | SC ₅ | 29.68 | 89.87 | 3.30 | SD ₅ | 30.32 | 86.77 | 3.49 |
| SB ₆ | 29.27 | 84.23 | 3.47 | SB ₆ | 29.75 | 96.03 | 3.10 | SD ₆ | 29.62 | 84.50 | 3.51 |
| Rerata Kecepatan | | | 3.37 | Rerata Kecepatan | | | 3.19 | Rerata Kecepatan | | | 3.45 |

Berdasarkan Tabel 2 di atas, dapat dilihat bahwa kecepatan rerata pembacaan perambatan gelombang ultrasonik untuk variasi serat *polypropylene* 0,5kg/m³; 1,0kg/m³; 1,5kg/m³ berturut-turut sebesar 3,37km/s; 3,19km/s dan 3,45km/s. Pada saat gelombang melalui media yang padat, maka nilai kecepataannya semakin kecil. Begitu juga sebaliknya pada saat melalui media yang berongga, maka kecepatan gelombangnya menjadi lambat dan pembacaan kecepatan menjadi lebih besar. Hal ini berarti bahwa pada penambahan serat *polypropylene* 1,0kg/m³ nilai kecepatan perambatan gelombangnya optimum apabila dibandingkan dengan penambahan variasi serat 0,5kg/m³ dan 1,5kg/m³.

Hubungan antara Kecepatan perambatan gelombang ultrasonik dan variasi serat *polypropylene*

Berdasarkan pengujian metode *direct* dengan menggunakan *Ultrasonic Pulse Velocity* didapatkan besarnya nilai *travel time*. Kemudian dari nilai *travel time* dicari besarnya kecepatan perambatan gelombang ultrasoniknya (V). Perilaku gelombang ultrasonik apabila melalui media yang padat, maka kecepataannya akan semakin meningkat, begitu juga sebaliknya pada saat gelombang melalui media yang porous, kecepataannya akan melambat dikarenakan gelombang merambat melalui celah pori. Hal ini ditenggarai dengan besarnya nilai kecepatan (V) yang kecil. Penambahan serat *polypropylene* dan bahan tambah sikamenNN 1,2% dari berat semen untuk meningkatkan *workability* beton segar diharapkan dapat meningkatkan kepadatan dan kekuatan campuran beton mortar dan dapat menghasilkan kualitas pencampuran serta mutu yang lebih baik dibandingkan dengan beton biasa.

Besarnya variasi serat *polypropylene* akan menimbulkan kerapatan yang berbeda terhadap kualitas pencampuran beton segar. Penggunaan serat *polypropylene* secara proporsional dapat dikaji melalui hasil pengujian kecepatan perambatan gelombang ultrasonik. Besarnya nilai kecepatan perambatan gelombang ultrasonik akan dipengaruhi oleh besarnya variasi serat yang terkandung di dalam beton. Hubungan antara kecepatan dan variasi serat *polypropylene* disajikan pada Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Hubungan antara kecepatan perambatan gelombang ultrasonik dan variasi serat *polypropylene*

Berdasarkan Gambar 6 di atas menunjukkan bahwa pada spesimen referensi (0kg/m³ serat *polypropylene*), kecepatan perambatan gelombang ultrasonik lebih besar dibandingkan dengan yang menggunakan serat *polypropylene* (0,5kg/m³; 1kg/m³ dan 1,5kg/m³), hal ini mengindikasikan bahwa pada spesimen referensi perambatannya lebih lambat dikarenakan oleh beberapa faktor, diantaranya adalah adanya pori agregat, yang menyebabkan kerapatan antar partikelnya menjadi lebih lemah. Hal lainnya adalah pada proses pelaksanaan pemadatan kurang sempurna, dikarenakan tidak menggunakan bahan tambah sikamenNN 1,2% dari berat semen. Pada saat ditambahkan serat *polypropylene* sebesar 0,5kg/m³ dan bahan tambah sikamenNN 1,2% dari berat semen kecepatan perambatannya menurun sebesar 4,15% terhadap spesimen referensi. Hal ini sekaligus mengindikasikan bahwa adanya penambahan serat *polypropylene* dapat meningkatkan kecepatan perambatan gelombang ultrasonik sebesar 4,15% terhadap spesimen referensi (0kg/m³ serat *polypropylene*). Hal ini dikarenakan proses pemadatan pada pembuatan campuran beton segar lebih sempurna (menggunakan *admixture*), campuran beton segar memadat dengan sendirinya (*self compacting mortar*).

