



**KAJIAN HASIL EKSPERIMEN PENGGUNAAN METODE *DIRECT* DAN  
*INDIRECT* PADA DINDING SANDWICH STYROFOAM**

**PROYEK AKHIR**

Diajukan Kepada Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta  
Untuk Memenuhi Sebagian Prasyarat  
Guna Memperoleh Gelar Ahli Madya



Oleh:  
Permana Fian Hidayat  
NIM. 12510134005

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
JURUSAN PENDIDIKAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA  
2016**

## HALAMAN PERSETUJUAN

Proyek Akhir Yang Berjudul

### **KAJIAN HASIL EKSPERIMEN PENGGUNAAN METODE *DIRECT* DAN *INDIRECT* PADA DINDING *SANDWICH STYROFOAM***

**Disusun oleh:**

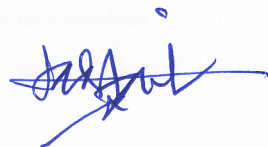
**Permana Fian H**

**NIM. 12510134005**

Telah memenuhi syarat dan disetujui oleh Dosen Pembimbing untuk dilaksanakan  
Ujian Proyek Akhir bagi yang bersangkutan

Yogyakarta, 25 Januari 2016

Dosen Pembimbing,



Faqih Ma'arif,. M. Eng.  
NIP. 19850407 201012 1006



## HALAMAN PENGESAHAN

### PROYEK AKHIR

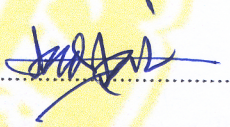
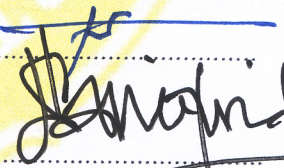
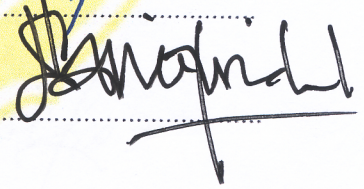
#### KAJIAN HASIL EKSPERIMEN PENGGUNAAN METODE *DIRECT* DAN *INDIRECT* PADA DINDING *SANDWICH STYROFOAM*

*Disusun oleh:*

**Permana Fian Hidayat**  
**12510134005**

Telah Dipertahankan di depan Tim Penguji Proyek Akhir Jurusan Pendidikan  
Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Negeri Yogyakarta  
Pada Tanggal 19 Februari 2016


#### TIM PENGUJI


Jabatan	Nama Lengkap	Tanda Tangan
1. Ketua Penguji	Faqih Ma'arif, M. Eng.	
2. Penguji Utama I	Drs. Agus Santoso, M.Pd	
3. Penguji Utama II	Dr. Slamet Widodo, M.T.	

Yogyakarta, Maret 2016

Dekan Fakultas Teknik

Universitas Negeri Yogyakarta

  
Dr. Moch. Bruri Triyono, M.Pd.

NIP. 19560216 198603 1 003 

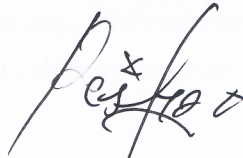


## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Proyek Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar Ahli Madya atau gelar lainnya di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis oleh orang lain, kecuali tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 25 Januari 2016

Yang menyatakan,



Permana Fian Hidayat

NIM. 12510134005

Proyek akhir ini di bawah penelitian tema payung dosen atas nama Agus Santoso,.M.Pd, Dr. Slamet Widodo, dan Faqih Ma'arif,.M.Eng. Jurusan Pendidikan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.



## **MOTTO**

Sesungguhnya setelah kesulitan itu ada kemudahan

(Q.S Ash-Sharh: 6)

Allah tidak merubah nasib sesuatu kaum sehingga mereka merubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri

(Q.S Ar-Ra'd : 11)

Apapun yang terjadi hari ini, jangan menyerah. Ingatlah bahwa semua hadiah besar dalam hidup ini datang karena anda bertahan saat anda hampir menyerah. Bertahanlah, jangan menyerah.

(Mario Teguh)

Di dalam hidup ini, kita tidak bisa berharap segala yang kita dambakan bisa diraih dalam sekejap. Lakukan saja perjuangan dan terus berdoa, maka Tuhan akan menunjukkan jalan selangkah demi selangkah.

(Merry Riana)

## **PERSEMBAHAN**

Dengan menyebut nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha  
Penyayang

Karya Proyek Akhir ini saya persembahkan untuk

Ayah dan Ibu

Yang selalu mendoakan dan memberi semangat moril serta  
materil

Kakak-kakak saya

Yang selalu memberikan semangat dan mengingatkan saya  
tentang arti kerja keras

Sahabat-sahabat saya

Yang selalu menjadi penyemangat



## **KAJIAN HASIL EKSPERIMEN PENGGUNAAN METODE *DIRECT* DAN *INDIRECT* PADA BETON JENIS *SELF COMPACTING MORTAR***

Oleh:

Permana Fian Hidayat  
12510134005

### **ABSTRAK**

Pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) adalah pengujian tanpa merusak benda uji (non destruktif). Pada pengujian ini bertujuan untuk mencari kecepatan gelombang *ultrasonic* pada dinding *sandwich styrofoam* dengan menggunakan metode *direct* dan *indirect* pada jenis beton *Self Compacting Mortar*.

Pada penelitian ini benda uji dinding *Styrofoam* memiliki dimensi 600 mm x 400 mm x 120 mm yang berjumlah 24 buah dengan variasi ketebalan core 70 mm; 80 mm; dan 90 mm, serta ketebalan lapis kulit dinding sebesar 25 mm; 20 mm; dan 15 mm dengan menggunakan serat 0kg/m<sup>3</sup> dan 1 kg/m<sup>3</sup> serta sikamen NN sebanyak 1,2% dari berat semen dengan perbandingan mortar 1PC: 4PS: f a s 0,9.

Berdasarkan hasil pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* dengan menggunakan metode *direct* pada benda uji 70mm, 80mm, dan 90mm serat 0 mempunyai hasil error secara berturut-turut sebesar 3,20%; 10,09%; dan 15,49%. Sedangkan menggunakan serat 1 mempunyai hasil nilai secara berturut-turut sebesar 12,15%; 0,64%; dan 18,39%. Hasil pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* dengan menggunakan metode *indirect* pada benda uji 70mm, 80mm, dan 90mm serat 0 mempunyai hasil error secara berturut-turut sebesar 31,14%; 36,50%; dan 28,39%. Sedangkan menggunakan serat 1 mempunyai hasil nilai secara berturut-turut sebesar 28,96%; 35,569%; dan 20,957%. Pada penelitian dinding *sandwich styrofoam* metode *direct* mempunyai hasil tingkat akurasi yang stabil dan baik dibandingkan dengan metode *indirect*..

**Kata Kunci:** *Ultrasonic Pulse Velocity*, metode *Indirect*, metode *direct*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Proyek Akhir saya yang berjudul “Kajian Hasil Eksperimen Penggunaan Metode *direct* dan *indirect* Pada Dinding *Sandwich Styrofoam*”. Penelitian ini disusun sebagai persyaratan untuk mendapatkan gelar Ahli Madya pada Prodi Teknik Sipil Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dari proses pengujian hingga terselesainya penulisan laporan proyek akhir ini. Untuk itu, penulis menyampaikan terima kasih secara tulus kepada:

1. Kedua orang tua saya yang telah memberikan doa dan semangat selama pelaksanaan proyek akhir.
2. Kakak-kakak saya yang selalu memberikan masukan serta motivasi selama mengerjakan mengerjakan proyek akhir.
3. Bapak Faqih Ma'arif, M. Eng. Selaku dosen yang telah berjasa dalam proyek akhir ini dan membimbing selama penyusunan lapotan Tugas Akhir.
4. Bapak Drs. Agus Santoso,. M.Pd. Selaku dosen penguji 1 serta Wakil Dekan II Universitas Negeri Yogyakarta.
5. Bapak Dr. Slamet Widodo,. ST. MT. Selaku dosen penguji 2.
6. Ibu Sativa, ST.,MT..selaku dosen Pembimbing Akademik.
7. Bapak Drs. Darmono..selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan



8. Bapak Dr. Moch. Bruri Triyono selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
9. Bapak Sudarman, S.T. selaku teknisi Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultasteknik, Universitas Negeri Yogyakarta.  
Terimakasih atas segala bantuan dan bimbingannya selama pembuatan dan pengujian benda uji.
10. Khairunnisa, Noor Wahyu, Helfian Adhe, Dian Tri Pintasari, Sovia Fitri, Nuryana, Marjuni Dwi, Dicky Aprileon, dan Pramantana selaku teman-teman satu tim dalam penelitian. Serta Yogo Edi, Rudi Susanto, Sarah Fernandia, Novia, Anton Wijaya, dan Arif Sahar, selaku tim *rigid pavement* yang sudah ikut membantu. Terimakasih atas kerjasamanya selama ini.
11. Teman–teman kelas C angkatan 2012 kelas Struktur maupun Hidro. Terima kasih atas bantuan doa, pikiran dan tenaga pada saat pembuatan benda uji hingga pengujian benda uji sehingga penelitian ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya.
12. Terimakasih pula untuk kakak angkatan Moh. Nur Amin, Kiky Ardinal, Elgusti, Ardi, dan semua yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu.  
Terimakasih untuk semua bantuannya baik moral maupun material.
13. Semua pihak yang telah membantu dalam penulisan Proyek Akhir.

Penyusun menyadari bahwa dalam penulisan karya ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna. Oleh karena itu penyusun sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari berbagai pihak, guna kesempurnaan dalam penulisan Proyek Akhir ini. Semoga Proyek Akhir ini dapat berguna untuk penyusun pribadi dan bagi siapa saja yang membacanya, Amin.

Yogyakarta, 25 Januari 2016

Penyusun

Permana Fian Hidayat  
NIM. 12510134005



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>SURAT PERNYATAAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>iv</b>
<b>LEMBAR PERSEMBAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xx</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xxv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Identifikasi Masalah .....	6
C. Pembatasan Masalah .....	7
D. Rumusan Masalah .....	7
E. Tujuan Penelitian .....	8
F. Manfaat Penelitian .....	8
<b>BAB II KAJIAN TEORI .....</b>	<b>10</b>
A. Beton .....	10
B. Beton Ringan .....	11

C. Beton Berserat .....	12
D. Mortar .....	14
E. Jenis-jenis Gelombang.....	15
1. Gelombang Transversal .....	16
2. Gelombang Longitudinal .....	16
3. Gelombang Rayleigh .....	17
4. Gelombang Love .....	17
F. Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) .....	19
G. Akurasi (Ketelitian) .....	24
H. Material Penyusun Beton Ringan .....	25
1. Agregat Halus .....	25
2. Semen Portland .....	28
3. Air .....	30
4. <i>Styrofoam</i> .....	32
I. Material Penyusun Dinding <i>Sandwich Styrofoam</i> .....	33
1. <i>Core</i> .....	33
2. <i>Wiremesh</i> .....	34
3. <i>Self Compacting</i> Mortar (SCM) .....	35
4. Sikamen NN .....	35
5. Serat <i>Polypropylene</i> .....	36
J. Kajian Penelitian yang Relevan.....	36

### **BAB III METODE PENELITIAN .....** 39

A. Metode Penelitian .....	39
1. Desain Eksperimen .....	39
a. Tempat .....	39
b. Metode .....	39
c. Jumlah benda uji .....	39
2. Variabel Penelitian .....	40

1. Variabel Bebas .....	40
2. Variabel Terikat .....	41
3. Variabel Kontrol .....	41
B. Material Penyusun Benda Uji.....	42
C. Alat .....	47
D. Prosedur Penelitian .....	58
1. Tahap Persiapan Alat dan Benda Uji.....	60
2. Tahap Pembuatan Benda Uji .....	60
a. Lapis Kulit (plesteran) .....	61
b. <i>Core</i> .....	63
3. Tahap Perawatan Benda Uji .....	63
4. Tahap Pengujian Benda Uji .....	64
a. Metode <i>Direct</i> .....	64
b. Metode <i>Indirect</i> .....	64
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>67</b>
A. Hasil Pengujian.....	67
1. Modulus Kekhalusan Butir .....	68
a. Komposisi Camuran ( <i>Mix Desain</i> ) .....	68
b. Komposisi Mortar .....	72
2. Kecepatan perambatan gelombang dengan metode <i>direct</i> serat 0 dan 1.....	76

3. Kecepatan perambatan gelombang dengan metode <i>indirect</i> serat 0 dan 1.....	80
B. Pembahasan .....	82
1. Hasil MKB .....	82
2. Komposisi perambatan gelombang <i>Ultrasonic Pulse Velocity</i> dengan metode <i>direct</i> dan <i>indirect</i> .....	83
a. Data pengujian dinding <i>sandwich styrofoam</i> dengan ukuran <i>core</i> 70 serat 0 benda uji 1 dan 2 dengan metode <i>direct</i> .....	83
b. Data pengujian dinding <i>sandwich styrofoam</i> dengan ukuran <i>core</i> 70 serat 0 benda uji 1 dan 2 dengan metode <i>indirect</i> .....	85
c. Data pengujian dinding <i>sandwich styrofoam</i> dengan ukuran <i>core</i> 80 serat 0 benda uji 1 dan 2 dengan metode <i>direct</i> .....	87
d. Data pengujian dinding <i>sandwich styrofoam</i> dengan ukuran <i>core</i> 80 serat 0 benda uji 1 dan 2 dengan metode <i>indirect</i> .....	88
e. Data pengujian dinding <i>sandwich styrofoam</i> dengan ukuran <i>core</i> 90 serat 0 benda uji 1 dan 2 dengan metode <i>direct</i> .....	90

f. Data pengujian dinding <i>sandwich styrofoam</i> dengan ukuran <i>core</i> 90 serat 0 benda uji 1 dan 2 dengan metode <i>indirect</i> .....	91
g. Data pengujian dinding <i>sandwich styrofoam</i> dengan ukuran <i>core</i> 70 serat 1 benda uji 5 dan 6 dengan metode <i>direct</i> .....	93
h. Data pengujian dinding <i>sandwich styrofoam</i> dengan ukuran <i>core</i> 70 serat 1 benda uji 5 dan 6 dengan metode <i>indirect</i> .....	95
i. Data pengujian dinding <i>sandwich styrofoam</i> dengan ukuran <i>core</i> 80 serat 1 benda uji 5 dan 6 dengan metode <i>direct</i> .....	96
j. Data pengujian dinding <i>sandwich styrofoam</i> dengan ukuran <i>core</i> 80 serat 1 benda uji 5 dan 6 dengan metode <i>indirect</i> .....	98
k. Data pengujian dinding <i>sandwich styrofoam</i> dengan ukuran <i>core</i> 90 serat 1 benda uji 5 dan 6 dengan metode <i>direct</i> .....	100
l. Data pengujian dinding <i>sandwich styrofoam</i> dengan ukuran <i>core</i> 90 serat 1 benda uji 5 dan 6 dengan metode <i>indirect</i> .....	101
3. Hasil perbandingan metode <i>direct</i> dengan <i>indirect</i> .....	103



a. Perbandingan <i>core</i> 70 serat 0 benda uji 1 dan 2 metode <i>direct</i> .....	103
b. Perbandingan <i>core</i> 70 serat 0 benda uji 1 dan 2 metode <i>indirect</i> .....	103
c. Perbandingan <i>core</i> 80 serat 0 benda uji 1 dan 2 metode <i>direct</i> .....	104
d. Perbandingan <i>core</i> 80 serat 0 benda uji 1 dan 2 metode <i>indirect</i> .....	105
e. Perbandingan <i>core</i> 90 serat 0 benda uji 1 dan 2 metode <i>direct</i> .....	106
f. Perbandingan <i>core</i> 90 serat 0 benda uji 1 dan 2 metode <i>indirect</i> .....	106
g. Perbandingan <i>core</i> 70 serat 1 benda uji 5 dan 6 metode <i>direct</i> .....	107
h. Perbandingan <i>core</i> 70 serat 1 benda uji 5 dan 6 metode <i>indirect</i> .....	108
i. Perbandingan <i>core</i> 80 serat 1 benda uji 5 dan 6 metode <i>direct</i> .....	109
j. Perbandingan <i>core</i> 80 serat 1 benda uji 5 dan 6 metode <i>indirect</i> .....	109
k. Perbandingan <i>core</i> 90 serat 1 benda uji 5 dan 6 metode <i>direct</i> .....	110

1. Perbandingan <i>core</i> 90 serat 1 benda uji 5 dan 6 metode <i>direct</i> .....	111
<b>BAB V. SIMPULAN DAN SARAN</b> .....	114
A. Simpulan.....	115
B. Saran.....	117
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	119
<b>LAMPIRAN</b> .....	121

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Sifat Mortar Semen .....	14
Tabel 2. Hubungan Kecepatan Gelombang dengan Kualitas Beton .....	23
Tabel 3. Batas-batas Gradasi Agregat .....	28
Tabel 4. Jumlah Benda Uji .....	39
Tabel 5. Modulus Kehalusan Butir .....	68
Tabel 6. Pengujian Agregat Halus .....	68
Tabel 7. Kebutuhan Material Tiap Meter Kubik.....	69
Tabel 8. Volume Dinding Pelat Dengan <i>Core</i> 70 mm.....	69
Tabel 9. Volume Dinding Pelat Dengan <i>Core</i> 80 mm.....	70
Tabel 10. Volume Dinding Pelat Dengan <i>Core</i> 70mm.....	70
Tabel 11. Kebutuhan material untuk <i>core</i> 70 mm.....	70
Tabel 12. Kebutuhan material untuk <i>core</i> 80 mm.....	71
Tabel 13. Kebutuhan material untuk <i>core</i> 90 mm.....	71
Tabel 14. Pengambilan Sample.....	72
Tabel 15. Perbandingan Agregat.....	72
Tabel 16. Kebutuhan agregat tiap meter kubik .....	73
Tabel 17. Kebutuhan material untuk <i>trial mix</i> .....	74
Tabel 18. Volume lapisan mortar dengan ketebalan 25 mm.....	74
Tabel 19. Volume lapisan mortar dengan ketebalan 20 mm.....	74
Tabel 20. Volume lapisan mortar dengan ketebalan 15 mm.....	75

Tabel 21. Kebutuhan material untuk pembuatan 2 bekesting mortar dengan tebal 25 mm .....	75
Tabel 22. Kebutuhan material untuk pembuatan 2 bekesting mortar dengan tebal 20 mm .....	75
Tabel 23. Kebutuhan material untuk pembuatan 2 bekesting mortar dengan tebal 15 mm .....	76
Tabel 24. Komposisi pengambilan sample .....	76
Tabel 25. <i>Core</i> 70 serat 0 benda uji 1 dan 2.....	77
Tabel 26. <i>Core</i> 80 serat 0 benda uji 1 dan 2.....	77
Tabel 27. <i>Core</i> 90 serat 0 benda uji 1 dan 2.....	78
Tabel 28. <i>Core</i> 70 serat 1 benda uji 5 dan 6.....	78
Tabel 29. <i>Core</i> 80 serat 1 benda uji 5 dan 6.....	79
Tabel 30. <i>Core</i> 90 serat 1 benda uji 5 dan 6.....	79
Tabel 31. <i>Core</i> 70 serat 0 benda uji 1 dan 2.....	80
Tabel 32. <i>Core</i> 80 serat 0 benda uji 1 dan 2.....	80
Tabel 33. <i>Core</i> 90 serat 0 benda uji 1 dan 2.....	81
Tabel 34. <i>Core</i> 70 serat 1 benda uji 5 dan 6.....	81
Tabel 35. <i>Core</i> 80 serat 1 benda uji 5 dan 6.....	82
Tabel 36. <i>Core</i> 90 serat 1 benda uji 5 dan 6.....	82
Tabel 37. Hasil pengujian Modulus Kekhalusan Butir .....	83
Tabel 38. Dinding <i>sandwich styrofoam</i> dengan <i>core</i> 70 serat 0 benda uji 1 dan 2 dengan metode <i>direct</i> .....	84

Tabel 39. Dinding <i>sandwich styrofoam</i> dengan <i>core</i> 70 serat 0 benda uji 1 dan 2 dengan metode <i>indirect</i> .....	85
Tabel 40. Dinding <i>sandwich styrofoam</i> dengan <i>core</i> 80 serat 0 benda uji 1 dan 2 dengan metode <i>direct</i> .....	87
Tabel 41. Dinding <i>sandwich styrofoam</i> dengan <i>core</i> 80 serat 0 benda uji 1 dan 2 dengan metode <i>indirect</i> .....	88
Tabel 42. Dinding <i>sandwich styrofoam</i> dengan <i>core</i> 90 serat 0 benda uji 1 dan 2 dengan metode <i>direct</i> .....	90
Tabel 43. Dinding <i>sandwich styrofoam</i> dengan <i>core</i> 90 serat 0 benda uji 1 dan 2 dengan metode <i>indirect</i> .....	91
Tabel 44. Dinding <i>sandwich styrofoam</i> dengan <i>core</i> 70 serat 1 benda uji 5 dan 6 dengan metode <i>direct</i> .....	93
Tabel 45. Dinding <i>sandwich styrofoam</i> dengan <i>core</i> 70 serat 1 benda uji 5 dan 6 dengan metode <i>indirect</i> .....	95
Tabel 46. Dinding <i>sandwich styrofoam</i> dengan <i>core</i> 80 serat 1 benda uji 5 dan 6 dengan metode <i>direct</i> .....	96
Tabel 47. Dinding <i>sandwich styrofoam</i> dengan <i>core</i> 80 serat 1 benda uji 5 dan 6 dengan metode <i>indirect</i> .....	98
Tabel 48. Dinding <i>sandwich styrofoam</i> dengan <i>core</i> 90 serat 1 benda uji 5 dan 6 dengan metode <i>direct</i> .....	100
Tabel 49. Dinding <i>sandwich styrofoam</i> dengan <i>core</i> 90 serat 1 benda uji 5 dan 6 dengan metode <i>indirect</i> .....	101
Tabel 50. Hasil kecepatan dan error dengan metode <i>direct</i> .....	113

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Gelombang Transversal.....	16
Gambar 2. Gelombang Longitudinal.....	16
Gambar 3. Gelombang Rayleigh.....	17
Gambar 4. Gelombang Love .....	18
Gambar 5. Langsung ( <i>direct</i> ) .....	20
Gambar 6. Semi langsung ( <i>semi direct</i> ).....	20
Gambar 7. Tidak langsung ( <i>indirect</i> ) .....	20
Gambar 8. Skema cara alat kerja UPV .....	22
Gambar 9. Diagram Alir Hubungan Variabel.....	42
Gambar 10. Semen Portland .....	43
Gambar 11. Pasir progo.....	44
Gambar 12. Air.....	44
Gambar 13. Sikamen NN .....	45
Gambar 14. <i>Styrofoam</i> .....	45
Gambar 15. <i>Wiremesh</i> .....	46
Gambar 16. Serat <i>Polypropylene</i> dengan merk dagang SIKA.....	46
Gambar 17. Serat <i>Polypropylene</i> .....	46
Gambar 18. Ayakan Pasir .....	47
Gambar 19. Timbangan 310 gram .....	48
Gambar 20. Timbangan 10 kg.....	48
Gambar 21. Timbangan 50 kg.....	49
Gambar 22. Oven .....	49

Gambar 23. Gelas Ukur.....	50
Gambar 24. Bekesting .....	50
Gambar 25. Jangka Sorong .....	51
Gambar 26. <i>Coupling Agent</i> dengan merk Rotary .....	52
Gambar 27. Molen .....	52
Gambar 28. Bak Pengaduk.....	53
Gambar 29. Ember .....	53
Gambar 30. Kerucut Abrams .....	54
Gambar 31. Conic .....	54
Gambar 32. Pasir SSD .....	55
Gambar 33. <i>Hopper</i> .....	55
Gambar 34. Pelat Besi.....	56
Gambar 35. Peralatan Uji UPV .....	57
Gambar 36. Skema bagan alur penelitian .....	59
Gambar 37. <i>Slump Flow</i> .....	62
Gambar 38. Ilustrasi perletakan <i>transmitter</i> dan <i>receiver</i> .....	65
Gambar 39. Metode Pengujian <i>Indirect</i> .....	65
Gambar 40. Pengujian <i>Indirect</i> .....	65
Gambar 41. Grafik <i>direct</i> serat 0 benda uji 1 .....	84

Gambar 42. Grafik <i>direct</i> serat 0 benda uji 2 .....	84
Gambar 43. Metode <i>indirect</i> dan <i>direct</i> .....	85
Gambar 44. Skema pengujian metode <i>indirect</i> .....	85
Gambar 45. Skema pengujian metode <i>direct</i> .....	85
Gambar 46. Grafik <i>indirect</i> serat 0 benda uji 1 .....	86
Gambar 47. Grafik <i>indirect</i> serat 0 benda uji 2 .....	86
Gambar 48. Metode <i>indirect</i> dan <i>direct</i> .....	86
Gambar 49. Skema pengujian metode <i>indirect</i> .....	86
Gambar 50. Skema pengujian metode <i>direct</i> .....	86
Gambar 51. Grafik <i>direct</i> serat 0 benda uji 1 .....	87
Gambar 52. Grafik <i>direct</i> serat 0 benda uji 2 .....	88
Gambar 53. Metode <i>indirect</i> dan <i>direct</i> .....	88
Gambar 54. Skema pengujian metode <i>indirect</i> .....	88
Gambar 55. Skema pengujian metode <i>direct</i> .....	88
Gambar 56. Grafik <i>indirect</i> serat 0 benda uji 1 .....	89
Gambar 57. Grafik <i>indirect</i> serat 0 benda uji 2 .....	89
Gambar 58. Metode <i>indirect</i> dan <i>direct</i> .....	89
Gambar 59. Skema pengujian metode <i>indirect</i> .....	89
Gambar 60. Skema pengujian metode <i>direct</i> .....	89
Gambar 61. Grafik <i>indirect</i> serat 0 benda uji 1 .....	90
Gambar 62. Grafik <i>indirect</i> serat 0 benda uji 2 .....	91
Gambar 63. Metode <i>indirect</i> dan <i>direct</i> .....	91
Gambar 64. Skema pengujian metode <i>indirect</i> .....	91



