

**PENGARUH VARIASI AGREGAT KASAR PENYUSUN  
BETON TERHADAP KERAPATAN BETON DENGAN  
MENGUNAKAN *TRANSMISSION TIME* PADA ALAT UPV  
(*ULTRASONIC PULSE VELOCITY*)**

**SKRIPSI  
TEKNIK SIPIL**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
Memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**FATMA DORA INDRIANI  
NIM. 155060101111046**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2018**





## LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI AGREGAT KASAR PENYUSUN  
BETON TERHADAP KERAPATAN BETON DENGAN  
MENGUNAKAN *TRANSMISSION TIME* PADA ALAT UPV  
(*ULTRASONIC PULSE VELOCITY*)**

### SKRIPSI

TEKNIK SIPIL KONSENTRASI STRUKTUR

Diajukan untuk memenuhi sebagian  
persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

**FATMA DORA INDRIANI**

**155060101111046**

Skripsi ini telah dinyatakan lulus dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 18 Desember 2018

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Christin Remayanti N., ST, MT**  
NIP. 198403252015042001

**Dr.Eng. Ming Narto W.,ST,MT,M.Sc.**  
NIK. 2011028407051001

Mengetahui  
**Ketua Program Studi S1**

**Dr. Eng Indradi W, ST. M.Eng (Prac)**  
NIP. 19810220 200604 1 002



## HALAMAN IDENTITAS PENGUJI SKRIPSI

Judul Skripsi :

Pengaruh Variasi Agregat Kasar Penyusun Beton Terhadap Kerapatan Beton dengan Menggunakan *Transmission Time* pada Alat UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*)

Nama Mahasiswa : Fatma Dora Indriani

NIM : 155060101111046

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

Tim Dosen Penguji :

Dosen Penguji 1 : Dr. Eng. Indradi W., ST., M.Eng (Prac)

Dosen Penguji 2 : Christin Remayanti N., ST., MT.

Dosen Penguji 3 : Dr.Eng. Ming Narto W.,ST,MT,M.Sc.

Tanggal Ujian : 18 Desember 2018

SK Penguji : 2824/UN10.F07/SK/2017

## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah hasil pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

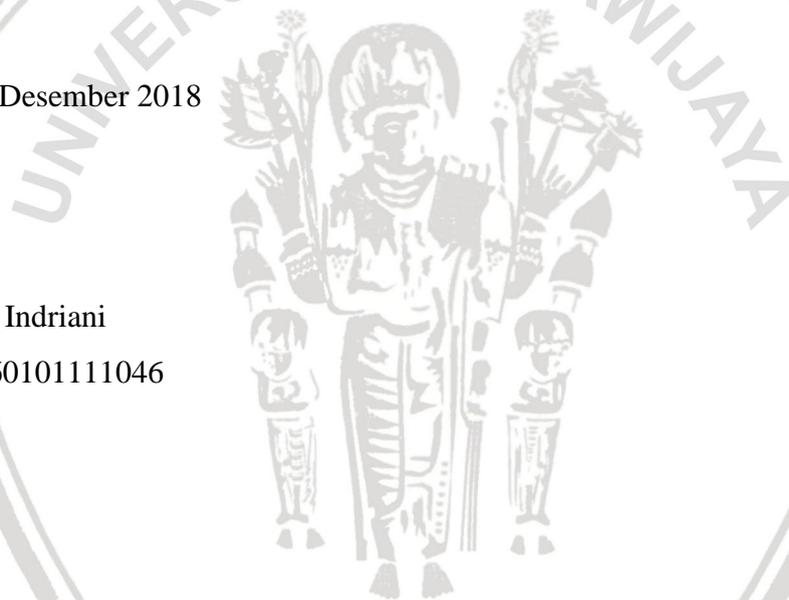
Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 18 Desember 2018

Mahasiswa,

Fatma Dora Indriani

NIM. 155060101111046



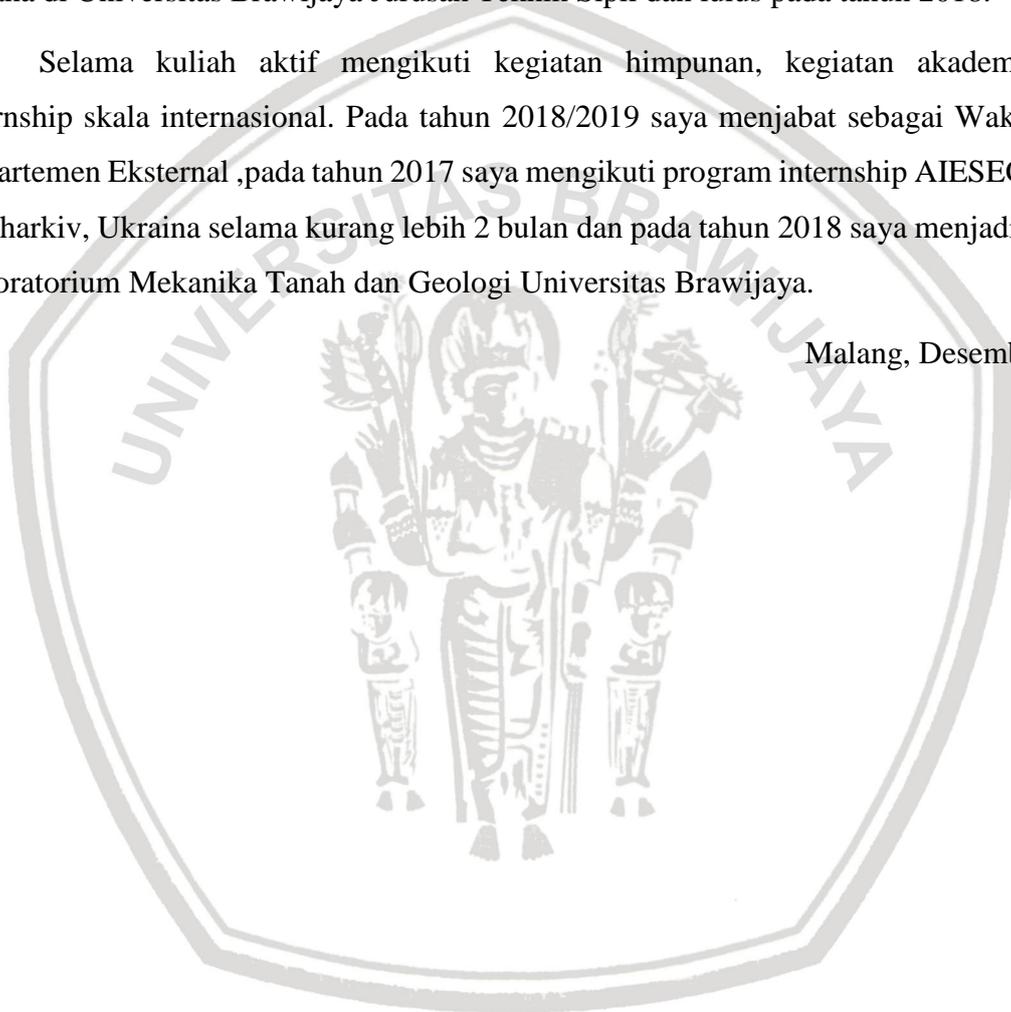
## RIWAYAT HIDUP

Fatma Dora Indriani, lahir di Surabaya, 11 Juli 1997, anak pertama dari Bapak Dachlan Andik Suwarno dan Ibu Arning. Menjalani pendidikan sekolah dasar di SD Menganti Permai Gresik, lalu melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP Muhammadiyah 5 Surabaya, dan melanjutkan pendidikan menengah atas di SMA Negeri 2 Surabaya dan lulus pada tahun 2015. Kemudian dilanjutkan dengan mengambil pendidikan sarjana di Universitas Brawijaya Jurusan Teknik Sipil dan lulus pada tahun 2018.