Proses pencampuran selanjutnya adalah pada penambahan serat *polypropylene* sebesar 1kg/m³ dan bahan tambah sikamenNN 1,2% dari berat semen, kecepatan perambatannya menurun sebesar 9,12% terhadap spesimen referensi. Hal ini sekaligus mengindikasikan bahwa adanya penambahan

serat *polypropylene* dapat meningkatkan kecepatan perambatan gelombang ultrasonik sebesar 9,12% terhadap spesimen referensi (0kg/m^3 serat *polypropylene*). Dengan adanya penambahan serat menjadi 1kg/m^3 juga dapat meningkatkan kecepatan perambatan gelombang ultrasonik sebesar 5,54% terhadap spesimen $0,5\text{kg/m}^3$ serat *polypropylene*. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan serat sebesar 1% dapat meningkatkan kerapatan campuran beton segar, sehingga rongga (pori) pada beton dapat diisi oleh adanya serat yang berada pada campuran tersebut segar.

Sedangkan pada penambahan serat *polypropylene* sebesar $1,5\text{kg/m}^3$ dan bahan tambah sikamenNN 1,2% dari berat semen kecepatan perambatan gelombangnya menurun sebesar 1,71% terhadap spesimen referensi. Hal ini sekaligus mengindikasikan bahwa adanya penambahan serat *polypropylene* dapat meningkatkan kecepatan perambatan gelombang ultrasonik sebesar 1,71% terhadap spesimen referensi (0kg/m^3 serat *polypropylene*). Dengan adanya penambahan serat menjadi $1,5\text{kg/m}^3$ menyebabkan kecepatan menjadi lebih lambat terhadap penambahan $0,5\text{kg/m}^3$ dan 1kg/m^3 berturut-turut sebesar 2,32% dan 7,54%. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan serat sebesar 1,5% tidak dapat meningkatkan kerapatan campuran beton segar, adanya penambahan serat justru menjadikan *snowball effect* pada beton segar yang menyebabkan terjadinya rongga pada campuran. Sehingga penambahan serat menjadi $1,5\text{kg/m}^3$ sudah tidak efektif lagi dilakukan pada proses pembuatan *self compacting mortar* (SCM).

Penambahan serat *polypropylene* akan efektif pada nilai 1kg/m^3 , hal tersebut ditinjau dari hasil pengujian kecepatan perambatan gelombang ultrasonik yang nilai kecepatannya meningkat sebesar 9.12% terhadap spesimen referensi. Apabila dibandingkan dengan pengujian pada penambahan serat sebesar $0,5\text{kg/m}^3$ dan $1,5\text{kg/m}^3$ nilainya berturut-turut sebesar 4,15% dan 1,71% terhadap spesimen referensi (0kg/m^3 serat *polypropylene*).

Analisis Homogenitas Campuran

Permasalahan yang timbul pada saat menggunakan beton normal ataupun berserat (*self compacting mortar*) pada umumnya adalah adanya ketidakhomogenan akibat adanya proses pencampuran, *bleeding*, *snow ball effect* akibat adanya serat *polypropylene* pada *self compacting mortar*. *Ultrasonik pulse velocity method* (UPVM) dapat digunakan sebagai alat untuk mendeteksi adanya homogenitas campuran pada beton yang sudah mengeras. Semakin banyak titik data, maka hasil yang didapatkan menjadi lebih akurat. Hasil tersebut berupa kecepatan gelombang (V) yang kemudian dianalisis dengan menggunakan salah satu program statistik.