Gambar 65. Skema pengujian metode <i>direct</i> .....	91
Gambar 66. Grafik <i>indirect</i> serat 0 benda uji 1 .....	92
Gambar 67. Grafik <i>indirect</i> serat 0 benda uji 2 .....	92
Gambar 68. Metode <i>indirect</i> dan <i>direct</i> .....	93
Gambar 69. Skema pengujian metode <i>indirect</i> .....	93
Gambar 70. Skema pengujian metode <i>direct</i> .....	93
Gambar 71. Grafik <i>direct</i> serat 1 benda uji 5 .....	94
Gambar 72. Grafik <i>direct</i> serat 1 benda uji 6 .....	94
Gambar 73. Metode <i>indirect</i> dan <i>direct</i> .....	94
Gambar 74. Skema pengujian metode <i>indirect</i> .....	94
Gambar 75. Skema pengujian metode <i>direct</i> .....	94
Gambar 76. Grafik <i>indirect</i> serat 1 benda uji 5 .....	95
Gambar 77. Grafik <i>indirect</i> serat 2 benda uji 6 .....	96
Gambar 78. Metode <i>indirect</i> dan <i>direct</i> .....	96
Gambar 79. Skema pengujian metode <i>indirect</i> .....	96
Gambar 80. Skema pengujian metode <i>direct</i> .....	96
Gambar 81. Grafik <i>direct</i> serat 1 benda uji 5 .....	97
Gambar 82. Grafik <i>direct</i> serat 1 benda uji 6 .....	97
Gambar 83. Metode <i>indirect</i> dan <i>direct</i> .....	98
Gambar 84. Skema pengujian metode <i>indirect</i> .....	98
Gambar 85. Skema pengujian metode <i>direct</i> .....	98
Gambar 86. Grafik <i>indirect</i> serat 1 benda uji 5 .....	99
Gambar 87. Grafik <i>indirect</i> serat 1 benda uji 6 .....	99

Gambar 88. Metode <i>indirect</i> dan <i>direct</i> .....	99
Gambar 89. Skema pengujian metode <i>indirect</i> .....	99
Gambar 90. Skema pengujian metode <i>direct</i> .....	99
Gambar 91. Grafik <i>direct</i> serat 1 benda uji 5 .....	100
Gambar 92. Grafik <i>direct</i> serat 1 benda uji 6 .....	101
Gambar 93. Metode <i>indirect</i> dan <i>direct</i> .....	101
Gambar 94. Skema pengujian metode <i>indirect</i> .....	101
Gambar 95. Skema pengujian metode <i>direct</i> .....	101
Gambar 96. Grafik <i>indirect</i> serat 0 benda uji 1 .....	102
Gambar 97. Grafik <i>indirect</i> serat 0 benda uji 2 .....	102
Gambar 98. Grafik <i>direct</i> serat 0 benda uji 1 dan 2 .....	103
Gambar 99. Grafik <i>indirect</i> serat 0 benda uji 1 dan 2 .....	103
Gambar 100. Grafik <i>direct</i> serat 0 benda uji 1 dan 2 .....	104
Gambar 101. Grafik <i>indirect</i> serat 0 benda uji 1 dan 2 .....	105
Gambar 102. Grafik <i>direct</i> serat 0 benda uji 1 dan 2 .....	106
Gambar 103. Grafik <i>indirect</i> serat 0 benda uji 1 dan 2 .....	106
Gambar 104. Grafik <i>direct</i> serat 0 benda uji 1 dan 2 .....	107
Gambar 105. Grafik <i>indirect</i> serat 0 benda uji 1 dan 2 .....	108
Gambar 106. Grafik <i>direct</i> serat 0 benda uji 1 dan 2 .....	109
Gambar 107. Grafik <i>direct</i> serat 0 benda uji 1 dan 2 .....	109
Gambar 108. Grafik <i>direct</i> serat 0 benda uji 1 dan 2 .....	110
Gambar 109. Grafik <i>direct</i> serat 0 benda uji 1 dan 2 .....	111
Gambar 110. Posisi <i>Transmitter</i> dan <i>Receiver</i> dengan metode <i>direct</i> .....	117

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengujian Analisa Ayak Pasir (MKB).....	106
Lampiran 2. Pengujian Berat Jenis Pasir SSD .....	108
Lampiran 3. Pengujian Berat Jenis Pasir Alami.....	110
Lampiran 4. Pengujian Bobot Isi Pasir .....	112
Lampiran 6. Pemeriksaan Kadar Air Pasir Alami.....	114
Lampiran 7. Pemeriksaan Kadar Air Pasir SSD .....	116
Lampiran 8. Pengujian Kadar Lumpur Pasir Alami .....	118
Lampiran 9. Pengujian Kadar Lumpur Pasir SSD .....	120
Lampiran 10. Pengujian Kadar Zat Organik .....	122
Lampiran 11. <i>Mix Design Self Compacting Mortar</i> .....	124
Lampiran 12. <i>Mix Design Core</i> .....	126
Lampiran 13. Pengujian <i>Ultrasonik Pulse Velocity</i> dengan metode <i>Indirect</i> .....	128
Lampiran 14. Pengujian <i>Ultrasonik Pulse Velocity</i> dengan metode <i>direct</i> .....	130

## **BAB II**

### **KAJIAN TEORI**

#### **A. Beton**

Beton adalah elemen yang terbentuk akibat campuran dari agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), dan semen Portland yang dipersatukan dengan air dalam perbandingan tertentu (Wuryati dan Candra: 2001). Sampai saat ini beton masih menjadi pilihan utama dalam pembuatan struktur. Selain karena kemudahan dalam mendapatkan material penyusunnya, hal itu juga disebabkan oleh penggunaan tenaga yang cukup besar sehingga dapat mengurangi masalah penyediaan lapangan kerja (Mulyono, 2005).

Proses awal terjadinya beton adalah pasta semen yaitu proses hidrasi antara air dengan semen, selanjutnya jika ditambahkan dengan agregat halus menjadi mortar dan jika ditambahkan dengan agregat kasar menjadi beton. Penambahan material lain akan membedakan jenis beton, misalnya yang ditambahkan adalah tulangan baja, akan terbentuk beton bertulang. (Mulyono, 2005).

Menurut Tjokrodimuljo (2004), beton memiliki kelebihan dibandingkan dengan elemen lain, antara lain adalah:

1. Harganya relatif murah karena bahan-bahannya tersedia di alam bebas kecuali semen.
2. Biaya perawatannya murah karena beton adalah elemen yang awet, tahan aus, dan tahan api.
3. Kuat tekan beton sangat tinggi.

4. Beton segar sangat mudah untuk dipindahkan, dicetak, dan dibentuk.

Disamping memiliki kelebihan, beton sebagai komponen struktur juga memiliki beberapa kelemahan. Menurut Nugraha dan Antoni (2007), beberapa kelemahan beton adalah sebagai berikut:

1. Berat sendiri beton yang besar, sekitar  $2400 \text{ kg/m}^3$ .
2. Kekuatan tariknya rendah, meskipun kekuatan tekannya besar.
3. Beton cenderung untuk retak, karena semen hidraulis. Baja tulangan berkarat, meskipun tidak terekspose separah struktur tulangan.
4. Kualitasnya sangat tergantung dengan pelaksanaan di lapangan. Beton yang baik maupun buruk dapat terbentuk dari rumus dan campuran yang sama.
5. Struktur beton sulit untuk dipindahkan. Pemakaian kembali atau daur ulang sulit dan tidak ekonomis.

Karena berat sendiri beton yang sangat besar, maka saat ini telah banyak dikembangkan penelitian yang bertujuan untuk memperkecil berat sendiri beton. Hal tersebut dengan cara mengganti material agregat kasar (kerikil) dengan material lain yang lebih ringan.

## **B. Beton Ringan**

Beton yang memiliki beban yang berat, menjadi alasan berkembangnya ide untuk memperkecil berat beton dengan berbagai macam bahan tambah. Sesuai dengan namanya, beton ringan memiliki berat lebih ringan dari pada beton biasanya. Salah satu cara untuk membuat beton

ringan adalah mengganti semua material beton dengan agregat yang beratnya ringan. Beton disebut beton ringan jika beratnya kurang dari  $1800 \text{ kg/m}^3$ . Menurut Tjokrodinuljo (2004) pada dasarnya beton ringan diperoleh dengan cara penambahan pori-pori udara ke dalam campuran beton.

Pada penelitian ini bahan tambah yang digunakan agar beton memiliki berat yang ringan adalah *styrofoam*. *Styrofoam* sebagai agregat ringan memiliki sifat ringan dan kaku. Beton ringan belum banyak dikenal masyarakat. Selain karena memang belum terkenal, beton ringan tidak mampu menahan beban struktur seperti beton yang biasa dipakai. Sehingga, beton ringan biasanya hanya dipakai sebagai penyekat ruangan.

### C. Beton Berserat

Beton serat atau *fiber concrete* merupakan campuran beton ditambah serat, umumnya berupa batang-batang dengan ukuran 5-5mm, dengan panjang sekitar 25mm. bahan serat dapat berupa serat asbestos, serat plastik (*polypropylene*), atau potongan kawat baja. Kelemahannya sulit dikerjakan, namun lebih banyak kelebihanannya antara lain kemungkinan terjadi segregasi kecil, daktilitas, dan tahan benturan (Mulyono, 2005).

Dengan dimasukkannya *fiber* kedalam beton maka akan didapatkan peningkatan kinerja daripada beton, seperti peningkatan penyerapan energi, *fracture toughness*, pengurangan letak plastis pada umur awal, mengontrol retak dan juga mengurangi spalling ketika beton sudah retak. Penggunaan *fiber* dalam beton juga dapat meningkatkan daktilitas beton dari sifat yang

getas menjadi lebih daktil. Keuntungan penggunaan yang lain adalah dapat meningkatkan baban kejut (*impact resistance*), ketahanan terhadap kelelahan, ketahanan terhadap pengaruh susut, dapat meningkatkan pengaruh lentur (*flexural strength*) dan meningkatkan kekuatan geser balok beton fiber (Nugraha dan Antoni, 2007).

Pada penelitian ini akan digunakan serat *polypropylene*. Karena *polypropylene* adalah serat sejenis dengan plastik dan di produksi dengan teknologi tinggi. Serat ini termasuk dalam senyawa hidrokarbon dengan rumus kimia  $C_3H_6$ , berbentuk serabut tipis dengan panjang kurang lebih 6 mm dan diameter 8-90 mikron.

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.

Menurut Tjokrodimuljo (2004), adanya serat mengakibatkan berkurangnya sifat kemudahan dikerjakan dan mempersulit terjadinya segregasi. Serat dalam beton itu berguna untuk mencegah adanya retak-retak, sehingga menjadikan beton serat lebih daktil daripada beton biasa. Beton serat memiliki sifat lebih tahan benturan dan lenturan, maka cocok dipakai pada landasan pesawat udara, jalan raya, maupun lantai jembatan.

#### D. Mortar

Menurut Tjokrodimuljo (2004) mortar (spesi) adalah bahan bangunan yang terbuat dari pasir, semen, dan air dalam campuran perbandingan tertentu. Biasanya mortar digunakan sebagai perekat bata merah atau batako, bahan plester dinding, dan bahan pembuatan bata beton, genteng beton, dan lain-lain. Mortar yang baik harus mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

1. Murah
2. Tahan lama (awet)
3. Mudah dikerjakan (diaduk, diangkut, dipasang, diratakan)
4. Merekat dengan baik dengan bata merah, bata-beton, batu, dan sebagainya.
5. Cepat kering/keras
6. Tahan terhadap rembesan air
7. Tidak timbul retak-retak setelah mengeras.

Kuat tekan yang dimiliki mortar bervariasi tergantung bahan penyusun dan perbandingannya. Berikut adalah tabel sifat mortar semen dari pasir kasar dalam buku Teknologi Beton oleh Tjokrodimuljo (2004).

Tabel 1. Sifat Mortar Semen

NO	Perbandingan volume	Nilai sebar %	Faktor air semen	Berat Jenis	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tarik (MPa)	Serapan air (%)
1	1 : 3	85	0,60	2,22	28	2,6	7,47
2	1 : 4	82	0,72	2,19	18	1,8	7,71
3	1 : 5	86	0,90	2,14	10	1,77	8,58
4	1 : 6	85	1,10	2,10	8	1,3	9,03
5	1 : 7	88	1,48	2,04	5	0,96	9,94

(sumber: Kardiyo, 2004)



Pada penelitian ini mortar digunakan untuk plesteran atau pelindung *core* agar *styrofoam* yang ada dalam *core* tidak mudah terbakar maupun tergerus. Selain itu mortar juga berfungsi untuk melindungi kawat *wiremesh* yang diletakkan di atas dan bawah *core* agar terhindar dari cuaca dan air yang menyebabkan kawat *wiremesh* mengalami korosi.

#### **E. Jenis-jenis Gelombang**

Gelombang dapat dibagi menjadi empat jenis menurut penyebaran gelombang ketika permukaan benda elastis dibebani oleh beban dinamis atau pun beban bergetar, yaitu:

##### **1. Gelombang geser (Gelombang Transversal)**

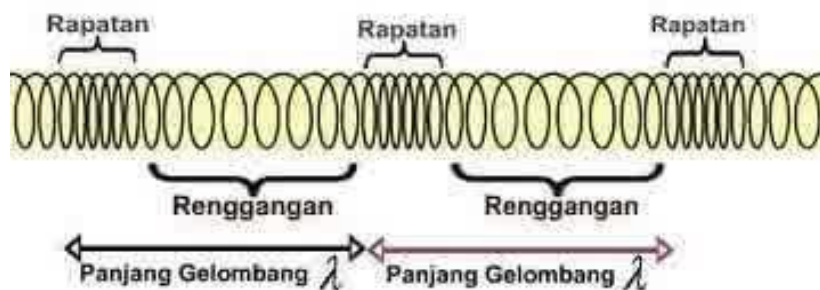
Gelombang transversal merupakan gelombang yang mempunyai arah getaran yang tegak lurus terhadap arah rambatnya. Karena arah getarannya tegak lurus terhadap arah rambatnya, maka bentuk gelombang ini melengkung ke atas dan melengkung kebawah, seperti gunung dan lembah. Gelombang transversal dapat dilihat pada gelombang air dan gelombang tali. Berikut ini merupakan ilustrasi dari gelombang transversal.



Gambar 1. Gelombang transversal  
(Sumber: Lutfi, 2013)

## 2. Gelombang kompresi (Gelombang longitudinal)

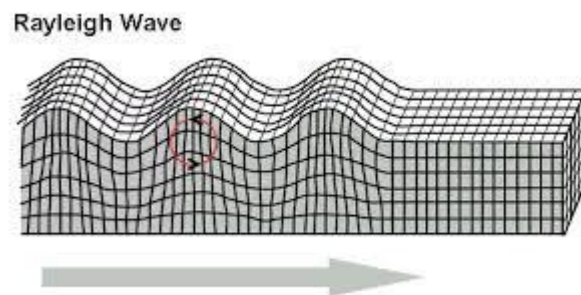
Gelombang longitudinal merupakan gelombang dengan arah rambat dan getaran yang sama arahnya. Gerakan gelombang ini dari medium gelombang searah dengan propagasi gelombang. Salah satu contoh dari gelombang longitudinal adalah bunyi. Yang menjadi perantara pada gelombang bunyi adalah udara. Udara adalah medium yang secara bergantian merapat dan merenggang karena adanya perpindahan tempat (pergeseran getaran) (berpindah tempat). Berikut ini merupakan ilustrasi dari gelombang longitudinal.:



Gambar 2. Gelombang longitudinal  
(Sumber: Reva, 2013)

### 3. Gelombang permukaan (gelombang *Rayleigh*)

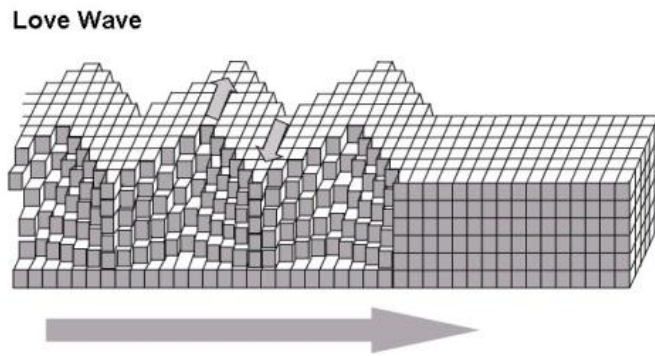
Gelombang Rayleigh adalah gelombang permukaan yang terjadi karena ada interferensi antara gelombang tekan dengan gelombang geser secara konstruktif dan merambat pada medium half space. Karakteristik dari gelombang *Rayleigh* adalah amplitudonya menurun bahkan berkurang secara eksponensial terhadap kedalaman di bawah permukaan. Gelombang ini pada umumnya memiliki frekuensi rendah dengan spektrum yang tidak tajam. Gelombang Rayleigh sangat baik digunakan untuk mengidentifikasi masalah struktur tanah.



Gambar 3. Gelombang Rayleigh  
(Sumber: Diana, 2013)

### 4. Gelombang *Love*

Gelombang *love* termasuk kategori gelombang permukaan. Gelombang ini diberi nama sesuai dengan penemunya, yaitu Augustus Edward Hough Love (1863-1940). Gelombang *Love* adalah gelombang yang tercepat dan dapat menggerakkan tanah dari samping ke samping. Berikut merupakan contoh gerakan gelombang *love*.



Gambar 4. Gelombang Love  
(Sumber: Diana, 2013)

Hubungan frekuensi  $f$  dan gelombang  $\lambda$  dari pergerakan penyebaran gelombang dengan kecepatan adalah:  $V = f \cdot \lambda$ , frekuensi dalam satuan *Hertz* atau putaran/detik dan panjang gelombang dalam satuan jarak misal (mm). Peningkatan frekuensi diiringi menurunnya panjang gelombang, dan demikian sebaliknya. Saat rambatan gelombang menjalar pada permukaan yang berbeda *propertiesnya*, sebagian energi gelombang akan tersebar dari lintasan awalnya. Sebagai contoh adalah rongga, retak, dan butir agregat dalam beton berperan untuk menyebarkan energi utama gelombang tekan dari lintasan awalnya. Untuk beton, batas atas frekuensi yang dapat dipakai yaitu kira-kira 500 kHz, sehingga dihasilkan panjang lintasan kira-kira 10 mm, dimana sama dengan ukuran agregat kasar. Sebagai akibatnya, panjang lintasan itu dapat efektif dijelajahi pada batas atas frekuensi ini sebelum kecepatan gelombang menyebar seluruhnya hanya dalam beberapa *centimeter*. Panjang lintasan yang lebih besar dapat dijelajahi menggunakan frekuensi yang lebih rendah (*wave length*) besar,

sebuah frekuensi sebesar 20 kHz biasanya dapat menjelajah lebih dari 10 m pada beton.

#### **F. *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)***

Penggunaan Non-Destruktif (NDT) adalah sesuatu hal baru yang menarik. Karena pengujian tersebut dapat menganalisis kondisi struktur dengan tidak merusak benda uji. NDT telah didefinisikan sebagai metode yang digunakan untuk menguji suatu proyek, materi, atau system tanpa merusak kegunaan benda uji. Hal tersebut merupakan salah satu keuntungan utama dari metode NDT. Metode ini juga digunakan untuk memeriksa variasi yang ada dalam struktur, keratakan, perubahan bentuk, dan lain-lain.

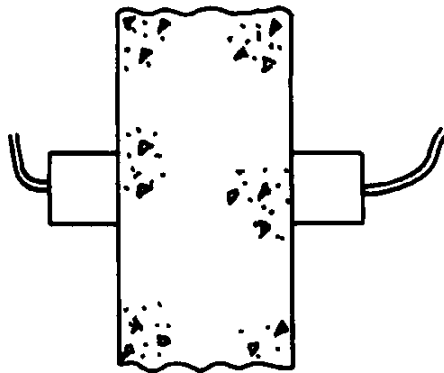
Salah satu peralatan pengujian yang dapat memungkinkan menggunakan metode NDT adalah pengujian menggunakan gelombang ultrasonik. *Ultrasonic Pulse Velocity* atau biasa disingkat UPV adalah pengujian Non-Destruktif (NDT) beton dengan menggunakan kecepatan gelombang ultrasonik untuk meneliti sifat beton. Manfaat melakukan pengujian menggunakan UPV menurut Hassan Silvana, dkk (2013), adalah sebagai berikut:

- 1) Mengetahui keseragaman kualitas beton
- 2) Mengetahui kualitas struktur beton setelah umur beberapa tahun
- 3) Mengetahui kekuatan tekan beton, dan
- 4) Menghitung modulus elastisitas dan koefisien **poisson** beton.

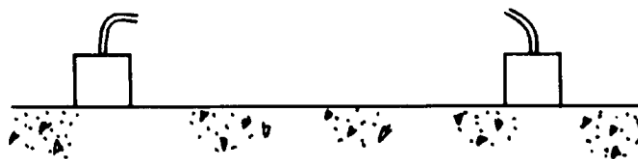
Dengan pengujian UPV, beton yang pematatannya kurang baik akan terdeteksi. Hal tersebut dapat dilihat ketika gelombang UPV mengalami

penurunan kecepatan. Pada pengujian UPV, kekuatan beton dapat ditunjukkan dengan perubahan kecepatan gelombangnya. Apabila kecepatan gelombang mengalami penurunan, maka beton tersebut juga mengalami penurunan kekuatan. Sebaliknya, jika gelombang mengalami kenaikan kecepatan, maka kekuatan beton meningkat.

Pengujian UPV dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu langsung (*direct*), tidak langsung (*indirect*), dan semi langsung (*semi direct*). Berikut ini adalah contoh gambar pelaksanaan pengujian UPV.

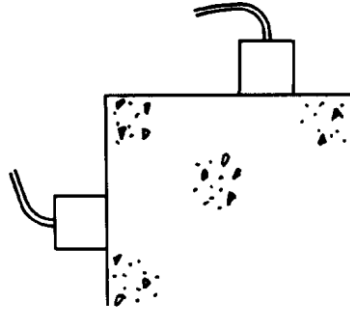


Gambar 5. Langsung (*direct*)  
(Sumber: Bungey, 1996)



Gambar 6. Semi langsung (*semi direct*)  
(Sumber: Bungey, 1996)





Gambar 7. Tidak langsung (*indirect*)  
(Sumber: Bungey, 1996)

Dari ketiga pengujian di atas, metode *direct* adalah metode yang paling memuaskan dalam pengukuran kecepatan perambatan gelombang ultrasonik. Meskipun demikian keakuratan metode *direct* juga harus melihat keadaan fisik beton. Metode semi *direct* terkadang dapat mengukur kecepatan gelombang dengan hasil yang memuaskan jika jarak antara *transducer* dan *receiver* tidak terlalu jauh. Metode ini digunakan untuk menghindari adanya tulangan dalam beton. Sedangkan metode *indirect* adalah metode yang paling tidak memuaskan, karena sinyal yang diterima lebih rendah sebesar 3% dari pada metode *direct*. Dan juga pada metode ini sering terjadi error.

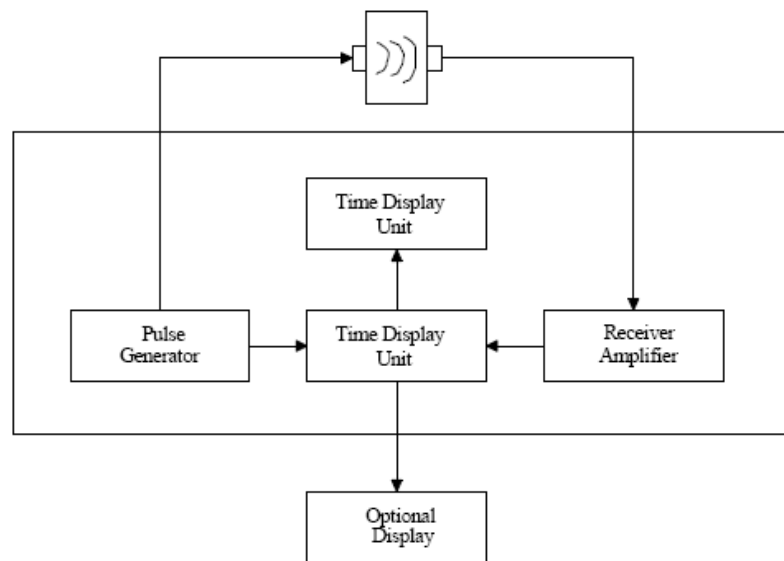
Prinsip penggunaan metode *Ultrasonic Pulse Velocity* didasarkan pada kecepatan gelombang tekan yang melintasi sebuah benda yang tergantung pada *elastic properties* dan kepadatan bendanya. Menurut ASTM C597-02 (2003); Cara kerja *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) yaitu *transducer* pengirim (*transmitter*) 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* ( $\Delta t$ ). Dengan

demikian kecepatan gelombang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V = \frac{L}{\Delta_t} \dots\dots\dots 1$$

Keterangan:

V : kecepatan perambatan gelombang ultrasonik (km/s); L: panjang lintasan gelombang (m);  $\Delta_t$  : *travel time* (s)



Gambar 8. Skema cara alat kerja UPV  
(Sumber: Faqih, 2010)

Kecepatan gelombang untuk beton, biasanya berkisar antara 3700 sampai 4200 m/s. oleh karena itu, untuk panjang lintasan 300 mm, *travel timenya* kurang lebih 70 sampai dengan 85  $\mu$ s . Hal ini jelas bahwa peralatan tersebut harus mampu mengukur dengan sangat akurat seperti mengukur *travel time* yang pendek. Panjang lintasan juga harus diukur dengan teliti, karena metode *Ultrasonic Pulse Velocity* adalah sebuah teknik perambatan gelombang, banyak sumber yang menimbulkan menipisnya gelombang pada

elemen saat pengujian (misal *jack hammer*) harus disingkirkan selama pengujian.

Pengiriman dan penerimaan gelombang dapat berjalan dengan baik, jika *transducer* harus terhubung seluruhnya ke obyek yang diuji, karena jika ada kantong udara yang terperangkap, kemungkinan dapat menyebabkan kesalahan pada pembacaan *travel time*, untuk menghindari hal tersebut maka digunakan *couplant*. *Couplant* yang disediakan di pasaran antara lain minyak teer (*petroleum jelly*), pelumas (*grease*), sabun cair dan pasta *kaolin-glyserol*. Penggunaan *couplant* harus setipis mungkin, namun jika permukaan beton sangat kasar maka digunakan *grease* yang lebih tebal. Perataan dilakukan sebelum pelaksanaan uji UPV. Sewaktu pelaksanaan uji UPV, *transducer* diberi tekanan yang konstan, ulangi pembacaan pada tempat yang sama, sampai didapat nilai *travel time* minimum.