Selama kuliah aktif mengikuti kegiatan himpunan, kegiatan akademis serta internship skala internasional. Pada tahun 2018/2019 saya menjabat sebagai Wakil Ketua Departemen Eksternal, pada tahun 2017 saya mengikuti program internship AIESEC Global di Kharkiv, Ukraina selama kurang lebih 2 bulan dan pada tahun 2018 saya menjadi Asisten Laboratorium Mekanika Tanah dan Geologi Universitas Brawijaya.

Malang, Desember 2018

Penulis





*Kupersembahkan untuk:*

*Mama, Papa, Ifal dan keluarga terkasih....*

*Untuk semua orang yang saya sayangi....*

*Terimakasih atas bantuan, doa dan motivasi yang telah diberikan hingga saya  
dapat mencapai titik ini....*

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan segala anugerah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan tepat waktu, yang berjudul **“PENGARUH VARIASI AGREGAT KASAR PENYUSUN BETON TERHADAP KERAPATAN BETON DENGAN MENGGUNAKAN TRANSMISSION TIME PADA ALAT UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*)”** dengan baik dan lancar.

Tujuan dari penyusunan skripsi ini guna memenuhi salah satu syarat untuk bisa menempuh ujian untuk mendapatkan gelar sarjana Teknik untuk program studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Didalam pengerjaan skripsi ini telah melibatkan banyak pihak yang telah membantu dalam banyak hal. Oleh sebab itu, disini penulis menyampaikan rasa terima kasih sedalam – dalamnya kepada:

1. Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo, ST, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
2. Dr. Eng. Eva Arifi, ST, MT selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
3. Dr. Eng Indradi W, ST, M.Eng (Prac) selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
4. Christin Remayanti N., ST, MT selaku Dosen Pembimbing 1 Skripsi.
5. Dr. Eng. Ming Narto W. ST, MT, M.Sc selaku Dosen Pembimbing 2 Skripsi.
6. Dr. Ir. Wisnumurti, MT selaku KKJF Struktur.
7. Segenap dosen dan Karyawan di Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
8. Keluarga saya (Mama, Papa dan Ifal) yang selalu memberi motivasi, doa, semangat serta dukungan.
9. Muhammad Ekky Munadi sebagai orang yang 24/7 menerima segala keluhan dan selalu memotivasi saya dalam menjalankan kehidupan #ea.

10. Erika Ainun Zakinah Ikhsan sebagai sahabat seperjuangan dari awal memasuki masa perkuliahan yang menemani saya dalam berbagai proses kehidupan saya di Malang
11. Enggie Ayu Herma Putri sebagai sahabat seperjuangan dari awal memasuki masa perkuliahan hingga akhir sekaligus tim skripsi saya.
12. Elliana Juniarty, Hanita Nurilina Dini, Kharisma Tria sebagai sahabat seperjuangan dari awal memasuki masa perkuliahan hingga akhir perkuliahan.
13. Tim Sang Sinagara, Erika dan Iqbal Dinatra. Tim terbaik saya.
14. Sahabat – Sahabat seperjuangan tercinta Sipil 2015 yang tiada henti memberi dukungan kepada penulis yaitu Kharisma, Nurmadinah, Iqbal Rizky, Akbar Pribadi, Alfian, Fahmi, Ilham Novriadi, Rizal Hidayat, Desy, Noverando, Bagus, Mahmud, Yogi, Arimurti, Vanny, Risma, Alif, Iqbaal, Faiq Putra dan lain – lain.
15. Untuk Asisten Lab. Mekanika Tanah dan Geologi (Oka, Tika, Dwi, Zul, Habibatul, Raphael, Kirei, Yogatama, Adit, Albany, Yufi dan lain – lain).
16. Departemen Eksternal Periode 2018/2019 (Alva Avriza, Dian, Mislul, Shifa, Audi, Avis, Madha, Seto, Dhea, Edward, Hasbi, Wan, Ardy, Sobret, Yusril, Enzu dan lain – lain).
17. Lembaga periode 2018/2019 dan Koordinator Fakultas 2015 yang membantu saya selama ini dalam berproses.
18. Sahabat – Sahabat saya di luar sipil Shafira Alida, Dhia, Ferry, Ilma, Elva, Sasa, Lina, Fm, Dita, Wanda, Ari, Thomi, Vio, Hilwa, Nia, Osa, Rahma, Lutfi, Alya, dan lain – lain yang selalu mendukung saya.
19. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Sipil Universitas Brawijaya.
20. Dan semua pihak yang telah membantu kelancaran penulisan skripsi ini, yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu.

Kami menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, untuk kami mengharapkan segala kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, kami berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca.

Malang, Desember 2018

Fatma Dora Indriani

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>ix</b>
<b>RINGKASAN.....</b>	<b>x</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	2
1.3 Rumusan Masalah .....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Tujuan.....	3
1.6 Manfaat.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Agregat Kasar.....	5
2.1.1 Agregat Kasar Daur Ulang (RCA) .....	6
2.1.2 Beton Porous .....	6
2.1.3 Batu Apung.....	8
2.1.4 Beton Serat .....	10
2.1.4.1 Serat Baja .....	10
2.1.4.2 Serat Plastik.....	11
2.2 Pengujian Ultrasonik Pulse Velocity (UPV) .....	12
2.3 Jenis – Jenis Gelombang Mekanik.....	13
2.4 Perambatan Gelombang .....	16

2.5	Amplitudo Gelombang .....	17
2.6	Metode Pengujian .....	18
2.7	Kuat Tekan.....	23
2.8	Kerapatan .....	24
2.9	Hubungan Kuat Tekan dan Kerapatan Beton .....	24
2.10	Prinsip Analisis Bentuk Gelombang.....	25

**BAB III METODOLOGI PENELITIAN..... 27**

3.1	Tempat dan Waktu Penelitian .....	27
3.2	Peralatan dan Bahan Penelitian .....	27
3.2.1	Beton Porous .....	27
3.2.1.1	Alat Penelitian .....	27
3.2.1.2	Bahan Penelitian.....	28
3.2.2	Beton Agregat Kasar Daur Ulang (RCA).....	28
3.2.2.1	Alat Penelitian .....	28
3.2.2.2	Bahan Penelitian.....	29
3.2.3	Beton Pumice Serat Kaleng.....	29
3.2.3.1	Alat Penelitian .....	29
3.2.3.2	Bahan Penelitian.....	30
3.2.4.	Beton Fiber Plastik .....	30
3.2.4.1	Alat Penelitian .....	30
3.2.4.2	Bahan Penelitian.....	31
3.3	<i>UPV Test</i> .....	31
3.4	Tahapan Penelitian.....	32
3.5	Rancangan Penelitian.....	33
3.6	Variabel Penelitian .....	33
3.7	Prosedur Penelitian.....	34
3.7.1	Pengujian Bahan Dasar .....	34