Analisis statistik

One sample Kolmogorov-Smirnov

Salah satu kegunaan metode ini adalah sebagai pengujian awal data, apakah data yang didapatkan dari hasil pengujian kecepatan perambatan gelombang ultrasonik berdistribusi normal ataukah tidak. Apabila data yang didapatkan berdistribusi normal, maka analisis homogenitas data dapat dilakukan. Hasil analisis *One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test* disajikan pada Tabel 3 di bawah.

Tabel 3. *One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test*

| | | Serat_Polypr ophylene_0 | Serat_Polypro phylene_1.0 | Serat_Polypro phylene_0.5 | Serat_Polypro phylene_1.5 |
|-------------------------------------|----------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| N | | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Normal Parameters ^{a,b} | Mean | 3.5133 | 3.1883 | 3.3717 | 3.4483 |
| | Std. Deviation | .05007 | .06494 | .13333 | .07885 |
| Most Extreme Differences | Absolute | .179 | .323 | .270 | .201 |
| | Positive | .179 | .323 | .205 | .150 |
| | Negative | -.130 | -.177 | -.270 | -.201 |
| Kolmogorov-Smirnov Z | | .439 | .791 | .660 | .493 |
| Asymp. Sig. (2-tailed) | | .990 | .558 | .776 | .968 |

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Hipotesis awal pada pengujian normalitas data adalah sebagai berikut:

Ho = sampel berdistribusi normal.

H1 = sampel tidak berdistribusi normal.

Hasil pengujian pada Tabel 3 di atas menunjukkan bahwa pada keseluruhan nilai Asymp Sig (2-tailed) pada specimen referensi (0kg/m³ serat *polypropylene*), penambahan serat *polypropylene* sebesar 0,5kg/m³; 1kg/m³ dan 1,5kg/m³, nilainya berturut-turut sebesar 0,990; 0,558; 0,776 dan 0,968. Syarat suatu sampel berdistribusi normal pada pengujian ini adalah lebih besar dari ($\alpha > 0,05$). Berdasarkan hasil pengujian distribusi normal di atas berarti bahwa nilai *Asymp Sig (2-tailed)* > ($\alpha > 0,05$), maka Ho diterima, jadi sampel tersebut berdistribusi normal.

One-way Anova (Analisis varian untuk satu variabel Independen)

Setelah pengujian pendahuluan untuk mengetahui semua sampel berdistribusi normal dilakukan, pengujian sampel selanjutnya adalah untuk mengetahui apakah *Ultrasonik Pulse Velocity Method (UPVM)* dapat digunakan untuk mengetahui homogenitas beton serat. Menurut Faqih (2010), Salah satu pengujian yang dilakukan adalah dengan menggunakan *One-Way Anova* (analisis varian untuk satu variabel independen). Hasil pengujian selengkapnya disajikan pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Analisis deskriptif Kecepatan perambatan gelombang ultrasonik (0kg/m³; 0,5kg/m³; 1kg/m³ dan 1,5kg/m³ serat polypropylene)

| N | Mean | Std. Deviation | Std. Error | 95% Confidence Interval for Mean | | Minimum | Maximum | |
|-------|------|----------------|------------|----------------------------------|-------------|---------|---------|------|
| | | | | Lower Bound | Upper Bound | | | |
| .00 | 6 | 3.5133 | .05007 | .02044 | 3.4608 | 3.5659 | 3.45 | 3.59 |
| .50 | 6 | 3.3717 | .13333 | .05443 | 3.2317 | 3.5116 | 3.22 | 3.52 |
| 1.00 | 6 | 3.1883 | .06494 | .02651 | 3.1202 | 3.2565 | 3.10 | 3.30 |
| 1.50 | 6 | 3.4483 | .07885 | .03219 | 3.3656 | 3.5311 | 3.32 | 3.53 |
| Total | 24 | 3.3804 | .14878 | .03037 | 3.3176 | 3.4432 | 3.10 | 3.59 |