Tabel 2. Hubungan kecepatan gelombang dengan kualitas beton

Kecepatan gelombang (km/s)	Kualitas beton
>4,5	Sangat baik
3,5 – 4,5	Baik
3,0 – 3,5	Sedang
< 3,0	Buruk

Sumber: Ari wibowo, dkk.

Pengujian UPV dapat digunakan untuk memprediksi ketebalan pelat dinding beton. Metode yang digunakan untuk memprediksi ketebalan pelat adalah metode *indirect*. Menurut Bungey (1996) persamaan yang digunakan untuk menentukan ketebalan dinding pelat adalah sebagai berikut..

$$T = \frac{x}{2} \sqrt{\frac{(v_1 - v_2)}{(v_1 + v_2)}} \dots\dots\dots 2$$

Keterangan:

x = jarak transducer (mm);  $v_1$  = kecepatan perambatan gelombang ultrasonic pertama (km/s);  $v_2$  = kecepatan perambatan gelombang ultrasonic kedua (km/s)

Menurut Ari Wibowo, dkk ( 2014) beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kecepatan gelombang ultrasonik pada beton adalah sebagai berikut:

- 1) Jarak antara *transmitter* dan *receiver*,
- 2) Kondisi permukaan beton,
- 3) Temperatur beton, dan
- 4) Pengaruh baja tulangan.

#### G. Akurasi (Ketelitian)

Akurasi adalah tingkat ketelitian alat dalam pengukuran yang hasilnya mendekati dengan hasil yang sebenarnya. Pada penelitian ini nilai akurasi digunakan untuk membandingkan antara pengukuran ketebalan dinding *styrofoam* dengan metode manual dan UPV. Menurut Sujiani (2008) nilai akurasi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\frac{Xa - Xb}{Xa} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

Xa = ukuran sebenarnya

Xb = hasil ukur alat

## **H. Material penyusun Beton Ringan**

Agar dapat menghasilkan kualitas beton yang bagus, maka perlu diperhatikan material yang akan digunakan untuk membuat beton. Menurut Tjokrodimuljo (2004), beton normal diperoleh dengan cara mencampurkan semen Portland, air, dan agregat. Adapun untuk jenis beton khusus (selain beton normal) ditambahkan bahan tambah, misalnya pozolan, bahan kimia pembantu, serat, dan sebagainya. Tujuan pemberian bahan tambah ialah untuk menghasilkan beton khusus yang lebih baik daripada beton normal.

Pada penelitian ini untuk menyusun beton ringan, agregat yang digunakan adalah agregat halus. Sedangkan untuk membuat beton memiliki berta yang ringan, maka diberi bahan tambah berupa *styrofoam*. Alasan mengapa menggunakan *styrofoam* adalah karena beratnya yang ringan. Selain itu limbah *styrofoam* juga sulit terurai secara alami dan berpotensi merusak alam. Sehingga dengan penelitian ini diharapkan dapat memanfaatkan limbah *styrofoam* yang semula merugikan banyak orang menjadi sesuatu yang bermanfaat.

Material yang digunakan dalam pembuatan beton ringan antara lain adalah sebagai berikut:

### **1. Agregat Halus**

Menurut Wuryati dan Candra (2001) agregat halus adalah butiran mineral alami yang butirannya lebih kecil dari 4,8 mm dan biasanya disebut pasir.

Agregat halus dibedakan menjadi tiga macam, antara lain:

- a. Pasir galian, yaitu pasir yang diperoleh langsung dari permukaan tanah atau dengan cara menggali dari dalam tanah yang mana pada umumnya berbentuk tajam, bersudut, berpori, dan bebas dari kandungan garam membahayakan.
- b. Pasir sungai, yaitu pasir yang langsung diperoleh dari sungai. Pasir ini biasanya berbentuk bulat dan berbutir halus, hal ini disebabkan karena terjadinya proses gesekan. Karena agregat ini bulat maka daya lekat antar butirnya pun agak berkurang.
- c. Pasir laut, yaitu pasir yang diambil dari pantai. Pasir jenis ini mempunyai bentuk yang hampir sama dengan pasir sungai, akan tetapi pasir jenis ini mengandung banyak garam, sehingga tidak dianjurkan untuk memakai pasir jenis ini dalam pembuatan bangunan.

Menurut Tjokrodinuljo (2004) agregat halus untuk bangunan sebaiknya dipilih yang memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- a. Butir-butirnya tajam, dan keras, dengan indeks kekerasan  $< 2,2$
- b. Kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca (terik matahari dan hujan). Jika di uji dengan larutan garam natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 12 persen, jika dengan garam magnesium sulfat maksimum 18 persen.
- c. Tidak mengandung lumpur (butiran halus yang lewat ayakan 0,06 mm) lebih dari 5%.
- d. Tidak mengandung zat organik terlalu banyak, yang dibuktikan dengan percobaan warna dengan larutan 3% NaOH, yaitu warna cairan di atas



endapan agregat halus tidak boleh lebih gelap daripada warna standar/pembanding.

- e. Modulus halus butir antara 1,50-3,80 dan dengan variasi butir sesuai standar gradasi.
- f. Khusus untuk beton dengan tingkat keawetan tinggi, agregat halus harus tidak reaktif terhadap alkali.
- g. Agregat halus dari laut/pantai, boleh dipakai asalkan dengan petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.

Jika agregat halus mengandung butir yang sangat halus maka semakin sedikit dibutuhkan untuk membuat campuran *workable*. Namun, jika proporsi ini dilebihi, pasta semen harus meliputi lebih banyak total luas permukaan agregat, dan mungkin campuran menjadi tidak *workable*. Dalam kasus demikian, *workability* yang dikehendaki kadang-kadang dapat dikembalikan dengan menambahkan air untuk menambah volume pasta. Namun hal itu akan mengakibatkan bertambahnya faktor air semen. Sebaliknya, agregat halus yang mengandung sedikit partikel lembut dapat memerlukan lebih banyak proporsi agregat halus yang dipakai untuk memenuhi *workability* dan pemadatan (Nugraha dan Antoni, 2007).

Tjokrodimuljo (2004), membedakan agregat halus (pasir) menjadi empat jenis menurut gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar, dan kasar, seperti tampak pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. Batas-batas gradasi agregat

Lubang (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan Jenis agregat halus			
	Kasar	Agak kasar	Agak halus	halus
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

(Sumber: Tjokrodinuljo, 2004)

Bila jumlah agregat halus terlalu sedikit maka campuran beton akan disebut *undersanded*. Pastanya tidak cukup untuk mengisi ruang-ruang kosong sehingga campuran akan mudah untuk terpisah (*segregate*) dan sukar dikerjakan. Sebaliknya, bila jumlah agregat halus terlalu banyak maka campuran disebut *oversanded*. Campuran memang kohesif, tapi mungkin tidak terlalu lecek. Ia membutuhkan air yang lebih banyak sehingga lebih mahal karena membutuhkan semen yang lebih banyak untuk factor air semen yang sama. Kondisi yang sulit akan kita jumpai bila memakai pasir yang sangat halus dengan kerikil besar (Nugraha dan Antoni, 2007).

## 2. Semen Portland

Semen Portland adalah semen hidraulis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terutama terdiri dari silikat-kalsium yang bersifat hidraulis bersama bahan-bahan yang biasa digunakan, yaitu gypsum (Nugraha dan Antoni, 2007).

Fungsi semen ialah untuk bereaksi dengan air menjadi pasta semen. Pasta semen berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang kompak/padat. Selain itu pasta semen juga untuk mengisi rongga-rongga diantara butir-butir agregat. Walaupun volume semen hanya kira-kira sebanyak 10 persen saja dari volume beton, namun karena merupakan bahan perekat yang aktif dan mempunyai harga yang paling mahal daripada bahan dasar beton yang lain, maka perlu diperhatikan/dipelajari secara baik (Tjokrodinuljo, 2004).

Menurut Slamet Widodo (2008), perubahan komposisi kimia semen yang dilakukan dengan cara mengubah persentase 4 komponen utama semen dapat menghasilkan beberapa jenis semen sesuai dengan tujuan pemakaiannya. Standar industri di Amerika (ASTM) maupun di Indonesia (SNI) mengenal lima jenis semen, yaitu:

- a. Jenis I, yaitu semen Portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus.
- b. Jenis II, yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
- c. Jenis III, yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi setelah pengikatan terjadi.
- d. Jenis IV, yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya menuntut panas hidrasi yang rendah.
- e. Jenis V, yaitu semen Portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat yang sangat baik.

Semen Portland dibuat dengan melalui beberapa langkah, sehingga sangat halus dan memiliki sifat adhesive maupun kohesif. Semen diperoleh dengan membakar secara bersamaan, suatu campuran dari *calcareous* (yang mengandung kalsium karbonat atau batu gamping) dan *argillaceous* (yang mengandung alumina) dengan perbandingan tertentu. Secara mudahnya, kandungan semen Portland ialah: kapur, silica, dan alumina. Ketiga bahan dasar tadi dicampur dan dibakar dengan suhu 1550°C dan menjadi klinker. Setelah itu kemudian dikeluarkan, didinginkan, dan dihaluskan sampai halus seperti bubuk. Biasanya lalu ditambahkan gips atau kalsium sulfat ( $\text{CaSO}_4$ ) kira-kira 2-4 persen sebagai bahan pengontrol waktu pengikatan. Kemudian dimasukkan ke dalam kantong dengan berat tiap-tiap kantong 50 kg atau 40 kg (Tjokrodimuljo, 2004).

### **3. Air**

Air diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat, dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air yang mengandung senyawa-senyawa berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan kimia lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton bahkan dapat mengubah sifat-sifat beton yang dihasilkan (Tri Mulyono, 2005).

Untuk dapat berreaksi dengan semen Portland, air yang diperlukan hanya sekitar 25-30 persen saja dari berat semen, namun dalam kenyataannya jika nilai faktor air semen (berat air dibagi berat semen) kurang dari 0,35 adukan beton sulit dikerjakan, sehingga umumnya nilai factor air semen lebih dari 0,40 (berarti terdapat kelebihan air yang tidak berreaksi dengan semen). Kelebihan air diperlukan untuk sebagai pelumas agar adukan beton dapat dikerjakan. Makin banyak pelumas maka adukan beton makin mudah dikerjakan. Akan tetapi perlu dicatat bahwa jumlah air untuk pelumas ini tidak boleh terlalu banyak karena betonnya setelah mengeras akan porous sehingga kekuatannya rendah (Tjokrodinuljo, 2004).

Menurut Tjokrodinuljo (2004), air sebagai bahan bangunan sebaiknya memenuhi syarat sebagai berikut (Standar SK SNI-S04-1989-F, Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A):

- a. Air harus bersih
- b. Tidak mengandung lumpur, minyak, dan benda melayang lainnya, yang dapat dilihat secara visual. Benda-benda tersuspensi ini tidak boleh lebih dari 2 gram per liter.
- c. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
- d. Tidak mengandung khlorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter. Khusus untuk beton pra tegang kandungan khlorida tidak boleh lebih dari 0,05 gram/liter.

e. Tidak mengandung senyawa sulfat (sebagai  $\text{SO}_3$ ) lebih dari 1 gram/liter.

Pada penelitian ini air yang digunakan adalah air yang berasal dari keran yang berada di laboratorium bahan bangunan FT UNY. Dapat disimpulkan bahwa air yang digunakan sudah memenuhi syarat.

#### 4. *Styrofoam*

*Styrofoam* atau dapat disebut juga *polystyrene* adalah bahan yang biasa digunakan untuk membungkus makanan, alat elektronik, dan lain-lain. *Styrofoam* yang sudah tidak terpakai dan sudah dibuang sukar untuk terurai secara alami di alam. Sehingga sampah *styrofoam* hanya dapat menumpuk dan berpotensi merusak alam. Selain itu, *styrofoam* yang digunakan untuk membungkus makanan juga dapat memicu penyakit kanker. Hal tersebut karena saat makanan dimasukkan dalam pembungkus makanan, apalagi makanan dalam kondisi panas, maka molekul *polystyrene* pada pembungkus makanan tersebut akan berreaksi dan bercampur dengan makanan yang ada di dalamnya. Karena tidak banyak manfaat dan cenderung merugikan, maka perlu adanya pengolahan limbah *styrofoam* menjadi sesuatu yang ada banyak nilai manfaatnya.

Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan, di dunia teknik sipil, *styrofoam* digunakan sebagai bahan tambah agregat ringan agar beton yang dihasilkan lebih ringan dari beton normal biasanya. Dengan adanya penggunaan *styrofoam* di bidang teknik sipil, diharapkan mampu mengurangi limbah *styrofoam* di alam.

## **I. Material penyusun dinding sandwich Styrofoam**

Dinding *sandwich* adalah istilah untuk dinding yang ada dalam penelitian ini. Dikatakan *sandwich* karena dinding ini terdiri dari beberapa lapisan seperti *sandwich* (Amin, 2012). Lapisan dinding *sandwich Styrofoam* pada penelitian ini terdiri dari:

### **1. Core**

*Core* adalah material yang berada di tengah atau dapat disebut juga inti dinding. *Core* terbuat dari beton *Styrofoam*. Material yang digunakan pada beton *Styrofoam* sama dengan beton normal biasanya. Hanya saja, agregat kasar pada beton digantikan dengan *Styrofoam*. Hal tersebut karena *Styrofoam* memiliki berat yang jauh lebih ringan dari pada kerikil.

Teknis pembuatan beton *Styrofoam* adalah dengan diaduk manual tanpa menggunakan molen. Pengadukan dilakukan ditempat yang tertutup. Hal tersebut agar *Styrofoam* tidak terbang pada saat dicampurkan ke adonan beton manual dan agar adukan beton dapat homogen.

Dinding ini memang tidak didesain untuk menahan beban structural dari balok, akan tetapi dalam aplikasi di lapangan dinding ini akan menopang berat balok atau beban vertikal. Kuat tarik beton cenderung lebih kecil dari pada kuat tekannya. Apabila dinding mendapat berat vertikal sentris, maka semua elemen dinding

akan tertekan, tetapi apabila beban vertikalnya eksentris maka akan membuat dinding tersebut melengkung. Akibatnya salah satu sisinya tertekan dan sisi yang lain tertarik. Maka dari itu dalam penelitian ini dinding beton *styrofoam* diberi perkuatan berupa kawat kasa, agar dinding mampu menahan vertikal maupun beban horizontal (Amin, 2012).

## **2. Wiremesh**

*Wiremesh* adalah kawat baja yang dianyam berbentuk persegi yang memiliki dimensi dan diameter yang bermacam-macam. Kawat tersebut dianyam dengan menggunakan las. Sehingga kuat tarik yang dihasilkan kawat *wiremesh* tinggi.

Di bidang teknik sipil, *wiremesh* digunakan untuk membuat *forrecement*. *Forrecement* adalah dinding yang menggunakan kawat *wiremesh* sebagai perkuatannya. *Wiremesh* tersebut dapat menahan spesi saat beton masih basah dan menahan beban tarik saat beton sudah kering. Pada penelitian ini digunakan *wiremesh* dengan spasi anyam 5 cm. Kemudian *wiremesh* dipotong sesuai dengan panjang dan lebar bekesting. Setelah dipotong *wiremesh* diletakkan pada bagian atas dan di bagian bawah *core* sebelum di cor menggunakan mortar.



### **3. Beton *Self Compacting Mortar***

Beton *Self Compacting Mortar* adalah beton yang dapat memadat sendiri tanpa bantuan alat penggetar. Berbeda dengan beton jenis *Self Compacting Concrete* (SCC), beton SCM tidak memerlukan agregat kasar dalam pembuatannya. Beton berjenis SCM ini berbahan dasar mortar.

Beton SCM pada penelitian ini digunakan sebagai plesteran *core*. Material yang digunakan adalah pasir, semen, air, dan bahan tambah seperti serat *polypropylene* dan sikamen NN. Penambahan serat menimbulkan masalah pada kelecakan adukan. Untuk memperkecil masalah kelecakan terhadap adukan, maka sikamen NN ditambahkan dengan takaran 1,2 % dari berat semen.

### **4. Sikamen NN**

Salah satu bahan tambah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sikamen NN. Bahan tambah ini dapat disebut sebagai pengencer mortar karena digunakan untuk menambah workability mortar tanpa mengurangi kuat tekan beton atau pun factor air semen pada beton. Selain itu, sikamen NN juga dapat meningkatkan kuat tekan awal dan ultimate dari mortar.

Sikamen NN berwujud cair dan berwarna coklat tua. Pada penggunaannya saat pengecoran, sikamen NN dicampur dengan air yang berdasarkan *mix design* yang telah dihitung. Air tidak langsung

dimasukkan semua ke dalam adonan beton, tetapi disisakan sedikit untuk mencampurkannya dengan sikamen.

## **5. Serat *Polypropylene***

Serat *Polypropylene* merupakan salah satu jenis serat plastik yang dibuat dengan teknologi tinggi. *Polypropylene* juga termasuk dalam senyawa hidrokarbon dengan rumus kimia  $C_3H_6$  yang berbentuk serabut tipis dengan panjang 6-50 mm dan diameter 8-90 mikron. Penambahan serat *polypropylene* bertujuan mencegah keretakan pada permukaan beton.

## **J. Kajian Penelitian yang Relevan**

Faqih (2011) meneliti tentang analisis homogenitas self compacting mortar menggunakan serat *polypropylene* berdasarkan kecepatan perambatan gelombang ultrasonik (UPVM). Pada penelitian tersebut mendapatkan hasil bahwa besarnya kecepatan perambatan gelombang ultrasonik yang pada variasi serat *polypropylene* sebesar 0  $kg/m^3$ ; 0,5  $kg/m^3$ ; 1  $kg/m^3$ ; 1,5  $kg/m^3$  berturut-turut sebesar 3,51 km/s; 3,37 km/s; 3,19 km/s; 3,45 km/s. Berdasarkan analisis homogenitas kecepatan gelombang ultrasonik (UPV), penambahan serat *polypropylene* pada *self compacting mortar* (SCM) paling efektif pada nilai 1  $kg/m^3$ . Peningkatan kecepatan perambatan gelombang ultrasonik tertinggi pada variasi serat sebesar 1  $kg/m^3$  sebesar 9,12% terhadap specimen 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 specimen referensi ( $0 \text{ kg/m}^3$  serat *polypropylene*).

Lorenzi, dkk (2007) meneliti tentang Analisis gelombang ultrasonik (UPV) pada specimen beton. Parameter yang dibahas dalam penelitian ini adalah pengaruh perawatan beton terhadap UPV, pengaruh tipe agregat terhadap UPV, dan pengaruh rongga udara terhadap UPV. Berdasarkan analisis pada penelitian ini, ketiga parameter tersebut berpengaruh terhadap jalannya gelombang ultrasonik pada beton. Kondisi beton berpengaruh terhadap hasil pengujian yang dilakukan dengan UPV. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pengujian UPV dapat mengetahui homogenitas struktur beton dan mengontrol kualitas struktur beton.

Turgut dan Kucuk (2006) meneliti tentang hubungan perbandingan pengujian gelombang ultrasonik (UPV) dengan metode *direct*, *Indirect*, dan semi *direct* pada beton. Penelitian ini menggunakan benda uji sebanyak 30 beton berbentuk balok dengan ukuran  $30 \times 30 \times 25$  dengan *mix design* yang berbeda dan mempunyai kuat tekan yang bervariasi, yaitu antara 18,8 MPa dan 79,9 MPa. Berdasarkan analisis pada penelitian ini hasil pengujian UPV dengan metode *direct* berturut-turut adalah 9%, 4%, dan 4% lebih tinggi dari pada pengujian dengan metode *indirect* berdasarkan *casting direction*, metode *indirect* berdasarkan horizontal direction, dan metode semi *direct*. Hasil rata-rata pengujian yang

menggunakan metode *indirect* adalah 5% lebih tinggi dari pada menggunakan *casting direction*.

### **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Metode Penelitian**

##### **1. Desain Eksperimen**

Desain eksperimen pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

###### **a. Tempat**

Pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta dan Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Islam Indonesia Yogyakarta.

###### **b. Metode**

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen. Penelitian ini dilakukan dengan maksud untuk mencari kajian hasil eksperimen dengan penggunaan metode *direct* dan *indirect* pada beton jenis *self compating mortar* dan dengan maksud untuk mengetahui hasil kecepatan apakah dengan metode *direct* atau *indirect* yang mendapatkan hasil lebih baik.

###### **c. Jumlah benda uji**

Pada penelitian ini benda uji yang dipakai ada 24 buah. Dibawah ini adalah tabel susunan benda uji yang digunakan.

<b>No</b>	<b>Notasi</b>	<b>Panjang (mm)</b>	<b>Lebar (mm)</b>	<b>Metode</b>
1	70 <sub>o</sub> BU 1	600	400	<i>Direct</i>
	70 <sub>o</sub> BU 2	600	400	<i>Indirect</i>

No	Notasi	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Metode
2	70 <sub>l</sub> BU 1	600	400	<i>Direct</i>
	70 <sub>l</sub> BU 2	600	400	<i>Indirect</i>
3	80 <sub>o</sub> BU 1	600	400	<i>Direct</i>
	80 <sub>o</sub> BU 2	600	400	<i>Indirect</i>
4	80 <sub>l</sub> BU 1	600	400	<i>Direct</i>
	80 <sub>l</sub> BU 2	600	400	<i>Indirect</i>
5	90 <sub>o</sub> BU 1	600	400	<i>Direct</i>
	90 <sub>o</sub> BU 2	600	400	<i>Indirect</i>
6	90 <sub>l</sub> BU 1	600	400	<i>Direct</i>
	90 <sub>l</sub> BU 2	600	400	<i>Indirect</i>

Tabel 4. Jumlah benda uji

## 2. Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini ada tiga macam, antara lain adalah:

### a. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi hasil dari keluaran variabel terikat. Variabel bebas pada penelitian ini adalah posisi *transmitter* dan *receiver* pada metode *direct* dan *indirect*.

#### **b. Variabel terikat**

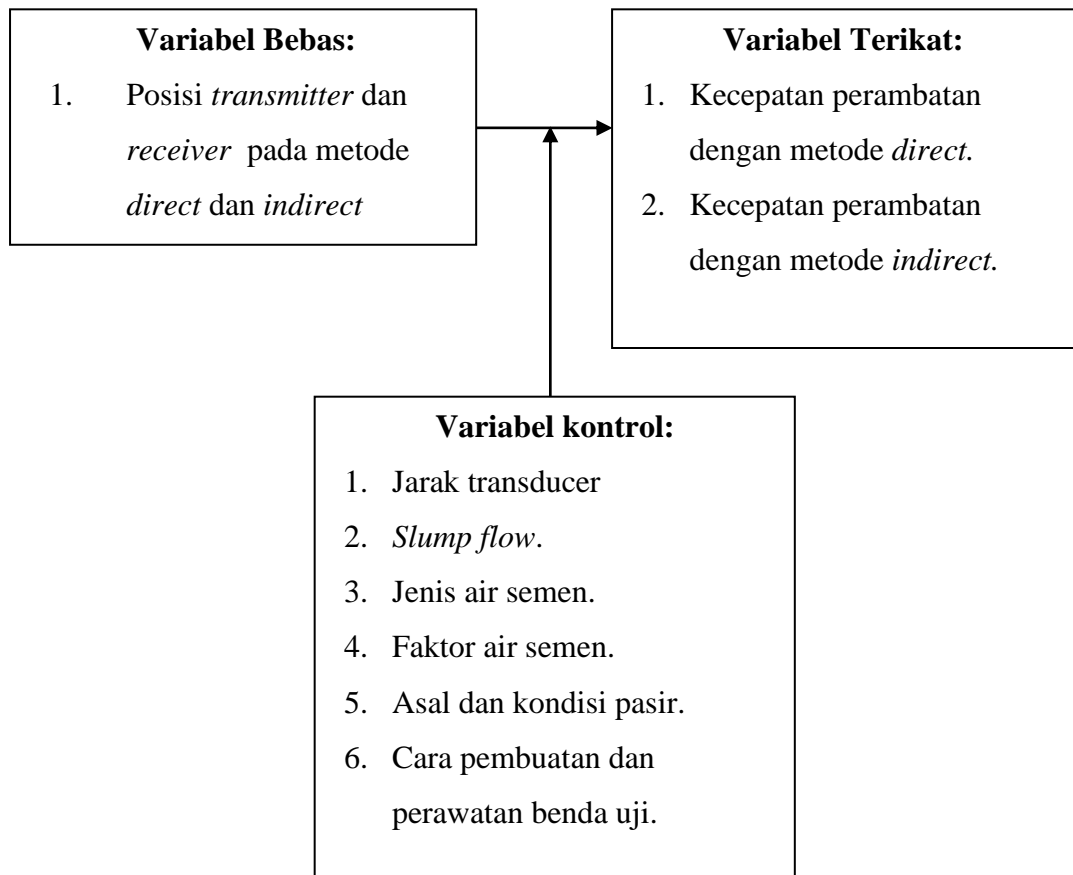
Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variable bebas. Variable terikat pada penelitian ini adalah kecepatan perambatan gelombang ultrasonik dengan metode *direct* dan *indirect*.

#### **c. Variabel kontrol**

Variabel kontrol adalah variabel pengendali yang mempengaruhi hasil dari variabel bebas dan variabel terikat. Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai prediksi ketebalan dinding *sandwich Styrofoam* antara lain:

- a. Jarak transducer.
- b. *Slump flow*.
- c. Jenis air semen.
- d. Faktor air semen.
- e. Asal dan kondisi pasir
- f. Cara pembuatan dan perawatan benda uji.

Untuk memperjelas hubungan antar variabel, dapat dilihat pada gambar 9 berikut ini:



Gambar 9. Diagram Alir Hubungan Variabels

## B. Material Penyusun Benda Uji

Bahan material yang digunakan untuk membuat benda uji pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

### 1. Semen Portland

Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah semen dengan merk gresik. Semen tersebut mempunyai berat 40 kg per sak. Berdasarkan SNI 15-7064-2004 semen gresik masuk pada semen jenis 1, yang mana semen jenis 1 adalah semen Portland yang penggunaannya tidak memerlukan



persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada semen jenis-lain.