3.7.2	Pembuatan Benda Uji .....	35
3.7.3	Perawatan Benda Uji .....	35
3.7.4	Pengujian UPV .....	35
3.8	Metode Analisis.....	37
3.8.1	Pengumpulan Data.....	37
3.8.2	Pengolahan Data .....	37
3.8.3	Hipotesis .....	38
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>39</b>
4.1	Pembuatan Benda Uji.....	39
4.1.1	Beton Variasi Porous.....	39
4.1.2	Beton Variasi Agregat Kasar Daur Ulang (RCA).....	40
4.1.3	Beton Variasi Agregat Kasar Pumice.....	41
4.1.4	Beton Variasi Fiber .....	42
4.2	Hasil Pengujian Kuat Tekan Menggunakan Uji Tekan.....	43
4.3	Hasil Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV).....	50
4.3.1	Pengambilan Sample Beton Acuan dengan Pengukuran dengan Moda TT ( <i>Transmission Time</i> ).....	52
4.3.2	Pengukuran dengan Moda TT ( <i>Transmission Time</i> ) Beton Pembanding .....	53
4.4	Hubungan Antara Kuat Tekan Beton dengan Parameter Gelombang.....	58
4.5	Hubungan Antara <i>Transmission Time</i> dengan <i>Amplitudo</i> .....	68
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>79</b>
5.1	KESIMPULAN .....	79
5.2	SARAN .....	80
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>81</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>83</b>

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Syarat Gradasi Agregat Kasar (Batu Apung).....	9
Tabel 2.2	Sifat Fisik Batu Apung.....	9
Tabel 2.3	Spesifikasi Serat.....	10
Tabel 2.4	Jenis – Jenis Gelombang Mekanik Longitudinal Berdasarkan Frekuensi .	13
Tabel 2.5	Kualifikasi Kualitas Beton Berdasarkan Cepat Rambat Gelombang .....	23
Tabel 3.1	Variasi Penelitian Beton .....	33
Tabel 3.2	Form Parameter – Parameter Gelombang.....	37
Tabel 4.1	Kebutuhan Bahan untuk Campuran Bahan Benda Uji Beton Variasi Porous .....	39
Tabel 4.2	Variasi Campuran Benda Uji.....	40
Tabel 4.3	Kebutuhan Bahan untuk Campuran Bahan Benda Uji Beton Variasi Agregat Kasar Daur Ulang .....	40
Tabel 4.4	Variasi Campuran Benda Uji Beton Variasi Agregat Kasar Daur Ulang ....	41
Tabel 4.5	Kebutuhan Bahan untuk Campuran Bahan Benda Uji Beton Variasi Agregat Kasar Pumice .....	41
Tabel 4.6	Variasi Campuran Benda Uji Beton Variasi Agregat Kasar Pumice.....	42
Tabel 4.7	Kebutuhan Bahan untuk Campuran Bahan Benda Uji Beton Variasi Fiber	43
Tabel 4.8	Variasi Campuran Benda Uji Beton Variasi Fiber .....	43
Tabel 4.9	Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder Menggunakan Uji Tekan.....	44
Tabel 4.10	Rekapitulasi Data Parameter Waveform TT Beton Acuan.....	53
Tabel 4.11	Rekapitulasi Data Parameter <i>Waveform TT</i> Beton Pemandang .....	53
Tabel 4.12	Rekapitulasi Kuat Tekan serta Parameter $t_1$ dan $A_1$ untuk waveform TT Beton Acuan.....	58
Tabel 4.13	Rekapitulasi Kuat Tekan serta Parameter $t_1$ dan $A_1$ untuk waveform TT Beton Pemandang .....	59
Tabel 4.14	Contoh Cara Perhitungan Presentase Sebaran Data disetiap Kuadran pada Nilai Amplitudo dengan Metode TT.....	65

## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Jenis Agregat Berdasarkan Ukuran Butir .....	5
Gambar 2.2	Contoh Beton Porous Sebagai Plat Beton.....	8
Gambar 2.3	Batu Apung .....	8
Gambar 2.4	Berbagai Tipe Bentuk Serat Baja.....	11
Gambar 2.5	Serat Plastik .....	12
Gambar 2.6	Pergerakan partikel pada gelombang <i>P-waves</i> (kiri) dan <i>S-waves</i> (kanan) .	14
Gambar 2.7	Pergerakan Partikel pada gelombang permukaan: <i>Love-waves</i> (kiri) dan <i>Rayleigh-waves</i> (kanan).....	15
Gambar 2.8	Jenis Gelombang Pada Alat Pembaca Gelombang .....	16
Gambar 2.9	Amplitudo pada Gelombang .....	18
Gambar 2.10	Diagram Skematik dari Instrument UPV.....	19
Gambar 2.11	Konfigurasi pengujian UPV. (a) <i>Direct method</i> , (b) <i>semi-direct method</i> dan (c) <i>indirect method</i> .....	20
Gambar 2.12	Contoh Pengujian UPV Dengan Metode <i>Direct</i> .....	20
Gambar 2.13	Kepadatan Material Beton .....	22
Gambar 2.14	Perubahan Cepat Rambat Pada Beton Plain Dan Beton Dengan Admixture Terhadap Umur Beton.....	23
Gambar 2.15	Bentuk Gelombang dari Beton Acuan Telah Diketahui Mutunya.....	25
Gambar 2.16	Perbandingan Parameter Beton yang Diuji dengan Beton Acuan .....	26
Gambar 3.1	Diagram Alir Tahapan Penelitian .....	32
Gambar 3.2	Skema titik pengujian UPV pada benda uji silinder .....	36
Gambar 3.3	Proses kalibrasi awal alat uji UPV.....	36
Gambar 3.4	Tampilan data hasil pengujian UPV menggunakan aplikasi PL-Link.....	37
Gambar 4.1	Kuat Tekan Sampel Beton Silinder dengan <i>Uji Tekan</i> .....	49
Gambar 4.2	Contoh Pengambilan Parameter $t_0$ dan $A_0$ Beton Acuan.....	51
Gambar 4.3	Contoh Pengambilan Parameter $t_1$ dan $A_1$ Beton Pembanding .....	52
Gambar 4.4	Contoh Pengambilan Parameter $t_2$ dan $A_2$ Beton Pembanding .....	52
Gambar 4.5	Contoh Pengambilan Parameter $t_{maks}$ dan $A_{maks}$ Beton Pembanding .....	52