Tabel 4 merupakan tabel deskriptif dari variabel kecepatan perambatan gelombang ultrasonik, yaitu kolom pertama merupakan kolom kategori berdasar variable independent, kolom kedua adalah jumlah data setiap kelompok, kolom ketiga adalah nilai reratanya, kolom keempat adalah standar deviasi setiap kelompok, kolom keenam dan ketujuh merupakan nilai lower dan upper bound, kolom kedelapan merupakan kolom minimum dan maksimum.

Tabel 5. *Test of Homogeneity variances* Kecepatan perambatan gelombang ultrasonik (0kg/m³; 0,5kg/m³; 1kg/m³ dan 1,5kg/m³ serat polypropylene)

| Levene Statistic | df1 | df2 | Sig. |
|------------------|-----|-----|------|
| 5.930 | 3 | 20 | .005 |

Tabel 6. Analisis *one-way anova* Kecepatan perambatan gelombang ultrasonik setiap nilai varians (0kg/m³; 0,5kg/m³; 1kg/m³ dan 1,5kg/m³ serat polypropylene)

| | Sum of Squares | Df | Mean Square | F | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|--------|------|
| Between Groups | .356 | 3 | .119 | 15.432 | .000 |
| Within Groups | .154 | 20 | .008 | | |
| Total | .509 | 23 | | | |

Hipotesis awal pada pengujian ANOVA homogenitas beton berserat adalah sebagai berikut:

Ho : keempat kelompok memiliki nilai rerata yang sama

H1 : kelima kelompok memiliki nilai rerata yang berbeda

Hasil pengujian pada Tabel 6 di atas menunjukkan bahwa pada keseluruhan nilai *Asymp Sig (2-tailed)* ($\alpha < 0,05$) yang berarti bahwa H_0 di tolak. Jadi, keempat nilai tersebut memiliki rata-rata yang berbeda.

Analisis selanjutnya adalah *One-way anova* untuk mengetahui homogenitas beton berserat *Self compacting mortar* (SCM). Seperti disajikan pada Tabel 7 di bawah ini.

Tabel 7. *Homogeneous subsets* Kecepatan perambatan gelombang ultrasonik (0kg/m^3 ; $0,5\text{kg/m}^3$; 1kg/m^3 dan $1,5\text{kg/m}^3$ serat *polypropylene*)

| | Penambahan _Serat_PP | N | Subset for alpha = 0.05 | | |
|------------------------|-------------------------|---|-------------------------|--------|--------|
| | | | 1 | 2 | 3 |
| Tukey HSD ^a | 1.00 | 6 | 3.1883 | | |
| | .50 | 6 | | 3.3717 | |
| | 1.50 | 6 | | 3.4483 | 3.4483 |
| | .00 | 6 | | | 3.5133 |
| | Sig. | | 1.000 | .447 | .583 |

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 6.000.

Hipotesis awal pada pengujian *One-way anova* homogenitas beton berserat adalah sebagai berikut:

H_0 : keempat kelompok memiliki nilai varians yang sama

H_1 : kelima kelompok memiliki nilai varians yang berbeda

Hasil pengujian pada Tabel 7 di atas menunjukkan bahwa pada keseluruhan nilai *Asymp Sig (2-tailed)* ($\alpha > 0,05$) yang berarti bahwa H_0 diterima. Jadi, keempat nilai tersebut memiliki nilai varians yang sama. Dengan adanya nilai varians yang sama, maka dapat dikatakan bahwa seluruh sampel beton berserat *Self compacting mortar* (SCM) pada penelitian ini adalah homogen. Hal tersebut berarti bahwa *Ultrasonic Pulse Velocity Method* dapat digunakan untuk mengetahui homogenitas campuran beton berserat.