Gambar 10. Semen Portland

## 2. Agregat Halus

Berdasarkan SNI 03-1970-1990 agregat halus yang berasal dari pasir alam memiliki butir terbesar 4,75 mm. Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir dari sungai progo. Setelah dilakukan pengujian pasir, didapatkan data mengenai pasir sebagai berikut:

- a. Modulus halus butir.
- b. Berat jenis pasir SSD rendaman.
- c. Bobot isi gembur pasir SSD alami.
- d. Bobot isi padat pasir SSD alami.
- e. Kadar air pasir SSD alami.
- f. Kadar air pasir SSD rendaman.
- g. Kadar lumpur pasir alami.
- h. Kadar lumpur pasir rendaman.
- i. Kadar zat organik



Gambar 11. Pasir progo

### 3. Air

Air yang digunakan pada penelitian ini berasal dari air kran Laboratorium Bahan Bangunan FT UNY. Air tersebut bersih, jernih, tidak berasa maupun berbau, sehingga memenuhi syarat untuk membuat adukan beton.



Gambar 12. Air

### 4. Sikamen NN

Pada penelitian ini salah satu bahan tambah yang digunakan adalah sikamen NN. Bahan tersebut berfungsi untuk menambah *workability* mortar tanpa mengurangi kuat tekan beton atau pun faktor air semen pada beton. Sikamen NN pada penelitian ini digunakan sebagai bahan tambah

pada mortar atau plesteran. Sikamen NN yang digunakan sebanyak 1,2% dari berat semen total.



Gambar 13. Sikamen NN

## 5. Styrofoam

*Styrofoam* yang dilakukan adalah *styrofoam* hasil serutan sendiri dan serutan dari dusun Sukunan jl. Godean sleman. *Styrofoam* ini digunakan sebagai bahan tambah agar beton memiliki sifat yang ringan.



Gambar 14. Styrofoam

## 6. Wiremesh

*Wiremesh* pada penelitian ini digunakan untuk memberikan perkuatan pada dinding *Styrofoam*. *Wiremesh* yang digunakan memiliki dimensi 50

mm x 50 mm. Ukuran *wiremesh* yang digunakan pada penelitian ini sudah disesuaikan dengan dimensi bekisting, yaitu 600 mm x 400 mm x 120 mm.



Gambar 15. *Wiremesh*

## 7. Serat *Polypropylene*

Selain sikamen NN, bahan tambah pada mortar juga terdapat serat *polypropylene*. Pada penelitian ini memakai dua variasi serat *polypropylene*, yaitu  $0\text{kg/m}^3$  dan  $1\text{kg/m}^3$ .



Gambar 16. Serat *Polypropylene* dengan merk dagang SIKA



Gambar 17. Serat *polypropylene*

### C. Alat

Alat yang digunakan untuk mendukung terlaksananya penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 1. Ayakan Pasir

Ayakan digunakan untuk memisahkan antara kerikil dengan pasir. Ayakan yang digunakan adalah ayakan dengan dimensi persegiunya 0,15 mm; 0,3 mm; 0,6 mm; 1,2 mm; 2,4 mm dan 4,8 mm.



Gambar 18. Ayakan Pasir

## 2. Timbangan

Timbangan pada penelitian ini digunakan untuk menimbang pasir, semen, dan *styrofoam*. Timbangan yang digunakan adalah timbangan dengan kapasitas berat 310 gram, 50 kg, dan 10 kg.



Gambar 19. Timbangan 310 gram



Gambar 20. Timbangan 10 kg





Gambar 21. Timbangan 50 kg

### 3. Oven

Oven digunakan untuk menguji berat jenis pasir yang akan digunakan.

Oven yang akan digunakan harus panas sampai dengan temperatur  $110^{\circ}\text{C}$ .



Gambar 22. Oven

### 4. Gelas Ukur

Pada penelitian ini gelas ukur yang digunakan adalah gelas ukur dengan ketelitian 1 ml dan 20 ml. gelas ukur dengan ketelitian 1 ml berfungsi

untuk menakar sekamen NN, sedangkan gelas ukur yang memiliki ketelitian 20 ml berfungsi untuk menakar air.



Gambar 23. Gelas ukur

## 5. Bekesting

Bekesting pada penelitian ini dibuat dengan menggunakan papan triplek yang memiliki tebal 8 mm. Papan tersebut dipotong-potong agar dapat membentuk bekesting pelat berdimensi 600mm x 400mm x 120 mm. Alat bantu untuk membuat bekesting adalah gergaji, paku, penggaris, dan palu. Bekesting ini digunakan untuk mencetak dinding sandwich Styrofoam.



Gambar 24. Bekesting



## 6. Jangka Sorong / Kaliper

Jangka sorong digunakan untuk mengetahui ukuran benda uji. Pada penelitian ini jangka sorong digunakan untuk mengukur ketebalan diameter silinder.



Gambar 25. Jangka sorong

## 7. Coupling Agent

Coupling agent adalah media untuk mengoptimalkan perjalanan gelombang dari transducer ke beton. Pada penelitian ini coupling agent yang digunakan adalah merk dagang Rotary dengan kekentalan (*viscoucity*) CG-101 *Chassis Grease* NLGI 3. Rotary dioleskan pada beberapa bagian benda uji yang sudah ditandai, setelah itu baru diuji dengan alat UPV.



Gambar 26. *Coupling Agent* dengan merk Rotary

#### 8. Molen (*Portable Concrete Mixer*)

Molen atau dapat disebut juga *mixer* adalah alat yang digunakan untuk mencampurkan seluruh bahan penyusun beton. Molen bekerja menggunakan energi listrik.



Gambar 27. Molen

#### 9. Bak Pengaduk

Bak pengaduk digunakan untuk pengadukan manual pada adonan beton ringan.



Gambar 28.Bak Pengaduk

#### 10. Ember

Ember digunakan untuk mengambil pasir, semen, ataupun air.



Gambar 29.Ember

#### 11. Kerucut abrams

Kerucut abrams atau dapat disebut juga *slump cone* adalah alat untuk melakukan uji slump. Pada penelitian ini alat tersebut digunakan untuk uji *slum flow test*. Berdasarkan SNI-1972-2008, kerucut abram yang digunakan untuk uji *slump* berbentuk kerucut terpancung dengan diameter dasar 203 mm, diameter atas 102 mm dan tinggi 305 mm.



Gambar 30. Kerucut Abrams

## 12. *Conic*

*Conic* adalah alat untuk mengecek keadaan pasir yang SSD. Karena untuk melakukan penelitian ini digunakan pasir SSD. Dalam penggunaannya, setiap *conic* diisi pasir sebanyak  $\frac{1}{3}$  dari *conic*, kemudian pasir tersebut ditumbuk sebanyak 25 kali. Hal tersebut dilakukan hingga pasir dalam *conic* penuh dan rata.



Gambar 31. *Conic*



Gambar 32. Pasir SSD

### 13. *Hopper*

*Hopper* digunakan sebagai alat untuk menimbang material kebutuhan dinding *styrofoam* maupun lapis kulitnya, seperti pasir dan semen.



Gambar 33. *Hopper*

### 14. Plat besi

Plat besi pada penelitian ini digunakan untuk alas ketika melakukan uji *slump flow*. Alas yang digunakan sudah diberi tanda lingkaran berdiameter 500 mm, hal tersebut untuk mempermudah pengukuran *slump flow*. Plat besi harus halus dan rata, agar ketika *slump cone* di tarik secara vertikal, adukan beton dapat tersebar merata.



Gambar 34. Pelat besi

### 15. *Ultrasonic pulse velocity (UPV)*

*Ultrasonic Pulse Velocity* adalah pengujian yang menggunakan gelombang ultrasonik untuk mengetahui sifat-sifat beton. Metode yang dipakai ada 3 macam, yaitu *direct*, *indirect*, dan *semi direct*. Pada penelitian ini metode yang akan digunakan adalah metode *indirect*. Dari pengujian UPV yang menggunakan metode *indirect* akan didapatkan nilai travel time dan jarak transducer. Dengan menggunakan persamaan (1), maka kecepatan perambatan gelombang ultrasonik dapat ditentukan. Pada penelitian ini hasil perhitungan kecepatan perambatan gelombang ultrasonik dapat digunakan untuk menentukan ketebalan dinding pelat.

Seperangkat peralatan tes UPV yang digunakan adalah kaliper merk *Vernier* dengan tingkat ketelitian 0-300 mm atau 0-12 *inchi*, mesin uji tekan (*Compression Testing Machine*) merk *Wfi* (*Wykeham Farrance International*) dari Blough, England Kapasitas 2000 kN, dan lain-lain. berikut ini adalah gambar seperangkat alat yang digunakan uji UPV.





Gambar 35. Peralatan uji UPV  
(Sumber: Faqih, 2010)

Keterangan:

(1) *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV); (2) sekrap; (3) *transmitter* dan *receiver*; (4) kalibrator; (5) kabel untuk menghubungkan dari UPV ke *transmitter* dan *receiver*

#### **D. Prosedur Penelitian**

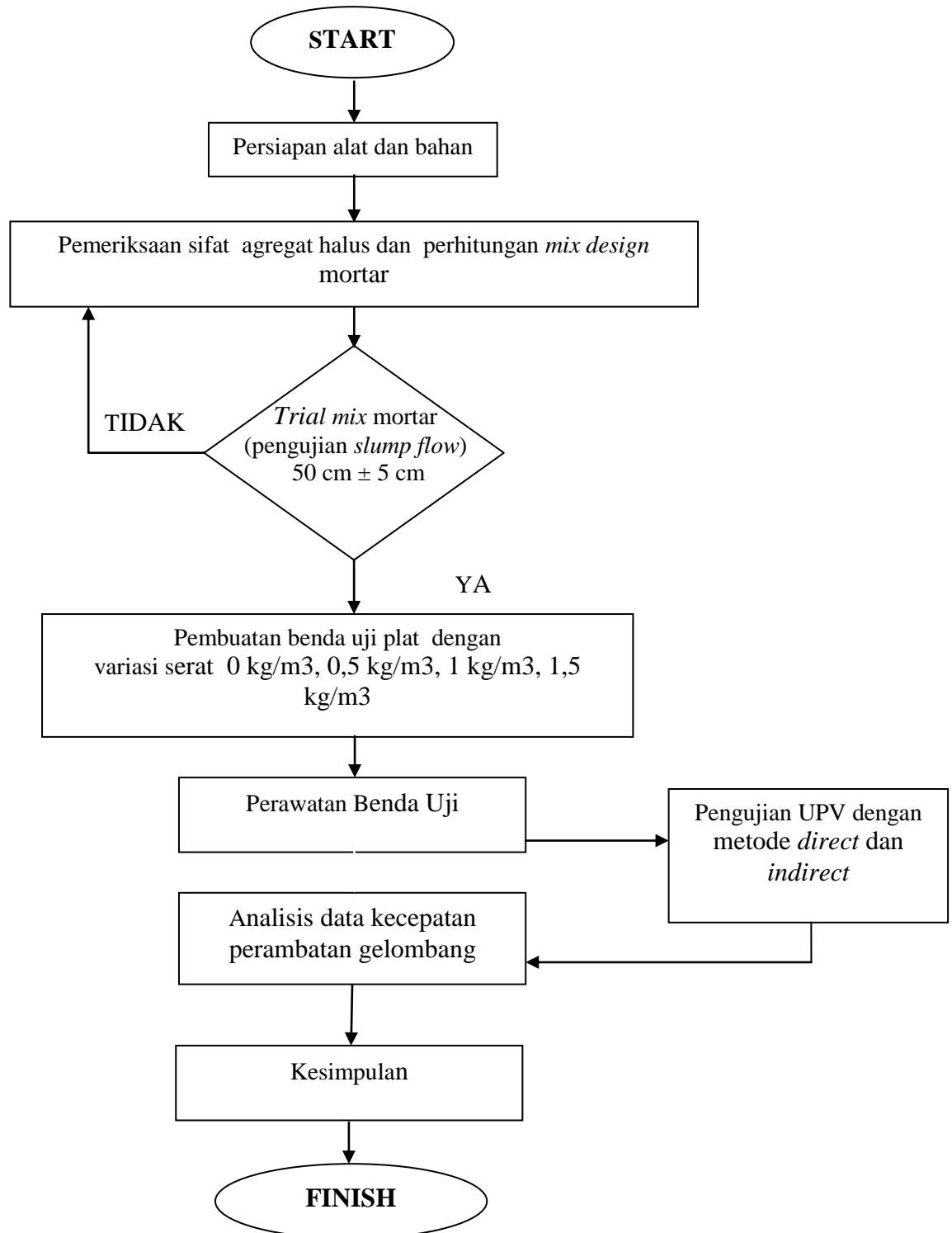
Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen, yaitu metode yang digunakan untuk mencari hubungan sebab akibat satu dengan yang lain dan membandingkan hasilnya. Data-data yang digunakan lebih lanjut berupa data primer yang diperoleh dari hasil pengukuran dalam eksperimen yang dilakukan. Penelitian dilakukan dengan mengikuti urutan langkah di bawah ini:

- a. Persiapan alat dan bahan.
- b. Pengujian awal material agregat kasar dan agregat halus.
- c. Perhitungan rencana campuran (trial mix).
- d. Pembuatan benda uji.
- e. Pengujian UPV dengan metode direct dan indirect.
- f. Pengujian kuat tekan pada umur 28 hari.
- g. Analisis dan kesimpulan data hasil penelitian.

Berikut ini adalah diagram alir yang dilakukan saat penelitian yang menjelaskan alur tahapan yang harus dilakukan dan disajikan dalam gambar 43 dibawah ini.



Berikut ini adalah diagram alur penelitian pada Gambar 36 dibawah ini:



Gambar 36. Skema bagan alur penelitian

Langkah - langkah penelitian untuk mendapatkan data pengujian dapat dijelaskan secara rinci sebagai berikut:

1. Tahap persiapan benda uji

Tahap pertama dalam melaksanakan penelitian adalah mempersiapkan segala sesuatu yang dibutuhkan guna mendukung berlangsungnya pembuatan benda uji. Beberapa hal yang perlu dipersiapkan adalah bahan, alat, tempat, perhitungan *mix design*, dan teknis pelaksanaan.

2. Tahap pembuatan benda uji

Benda uji yang dibuat pada penelitian ini berupa dinding *sandwich styrofoam* dengan variasi perbedaan serat *polypropylene* pada beton SCM  $0\text{kg/m}^3$ ; dan  $1\text{ kg/m}^3$  serta variasi perbedaan ketebalan *core* 70 mm; 80 mm; dan 90 mm. Benda uji yang akan dibuat berbentuk pelat dengan dimensi 600 mm x 400 mm x 120 mm sebanyak 30 buah. Sehingga setiap variasi core terdapat 4 benda uji diantaranya 2 dengan serat  $0\text{kg/m}^3$  dan 2 lainnya dengan serat  $1\text{ kg/m}^3$ .

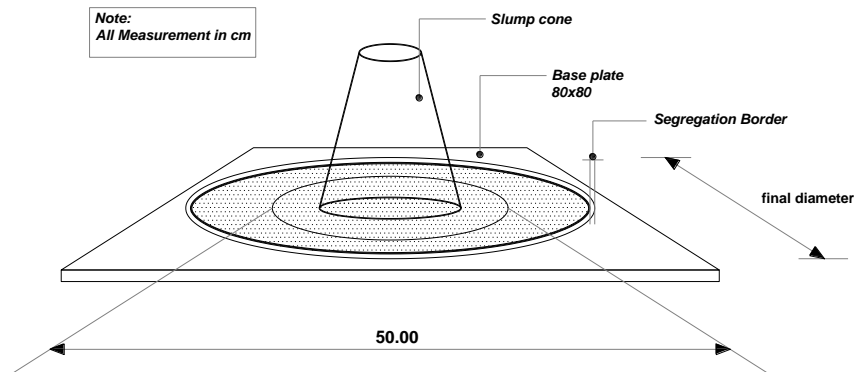
Sebelum melakukan pelaksanaan pembuatan benda uji, terlebih dahulu menguji agregat, menghitung *mix design* yang akan digunakan, dan membuat benda uji *trial mix*. Pembuatan benda uji *trial mix* bertujuan untuk mendapatkan campuran yang terbaik. Setelah tahap-tahap tersebut sudah dilakukan, selanjutnya pelaksanaan pembuatan benda uji dapat dilakukan sesuai dengan yang telah direncanakan.

Pada penelitian ini dinding sandwich Styrofoam terdiri dari lapisan *core* dan mortar jenis SCM. Kedua lapisan tersebut memiliki cara pembuatan dan campuran yang berbeda. Untuk mengetahui cara pembuatannya dapat dilihat pada uraian dibawah ini:

a. Lapis Kulit (plesteran)

*Core* yang sudah berumur 7 hari diberi plesteran lapis pertama yang terbuat dari *self compacting mortar* yang diperkuat dengan *wiremesh*. Untuk lapis kedua dibuat setelah lapisan pertama berumur 7 hari. Pada penelitian ini lapisan mortar SCM diberi bahan tambah berupa serat polypropylene sebesar 0 kg/m<sup>3</sup> dan 1 kg/m<sup>3</sup> serta sikamen NN. Serat polypropylene berfungsi untuk mencegah ekretakan pada beton dan agar beton lebih daktil dari beton biasanya. Sedangkan sikamen NN berfungsi untuk menambah workability pada beton.

Pada pelaksanaan pembuatan mortar dilakukan uji *slump flow test* sebelum pengecoran. Pengujian *slump flow test* menggunakan kecut abrams dan alas yang kedap air berukuran 800mm x 800mm. Ditengah alas tersebut diberi tanda lingkaran berdiameter 500mm untuk mempermudah mengukur penyebaran mortar.



Gambar 37. *slump flow*  
(Sumber: faqih, 2010)

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. Pelaksanaan pengujian *slump flow* pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Bahan adukan dipersiapkan terlebih dahulu, serta 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 atau dibuang.

- 3) *Slump cone* diangkat secara bebas vertikal dan biarkan beton mengalir bebas, kemudian secara bersamaan, *stopwatch* dimulai dan dicatat pada saat adukan mencapai diameter 500 mm sebagai waktu  $T_{500}(\text{sec})$ .
- 4) Diukur diameter akhir dari mortar yang tersebar dalam kedua arah yang saling tegak lurus, kemudian dirata-rata hasilnya, dan didapatkan sebagai nilai *slump flow*.

b. *Core*

Pada penelitian ini *core* adalah dinding *styrofoam* yang tebalnya dibuat bervariasi, yaitu 70 mm, 80 mm, dan 90 mm. material yang digunakan untuk pembuatan *core* adalah pasir, semen, air, dan *styrofoam*. Pada pelaksanaan pembuatan *core*, adukan dilakukan secara manual. Hal tersebut karena berat jenis *styrofoam* yang ringan dan akan terbang jika adukan dilakukan dengan molen, sehingga mengurangi jumlah material yang telah direncanakan. Setelah adukan beton terlihat homogen, adukan beton langsung dimasukkan ke dalam bekesting.

3. Tahap perawatan benda uji

Untuk mendapatkan kualitas yang baik, maka benda uji yang sudah dibuat dirawat dengan cara membasahi permukaan benda uji menggunakan karung goni yang dibasahi dengan air, kemudian karung

goni yang basah tersebut ditaruh diatas benda uji. Hal tersebut bertujuan agar kelembapan benda uji selalu terjaga. Selain itu juga agar benda uji awet dan tahan aus.

#### 4. Tahap pengujian benda uji

Pada penelitian ini, pengujian UPV dilakukan dengan menggunakan metode *direct* dan *indirect*.

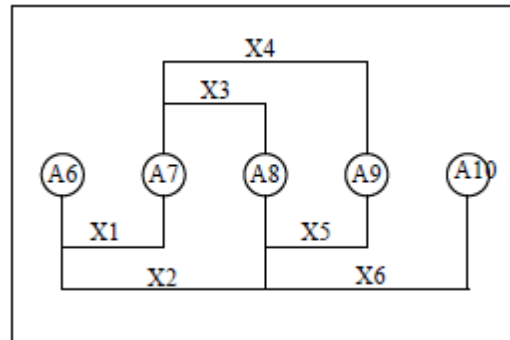
##### **a. Metode *Direct***

Metode pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode *direct*. Cara pengujian *ultrasonic pulse velocity* (UPV) yang dilakukan pada benda uji plat berdimensi 600 mm x 400 mm x 120 mm ini yaitu, *transmitter* diletakkan tetap, dan *receiver* yang berpindah-pindah meningkat dalam satu garis yang lurus. Sehingga didapat serangkaian nilai *travel time*. Jarak langsung antara kedua transducer di plot pada sumbu X dan *travel time* yang bersamaan di plot pada sumbu Y. Invers dari kemiringan plot ini adalah kecepatan gelombang sepanjang garis ukur.

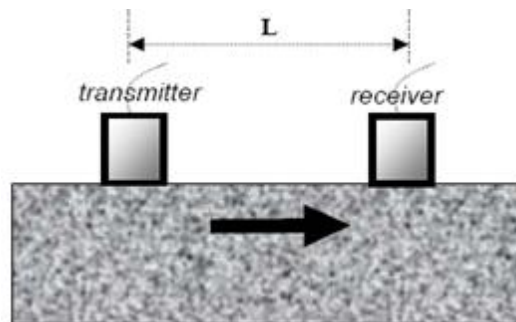
##### **b. Metode *Indirect***

Pada penelitian ini, pengujian UPV dilakukan dengan menggunakan metode *indirect*. Metode tersebut digunakan untuk mencari kecepatan perambatan gelombang *ultrasonic*. Pengujian *indirect* dilakukan pada lima titik di salah satu permukaan pelat.

Berikut ini adalah ilustrasi perletakan *transmitter* dan *receiver* pada pelat.



Gambar 38. Ilustrasi perletakan *transmitter* dan *receiver*



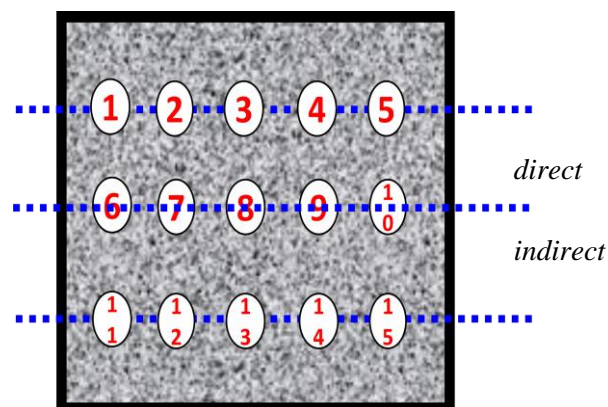
Gambar 39. Metode pengujian *Indirect*  
(Sumber: faqih, 2010)



Gambar 40. Pengujian *Indirect*

Cara pengujian *indirect* adalah *transmitter* diletakkan tetap, dan *receiver* yang berpindah-pindah meningkat dalam satu garis lurus. Sehingga didapat serangkaian nilai *travel time*. Pada ilustrasi gambar 48, *transmitter* diletakkan pada titik A6 dan *receiver* pada titik A7. Jarak

antara titik A6 dan A7 adalah  $X_1$ , yaitu 100 mm. kemudian, setelah nilai *travel time* didapat, *receiver* dipindah kan ke titik A8 dan *transmitter* tetap berada dititik A6. Maka jarak antara titik A6 dan A8 adalah  $X_2$  yaitu 200 mm. setelah *travel time* pada jarak tersebut didapat, *transmitter* pindah ke titik A7 dan *receiver* tetap berada di titik A8. Sehingga jarak antara titik A7 dan A8 adalah  $X_3$  yaitu 100 mm. Langkah pengujian selanjutnya sama dengan pengujian pada titik A6 ke A7 dan A6 ke A8. Setelah nilai *travel time* pada kelima titik tersebut di dapat, nilai kecepatan gelombang ultrasonik pada dinding pelat dapat dihitung menggunakan persamaan (1). Dan nilai prediksi ketebalan dinding pelat dapat dianalisis menggunakan persamaan (2). Pada penelitian ini titik yang digunakan dalam pengujian gelombang *Ultrasonic Pulse Velocity* menggunakan titik tengah yaitu dari titik A6, A7, A8, A9, dan A10 karena pada titik ini benda uji diharapkan lebih homogen dan lebih padat. Dibawah ini titik yang digunakan dalam pengujian.



Gambar 41. metode *indirect* dan *direct*



## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **A. Hasil Pengujian**

Hal pertama yang harus dilakukan sebelum membuat benda uji atau *trial mix* adalah menguji bahan material yang akan digunakan hal kedua selanjutnya adalah merencanakan komposisi campuran mortar yang akan digunakan. Pada umumnya untuk perencanaan komposisi campuran mortar disebut dengan *mix design*. Langkah-langkah setiap pengujian yang dilakukan maupun untuk perencanaan komposisi campuran mortar, mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) yang berlaku. Apabila terdapat hal-hal yang tidak tercantum pada SNI maka digunakan peraturan internasional yaitu ASTM, tahap akhir sebelum dilakukan analisa data adalah pengujian *ultrasonic pulse velocity* (UPV) dan kuat tekan mortar. Dari pengujian yang telah dilakukan maka akan diperoleh hasil pengujian kecepatan perambatan gelombang ultrasonik menggunakan metode *direct* dan *indirect* pada beton *self compacting mortar*.

Adapun hasil pengujian agregat, hasil perhitungan komposisi campuran untuk adukan mortar adalah sebagai berikut:

##### **1. Hasil Pengujian Agregat**

Berikut ini disajikan hasil pengujian modulus kehalusan butir agregat halus Progo pada Tabel 5.

Tabel 5. Modulus Kehalusan Butir

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Persen Tertinggal (%)	Persen Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Tembus Kumulatif (%)
9,60	3,05	0,31	0,31	99,69
4,80	4,33	0,43	0,74	99,26
2,40	218	2,18	2,92	97,08
1,20	120	12,02	14,94	85,06
0,60	446	44,68	59,62	40,38
0,30	309	30,95	90,57	9,43
0,15	94	9,42	99,99	0,01
< 0,15	0,11	0,01	-	-
Total	998,29	100	269,09	0

Tabel 6. Pengujian Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
1	Berat Jenis pasir alami	3,57 gr/ml
2	Berat jenis pasir SSD	2,7 gr/ml
3	Kadar air pasir alami	1,54 %
4	Kadar air pasir SSD	1,7 %
5	Kadar Lumpur	1,295%
6	Bobot isi pasir	1,2098 kg/lt

a. Komposisi Campuran (*Mix Design*)

Komposisi campuran atau *mix design* merupakan salah satu hal mendasar sebelum dilakukannya skema pengujian material. Komposisi campuran berfungsi untuk untuk menentukan jumlah atau takaran yang akan digunakan untuk membuat benda uji.