Gambar 4.6	Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Amplitudo.....	64
Gambar 4.7	Hubungan Kuat Tekan Beton dengan <i>Transmission Time</i> .....	64
Gambar 4.8	Prosentase Sebaran Data disetiap Kuadran.....	65
Gambar 4.9	Hubungan Amplitudo dan <i>Transmission Time</i> pada Beton Recycle .....	68
Gambar 4.10	Hubungan Amplitudo dan <i>Transmission Time</i> pada Beton Porous Normal	69
Gambar 4.11	Hubungan Amplitudo dan <i>Transmission Time</i> pada Beton Porous Porous.	69
Gambar 4.12	Hubungan Amplitudo dan <i>Transmission Time</i> pada Beton Porous Recycle	70
Gambar 4.13	Hubungan Amplitudo dan <i>Transmission Time</i> pada Beton Porous 2.....	70
Gambar 4.14	Hubungan Amplitudo dan <i>Transmission Time</i> pada Beton Porous Keseluruhan .....	71
Gambar 4.15	Hubungan Amplitudo dan <i>Transmission Time</i> pada Beton Fiber Normal ..	71
Gambar 4.16	Hubungan Amplitudo dan <i>Transmission Time</i> pada Beton Fiber Kait.....	72
Gambar 4.17	Hubungan Amplitudo dan <i>Transmission Time</i> pada Beton Fiber Keseluruhan .....	72
Gambar 4.18	Hubungan Amplitudo dan <i>Transmission Time</i> pada Beton Fiber Pumice Fiber Normal.....	73
Gambar 4.19	Hubungan Amplitudo dan <i>Transmission Time</i> pada Beton Fiber Pumice Normal .....	73
Gambar 4.20	Hubungan Amplitudo dan <i>Transmission Time</i> pada Beton Pumice Pilin A	74
Gambar 4.21	Hubungan Amplitudo dan <i>Transmission Time</i> pada Beton Pumice Pilin B	74
Gambar 4.22	Hubungan Amplitudo dan <i>Transmission Time</i> pada Beton Pumice Keseluruhan .....	75
Gambar 4.23	Hubungan Amplitudo dan <i>Transmission Time</i> pada pada Seluruh Benda Uji .....	75
Gambar 4.24	Prosentase Sebaran Data disetiap Kuadran pada Grafik Hubungan antara Amplitudo dan <i>Transmission Time</i> dengan Metode TT .....	76

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Analisis Gradasi Agregat .....	83
Lampiran 2	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat.....	85



## RINGKASAN

Fatma Dora Indriani, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Desember 2018, *Pengaruh Variasi Agregat Kasar Penyusun Beton Terhadap Kerapatan Beton dengan Menggunakan Transmission Time pada Alat UPV (Ultrasonic Pulse Velocity)*, Dosen Pembimbing: Christin Remayanti N. dan Ming Narto W.

Beton merupakan material konstruksi yang terdiri dari campuran agregat, semen dan air. Beton merupakan komponen utama struktural yang mampu mendistribusikan dan menahan seluruh beban dalam suatu bangunan serta memiliki nilai kuat tekan yang tinggi dibanding material lainnya. Untuk itu perlu dilakukan pengujian terhadap beton tersebut, salah satunya dilakukan pengujian dengan *non destructive test* atau pengujian tanpa merusak benda uji yaitu dengan alat UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*). Pengujian UPV didapatkan waktu transmisi dan amplitudo gelombang ultrasonik. Untuk itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan amplitudo dan transmission time terhadap kuat tekan beton dengan variasi agregat kasar dan kualitas beton tersebut berdasarkan karakteristik gelombang ultrasonik.

Pada penelitian ini, pengujian menggunakan alat PUNDIT PL-200 untuk dilakukan proses analisis kerapatan beton berdasarkan parameter yang dihasilkan dari alat UPV tersebut. Parameter yang diambil pada pengujian ini yaitu *transmission time* dan amplitudo gelombang. *Transmission Time* adalah waktu yang dibutuhkan gelombang untuk merambat dari transducer pengirim ke transducer penerima. Parameter amplitudo yang di ambil adalah besarnya amplitudo pertama yang terdeteksi dari bentuk gelombangnya. Penelitian menggunakan 36 benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Benda uji dibedakan menjadi 4 variasi komposisi agregat kasar campuran beton (*mix design*) yaitu Variasi Porous dengan mutu beton rencana 14 Mpa, Variasi RCA (*Recycled Coarse Aggregate*) dengan mutu beton rencana 20 Mpa, Variasi Pumice dengan mutu beton rencana 17 Mpa dan Variasi Fiber dengan mutu beton rencana 17 Mpa.

Hasil Pengujian UPV pada penelitian ini menunjukkan bahwa hubungan kuat tekan dengan amplitudo ( $A_1$ ) atau *transmission time* ( $t_0$ ) didapatkan kesimpulan yaitu nilai homogenitas yang rendah menyebabkan kehilangan energi lebih tinggi sehingga nilai amplitudo menjadi lebih rendah dan nilai *transmission time* menjadi lebih tinggi. Pada nilai kuat tekan yang berpengaruh pada homogenitas yaitu bukan berarti semakin tinggi material yang seragam (homogenitas) maka menyebabkan nilai kuat tekan tinggi. Nilai perbandingan antara amplitudo dan kuat tekan serta *transmission time* dan kuat tekan dominan pada kuadran III ( $t_1$  &  $A_1 < t_0$  dan  $A_0$ ). Untuk Pola sebaran data dengan pembanding sampel beton acuan yang dianggap memiliki kerapatan yang seragam, didapatkan pola sebaran data dengan kesimpulan, beton variasi Fiber termasuk Case 6 (Kuadran IV); beton variasi *Porous* termasuk Case 3 (Kuadran III); beton variasi *Pumice* termasuk Case 6 (Kuadran IV); beton variasi *Recycle* termasuk Case 1 (Kuadran I). Hal ini dikarenakan perambatan gelombang akan memiliki waktu transmisi yang lebih cepat pada beton yang memiliki kerapatan tinggi yang kemungkinan besar kuat tekannya juga tinggi. Sedangkan untuk nilai amplitudo masih belum menemukan hasil yang konsisten karena ketidakseragaman komposisi dan susunan agregat yang menimbulkan pembacaan amplitudo yang berbeda-beda meskipun dalam satu sampel yang sama.

Kata Kunci: Amplitudo, Beton, Beton Fiber, Beton Porous, Beton Pumice, Kuat Tekan, *Recycled Coarse Aggregate*, *Ultrasonic Pulse Velocity*, Waktu transmisi

## SUMMARY

**Fatma Dora Indriani**, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, December 2018, *The Effect of Coarse Aggregate Variation of Concrete Density by Using Transmission Time on Ultrasonic Pulse Velocity*, Academic Supervisor: Christin Remayanti N. and Ming Narto W.

Concrete is a construction material that consists of a mixture of aggregates, cement and water. Concrete is a major structural component that is able to distribute and hold all loads in a building and has a high compressive strength compared to other materials. For this reason, it is necessary to acknowledge the testing of the concrete, one of which is to be tested with a non-destructive test or test without damaging the test object, called UPV (Ultrasonic Pulse Velocity). UPV testing obtained transmission time and amplitude of ultrasonic waves. The purpose of this study is to determine the relationship of amplitude and transmission time to the compressive strength of concrete with coarse aggregate variation and the quality of the concrete based on the characteristics of ultrasonic waves.

In this study, testing using the PUNDIT PL-200 was used to analyze the concrete density based on the parameters produced by the UPV. The parameters taken in this test are transmission time and wave amplitude. Transmission Time is the time it takes a wave to propagate from the transmitter to the receiver. The amplitude parameter taken is the magnitude of the first amplitude detected from the waveform. The study used 36 cylindrical specimens with a diameter of 15 cm and a height of 30 cm. The specimens are divided into 4 variations in the composition of coarse aggregate mix (mix design), namely Porous variation with concrete quality plan 14 MPa, Variation of RCA (Recycled Coarse Aggregate) with concrete quality plan 20 Mpa, Pumice variation with concrete quality plan 17 Mpa and Fiber Variation with the concrete quality of the 17 MPa plan.