Apabila pengamatan lebih lanjut mengenai perbedaan nilai rerata varians keempat kelompok tersebut dengan menggunakan *Post Hoc Test*, maka hasilnya disajikan pada Tabel 8 di bawah ini.

Tabel 8. *Multiple Comparisons Dependent Variable* Kecepatan perambatan gelombang ultrasonic (0kg/m^3 ; $0,5\text{kg/m}^3$; 1kg/m^3 dan $1,5\text{kg/m}^3$ serat polypropylene)

| | (I) Penamb ahan_Se rat_PP | (J) Penamb ahan_Se rat_PP | Mean Difference (I-J) | Std. Error | Sig. | 95% Confidence Interval | |
|-----------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------|------|-------------------------|----------------|
| | | | | | | Lower Bound | Upper Bound |
| Tukey HSD | .00 | .50 | .14167* | .05059 | .050 | .0001 | .2833 |
| | | 1.00 | .32500* | .05059 | .000 | .1834 | .4666 |
| | | 1.50 | .06500 | .05059 | .583 | -.0766 | .2066 |
| | .50 | .00 | -.14167* | .05059 | .050 | -.2833 | .0000 |
| | | 1.00 | .18333* | .05059 | .008 | .0417 | .3249 |
| | | 1.50 | -.07667 | .05059 | .447 | -.2183 | .0649 |
| | 1.00 | .00 | -.32500* | .05059 | .000 | -.4666 | -.1834 |
| | | .50 | -.18333* | .05059 | .008 | -.3249 | -.0417 |
| | | 1.50 | -.26000* | .05059 | .000 | -.4016 | -.1184 |
| | 1.50 | .00 | -.06500 | .05059 | .583 | -.2066 | .0766 |
| | | .50 | .07667 | .05059 | .447 | -.0649 | .2183 |
| | | 1.00 | .26000* | .05059 | .000 | .1184 | .4016 |
| LSD | .00 | .50 | .14167* | .05059 | .011 | .0361 | .2472 |
| | | 1.00 | .32500* | .05059 | .000 | .2195 | .4305 |
| | | 1.50 | .06500 | .05059 | .214 | -.0405 | .1705 |
| | .50 | .00 | -.14167* | .05059 | .011 | -.2472 | -.0361 |
| | | 1.00 | .18333* | .05059 | .002 | .0778 | .2889 |
| | | 1.50 | -.07667 | .05059 | .145 | -.1822 | .0289 |
| | 1.00 | .00 | -.32500* | .05059 | .000 | -.4305 | -.2195 |
| | | .50 | -.18333* | .05059 | .002 | -.2889 | -.0778 |
| | | 1.50 | -.26000* | .05059 | .000 | -.3655 | -.1545 |
| | 1.50 | .00 | -.06500 | .05059 | .214 | -.1705 | .0405 |
| | | .50 | .07667 | .05059 | .145 | -.0289 | .1822 |
| | | 1.00 | .26000* | .05059 | .000 | .1545 | .3655 |

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Hasil pengujian pada Tabel 8 di atas menunjukkan bahwa rerata nilai *Asymp Sig (2-tailed)* ($\alpha > 0,05$) yang berarti bahwa H_0 diterima. Jadi, keempat nilai tersebut memiliki nilai varians yang sama. Dengan adanya nilai varians yang sama, maka dapat dikatakan bahwa seluruh sampel beton berserat *Self compacting mortar* (SCM) pada penelitian ini adalah homogen. Hal tersebut berarti bahwa *Ultrasonic Pulse Velocity Method* dapat digunakan untuk mengetahui homogenitas campuran beton berserat dengan tingkat akurasi pengukuran yang cukup bagus apabila dilihat dari hasil analisis standar deviasi yang berkisar antara 0.05059 pada taraf signifikansi sebesar 0.05.