1. Komposisi *core*

Pada penelitian ini *core* adalah bagian inti dari dinding *sandwich styrofoam* yang terbuat dari beton ringan *styrofoam*. Komposisi adukan *core* ada 3 macam variasi menurut ketebalannya, yaitu 70 mm, 80 mm,

dan 90 mm. Berikut ini adalah perhitungan material yang akan digunakan untuk membuat *core*.

a. Kebutuhan material tiap meter kubik

Tabel 7. Kebutuhan material tiap meter kubik

No.	Material	Kebutuhan material tiap meter kubik(kg/m <sup>3</sup> )
1	<i>Styrofoam</i>	14.3
2	Pasir	435.7
3	Air	200
4	Semen	350

b. Kebutuhan material dan volume *core*

Langkah pertama untuk menentukan *mix design* yang akan digunakan adalah menghitung volume *core* benda uji yang berjumlah 12 sesuai dengan ketebalan *core* masing-masing. Pada penelitian ini berlaku satu adukan untuk 2 bekesting. Dan kebutuhan material *core* disajikan pada tabel 11 pada halaman 70.

Tabel 8. Volume pelat dinding dengan *core* 70 mm.

No.	Nama benda uji dinding	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
1	DS 70 <sub>0</sub> BU 1	0,6	0,4	0,07	0,0168
2	DS 70 <sub>0</sub> BU 2	0,6	0,4	0,07	0,0168
3	DS 70 <sub>1</sub> BU 3	0,6	0,4	0,07	0,0168
4	DS 70 <sub>1</sub> BU 4	0,6	0,4	0,07	0,0168
<b>Jumlah</b>					<b>0,0672</b>

Keterangan: DS 70<sub>0</sub> BU 1 = Dinding *Styrofoam* Tebal *Core* 70 mm serat 0 kg/m<sup>3</sup> Benda Uji 1

Tabel 9. Volume pelat dinding dengan *core* 80 mm.

No.	Nama benda uji dinding	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
1	DS 80 <sub>0</sub> BU 1	0,6	0,4	0,08	0,0192
2	DS 80 <sub>0</sub> BU 2	0,6	0,4	0,08	0,0192
3	DS 80 <sub>1</sub> BU 3	0,6	0,4	0,08	0,0192
4	DS 80 <sub>1</sub> BU 4	0,6	0,4	0,08	0,0192
<b>Jumlah</b>					<b>0,0768</b>

Keterangan: DS 80<sub>0</sub> BU 1 = Dinding *Styrofoam* Tebal *Core* 80 mm serat 0 kg/m<sup>3</sup> Benda Uji 1

Tabel 10. Volume pelat dinding dengan *core* 90 mm.

No.	Nama benda uji dinding	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
1	DS 90 <sub>0</sub> BU 1	0,6	0,4	0,09	0,0216
2	DS 90 <sub>0</sub> BU 2	0,6	0,4	0,09	0,0216
3	DS 90 <sub>1</sub> BU 3	0,6	0,4	0,09	0,0216
4	DS 90 <sub>1</sub> BU 4	0,6	0,4	0,09	0,0216
<b>Jumlah</b>					<b>0,0864</b>

Keterangan: DS 90<sub>0</sub> BU 1 = Dinding *Styrofoam* Tebal *Core* 90 mm serat 0 kg/m<sup>3</sup> Benda Uji 1

Sehingga kebutuhan material untuk *core* 70 mm, 80 mm, dan 90 mm masing-masing adalah sebagai berikut.

Tabel 11. Kebutuhan material untuk *core* 70 mm

No.	Material	Volume 4 benda uji (m <sup>3</sup> )	Kebutuhan material untuk 4 benda uji (kg)	Kebutuhan material untuk 4 benda uji (setelah ditambah 20%) (kg)
1	Semen	0,0672	23,52 kg	28,22 kg
2	Pasir		29,27 kg	35,13 kg
3	Air		13,44 liter	16,13 liter
4	<i>Styrofoam</i>		0,96 kg	1,15 kg

Tabel12.Kebutuhan material untuk *core* 80 mm

No.	Material	Volume 4 benda uji (m <sup>3</sup> )	Kebutuhan material untuk 4 benda uji (kg)	Kebutuhan material untuk 4 benda uji (setelah ditambah 20%) (kg)
1	Semen	0,0768	26,88 kg	32,25 kg
2	Pasir		33,46 kg	40,15 kg
3	Air		15,36 liter	18,43 liter
4	<i>Styrofoam</i>		1,09 kg	1,31 kg

Tabel13.Kebutuhan material untuk ketebalan *core* 90 mm

No.	Material	Volume 4 benda uji (m <sup>3</sup> )	Kebutuhan material untuk 4 benda uji	Kebutuhan material untuk 4 benda uji (setelah ditambah 20%)
1	Semen	0,0864	30,24 kg	36,28 kg
2	Pasir		37,64 kg	45,17 kg
3	Air		17,28liter	20,73 liter
4	<i>Styrofoam</i>		1,23 kg	1,48 kg

## c. Pengambilan sampel

Untuk setiap adukan diambil sample sebanyak 2 silinder

$$\text{Volume silinder} = \frac{1}{4} \times \pi \times (0,15)^2 m \times (0,30)m = (0,0053)m^3$$

$$\text{Volume 2 silinder} = 0,0053 \text{ m}^3 \times 2 = 0,0106 \text{ m}^3$$

Sehingga material yang dibutuhkan untuk pengambilan sample disajikan pada tabel 14.

Tabel 14. Pengambilan sampel

No.	Material	Volume 2 silinder (m <sup>3</sup> )	Kebutuhan material 2 silinder	Kebutuhan material 2 silinder (setelah ditambah 20%)
1	Semen	0,0106	3,71 kg	4,455 kg
2	Pasir		4,62 kg	5,545 kg
3	Air		2,12 liter	2,545 liter
4	Styrofoam		0,15 kg	0,182 kg

## 2. Komposisi mortar

Untuk plesteran *core* digunakan mortar dengan bahan tambah Sikamen NN. Bahan tambah tersebut berfungsi agar beton dapat memadat dengan sendirinya. Komposisi adukan mortar menggunakan 3 variasi menurut ketebalannya yaitu 15 mm, 20 mm, dan 25mm. Berikut ini adalah langkah-langkah perhitungan *mix design* yang digunakan untuk membuat mortar.

## a. Kebutuhan Agregat

Perbandingan campuran yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1 semen : 4 pasir : 0,9 f.a.s. Perhitungan perbandingan volume menjadi perbandingan berat:

$$\text{Semen} = \frac{\text{bobot isi semen}}{\text{bobot isi pasir}} = \frac{1 \cdot 1,5}{1,5} = 1$$

$$\text{Pasir} = \frac{\text{berat pasir}}{\text{berat semen}} = \frac{4 \cdot 1,5}{1,5} = 4$$

$$\text{Air} = 0,9$$

Tabel 15. Perbandingan Agregat

No	Material	Perbandingan Volume	Bobot Isi	Perbandingan Berat
1	Semen	1	1,5	1
2	Pasir	4	1,5	4
3	Air	0,9	1	0,9
Jumlah				5,9

b. Kebutuhan agregat tiap meter kubik

Perbandingan antara semen:pasir:air adalah 1:4:0,9. Sementara berat jenis mortar adalah  $2250 \text{ kg/m}^3$ . Sehingga mendapatkan persamaan sebagai berikut:

$$2250 \text{ kg/m}^3 = 1x + 4x + 0,9x$$

$$2250 \text{ kg/m}^3 = 5,9x$$

$$x = 381,36$$

Dari persamaan di atas dapat menentukan kebutuhan agregat tiap meter kubik.

Tabel 16. Kebutuhan agregat tiap meter kubik

No.	Material	Kebutuhan material
1	Semen	381,36
2	Pasir	1525,42 kg/m <sup>3</sup>
3	Air	343,22 kg/m <sup>3</sup>
4	Sikamen NN	3,87 liter
5	Serat Polypropylene	0,5

Keterangan: Sikamen NN yang digunakan diambil 1,2% dari berat semen (Amin, dkk. 2012).

c. *Trial Mix*

Sebelum membuat plesteran atau mortar, dilakukan *trial mix* untuk dapat menentukan komposisi campuran yang tepat. *Trial mix* menggunakan cetakan silinder. Kebutuhan material yang digunakan untuk *trial mix* disajikan dalam tabel 17.

Tabel 17. Kebutuhan material untuk *trial mix*

No.	Nama material	Kebutuhan material tiap silinder	Kebutuhan total 2 silinder (+20% berat tiap agregat)
1	Semen	2,02 kg	4,85 kg
2	Pasir	8,09 kg	19,41 kg
3	Air	1,82 kg	4,36 kg
4	Sikamen NN	0,012 kg	0,025 kg

## d. Kebutuhan material mortar

Sama seperti *core*, sebelum menentukan kebutuhan material yang digunakan terlebih dahulu adalah menghitung volume bagian bekesting yang akan dipleset.

Tabel 18. Volume lapisan mortar dengan ketebalan 25 mm

No.	Nama benda uji dinding	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
1	DS 70 <sub>0</sub> BU 1	0,6	0,4	0,025	0,012
2	DS 70 <sub>0</sub> BU 2	0,6	0,4	0,025	0,012
3	DS 70 <sub>1</sub> BU 5	0,6	0,4	0,025	0,012
4	DS 70 <sub>1</sub> BU 6	0,6	0,4	0,025	0,012

Keterangan: DS 70<sub>0</sub> BU 1 = Dinding *Styrofoam* Tebal *Core* 70 mm serat 0 kg/m<sup>3</sup> Benda Uji 1

Tabel 19. Volume lapisan mortar dengan ketebalan 20 mm

No.	Nama benda uji dinding	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
1	DS 80 <sub>0</sub> BU 1	0,6	0,4	0,02	0,010
2	DS 80 <sub>0</sub> BU 2	0,6	0,4	0,02	0,010
3	DS 80 <sub>1</sub> BU 5	0,6	0,4	0,02	0,010
4	DS 80 <sub>1</sub> BU 6	0,6	0,4	0,02	0,010

Keterangan: DS 80<sub>0</sub> BU 1 = Dinding *Styrofoam* Tebal *Core* 80 mm serat 0 kg/m<sup>3</sup> Benda Uji 1



Tabel 20. Volume lapisan mortar dengan ketebalan 15 mm

No.	Nama benda uji dinding	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m <sup>3</sup> )
1	DS 90 <sub>0</sub> BU 1	0,6	0,4	0,02	0,007
2	DS 90 <sub>0</sub> BU 2	0,6	0,4	0,02	0,007
3	DS 90 <sub>1</sub> BU 5	0,6	0,4	0,02	0,007
4	DS 90 <sub>1</sub> BU 6	0,6	0,4	0,02	0,007

Keterangan: DS 90<sub>0</sub> BU 1 = Dinding *Styrofoam* Tebal Core 90 mm serat 0 kg/m<sup>3</sup> Benda Uji 1

Setelah didapat volume bagian bekesting yang akan diisi oleh mortar, maka kebutuhan material untuk membuat mortar adalah sebagai berikut:

Tabel 21. Kebutuhan material untuk pembuatan 2 bekesting mortar dengan tebal 25 mm

No.	Material	Kebutuhan 2 bekesting+20% berat agregat
1	Semen	5,49 kg
2	Pasir	21,96 kg
3	Air	4,94 liter
4	Sikamen	0,080 liter
5	Serat <i>polypropylene</i>	7,2 gram

Tabel 22. Kebutuhan material untuk pembuatan 2 bekesting mortar dengan tebal 20 mm

No.	Material	Kebutuhan 2 bekesting+20% berat agregat
1	Semen	4,39 kg
2	Pasir	17,57 kg
3	Air	3,95 liter
4	Sikamen	0,069 liter
5	Serat <i>polypropylene</i>	5,76 gram

Tabel 23. Kebutuhan material untuk pembuatan 2 bekesting mortar dengan tebal 15 mm

No.	Material	Kebutuhan 2 bekesting+20% berat agregat
1	Semen	3,29 kg
2	Pasir	13,17 kg
3	Air	2,96 liter
4	Sikamen	0.058 liter
5	Serat <i>polypropylene</i>	4,32 gram

e. Pengambilan sampel

Sama seperti *core*, setiap adukan beton mortar diambil *sample* sebanyak 2 silinder.

$$\text{Volume silinder} = \frac{1}{4} \times \pi \times (0,15)^2 m \times (0,30)m = (0,0053)m^3$$

Sehingga material yang dibutuhkan untuk pengambilan *sample* adalah sebagai berikut.

Tabel 24. Komposisi pengambilan sampel

No.	Material	Kebutuhan 2 silinder+20% berat agregat
1	Semen	4,85 kg
2	Pasir	19,41 kg
3	Air	4,36 liter
4	Sikamen NN	24,68 ml
5	Serat <i>polypropylene</i>	6,36 gram

## 2. Kecepatan perambatan gelombang dengan metode *direct* serat 0 dan 1

Variabel pada penelitian ini mengacu pada Dicky (2015) dimana benda uji yang digunakan adalah *core* dinding 70mm, 80mm, dan

90mm. Adapun metode pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* pada benda uji dilakukan dengan metode *direct* dan *indirect* menggunakan serat 0 dan 1.

Tabel 25. *Core 70* serat 0 benda uji 1 dan 2

No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer (mm)	Travel Time ( $\Delta T$ )
1	DS 70 <sub>0</sub> BU 1 <i>direct</i>	A6	119,00	74,20
2		A7	121,20	68,10
3		A8	120,00	72,20
4		A9	118,20	73,20
5		A10	120,40	75,20
1	DS 70 <sub>0</sub> BU 2 <i>direct</i>	A6	122,80	76,20
2		A7	122,20	79,40
3		A8	120,00	76,40
4		A9	120,80	76,40
5		A10	122,40	77,70

Tabel 26. *Core 80* serat 0 benda uji 1 dan 2

No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer (mm)	Travel Time ( $\Delta T$ )
1	DS 80 <sub>0</sub> BU 1 <i>direct</i>	A6	118,00	60,50
2		A7	118,30	60,20
3		A8	119,70	62,20
4		A9	120,03	62,40
5		A10	120,02	63,30
1	DS 80 <sub>0</sub> BU 2 <i>direct</i>	A6	124,00	55,70
2		A7	120,50	54,50
3		A8	123,00	54,30
4		A9	120,20	56,30
5		A10	119,50	64,20

Tabel 27. *Core 90* serat 0 benda uji 1 dan 2

No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer (mm)	<i>Travel Time</i> ( $\Delta T$ )
1	DS 90 <sub>0</sub> BU 1 <i>direct</i>	A6	119,00	65,40
2		A7	119,60	66,00
3		A8	121,40	68,00
4		A9	119,00	62,40
5		A10	119,00	65,50
1	DS 90 <sub>0</sub> BU 2 <i>direct</i>	A6	121,00	60,00
2		A7	121,40	56,50
3		A8	120,90	50,20
4		A9	119,40	51,30
5		A10	118,30	53,50

Tabel 28. *Core 70* serat 1 benda uji 5 dan 6

No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer (mm)	<i>Travel Time</i> ( $\Delta T$ )
1	DS 70 <sub>0</sub> BU 5 <i>direct</i>	A6	120,40	67,50
2		A7	121,00	67,80
3		A8	120,80	60,00
4		A9	121,00	67,10
5		A10	120,00	66,50
1	DS 70 <sub>1</sub> BU 6 <i>direct</i>	A6	120,50	54,60
2		A7	122,00	53,10
3		A8	121,70	58,15
4		A9	121,00	55,70
5		A10	121,50	61,50

Tabel 29. Core 80 serat 1 benda uji 5 dan 6

No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer (mm)	Travel Time ( $\Delta T$ )
1	DS 80 <sub>1</sub> BU 5 direct	A6	123,50	69,40
2		A7	121,30	75,40
3		A8	122,70	70,00
4		A9	122,00	66,70
5		A10	124,70	82,10
1	DS 80 <sub>1</sub> BU 6 direct	A6	118,60	71,90
2		A7	117,70	72,40
3		A8	119,90	75,50
4		A9	120,40	67,20
5		A10	121,30	64,20

Tabel 30. Core 90 serat 1 benda uji 5 dan 6

No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer (mm)	Travel Time ( $\Delta T$ )
1	DS 90 <sub>1</sub> BU 5 direct	A6	119,00	65,40
2		A7	119,60	66,00
3		A8	121,40	68,00
4		A9	119,00	62,40
5		A10	119,00	65,50
1	DS 90 <sub>1</sub> BU 6 direct	A6	121,00	60,00
2		A7	121,40	56,50
3		A8	120,90	50,20
4		A9	119,40	51,30
5		A10	118,30	53,50

### 3. Kecepatan perambatan gelombang dengan metode *indirect* serat 0 dan 1

Tabel 31. *Core 70* serat 0 benda uji 1 dan 2

No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer (mm)	Travel Time ( $\Delta T$ )
1	DS 70 <sub>0</sub> BU 1 <i>indirect</i>	A1	100,00	22
2		A2	100,00	22,7
3		A3	100,00	26,5
4		A4	100,00	32,5
1	DS 70 <sub>0</sub> BU 2 <i>indirect</i>	A1	100,00	37,6
2		A2	100,00	37,5
3		A3	100,00	38,8
4		A4	100,00	34,15

Tabel 32. *Core 80* serat 0 benda uji 1 dan 2

No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer (mm)	Travel Time ( $\Delta T$ )
1	DS 80 <sub>0</sub> BU 1 <i>indirect</i>	A1	100,00	46,6
2		A2	100,00	45,7
3		A3	100,00	45,1
4		A4	100,00	44,7
1	DS 80 <sub>0</sub> BU 2 <i>indirect</i>	A1	100,00	29,6
2		A2	100,00	46,3
3		A3	100,00	46,7
4		A4	100,00	48,8

Tabel 33. *Core 90* serat 0 benda uji 1 dan 2

No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer (mm)	<i>Travel Time</i> ( $\Delta t$ )
1	DS 90 <sub>0</sub> BU <i>1 indirect</i>	A1	100,00	28
2		A2	100,00	46,7
3		A3	100,00	44,9
4		A4	100,00	37,75
1	DS 90 <sub>0</sub> BU <i>2 indirect</i>	A1	100,00	30,5
2		A2	100,00	44,1
3		A3	100,00	28,5
4		A4	100,00	39,5

Tabel 34. *Core 70* serat 1 benda uji 5 dan 6

No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer (mm)	<i>Travel Time</i> ( $\Delta t$ )
1	DS 70 <sub>1</sub> BU <i>5 indirect</i>	A1	100,00	38,7
2		A2	100,00	37,8
3		A3	100,00	37
4		A4	100,00	35,65
1	DS 70 <sub>1</sub> BU <i>6 indirect</i>	A1	100,00	27,5
2		A2	100,00	25,6
3		A3	100,00	45,7
4		A4	100,00	38,75

Tabel 35. *Core 80* serat 1 benda uji 5 dan 6

No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer (mm)	<i>Travel Time</i> ( $\Delta T$ )
1	DS 80 <sub>1</sub> BU <i>5 indirect</i>	A1	100,00	25,7
2		A2	100,00	22,5
3		A3	100,00	26
4		A4	100,00	30,95
1	DS 80 <sub>1</sub> BU <i>6 indirect</i>	A1	100,00	42,12
2		A2	100,00	44,5
3		A3	100,00	39,6
4		A4	100,00	38,05

Tabel 36. *Core 90* serat 1 benda uji 5 dan 6

No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer (mm)	<i>Travel Time</i> ( $\Delta T$ )
1	DS 90 <sub>1</sub> BU <i>5 indirect</i>	A1	100,00	49,3
2		A2	100,00	36,6
3		A3	100,00	36,2
4		A4	100,00	35,1
1	DS 90 <sub>1</sub> BU <i>6 indirect</i>	A1	100,00	55,1
2		A2	100,00	47
3		A3	100,00	48,7
4		A4	100,00	45,5

## B. Pembahasan

### 1. Hasil MKB

Hasil pengujian Modulus Kehalusan Butir pada agregat halus tersaji pada tabel 37.



Tabel 37. Hasil pengujian Modulus Kehalusan Butir

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Persen Tertinggal (%)	Persen Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Tembus Kumulatif (%)
9,60	3,05	0,31	0,31	99,69
4,80	4,33	0,43	0,74	99,26
2,40	218	2,18	2,92	97,08
1,20	120	12,02	14,94	85,06
0,60	446	44,68	59,62	40,38
0,30	309	30,95	90,57	9,43
0,15	94	9,42	99,99	0,01
< 0,15	0,11	0,01	-	-
Total	998,29	100	269,09	0

Modulus Kehalusan Butir dapat dihitung menggunakan rumus berikut

ini:

$$\begin{aligned}
 \text{MKB} &= \frac{\text{Persen tertinggal kumulatif}}{100} \dots\dots\dots (4) \\
 &= \frac{269,09}{100} \\
 &= 2,69 \text{ (termasuk dalam zona 2)}
 \end{aligned}$$

Perhitungan diatas menunjukkan bahwa modulus kehalusan butir pasir progo sebesar 2,69 termasuk dalam zone 2, yaitu pasir agak kasar.

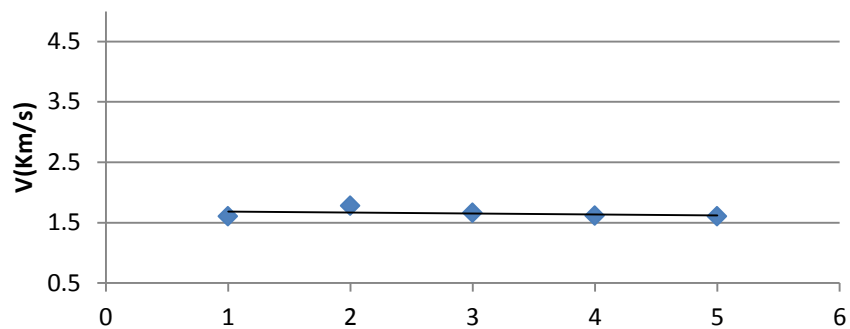
## 2. Kecepatan perambatan gelombang *Ultrasonic Pulse Velocity* dengan metode *direct* dan *indirect*

a. Data pengujian dinding *sandwich styrofoam* dengan ukuran *core*

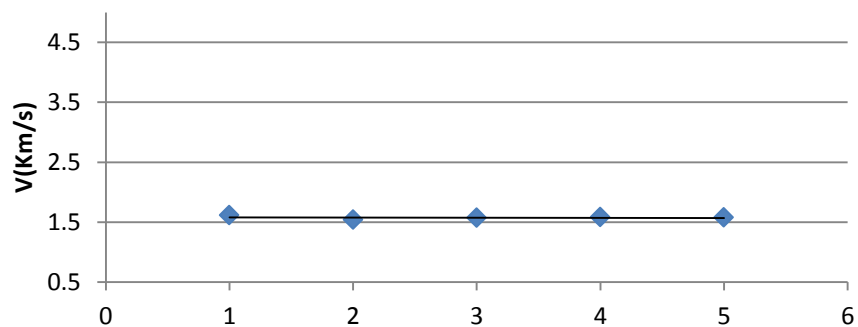
70 serat 0 dengan metode *direct*

Tabel 38. Dinding *Sandwich Styrofoam* dengan *core* 70 serat 0 benda uji 1 dan 2 dengan metode *direct*.

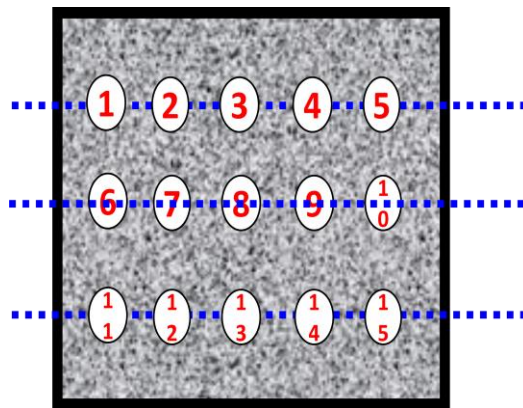
No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer (mm)	Travel Time ( $\Delta t$ )	V (Km/s)
1	DS 70 <sub>0</sub> BU 1 <i>direct</i>	A6	119,00	74,20	1,603
2		A7	121,20	68,10	1,779
3		A8	120,00	72,20	1,662
4		A9	118,20	73,20	1,614
5		A10	120,40	75,20	1,601
Rerata					1,625
1	DS 70 <sub>0</sub> BU 2 <i>direct</i>	A6	122,80	76,20	1,611
2		A7	122,20	79,40	1,539
3		A8	120,00	76,40	1,570
4		A9	120,80	76,40	1,581
5		A10	122,40	77,70	1,575
Rerata					1,575



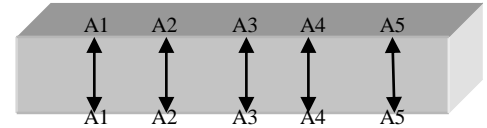
Gambar 41. Grafik *direct* serat 0 benda uji 1



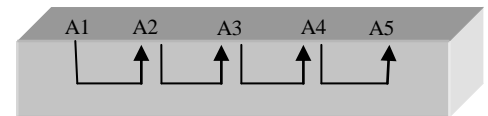
Gambar 42. Grafik *direct* serat 0 benda uji 2.