The UPV test results in this study show that the relationship of compressive strength with amplitude (A1) or transmission time (t0) is concluded that the low homogeneity value causes higher energy loss so the amplitude value becomes lower and the value transmission time becomes higher. In the value of compressive strength that affects homogeneity, it does not mean the higher the uniform material (homogeneity), the higher the compressive strength value. The comparison value between amplitude and compressive strength and transmission time and compressive strength are dominant in quadrant III ( $t1 \text{ \& } A1 < t0 \text{ \& } A0$ ). For the pattern of distribution of data with a comparison of the reference concrete sample which is considered to have a uniform density, obtained a pattern of distribution of data with conclusions, concrete Fiber variations include Case 6 (Quadrant IV); concrete variations Porous include Case 3 (Quadrant III); concrete variations Pumice include Case 6 (Quadrant IV); Concrete variations of Recycle include Case 1 (Quadrant I). This is because wave propagation will have a faster transmission time in high density concrete which is likely to have a high compressive strength. Whereas for the amplitude value it still has not found a consistent result due to the incompatibility of the composition and aggregate arrangement which gives rise to different amplitude readings even in the same sample.

**Keywords:** Amplitude, Concrete, Concrete Fiber, Porous Concrete, Concrete Pumice, Compressive Strength, Recycled Coarse Aggregate, Ultrasonic Pulse Velocity, Transmission Time

## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Dewasa ini pembangunan dan kemajuan teknologi di Indonesia semakin meningkat, terutama di bidang konstruksi, material pada infrastruktur. Beton menjadi komponen utama struktural yang mampu mendistribusikan dan menahan seluruh beban – beban dalam suatu bangunan. Beton termasuk salah satu material yang kuat tekannya sangat tinggi dibanding material lainnya seperti baja. Dalam proses pelaksanaannya, perlu dilakukan pengujian untuk mengontrol kualitas dari beton tersebut.

Kekuatan tekan beton dapat diuji dalam dua cara, destruktif dan non destruktif. Cara destruktif adalah pengujian yang sifatnya merusak benda uji sedangkan pengujian cara non destruktif dilakukan tanpa merusak benda uji, pelaksanaannya dapat dilakukan di tempat kerja (*insitu*). Tes UPV (Ultrasonic Pulse Velocity) adalah cara untuk memperkirakan kekerasan beton, yang didasarkan pada hubungan kecepatan gelombang UPV melalui media beton, dengan kekuatan tekan beton itu. (*International Atomic Energy Agency, 2002*). Alat tersebut mampu mengetahui waktu transmisi serta cepat rambat gelombang ultrasonik yang melalui beton dengan memperlihatkan bentuk gelombang (*waveform*) secara digital. Dari data waktu cepat rambat, dan amplitudo gelombang tersebut dapat ditunjukkan bagaimana kerapatan, homogenitas, serta ada tidaknya rongga di dalam beton.

Pada penelitian sebelumnya, didapatkan hubungan antara kuat tekan beton dan Transmission Time yang didapatkan dari alat UPV (Yulian, 2017). Sedangkan pada penelitian ini, kami menggunakan variasi penyusun agregat kasar yang beragam, dari variasi penyusun agregat kasar tersebut kami membuktikan hubungan antara kuat tekan beton dan *Transmission Time* pada jenis variasi agregat kasar tersebut. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui pengaruh agregat terhadap kerapatan dan kualitas beton. Kerapatan sangat berpengaruh pada porositas beton itu sendiri.

Porositas adalah besarnya presentase ruang – ruang kosong atau besarnya kadar pori yang terdapat pada beton dan merupakan faktor utama yang mempengaruhi kekuatan beton (Nugroho, 2010). Gradasi atau ukuran butiran yang dimiliki oleh agregat juga berpengaruh terhadap nilai porositas beton karena dengan ukuran yang seragam maka porositas akan semakin besar sedangkan dengan ukuran yang tidak seragam porositas beton justru

berkurang. Hal ini dikarenakan butiran yang kecil dapat menempati ruangan/pori diantara butiran yang lebih besar, sehingga porositas beton menjadi kecil .

Penggunaan *mix design* hasil penelitian dengan karakteristik bahan dan iklim yang berbeda, akan memengaruhi hasil perkiraan kekuatan beton dari tes UPV, sebab sifat beton tergantung dari sifat-sifat dasar bahan dan perbandingan campurannya (Lorenzi dkk, 2011).

## 1.2. Identifikasi Masalah

Salah satu pengujian kualitas beton yang tak merusak (*non-destructive test*) adalah *UPV Test*. Dari pengujian tersebut didapatkan data berupa *waveform* yang berasal dari pancaran gelombang yang merambat melalui beton. Dari *waveform* tersebut perlu diinterpretasikan untuk menentukan kualitas dari beton tersebut. Sehingga penelitian ini dilakukan untuk mencari hubungan antara kuat tekan beton dan *Transmission Time* untuk mendapatkan karakteristik gelombang dari alat uji UPV dan agar mengetahui kualitas beton secara praktis terutama ketika di lapangan. Komposisi dan susunan agregat sangat berpengaruh terhadap *waveform* yang didapatkan, yang nantinya akan berpengaruh pada kerapatan dan kualitas pada beton tersebut (Yulian,2017).

## 1.3. Rumusan Masalah

1. Bagaimana hubungan Amplitude dan *Transmission Time* terhadap kuat tekan beton dengan variasi agregat kasar pada alat UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*) ?
2. Bagaimana kualitas beton dengan variasi agregat kasar berdasarkan karakteristik gelombang ultrasonic pada alat UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*)?

## 1.4. Batasan Masalah

1. Penelitian ini dikhususkan untuk beton tak bertulang, dengan menggunakan benda uji silinder.
2. Pada penelitian ini parameter kerapatan yang dianalisis adalah berdasarkan pengujian UPV.
3. Pengujian yang dilakukan menggunakan berbagai macam variasi agregat, yaitu variasi porous, variasi agregat kasar daur ulang (RCA), variasi agregat kasar batu apung (Pumice) dan variasi agregat kasar fiber plastik.
4. Penelitian ditujukan untuk mendapatkan *waveform*.
5. Mutu beton yang digunakan variasi porous sebesar 14 MPa, variasi agregat kasar daur ulang (RCA) sebesar 20 Mpa, variasi agregat kasar batu apung (*pumice*) sebesar 17 MPa dan variasi agregat kasar *fiber plastic* sebesar 17 Mpa.

### 1.5. Tujuan

1. Untuk mengetahui hubungan *Transmission Time* dan Amplitudo terhadap kuat tekan beton dengan variasi agregat kasar pada alat UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*).
2. Untuk mengetahui kualitas beton dengan variasi agregat kasar berdasarkan karakteristik gelombang ultrasonik pada alat UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*)?

### 1.6. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Bagi penulis:
  - Dapat mengetahui model-model *waveform* dan sesuai dengan kerapatan dan mutu dari beton.
  - Dapat mengetahui pengaruh *Transmission Time* dan amplitudo terhadap beton dengan campuran agregat kasar yang berbeda.
2. Bagi pembaca:
  - Dapat menjadi acuan untuk menentukan kualitas beton berdasarkan *Transmission Time* dan Amplitudo Gelombang.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## BAB II

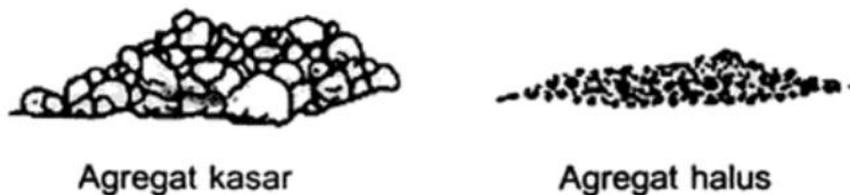
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Agregat Kasar

Agregat merupakan komponen beton yang paling penting dalam menentukan besarnya beton itu sendiri. Agregat untuk beton berupa butiran mineral keras yang bentuknya hampir mendekati bulat. *Coarse Agregat* atau agregat kasar juga dapat disebut kerikil. Kerikil merupakan hasil dari desintegrasi alami dari batuan atau juga dapat berupa batu pecah hasil dari industri pemecah batu. Ukuran butiran dari agregat kasar berkisar antara 2,76 mm – 150 mm.