KESIMPULAN

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

1. Besarnya kecepatan perambatan gelombang ultrasonik pada variasi serat *polypropylene* sebesar 0kg/m^3 ; $0,5\text{kg/m}^3$; 1kg/m^3 ; dan $1,5\text{kg/m}^3$ berturut turut sebesar $3,51\text{km/s}$; $3,37\text{km/s}$; $3,19\text{km/s}$; dan $3,45\text{km/s}$.
2. Berdasarkan analisis homogenitas kecepatan perambatan gelombang ultrasonik, penambahan serat *polypropylene* pada *self compacting mortar* (SCM) akan efektif pada nilai sebesar 1kg/m^3 .
3. Peningkatan kecepatan perambatan gelombang ultrasonik tertinggi pada variasi serat sebesar 1kg/m^3 sebesar $9,12\%$ terhadap spesimen referensi. Selanjutnya pada variasi serat sebesar $0,5\text{kg/m}^3$ dan $1,5\text{kg/m}^3$ nilainya berturut-turut sebesar $4,15\%$ dan $1,71\%$ terhadap spesimen referensi (0kg/m^3 serat *polypropylene*).
4. Hasil analisis dengan menggunakan *one-way anova* pada kecepatan perambatan gelombang ultrasonik menunjukkan bahwa nilai keempat sampel berbeda. Nilai *Asymp Sig (2-tailed)* ($\alpha < 0,05$) yang berarti H_0 ditolak. Sedangkan hasil analisis varians untuk mengetahui homogenitas beton didapatkan nilai *Asymp Sig (2-tailed)* ($\alpha > 0,05$) yang berarti bahwa H_0 diterima. Dengan adanya nilai varians yang sama, maka dapat dikatakan bahwa seluruh sampel beton berserat *Self compacting mortar* (SCM) pada penelitian ini adalah homogen.
5. *Ultrasonic pulse velocity method* (UPVM) dapat digunakan untuk mengetahui homogenitas campuran beton berserat dengan tingkat akurasi kesalahan berdasarkan hasil analisis menggunakan program statistik sebesar $1,17\%$ (termasuk kedalam kategori baik).

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya atas bantuan dana penelitian yang telah diberikan melalui dana DIPA Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta. Selain itu, juga disampaikan rasa terimakasih kepada Laboratorium Struktur Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada Yogyakarta yang telah menyediakan fasilitas pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Agus S., dan Slamet, W., 2010. Efek Penambahan Serat Polypropylene terhadap daya lekat dan kuat lentur pada rehabilitasi struktur beton dengan *self compacting repair mortar* (SCRM). Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- [2]. ASTM C597-02, 2003, *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*, Designation: Vol. 04.02, ASTM International.
- [3]. Bjegovic D., Skazlic M., and Jambresic M. 2005. *Crack repair assesment by ultrasonic method. September 1-3, 2005, Portorož, Slovenia*, pp. 81-89.
- [4]. Budi, N., 2008. Ultrasonic wave velocity relations on a variety of concrete quality using local materials Yogyakarta. Master Thesis S-2, Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty Of Engineering, Gadjah Mada University.
- [5]. Faqih Ma'arif, 2010. Pengaruh variasi gaya aksial kolom pada pengamatan kecepatan perambatan gelombang ultrasonik. (Uji kinerja kolom pasca perbaikan dengan menggunakan *epoxy resins*). Tesis S2. Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- [6]. Maholtra V. M. And Carino N. J., 2008. "Handbook on nondestructive testing of concrete", second edition, ASTM International, CRC press chapter 8.
- [9]. Pelisser, F., Neto, A.B.S.S., La Rovere, H.L., and Pinto, R.C.A., 2010, "Effect of the addition of shyntetic fibers to concrete thin slabs on plastic shringkage cracking". *Construction and building materials* 24, pp 2171-2176.
- [7]. Sujiani, J, 2008. Accuracy test of Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) for detecting the crack Depth in concrete, Master Thesis S-2, Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty Of Engineering, Gadjah Mada University.
- [8]. Tjokrodimuljo, K., 2007, *Teknologi Beton*, Nafiri, Yogyakarta.