Gambar 43. metode *indirect* dan *direct*



Gambar 44. skema pengujian metode *direct*

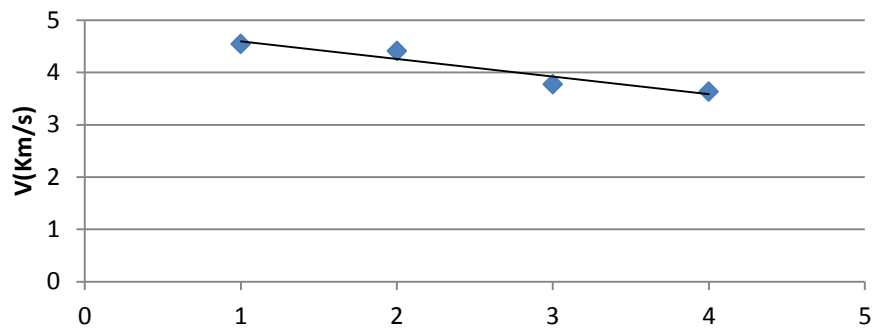


Gambar 45. skema pengujian metode *indirect*

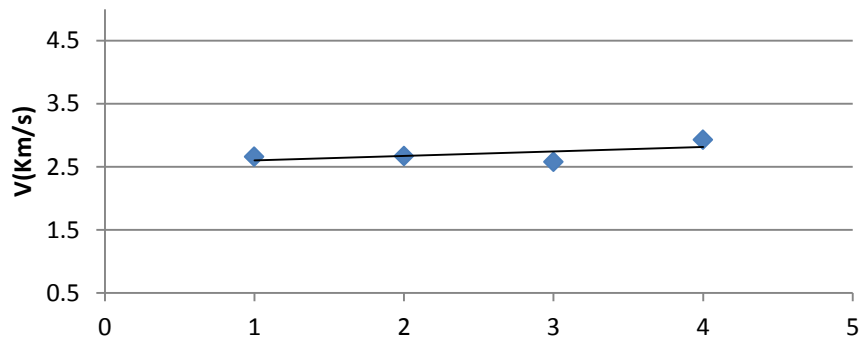
- b. *Core 70* dengan serat 0 benda uji 1 dan 2 dengan menggunakan metode *indirect*.

Tabel 39. Dinding *Sandwich Styrofoam* dengan *core 70* serat 0 benda uji 1 dan 2.

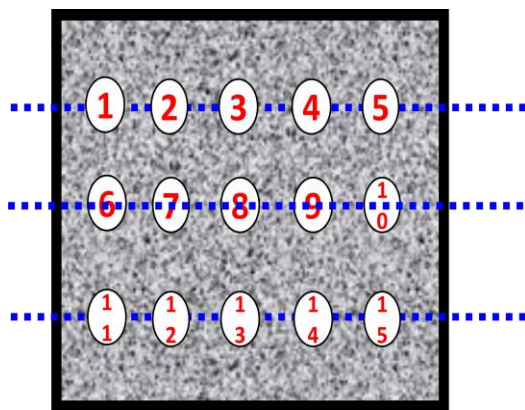
No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer (mm)	Travel Time ( $\Delta T$ )	V (Km/s)
1	DS 70 <sub>0</sub> BU 1 <i>indirect</i>	A1	100,00	22	4,545
2		A2	100,00	22,7	4,405
3		A3	100,00	26,5	3,773
4		A4	100,00	32,5	3,007
Rerata					3,933
1	DS 70 <sub>0</sub> BU 2 <i>indirect</i>	A1	100,00	37,6	2,659
2		A2	100,00	37,5	2,666
3		A3	100,00	38,8	2,577
4		A4	100,00	34,15	2,928
Rerata					2,708



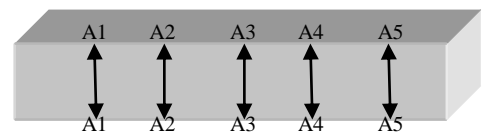
Gambar 46. Grafik *indirect* serat 0 benda uji 1



Gambar 47. Grafik *indirect* serat 0 benda uji 2



Gambar 48. metode *indirect* dan *direct*



Gambar 49.skema pengujian metode *direct*

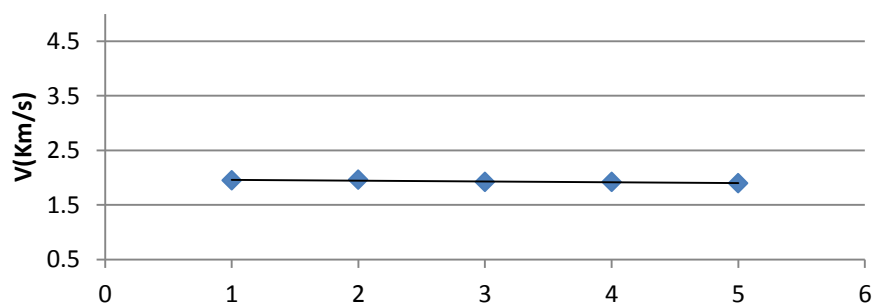


Gambar 50.skema pengujian metode *indirect*

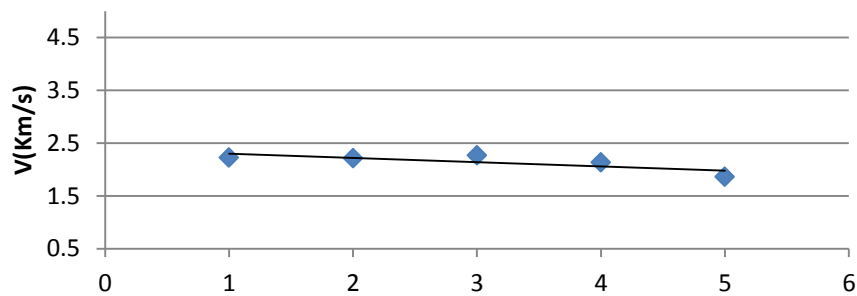
- c. *Core 80* dengan serat 0 benda uji 1 dan 2 dengan menggunakan metode *direct*.

Tabel 40. Dinding *Sandwich Styrofoam* dengan *core 80* serat 0 benda uji 1 dan 2.

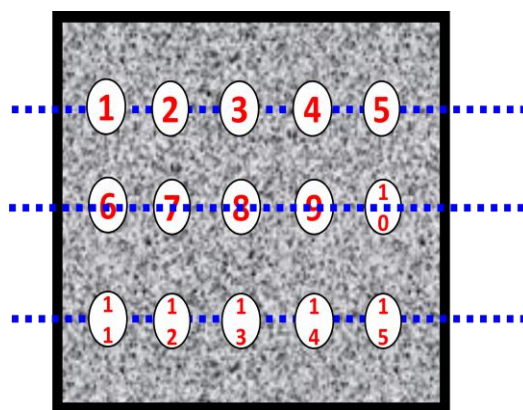
No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer (mm)	Travel Time ( $\Delta t$ )	V (Km/s)
1	DS 80 <sub>0</sub> BU 1 <i>direct</i>	A6	118,00	60,50	1,950
2		A7	118,30	60,20	1,965
3		A8	119,70	62,20	1,924
4		A9	120,03	62,40	1,923
5		A10	120,02	63,30	1,896
Rerata					1,923
1	DS 80 <sub>0</sub> BU 2 <i>direct</i>	A6	124,00	55,70	2,226
2		A7	120,50	54,50	2,211
3		A8	123,00	54,30	2,265
4		A9	120,20	56,30	2,134
5		A10	119,50	64,20	1,861
Rerata					2,139



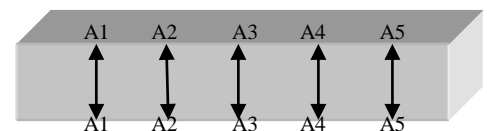
Gambar 51. Grafik *direct* serat 0 benda uji 1



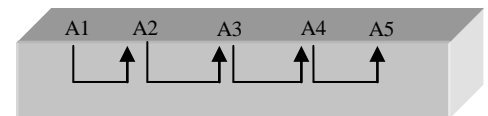
Gambar 52. Grafik *direct* serat 0 benda uji 2



Gambar 53. metode *indirect* dan *direct*



Gambar 54.skema pengujian metode *direct*



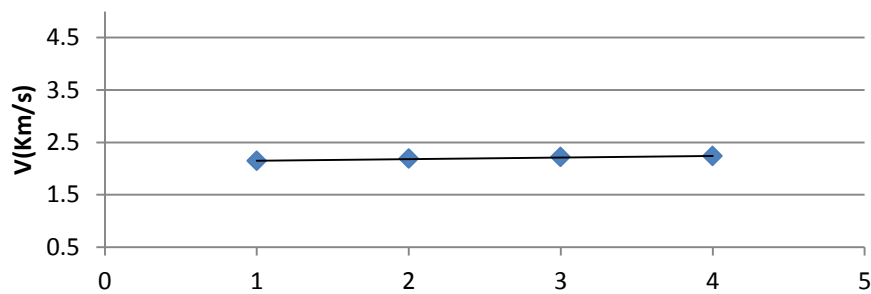
Gambar 55.skema pengujian metode *indirect*

- d. *Core* 80 dengan serat 0 benda uji 1 dan 2 dengan menggunakan metode *indirect*.

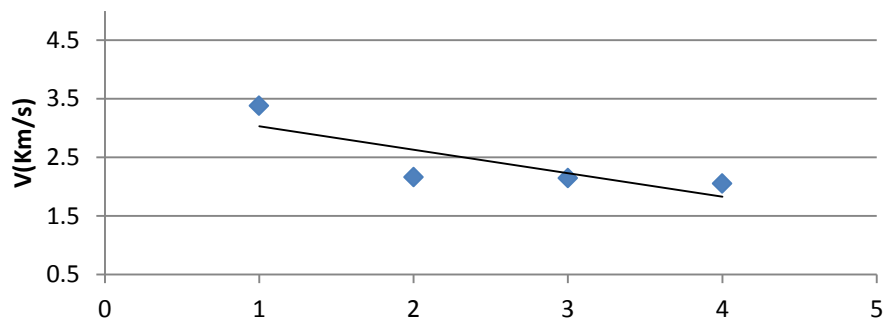
Tabel 41. Dinding *Sandwich Styrofoam* dengan *core* 80 serat 0 benda uji 1 dan 2.

No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer (mm)	<i>Travel Time</i> ( $\Delta t$ )	V (Km/s)
1	DS 80 <sub>0</sub> BU 1 <i>indirect</i>	A1	100,00	46,6	2,145
2		A2	100,00	45,7	2,188
3		A3	100,00	45,1	2,217
4		A4	100,00	44,7	2,237
Rerata					2,197

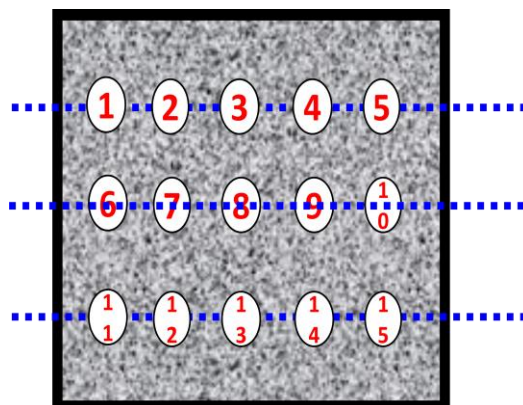
No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer (mm)	<i>Travel Time</i> ( $\Delta t$ )	V (Km/s)
1	DS 80 <sub>0</sub> BU <i>2 indirect</i>	A1	100,00	29,6	3,378
2		A2	100,00	46,3	2,159
3		A3	100,00	46,7	2,141
4		A4	100,00	48,8	2,049
Rerata					2,432



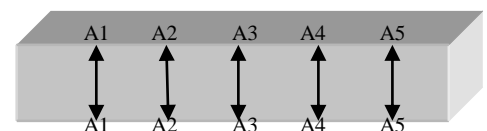
Gambar 56. Grafik *indirect* serat 0 benda uji 1



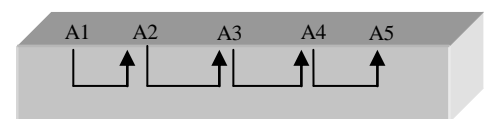
Gambar 57. Grafik *indirect* serat 0 benda uji 2



Gambar 58. metode *indirect* dan *direct*



Gambar 59. skema pengujian metode *direct*

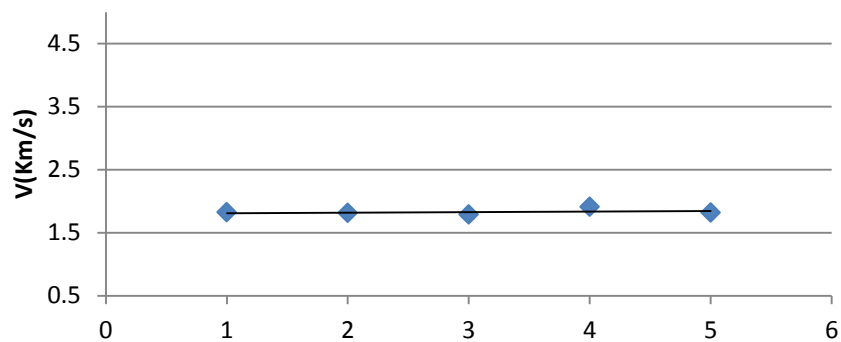


Gambar 60. skema pengujian metode *indirect*

- e. *Core 90* dengan serat 0 benda uji 1 dan 2 dengan menggunakan metode *direct*.

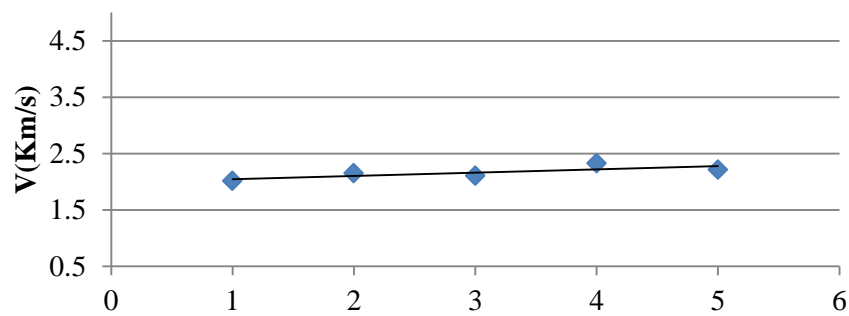
Tabel 42. Dinding *Sandwich Styrofoam* dengan *core 90* serat 0 benda uji 1 dan 2.

No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer (mm)	Travel Time ( $\Delta t$ )	V (Km/s)
1	DS 90 <sub>0</sub> BU 1 <i>direct</i>	A6	119,00	65,40	1,819
2		A7	119,60	66,00	1,812
3		A8	121,40	68,00	1,785
4		A9	119,00	62,40	1,907
5		A10	119,00	65,50	1,816
Rerata					1,828
1	DS 90 <sub>0</sub> BU 2 <i>direct</i>	A6	121,00	60,00	2,016
2		A7	121,40	56,50	2,148
3		A8	120,90	50,20	2,108
4		A9	119,40	51,30	2,327
5		A10	118,30	53,50	2,211
Rerata					2,162

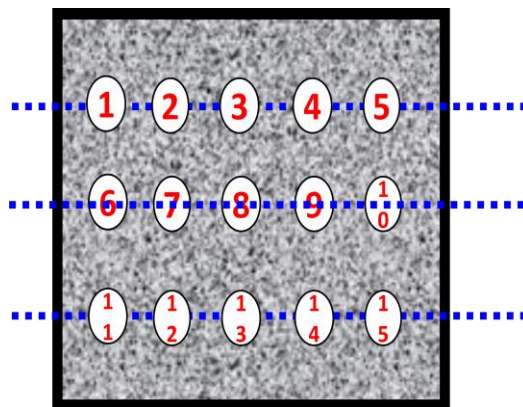


Gambar 61. Grafik *direct* serat 0 benda uji 1

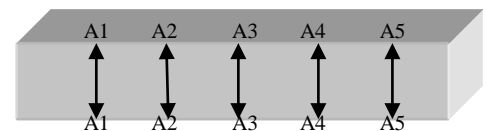




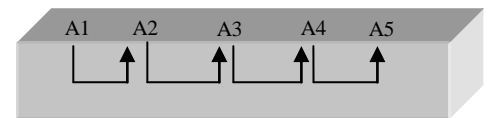
Gambar 62. Grafik *direct* serat 0 benda uji 2



Gambar 63. metode *indirect* dan *direct*



Gambar 64. skema pengujian metode *direct*



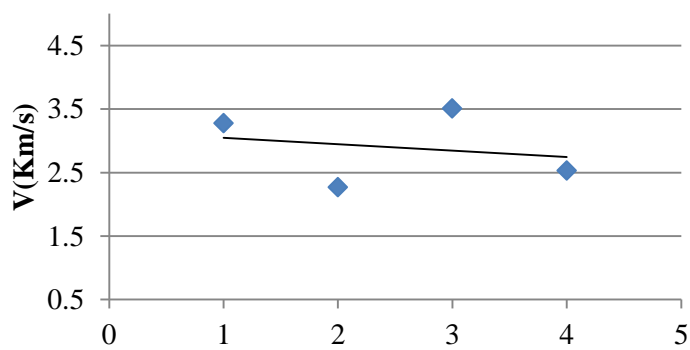
Gambar 65. skema pengujian metode *indirect*

- f. *Core 90* dengan serat 0 benda uji 1 dan 2 dengan menggunakan metode *indirect*.

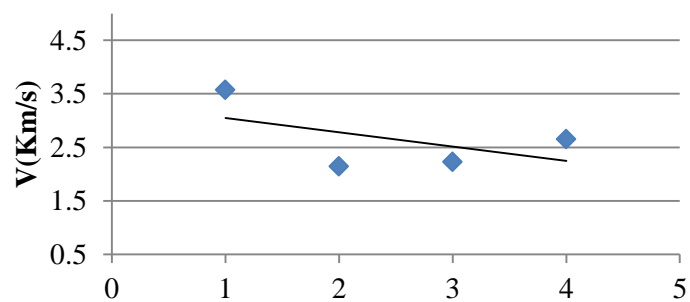
Tabel 43. Dinding *Sandwich Styrofoam* dengan *core 90* serat 0 benda uji 1 dan 2.

No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer (mm)	<i>Travel Time</i> ( $\Delta t$ )	V (Km/s)
1	DS 90 <sub>0</sub> BU 1 <i>indirect</i>	A1	100,00	28	3,571
2		A2	100,00	46,7	2,141
3		A3	100,00	44,9	2,227
4		A4	100,00	37,75	2,649
Rerata					2,675

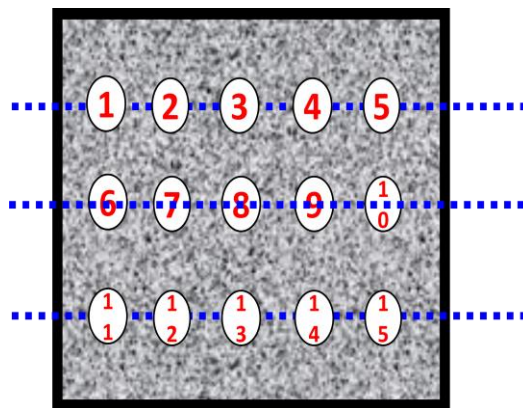
No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer (mm)	<i>Travel Time</i> ( $\Delta t$ )	V (Km/s)
1	DS 90 <sub>0</sub> BU <i>2 indirect</i>	A1	100,00	30,5	3,278
2		A2	100,00	44,1	2,267
3		A3	100,00	28,5	3,508
4		A4	100,00	39,5	2,532
Rerata					2,896



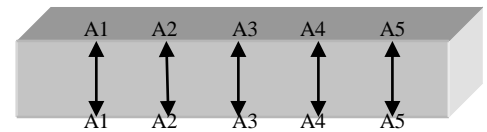
Gambar 66. Grafik *indirect* serat 90 benda uji 1



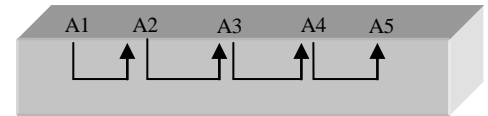
Gambar 67. Grafik *indirect* serat 90 benda uji 2



Gambar 68. metode *indirect* dan *direct*



Gambar 69. skema pengujian metode *direct*

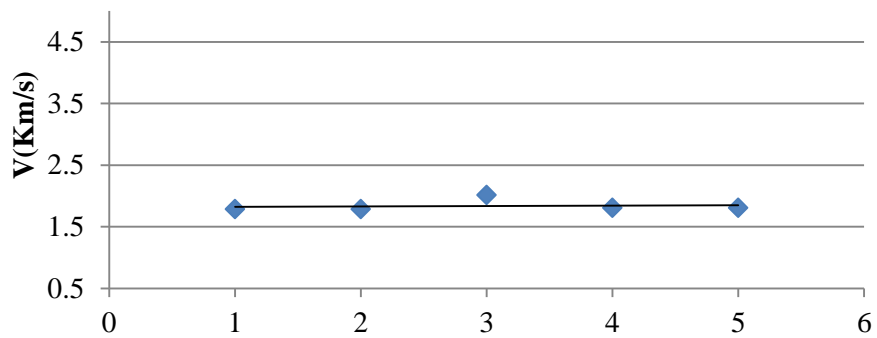


Gambar 70. skema pengujian metode *indirect*

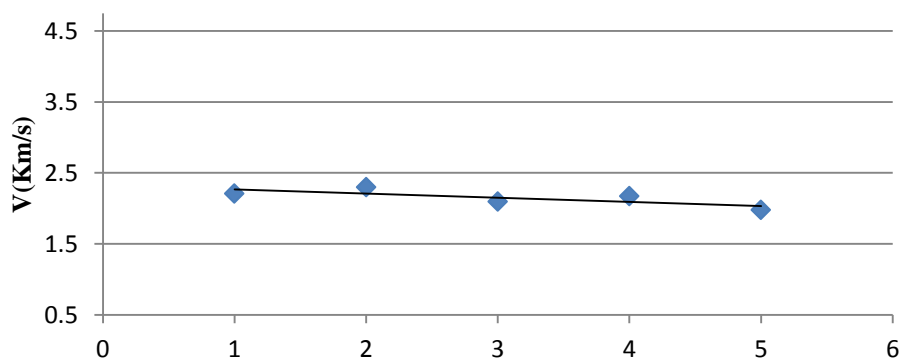
- g. Core 70 dengan serat 1 benda uji 5 dan 6 dengan menggunakan metode *direct*.

Tabel 44. Dinding *Sandwich Styrofoam* dengan core 70 serat 1 benda uji 5 dan 6.

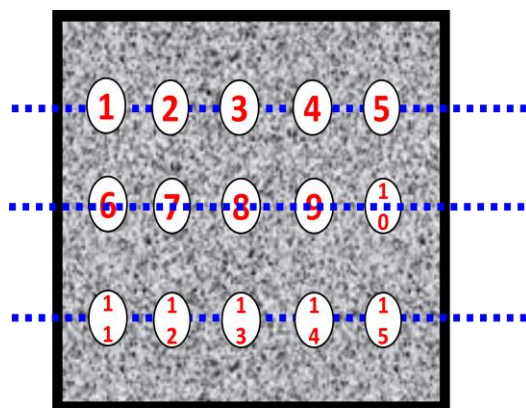
No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer (mm)	Travel Time ( $\Delta t$ )	V (Km/s)
1	DS 70 <sub>1</sub> BU 5 direct	A6	120,40	67,50	1,783
2		A7	121,00	67,80	1,784
3		A8	120,80	60,00	2,013
4		A9	121,00	67,10	1,803
5		A10	120,00	66,50	1,804
Rerata					1,887
1	DS 70 <sub>1</sub> BU 6 direct	A6	120,50	54,60	2,206
2		A7	122,00	53,10	2,297
3		A8	121,70	58,15	2,092
4		A9	121,00	55,70	2,172
5		A10	121,50	61,50	1,975
Rerata					2,148



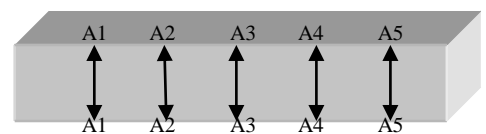
Gambar 71. Grafik *direct* serat 1 benda uji 5



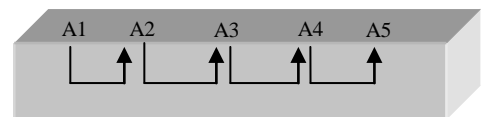
Gambar 72. Grafik *indirect* serat 1 benda uji 6



Gambar 73. metode *indirect* dan *direct*



Gambar 74.skema pengujian metode *direct*

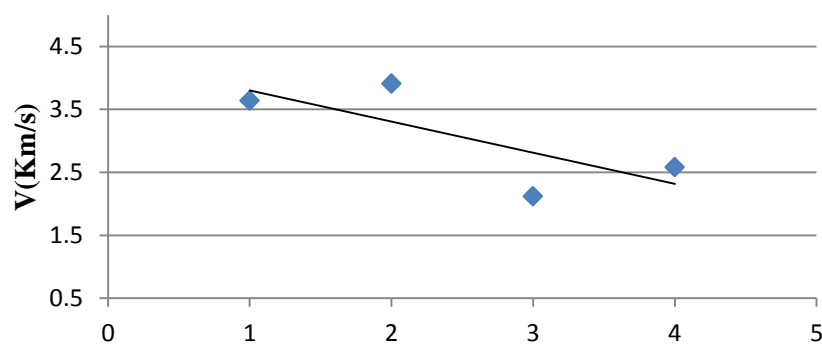


Gambar 75.skema pengujian metode *indirect*

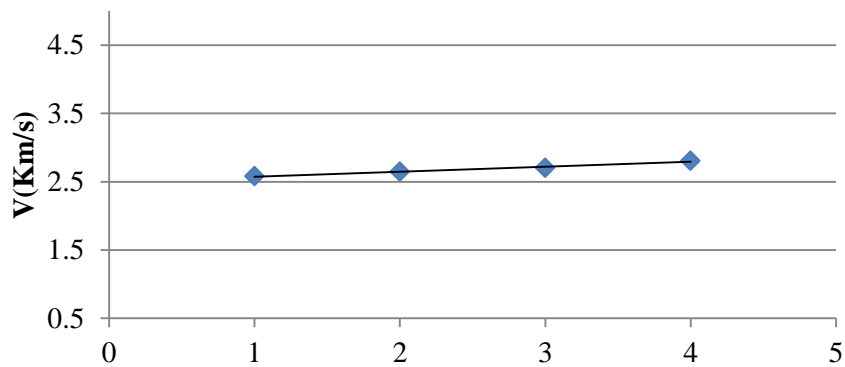
- h. *Core 70* dengan serat 1 benda uji 5 dan 6 dengan menggunakan metode *indirect*.

Tabel 45. Dinding *Sandwich Styrofoam* dengan *core 70* serat 1 benda uji 5 dan 6.