Agregat kasar memiliki ketentuan antara lain:

- Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil dari batu pecah,
- Agregat kasar tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak beton,
- Agregat kasar harus terdiri dari butiran yang tidak berpori dan keras,
- Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% dalam berat keringnya, dan
- Agregat kasar yang butirannya pipih hanya dapat dipakai jika jumlah butir – butir pipihnya tidak melampaui 20% dari berat agregat seluruhnya.



Gambar 2.1 Jenis Agregat Berdasarkan Ukuran Butir

Sumber: Silvia Sukirman, 2003

### 2.1.1 Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)

Beton agregat kasar daur ulang atau biasa disebut *Recycled Concrete Aggregates* (RCA) adalah agregat yang terbentuk dari proses pengukuran, pemecahan, pemilihan, pencucian dari sebuah beton keras yang terlebih dulu sudah ada. Limbah beton yang tidak digunakan kemudian dihancurkan dengan mesin penghancur lalu diayak sehingga nantinya akan didapatkan butiran agregat kasar sesuai yang kita harapkan. Dengan demikian, tentunya beton daur ulang dapat menjawab permasalahan limbah industri konstruksi dan sumber daya alam yang ada saat ini.

Pada dasarnya, beton normal banyak digunakan untuk berbagai macam pekerjaan konstruksi, seperti jalan, gedung, jembatan sehingga penggunaan RCA tentunya sangat bermanfaat. Tetapi, penggunaan RCA tidak diijinkan untuk pekerjaan beton struktural, tetapi dapat diaplikasikan pada pekerjaan beton non struktural, seperti perkerasan jalan, batas jalan dan lain – lain.

Perbandingan sifat antara beton dengan menggunakan RCA dan beton yang menggunakan NCA adalah:

- Kuat tarik lebih rendah dan tidak lebih dari 10%,
- Kuat tekan lebih rendah dan tidak lebih dari 10%,
- Susut lebih besar 20%-55%, sedangkan creep lebih kecil hingga 10% (EL-Reedy,2009), dan
- Modulus elastisitas menurun sebesar 10% - 40% tergantung dari sumber agregat kasarnya.

### 2.1.2 Beton Porous

Beton porous bisa disebut juga sebagai *previous concrete* yaitu beton yang dapat tembus dan menggambarkan beton dengan nilai slump mendekati nol (Ginting dkk, 2017). Campuran pada *Previous concrete* adalah air, semen, agregat kasar dan sedikit atau tanpa agregat halus yang nantinya akan membentuk suatu material tembus air (Neville dan Brooks, 2010). Beton porous merupakan jenis beton khusus dengan porositas tinggi yang diaplikasikan sebagai plat beton yang memungkinkan air hujan dan air dari sumber – sumber lain untuk dapat melewatinya, sehingga mengurangi limpasan permukaan dan meningkatkan muka air tanah (NRMCA, 2004).

Pori – pori yang dihasilkan dari beton porous berkisar antara 0,08 – 0,32 inci (2 – 8 mm) dengan kandungan pori antara 15 % hingga 35% yang memungkinkan air akan melewatinya dengan mudah (Ginting dkk, 2017). Gradasi penyeragaman pada agregat kasar dapat disesuaikan. Pada dasarnya, beton porous tersusun atas agregat kasar yang diselimuti dengan Lapisan pasta semen tipis sekitar 1,3 mm (Neville dan Brooks, 2010). Dengan *mix design* terdiri dari: semen (270-415 kg), agregat kasar (1190-1480 kg), faktor air semen (0,27-0,34), perbandingan berat pasir dan kerikil sebesar 0 hingga 1 : 1 serta terdapat penambahan chemical admixtures (ACI 522R-10).

Beton *porous*/beton *permeable*/ beton yang dapat meresapkan air, pada dasarnya beton tersebut dapat menjadi solusi, namun dibutuhkan edukasi yang lebih tentang beton *porous* ini, untuk mendorong konstruksi yang ramah lingkungan serta berkelanjutan dibutuhkan semacam regulasi oleh pemerintah, dimana untuk konstruksi prasarana digunakan *previous concrete*, sehingga dapat meresapkan air kedalam tanah, dengan kemampuan peresapan air antara 100L hingga 700L per menit per meter persegi. Dengan peresapan air sedemikian rupa, tentunya membuat penggunaan lahan menjadi lebih efektif dan menjadi harapan untuk pembangunan perkotaan yang ramah lingkungan. Dengan demikian, bencana dapat berkurang. Beton yang dapat tembus juga dapat mengurangi dampak pembangunan terhadap pohon. Perkerasan beton yang dapat tembus memudahkan pemindahan baik air dan udara ke sistem akar yang memungkinkan pohon tumbuh subur bahkan didaerah yang sangat maju (Obla, 2007). Aplikasi umum untuk beton yang dapat tembus adalah biasa digunakan sebagai lapangan parkir, trotoar, jalan setapak, lapangan tenis , stabilitasi lereng, drainase, lapisan permukaan untuk jalan raya dan lain – lain.

*Previous concrete* ini dapat dibuat dengan cara yang mudah, hanya dengan menggunakan material bahan bangunan yang biasa kita gunakan dalam konstruksi, pada pembuatan *previous concrete* lebih banyak digunakan agregat kasar sesuai ASM C 33 No. 89 (9,5 mm) bahkan sampai agregat dengan ukuran 25 mm. sedang agregat halus tidak digunakan, apabila digunakan pun hanya dalam jumlah yang sedikit. Biasanya, *Previous Concrete* juga disebut dengan beton daur ulang.



*Gambar. 2.2* Contoh Beton Porous Sebagai Plat Beton

Sumber: [sanggarpramana.wordpress.com](http://sanggarpramana.wordpress.com)

### 2.1.3 Batu Apung

Salah satu jenis batuan sedimen yang kita sering ketahui adalah batu apung. Batu apung (*pumice*) adalah jenis batuan yang memiliki sifat fisik dengan warna terang dan keputih-putihan, mengandung buih yang terbuat dari gelombang berdingding gelas, dan disebut juga sebagai batuan gelas vulkanik silikat. Batu apung ini terbentuk dari magma asam akibat aksi letusan gunung berapi yang mengularkan material ke udara dan mengalami pergerakan secara horizontal dan terakumulasi sebagai batuan piroklastik (Saragih dan Karolina, 2018). Batu apung merupakan batuan sedimen dari batuan vulkanis dengan berat yang ringan, dikarenakan mempunyai banyak pori – pori pada batu tersebut. Dikarenakan memiliki berat yang ringan, maka jika batu apung digunakan sebagai agregat kasar pada beton, maka akan menghasilkan berat beton yang ringan (Hidayat, 2012). Menurut SNI 03-2834-200 tentang distribusi dari batu apung, yaitu gradasi yang memiliki diameter maksimum 12,5 mm.