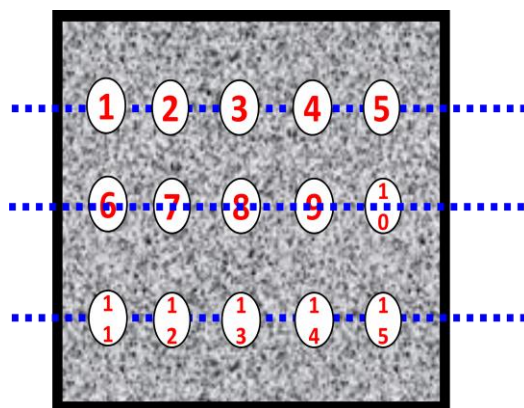
No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer (mm)	Travel Time ( $\Delta t$ )	V (Km/s)
1	DS 70 <sub>1</sub> BU 5 indirect	A1	100,00	38,7	2,583
2		A2	100,00	37,8	2,645
3		A3	100,00	37	2,702
4		A4	100,00	35,65	2,805
Rerata					2,684
1	DS 70 <sub>1</sub> BU 6 indirect	A1	100,00	27,5	3,636
2		A2	100,00	25,6	3,906
3		A3	100,00	45,7	2,118
4		A4	100,00	38,75	2,581
Rata – rata					3,060



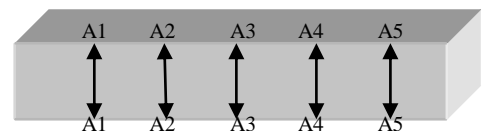
Gambar 76. Grafik *indirect* serat 1 benda uji 5



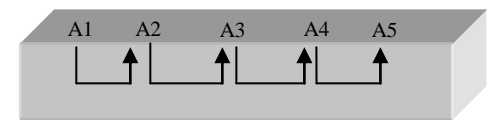
Gambar 77. Grafik *indirect* serat 1 benda uji 6



Gambar 78. metode *indirect* dan *direct*



Gambar 79. skema pengujian metode *direct*



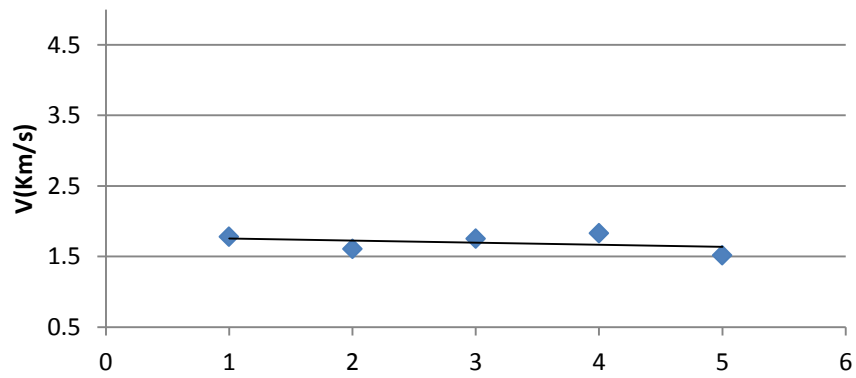
Gambar 80. skema pengujian metode *indirect*

- i. Core 80 dengan serat 1 benda uji 5 dan 6 dengan menggunakan metode *direct*.

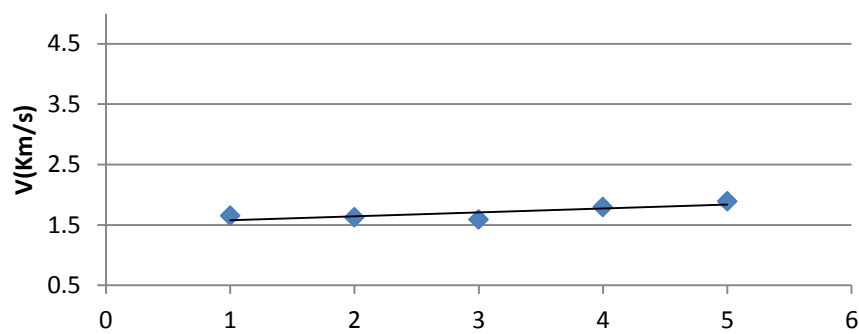
Tabel 46. Dinding *Sandwich Styrofoam* dengan core 80 serat 1 benda uji 5 dan 6.

No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer (mm)	<i>Travel Time</i> ( $\Delta t$ )	V (Km/s)
1	DS 80 <sub>1</sub> BU <i>5 direct</i>	A6	123,50	69,40	1,779
2		A7	121,30	75,40	1,608
3		A8	122,70	70,00	1,752
4		A9	122,00	66,70	1,829
5		A10	124,70	82,10	1,518
Rerata					1,697

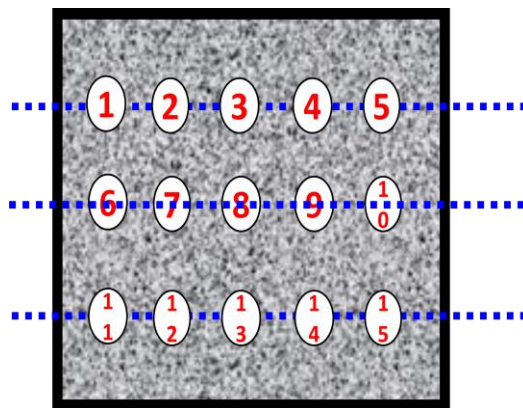
No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer (mm)	<i>Travel Time</i> ( $\Delta t$ )	V (Km/s)
1	DS 80i BU <i>6 direct</i>	A6	118,60	71,90	1,649
2		A7	117,70	72,40	1,625
3		A8	119,90	75,50	1,588
4		A9	120,40	67,20	1,791
5		A10	121,30	64,20	1,889
Rerata					1,708



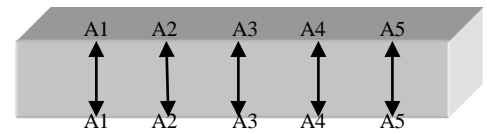
Gambar 81. Grafik *direct* serat 1 benda uji 5



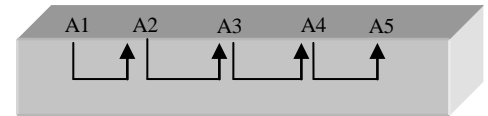
Gambar 82. Grafik *indirect* serat 1 benda uji 5



Gambar 83. metode *indirect* dan *direct*



Gambar 84.skema pengujian metode *direct*



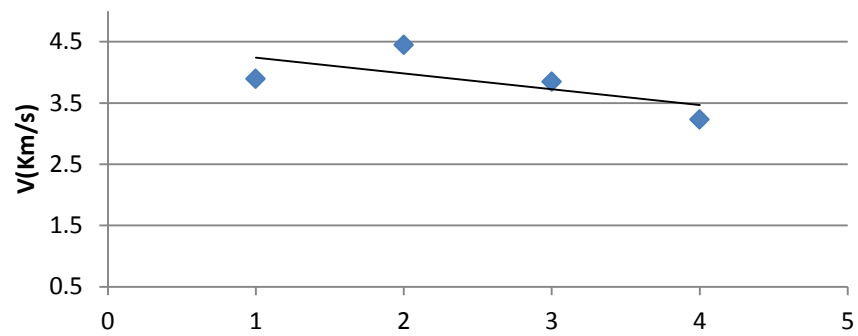
Gambar 85.skema pengujian metode *indirect*

- j. Core 80 dengan serat 1 benda uji 5 dan 6 dengan menggunakan metode *indirect*.

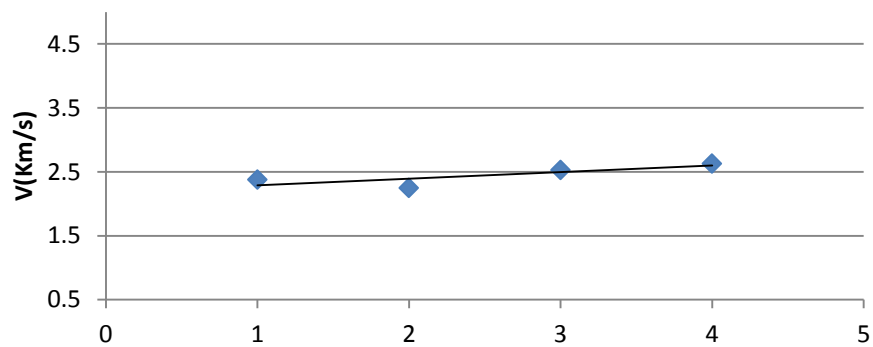
Tabel 47. Dinding *Sandwich Styrofoam* dengan *core* 80 serat 1 benda uji 5 dan 6.

No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer	Travel Time ( $\Delta t$ )	V (Km/s)
1	DS 80 <sub>1</sub> BU 5 indirect	A1	100,00	25,7	3,891
2		A2	100,00	22,5	4,444
3		A3	100,00	26	3,846
4		A4	100,00	30,95	3,231
Rerata					3,853
1	DS 80 <sub>1</sub> BU 6 indirect	A1	100,00	42,12	2,375
2		A2	100,00	44,5	2,247
3		A3	100,00	39,6	2,525
4		A4	100,00	38,05	2,628
Rerata					2,444

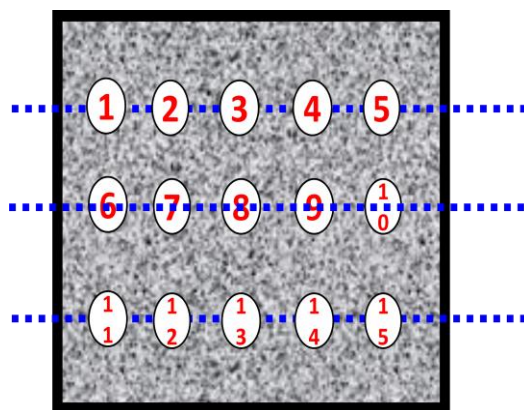




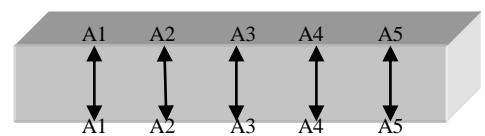
Gambar 86. Grafik *direct* serat 1 benda uji 5



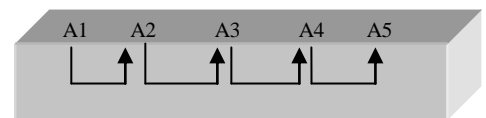
Gambar 87. Grafik *indirect* serat 1 benda uji 6



Gambar 88. metode *indirect* dan *direct*



Gambar 89.skema pengujian metode *direct*

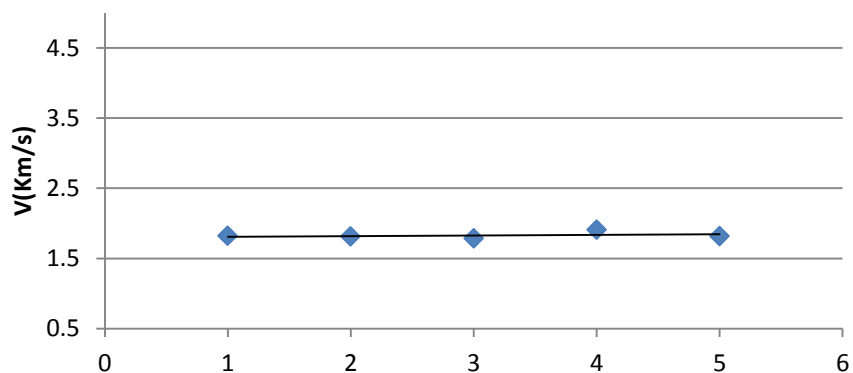


Gambar 90.skema pengujian metode *indirect*

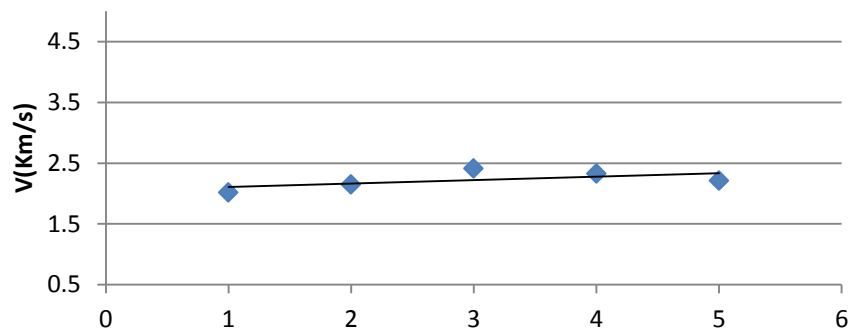
- k. *Core 90* dengan serat 1 benda uji 5 dan 6 dengan menggunakan metode *direct*.

Tabel 48. Dinding *Sandwich Styrofoam* dengan *core 90* serat 1 benda uji 5 dan 6.

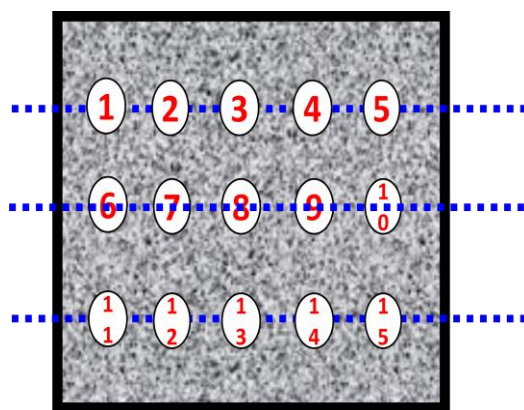
No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer (mm)	Travel Time ( $\Delta t$ )	V (Km/s)
1	DS 90 <sub>1</sub> BU 5 direct	A6	119,00	65,40	1,819
2		A7	119,60	66,00	1,812
3		A8	121,40	68,00	1,785
4		A9	119,00	62,40	1,907
5		A10	119,00	65,50	1,816
Rerata					1,828
1	DS 90 <sub>1</sub> BU 6 direct	A6	121,00	60,00	2,016
2		A7	121,40	56,50	2,148
3		A8	120,90	50,20	2,408
4		A9	119,40	51,30	2,327
5		A10	118,30	53,50	2,211
Rerata					2,240



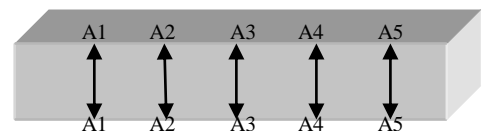
Gambar 91. Grafik *direct* serat 1 benda uji 5



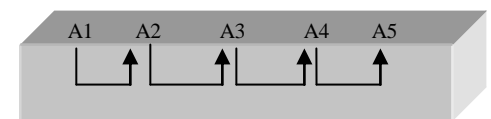
Gambar 92. Grafik *indirect* serat 1 benda uji 5



Gambar 93. metode *indirect* dan *direct*



Gambar 94. skema pengujian metode *direct*



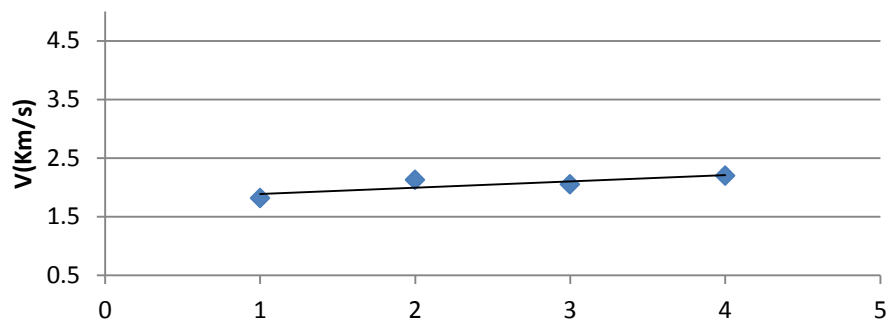
Gambar 95. skema pengujian metode *indirect*

1. Core 90 dengan serat 1 benda uji 5 dan 6 dengan menggunakan metode *indirect*.

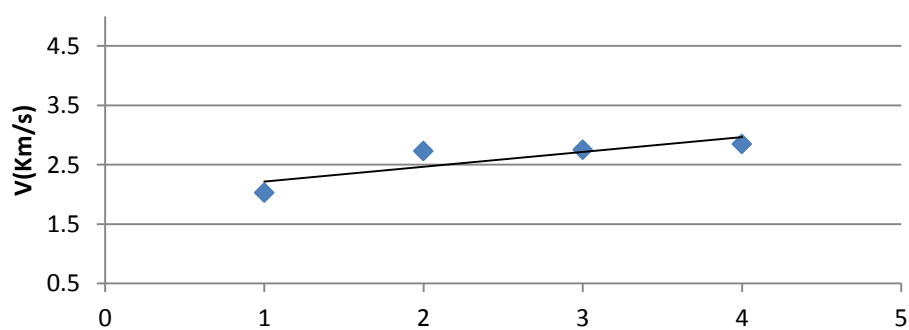
Tabel 49. Dinding *Sandwich Styrofoam* dengan core 90 serat 1 benda uji 5 dan 6.

No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer	<i>Travel Time</i> ( $\Delta t$ )	V (Km/s)
1	DS 90 <sub>1</sub> BU <i>5 indirect</i>	A1	100,00	49,3	2,028
2		A2	100,00	36,6	2,732
3		A3	100,00	36,2	2,754
4		A4	100,00	35,1	2,849
Rerata					2,591

No	Kode Benda Uji	Notasi	Jarak Transducer	<i>Travel Time</i> ( $\Delta t$ )	V (Km/s)
1	DS 90 <sub>1</sub> BU <i>6 indirect</i>	A1	100,00	55,1	1,815
2		A2	100,00	47	2,128
3		A3	100,00	48,7	2,053
4		A4	100,00	45,5	2,198
Rerata					2,048



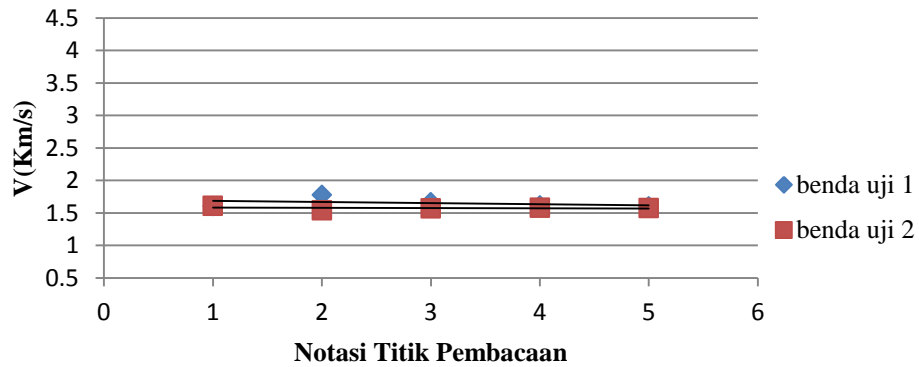
Gambar 96. Grafik *indirect* serat 1 benda uji 5



Gambar 97. Grafik *indirect* serat 1 benda uji 6

### 3. Hasil perbandingan metode *direct* dengan *indirect*

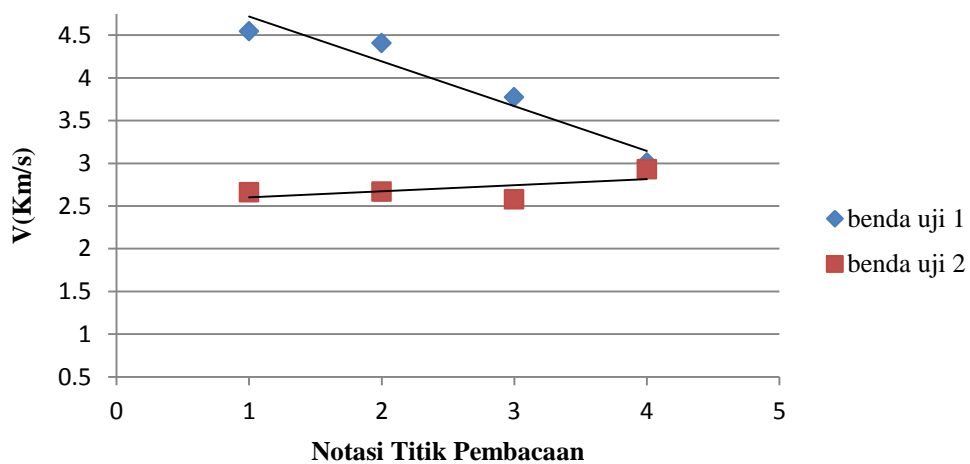
#### a. Perbandingan *core 70* serat 0 benda uji 1 dan 2 metode *direct*



Gambar 98. Grafik *direct* serat 0 benda uji 1 dan 2

Berdasarkan Gambar 98 menunjukkan bahwa kecepatan pada *core 70* benda uji 1 dan benda uji 2 dengan metode *direct* mempunyai hasil yang selalu stabil, hal ini diperkuat dengan penelitian Khairunisa (2015), dan prosentase error antara benda uji 1 dan benda uji 2 sebesar 3,20%

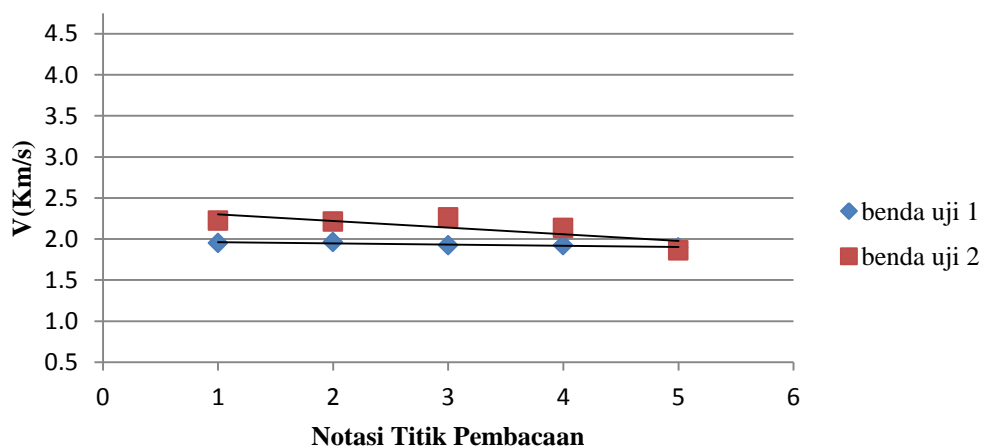
#### b. Perbandingan *core 70* serat 0 benda uji 1 dan 2 metode *indirect*



Gambar 99. Grafik *indirect* serat 0 benda uji 1 dan 2

Berdasarkan gambar 99 menunjukkan bahwa kecepatan pada *core* 70 benda uji 1 metode *indirect* selalu mengalami penurunan hal ini dikarenakan gelombang yang dikeluarkan *transmitter* tidak ditangkap dengan baik oleh *receiver* karena selalu dibiaskan oleh styrofoam sedangkan pada benda uji 2 tidak mengalami kenaikan kecepatan yang begitu tinggi dan prosentase error antara benda uji 1 dan benda uji 2 sebesar 31,14%. Menurut pengujian diatas bahwa pengujian *direct* memiliki tingkat error yang rendah hal ini juga didukung oleh pengujian Turgut dan Kucuk (2006) yang menunjukkan bahwa pengujian dengan metode *direct* mempunyai tingkat error 9% .

c. Perbandingan *core* 80 serat 0 benda uji 1 dan 2 metode *direct*

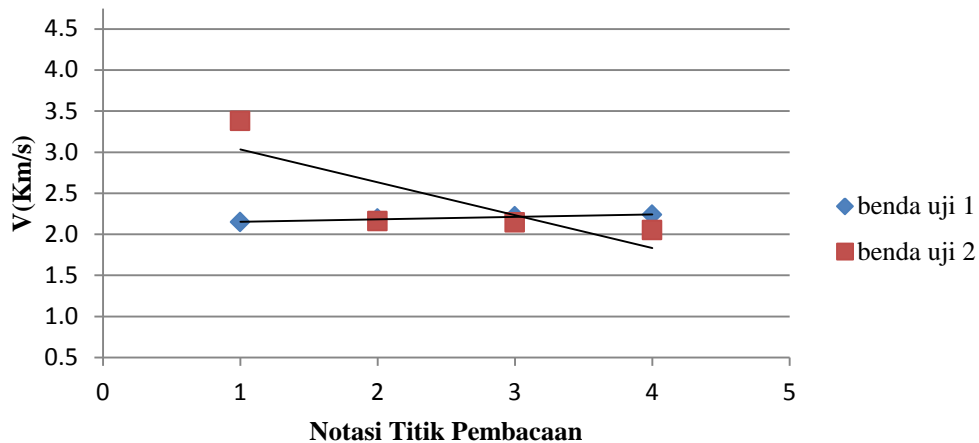


Gambar 100. Grafik *direct* serat 0 benda uji 1 dan 2

Berdasarkan Gambar 100 menunjukkan bahwa kecepatan pada *core* 80 serat 0 benda uji 1 dan benda uji 2 dengan metode *direct* mempunyai hasil yang selalu stabil, hal ini menunjukkan bahwa

metode yang paling baik menggunakan metode *direct* dan prosentase error antara benda uji 1 dan benda uji 2 sebesar 10,09%

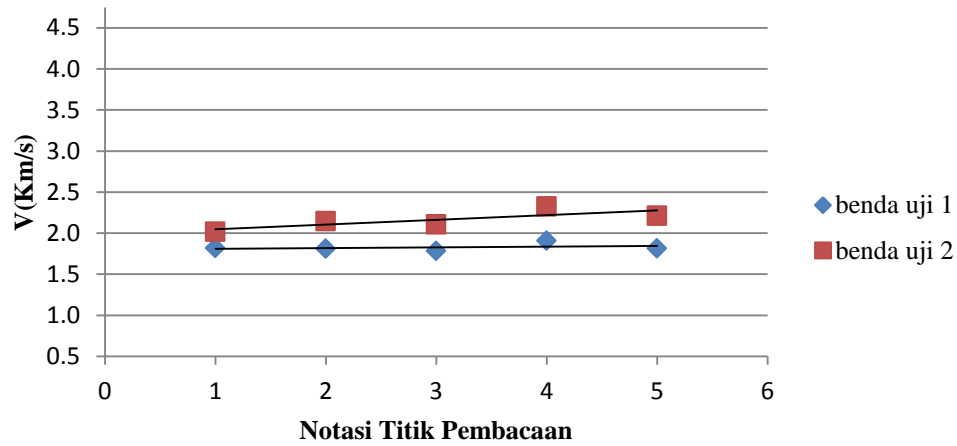
d. Perbandingan *core* 80 serat 0 benda uji 1 dan 2 metode *indirect*



Gambar 101. Grafik *indirect* serat 0 benda uji 1 dan 2

Berdasarkan gambar 101 menunjukkan bahwa kecepatan pada *core* 80 benda uji 1 metode *indirect* mempunyai kecepatan yang stabil tetapi berbanding terbalik dengan benda uji 2 yang mempunyai kecepatan yang tidak stabil. Hal ini dibuktikan dengan garis distribusi yang tidak sejajar, dan prosentase selisih antara benda uji 1 dan benda uji 2 sebesar 36,501%. Pengujian diatas menunjukkan bahwa metode *direct* memiliki tingkat titik akurasi yang cukup tinggi dan mempunyai angka error yang cukup rendah. Hal ini didukung dengan pengujian Turgut dan Kucuk (2006) yang menunjukkan bahwa pengujian dengan metode *direct* mempunyai hasil error 9%.