*Gambar 2.3* Batu Apung

Sumber: [monakifa.co.cc](http://monakifa.co.cc)

Tabel 2.1

Syarat Gradasi Agregat Kasar (Batu Apung)

Lubang ayakan (mm)	persen berat tembus kumulatif (%)		
	40 mm	20 mm	12,5 mm
40	95-100	100	100
20	30-70	95-100	100
12,5	-	-	90-100
10	10-35	25-55	40-85
4,8	0-5	0-10	0-10

(Sumber: Yulian, 2017)

Tabel 2.2

Sifat Fisik dari Batu Apung

Unsur	Kapasitas
Bobot isi ruang	480-960 kg/cm <sup>3</sup>
Peresapan air	16,67%
Berat Jenis	0,8 gr/cm <sup>3</sup>
Hantaran Suara	Rendah
Ratio kuat tekan terhadap beban	Tinggi
Konduktivitas terhadap api	Rendah
Ketahanan terhadap api	s/d 6 jam

(Sumber: Yulian, 2017)

Salah satu metode yang digunakan agar berkurangnya rongga pada agregat kasar berupa batu apung pada beton yaitu dengan dilakukan pelapisan agregat. Pelapisan agregat biasanya menggunakan cat, tanah liat, debu dan lumpur. Teknik pada pelapisan agregat adalah dengan melapisi semua permukaan agregat atau melapisi sebagian agregat tergantung banyaknya rongga yang ingin dikurangi.

### 2.1.4 Beton Serat

Beton serat didefinisikan sebagai beton yang terbuat dari campuran semen, agregat halus, agregat kasar dan sejumlah kecil serat/fiber (ACI Committee 544, 1982). Beton serat adalah bahan komposit yang terdiri dari beton biasa dan bahan lain yang berupa serat. Serat dalam beton itu berguna untuk mencegah adanya retak – retak sehingga menjadikan beton dengan serat lebih daktail dari beton normal (Kardiyono, 1994). Bahan - bahan serat yang bisa di gunakan untuk memperbaiki sifat beton pada beton serat antara lain yaitu baja, plastik, kaca, karbon serta serat dari bahan alami seperti ijuk, rami maupun serat dari tumbuhan lain (ACI, 1982).

Tabel 2.3

Spesifikasi Serat

Serat	Berat jenis	Kuat tarik (Ksi)	Modulus elastisitas (10 <sup>3</sup> Ksi)	Volume fraksi (%)	Diameter (inchi)	Panjang (inchi)
Baja	7,86	100 - 300	30	0,79 - 3	0,0005 – 0,04	0,5 – 1,5
Kaca	2,7	> 180	11	2 - 8	0,004 – 0,03	0,5 – 1,5
Plastik	0,91	> 100	0,14 – 1,2	1 - 3	> 0,1	0,5 – 1,5
Karbon	1,6	> 100	> 7,2	1 - 5	0,0004 – 0,0008	0,02 - 05

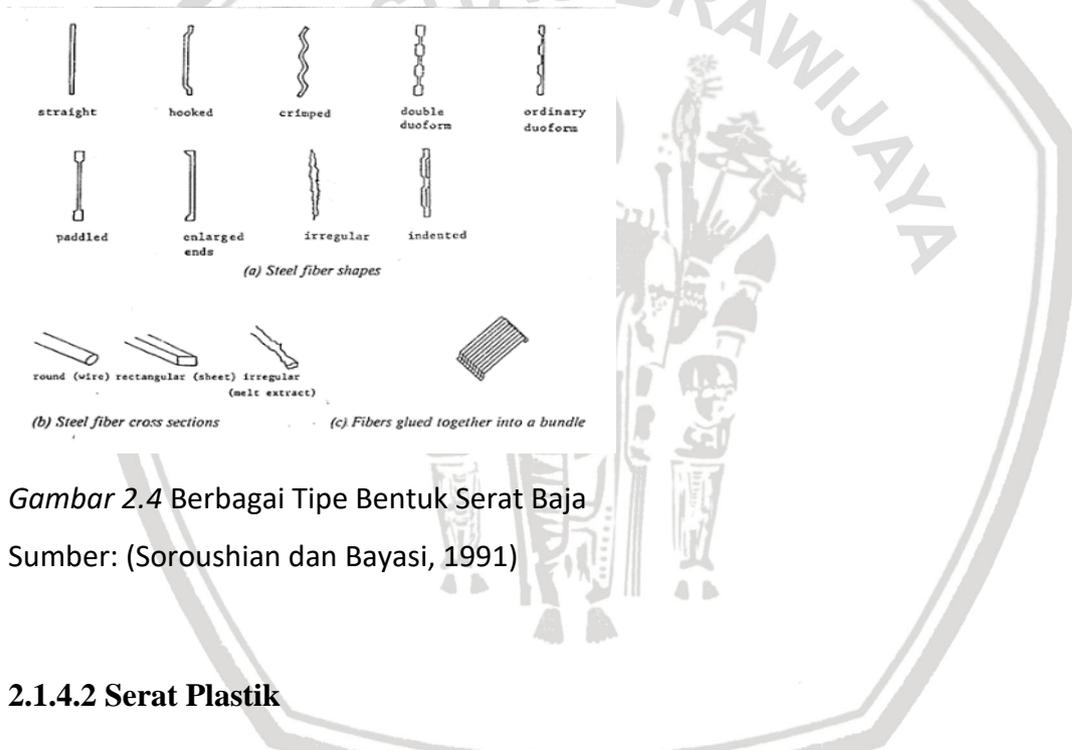
(Sumber : Soroushian dan Bayasi, 1987)

#### 2.1.4.1 Serat Baja

Kelebihan serat baja ini adalah kekuatan dan modulus elastisitasnya yang tinggi, tetapi serat ini juga mempunyai kelemahan yaitu sangat korosif. Ada beberapa jenis fiber baja yang biasa digunakan (Soroushian dan Bayasi, 1991) :

1. Bentuk serat baja (*steel fiber shapes*)
  - a. Lurus (*straight*)
  - b. Berkait (*hooked*)

- c. Bergelombang (*crimped*)
  - d. Double duo form
  - e. Ordinary duo form
  - f. Bundel (*paddled*)
  - g. Kedua ujung ditekuk (*enlarged ends*)
  - h. Tidak teratur (*irregular*)
  - i. Bergerigi (*indented*)
2. Penampang serat baja (*steel fiber cross section*)
    - a. Lingkaran atau kawat (*round* atau *wire*)
    - b. Persegi atau lembaran (rectangular atau *sheet*)
    - c. Tidak teratur atau bentuk dilelehkan (*irregular* atau *melt extract*)
  3. Serat dilekatkan bersama dalam satu ikatan (*fiber glued together into a bundle*)

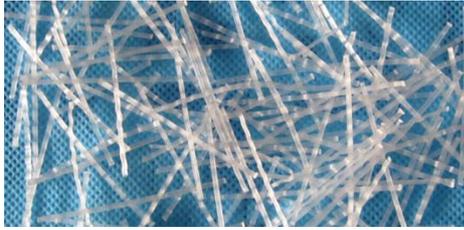


Gambar 2.4 Berbagai Tipe Bentuk Serat Baja

Sumber: (Soroushian dan Bayasi, 1991)

### 2.1.4.2 Serat Plastik

Plastik merupakan salah satu jenis makromolekul yang proses pembentukannya dengan proses polimerisasi. Polimerisasi sendiri adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monomer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer). Unsur penyusun utama dari plastik yang merupakan senyawa polimer adalah karbon dan hydrogen (Surono, 2013). Penggunaan polimer sebagai bahan tambah beton selain bertujuan untuk memanfaatkan limbah plastik juga untuk mencari bahan tambah alternatif yang apabila ditambahkan pada campuran beton menghasilkan beton yang memiliki nilai lebih baik dari beton normal biasa.