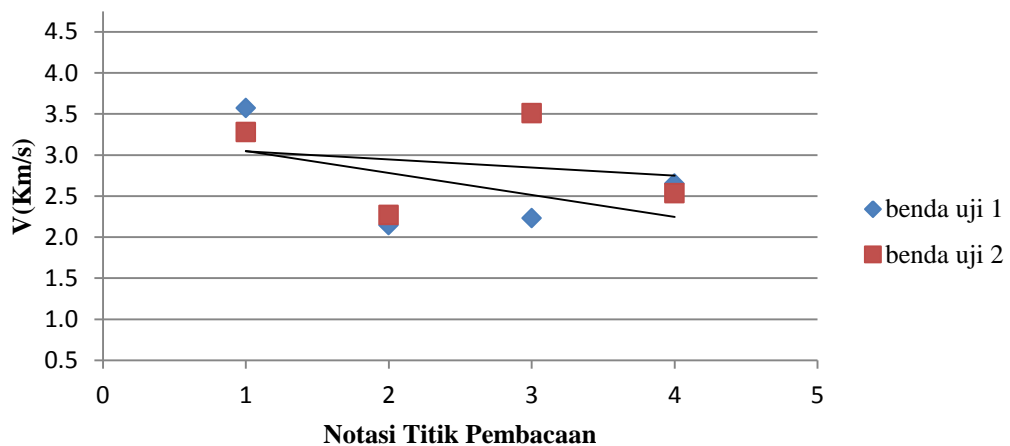
e. Perbandingan *core* 90 serat 0 benda uji 1 dan 2 metode *direct*



Gambar 102. Grafik *direct* serat 0 benda uji 1 dan 2

Berdasarkan Gambar 102 menunjukkan bahwa kecepatan pada *core* 90 serat 0 benda uji 1 dengan metode *direct* memiliki hasil yang terus stabil sedangkan benda uji 2 garis distribusi mengalami kenaikan, dan prosentase error antara benda uji 1 dan benda uji 2 sebesar 15,49%

f. Perbandingan *core* 90 serat 0 benda uji 1 dan 2 metode *indirect*

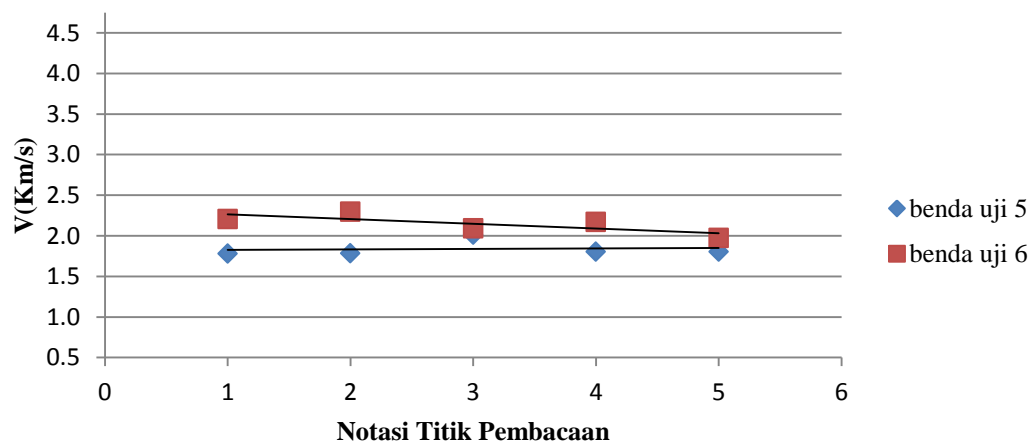


Gambar 103. Grafik *indirect* serat 0 benda uji 1 dan 2



Berdasarkan gambar 103 menunjukkan bahwa kecepatan pada *core* 90 benda uji 1 dan benda uji 2 metode *indirect* mempunyai kecepatan yang tidak stabil dikarenakan gelombang yang keluar dari *transmitter* tidak ditangkap langsung oleh *receiver* tetapi dibiaskan terlebih dahulu oleh *styrofoam*. Prosentase error antara benda uji 1 dan benda uji 2 sebesar 28,392%. Menurut pengujian diatas menunjukkan bahwa pengujian dengan metode *direct* lebih baik dan lebih akurat dibandingkan dengan metode *indirect* yang mempunyai hasil error yang lebih besar

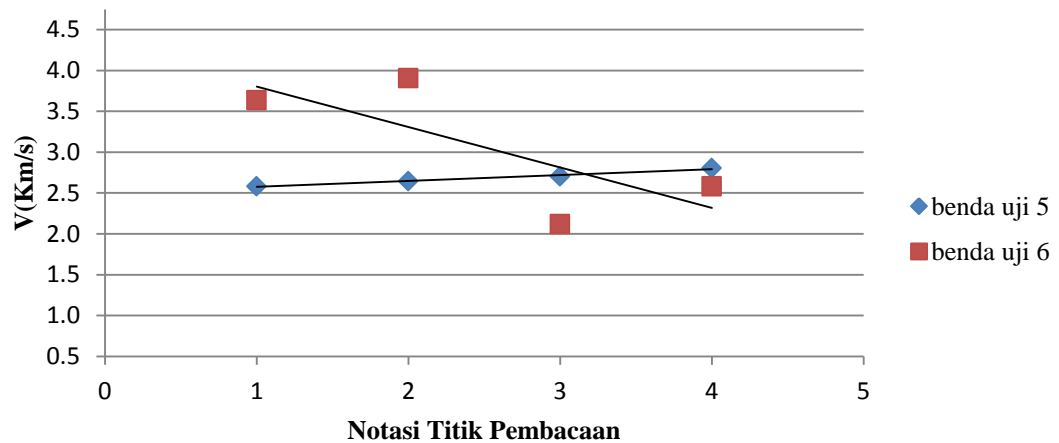
g. Perbandingan *core* 70 serat 1 benda uji 5 dan 6 metode *direct*



Gambar 104. Grafik *direct* serat 1 benda uji 5 dan 6

Berdasarkan Gambar 104 menunjukkan bahwa kecepatan pada *core* 70 serat 1 benda uji 5 dengan metode *direct* memiliki hasil yang terus stabil sedangkan benda uji 6 garis distribusi mengalami kenaikan, dan prosentase selisih antara benda uji 5 dan benda uji 6 sebesar 12,151%

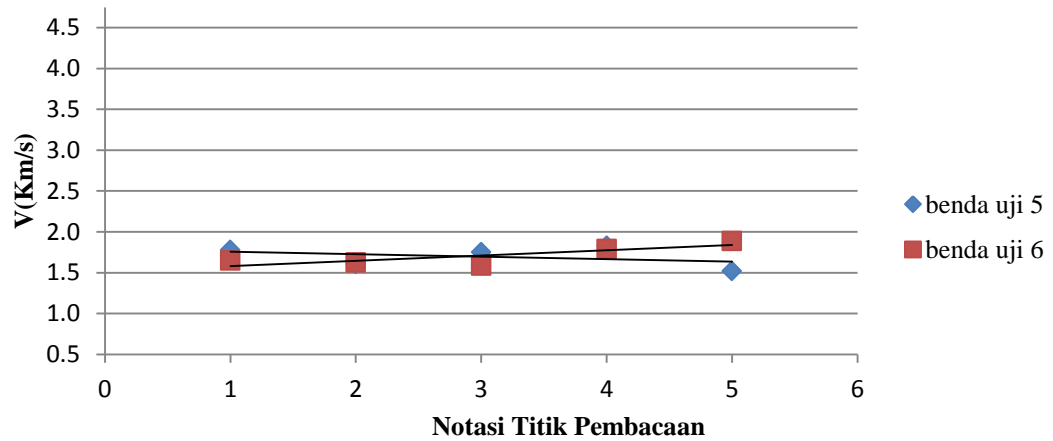
h. Perbandingan *core 70* serat 1 benda uji 5 dan 6 metode *indirect*



Gambar 105. Grafik *indirect* serat 1 benda uji 5 dan 6

Berdasarkan gambar 105 menunjukkan bahwa kecepatan pada *core 70* benda uji 5 mempunyai kecepatan yang stabil, hal ini dibuktikan dengan garis distribusi yang sejajar, sedangkan pada benda uji 6 kecepatan yang didapatkan tidak stabil hal ini dibuktikan dengan garis distribusi yang tidak sejajar. Dan prosentase error antara benda uji 5 dan benda uji 6 sebesar 28,960%. Pengujian diatas menunjukkan bahwa penggunaan metode *direct* lebih akurat dibandingkan dengan metode *indirect* hal ini dibuktikan dengan hasil kecepatan metode *direct* yang stabil. Pernyataan ini diperkuat dengan pengujian Turgut dan Kucuk (2006) yang menunjukkan bahwa pengujian dengan metode *direct* mempunyai hasil yang lebih akurat dibandingkan dengan metode *indirect*.

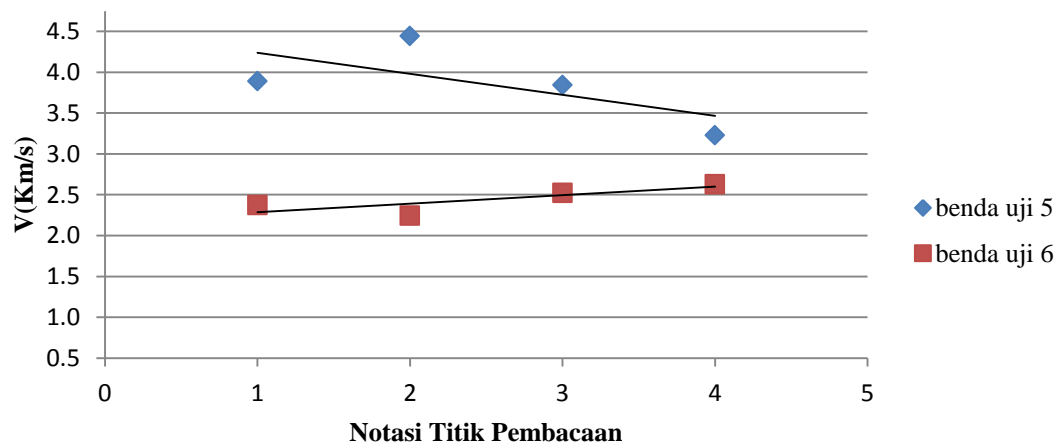
i. Perbandingan *core* 80 serat 1 benda uji 5 dan 6 metode *direct*



Gambar 106. Grafik *direct* serat 1 benda uji 5 dan 6

Berdasarkan Gambar 106 menunjukkan bahwa kecepatan pada *core* 80 serat 1 benda uji 5 dengan metode *direct* memiliki hasil yang terus stabil hal ini dibuktikan dengan garis distribusi yang sejajar, sedangkan benda uji 6 garis distribusi mengalami kenaikan, dan prosentase error antara benda uji 5 dan benda uji 6 sebesar 0,648%

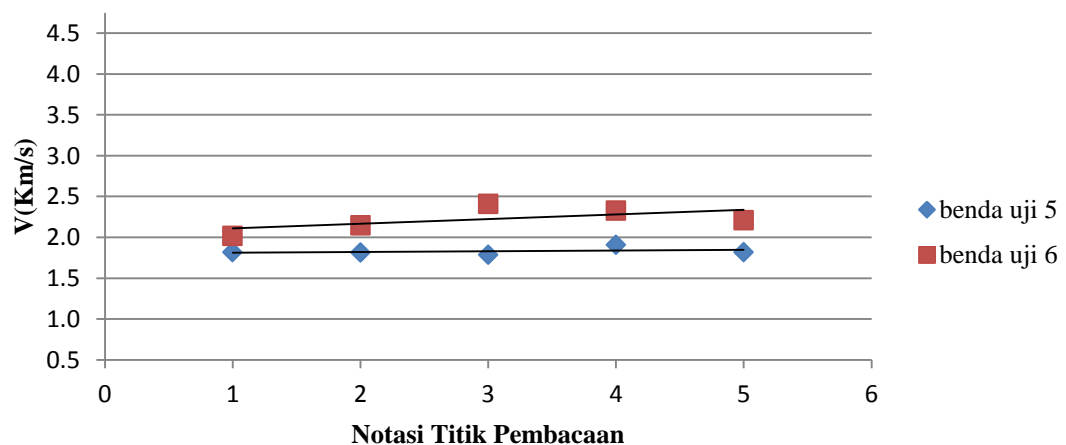
j. Perbandingan *core* 80 serat 1 benda uji 5 dan 6 metode *indirect*



Gambar 107. Grafik *indirect* serat 1 benda uji 5 dan 6

Berdasarkan gambar 107 menunjukkan bahwa kecepatan pada *core* 80 benda uji 5 dengan metode *indirect* mempunyai kecepatan yang tidak stabil, hal ini dibuktikan dengan garis distribusi yang tidak sejajar, sedangkan pada benda uji 6 kecepatan yang didapatkan stabil hal ini dibuktikan dengan garis distribusi yang sejajar. prosentase error antara benda uji 5 dan benda uji 6 sebesar 36,569%. Pada pengujian diatas menunjukkan bahwa hasil kecepatan menggunakan metode *direct* lebih akurat dibandingkan dengan metode *indirect*. Hal ini diperkuat dengan pengujian Turgut dan Kucuk (2005) yang menunjukkan bahwa pengujian dengan metode *direct* lebih baik dibandingkan dengan metode *indirect*

k. Perbandingan *core* 90 serat 1 benda uji 5 dan 6 metode *direct*

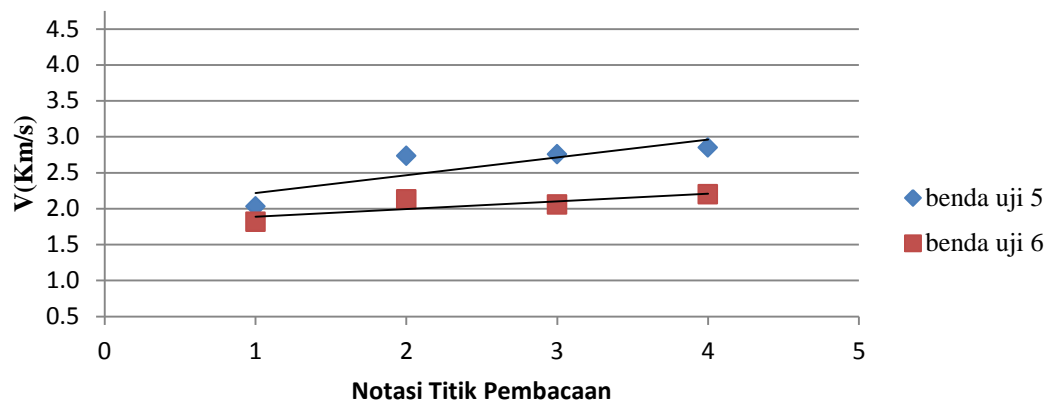


Gambar 108. Grafik *direct* serat 1 benda uji 5 dan 6

Berdasarkan Gambar 108 menunjukkan bahwa kecepatan pada *core* 90 serat 1 benda uji 5 dengan metode *direct* memiliki hasil yang terus stabil hal ini dibuktikan dengan garis distribusi yang sejajar,

sedangkan benda uji 6 garis distribusi mengalami kenaikan akan tetapi angka yang didapatkan stbail, dan prosentase error antara benda uji 5 dan benda uji 6 sebesar 18,393%

1. Perbandingan *core* 90 serat 1 benda uji 5 dan 6 metode *indirect*



Gambar 109. Grafik *indirect* serat1 benda uji 5 dan 6

Berdasarkan gambar 109 menunjukkan bahwa kecepatan pada *core* 90 benda uji 5 dengan metode *indirect* mempunyai kecepatan yang tidak stabil, hal ini dibuktikan dengan garis distribusi yang tidak sejajar, sedangkan pada benda uji 6 kecepatan yang didapatkan stabil hal ini dibuktikan dengan garis distribusi yang sejajar. Prosentase error antara benda uji 5 dan benda uji 6 sebesar 20,957%. Dari prngujian diatas dapat disimpulkan bahwa pengujian dengan metode *direct* mempunyai nilai yang stabil dibandingkan dengan metode *indirect*.

Pada hasil pengujian ini diperkuat dengan jurnal P.Turgut dan O.F. Kucuk “*Comparative Relationship of Direct, Indirect, and Semi-*

*Direct Ultrasonic Pulse Velocity Measurements in Concrete*” (Januari 20, 2006) menyatakan bahwa menggunakan metode *direct* pada beton normal hasilnya akan lebih besar 9% dibandingkan dengan metode *indirect*. Akan tetapi pada penelitian ini hasil menggunakan metode *indirect* lebih tinggi dari pada metode *direct* karena pada penelitian ini menggunakan beton *self compacting mortar* dengan bahan tambah serat *polypropylene* dan *styrofoam*. Selisih pada *core 70* menggunakan serat 0 benda uji 1 dan 2 hasil *indirect* lebih besar 51,852% dibandingkan metode *direct*, pada *core 80* benda uji 1 dan 2 hasil *indirect* lebih besar 12,168% dibandingkan metode *direct*, pada *core 90* benda uji 1 dan 2 hasil *indirect* lebih besar 28,392% dibandingkan metode *direct*, pada *core 70* serat 1 benda uji 5 dan 6 hasil *indirect* lebih besar 29,735% dibandingkan metode *direct*, pada *core 80* serat 1 benda uji 5 dan 6 hasil. Pada penelitian diatas menyatakan bahwa *core 70* baik serat 0 maupun serat 1 mempunyai hasil kecepatan yang stabil dan hal ini didukung oleh pengujian-pengujian sebelumnya yang dilakukan oleh Dicky (2016), Helvian (2015), Khairunnisa (2015) dan Noor (2015) yang menyatakan bahwa *core 70* mempunyai hasil yang sangat baik tidak hanya dikecepatanya saja melainkan pada kuat uji lentur. Dan kelemahan *styrofoam* dengan bahan tambah serat *polypropylene* pada saat pembacaan UPV adalah *styrofoam* dapat memperlambat kecepatan gelombang *ultrasonic* dan struktur *styrofoam* berongga sehingga didapatkan angka yang besar dan kelemahan memakai serat

*polypropylene* mampu membiaskan gelombang *ultrasonic* sehingga mampu mempengaruhi pembacaan. Akan tetapi memakai beton dengan bahan tambah seperti *styrfoam* dan serat *polypropylene* mampu menambah nilai kuat lentur dan nilai kuat tekan. Dibawah ini hasil kecepatan dan error dengan metode *direct* dan *indirect*.

Tabel 50. Hasil kecepatan dan error dengan metode *direct*

<i>Direct UPV</i>			V rerata (km/s)	V rerata 2 benda uji	<i>ERROR</i> (%)
Benda Uji	Serat				
DS 70	1	0	1,62	1,60	3,20
	2		1,57		
	5	1	1,88	2,01	12,15
	6		2,15		
DS 80	1	0	1,93	2,03	10,09
	2		2,13		
	5	1	1,69	1,7	0,648
	6		1,71		
DS 90	1	0	1,82	1,99	15,49
	2		2,16		
	5	1	1,82	2,03	18,39
	6		2,24		

Tabel 51. Hasil kecepatan dan error dengan metode *indirect*

<i>Direct UPV</i>			V rerata (km/s)	V rerata 2 benda uji	<i>ERROR</i> (%)
Benda Uji		Serat			
DS 70	1	0	3,93	3,31	31,14
	2		2,70		
	5	1	2,68	2,87	28,96
	6		3,06		
DS 80	1	0	2,197	2,31	36,50
	2		2,43		
	5	1	3,85	3,14	36,59
	6		2,44		
DS 90	1	0	2,67	2,78	28,39
	2		2,89		
	5	1	2,59	2,31	20,95
	6		2,04		



## BAB V SIMPULAN DAN SARAN

### A. Simpulan

Berdasarkan pada pengujian kecepatan gelombang ultrasonik (UPV) dengan menggunakan metode *direct* dan *indirect* pada dinding *sandwich styrofoam* dan analisis data yang sudah dilakukan, maka penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Besarnya kecepatan perambatan gelombang *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) pada dinding *styrofoam* dengan metode *direct* serat 1 *core* 70mm; 80mm; dan 90mm sebesar 2,018 km/s, 1,703 km/s, 2,034 km/s.
2. Besarnya kecepatan perambatan gelombang *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) pada dinding *styrofoam* dengan metode *indirect* serat 1 sebesar 2,854 km/s, 3,149 km/s, 2,320 km/s.
3. Efektifitas perambatan gelombang dengan metode *direct* lebih efektif dibandingkan dengan metode *indirect* dengan tingkat akurasi ketelitian pada *core* 70mm; 80mm; dan 90mm pada serat 1 secara berurut-turut sebesar 87,85%, 99,36%, dan 81,61%.

## B. Saran

Berdasarkan dengan pengujian kecepatan gelombang ultrasonik (UPV) yang telah dilakukan, berikut adalah saran-saran dari penulis:

1. Perlu di perhatikan agar lebih teliti lagi dalam proses pembuatan *mix design* dan teknis pembuatan benda uji, agar dapat menghasilkan benda uji dengan kualitas yang telah direncanakan.
2. Dalam pembuatan dinding *styrofoam (core)* lebih berhati-hati saat pengadukan. Karena pengadukan dilakukan secara manual, maka cukup sulit untuk mencapai adukan beton yang homogen.
3. Lebih teliti lagi dalam pembacaan travel time pada alat UPV agar hasil pembacaan mendapatkan data yang valid, sehingga tidak banyak data yang *error*.
4. Perlunya penggunaan keseragaman vaselin agar hasil pembacaan *travel time* mempunyai nilai deviasi yang tidak terlalu jauh.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anggraeni, Happy Silvana, Dkk. (2013). *Perbandingan Kekuatan Beton Berdasarkan Hasil Ultrasonic Pulse Velocity Test dengan Uji Tekan*. Jurnal, Program Studi S1 Teknik Bangunan, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Malang.
- Anonim. Gelombang Transversal dan Longitudinal. Diambil tanggal 15 Maret 2015 dari [https://www.Academia.edu/8413248/](https://www.Academia.edu/8413248/Gelombang-Transversal-Dan-Longitudinal) Gelombang Transversal Dan Longitudinal.
- Badan Standar Nasional. (1990). *Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan air agregat halus*. SNI 03-1970-1990. Jakarta: Department Pekerjaan Umum.
- Badan Standar Nasional. (2002). *Spesifikasi Mortar Untuk Pekerjaan Pasangan*. SNI 03-6882-2002. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standar Nasional. (2004). *Semen Portland Komposit*. SNI 15-7064-2004. Jakarta: Departmen Pekerjaan Umum.
- Badan Standar Naional. (2008). *Cara Uji Slump Beton*. SNI-1972-2008. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Bungey, J.H. (1996). *Testing of Concrete in Structure, 4th Edition*. University of Liverpool. England.
- Hasani, Hasatni. Dkk. (2013). *Pengaruh Penambahan Polypropylene Fiber Mesh Terhadap Sifat Mekanis Beton*. Mektek tahun XV No.1.
- Lawson, I, Dkk. (2011). *Non-Destructive Evaluation of Concrete using Ultrasonic Pulse Velocity*. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 3 (6): 499-504, 2011, ISSN: 2040-7467
- Lorenzi. Alexandre. Et.al. (2007). *Ultrasonic Pulse Velocity in Concrete Specimens*. IV Conferensia Panamericana de END Buenos Aires – Ocyubre 2007.
- Lutfi. (2013). Gelombang Transversal. Diambil pada tanggal 19 mei 2015 dari <http://datasoal.com/gelombang-transversal/>
- Ma'arif. Faqih , Dkk. (2014). *Analisis Homogenitas Self Compacting Mortar Menggunakan Serat Polypropylene Berdasarkan Kecepatan Perambatan Gelombang Ultrasonik (UPVM)*. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.

- Ma'arif, Faqih, Dkk. (2014). *Artikel Penelitian Efek Variasi Serat Polypropylene Pada Kecepatan Perambatan Gelombang Ultrasonik Menggunakan Ultrasonic Pulse Velocity (UPVM) Dengan Metode Direct*. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
- Mulyono, Tri. (2005). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Nugraha, Paul. Dan Antoni. (2007). *Teknologi Beton Dari Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. Yogyakarta: Andi Offset
- Samekto, Wuryati. Dan Rahmadiyanto, Candra. (2011). *Teknologi Beton*.
- Santoso, Agus, Dkk. (2011). *Pemanfaatan Limbah Styrofoam (Expanded Polystrene) Untuk Pembuatan Dinding Struktural Beton Ringan Ramah Lingkungan*. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
- Sholihan, Ahmad. Dkk. (2009). Analisis Dispersi Gelombang Raylight struktur geologi bawah permukaan. Makalah Seminar Nasional Pascasarjana IX ITS Surabaya 2009. Jurusan Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh November.
- Sujian. 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, Gajah Mada University.
- Tjkrodimulyo, K. (2004). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: KMTS FT UGM. Yogyakarta: Kanisius.
- Turgut, P. dan Kucuk O.F. (2006). Comparative Relationships of Direct. Indirect. and Semi Direct Ultrasonic Pulse Velocity Measurements in Concrete. ISSN 1061-8309, Russian Journal of Non Destructive Testing, 2006, Vol.42, No. 11, pp. 745-751.
- Wibowo, Ari, Dkk. (2014). Crack Depth Measurement Of Reinforced Concrete Beams Using UPV. Jurnal Rekayasa Sipil / Volume 8, No. 1 – 2014 ISSN 1978 – 5658.