Gambar 2.5 Serat Plastik

Sumber: Indonesian.alibaba.com

## 2.2 Pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV)

Dengan melakukan pengujian UPV adalah cara untuk memperkirakan kekerasan beton yang didasarkan pada hubungan cepat-rambat gelombang melalui media beton dengan kekuatan tekan beton itu (*International Atomic Energy Agency*, 2002). Pengujian UPV dilakukan dengan mengukur kecepatan perambatan gelombang elektromagnetik longitudinal yang melalui media beton.

UPV atau metode kecepatan pulsa ultrasonik tentunya dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas dari beton selama lebih dari 60 tahun. Metode UPV juga dapat digunakan untuk mendeteksi retak internal dan cacat lainnya pada beton, termasuk perubahan dari beton seperti penurunan kualitas beton akibat berbagai kondisi, misalnya lingkungan kimia yang agresif atau pembekuan dan pencairan (V.M Malhotra & N.J Carino, 2004).

Metode UPV juga dapat memperkirakan kekuatan dari benda uji beton maupun beton di lapangan. Metode UPV termasuk metode *non-destructive test*, dikarenakan pengujian tidak merusak benda uji atau beton itu sendiri. Metode UPV menggunakan gelombang mekanik yang tidak menimbulkan kerusakan pada elemen beton yang diuji.

Kecepatan gelombang ultrasonik dipengaruhi oleh kekuatan beton dan kekakuan elastis pada beton dengan kondisi pemadatan yang kurang baik, atau mengalami kerusakan pada butiran material, gelombang UPV akan mengalami penurunan kecepatan. Perubahan kekuatan beton pada tes UPV ditunjukkan dengan perbedaan kecepatan pada gelombangnya. Jika kecepatan naik, maka kekuatan beton meningkat dan sebaliknya, jika kecepatan beton turun, maka beton mengalami penurunan kekuatan (Hamidian, 2012).

Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) merupakan salah satu metode *non destructive test* dengan menggunakan gelombang ultrasonik yang didasari pengukuran waktu tempuh

gelombang. Waktu tempuh gelombang dibaca oleh pengukur waktu pada UPV dan nantinya ditampilkan dalam bentuk kecepatan gelombang. Cara kerja UPV pada dasarnya mengirim getaran gelombang pada beton dan menerima getaran untuk selanjutnya dihitung lama waktu tempuh perambatan getaran gelombang tersebut (V.M Malhotra & N.J Carino, 2004). Kecepatan gelombang akan ditampilkan oleh alat uji UPV berdasarkan waktu tempuh yang telah dihitung.

Pengujian efektif menggunakan metode UPV adalah ketika beton sudah berusia lebih dari 3 hari, karena kecepatan gelombang akan sangat dipengaruhi oleh kondisi beton. Akurasi pembacaan UPV akan bergantung pada banyak hal, terutama karena metode ini menggunakan gelombang dan sangat mungkin terjadi gangguan sinyal atau noise saat proses pembacaannya. Penyebab *noise* pada pembacaan UPV biasanya karena posisi transducer yang bersifat tidak statis, sedangkan proses pengujian menggunakan tenaga manusia yang sulit untuk bisa diam dalam kondisi statis dalam jangka waktu yang lama.

### 2.3 Jenis – Jenis Gelombang Mekanik

Gelombang mekanik merupakan gelombang yang merambat dengan memerlukan penghantar atau medium untuk dapat merambat. Medium gelombang mekanik dapat berupa zat cair, zat padat atau gas. Gelombang mekanik dibagi menjadi dua berdasarkan arah getarnya, yaitu gelombang longitudinal dan gelombang transversal. Gelombang transversal adalah gelombang yang arah getar dari partikel dalam medium tegak lurus dengan arah perambatan gelombang, sedangkan gelombang longitudinal adalah gelombang yang arah getarnya searah (paralel) dengan arah rambatannya. Apabila gelombang menurut frekuensinya dibagi menjadi tiga, yaitu gelombang ultrasonik, gelombang infrasonik, gelombang audiosonik seperti pada tabel 2.4.

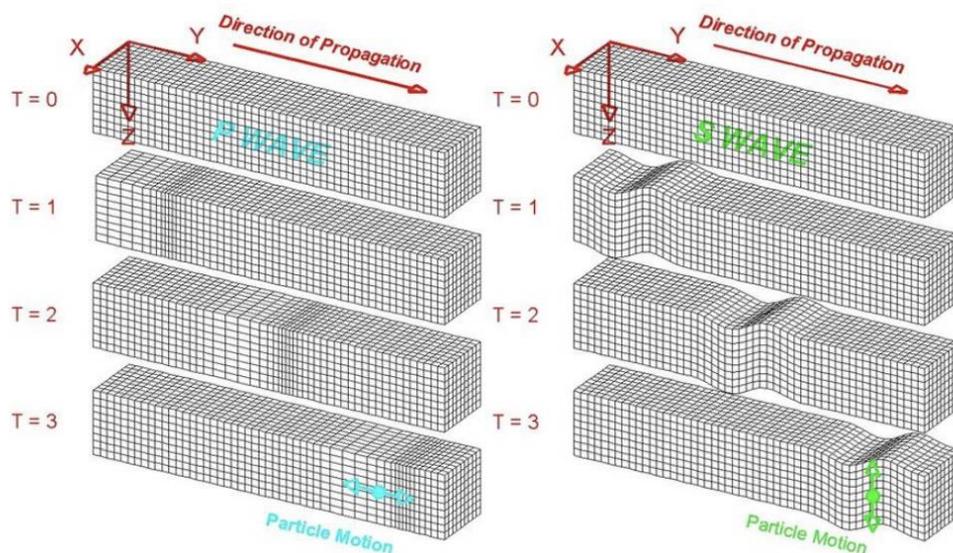
Tabel 2.4

Jenis – Jenis Gelombang Mekanik Longitudinal berdasarkan Frekuensi

Jenis Gelombang	Frekuensi	Keterangan
Infrasonik	< 20 Hz	Didengar jangkrik dan anjing
Audiosonik	20 – 20.000 Hz	Didengar manusia
Ultrasonik	> 20.000 Hz	Didengar kelelawar

1. Gelombang longitudinal atau kompresi (*P-waves* atau *compressional waves*)

Gelombang longitudinal (*P-waves*) juga biasa disebut gelombang kompresi karena gelombang tersebut memberikan tegangan tarik dan tekan (searah arah rambatnya pada medium rambatnya). Gelombang longitudinal mampu merambat melalui berbagai jenis medium yaitu padat, cair, maupun gas. Gelombang longitudinal memiliki amplitudo yang paling kecil diantara gelombang lainnya, tetapi cepat rambatnya paling cepat diantara yang lain. Pada gelombang ini partikel berosilasi maju dan mundur dari titik ekuilibriumnya.



Gambar 2.6 Pergerakan partikel pada gelombang *P-waves* (kiri) dan *S-waves* (kanan).

Ciri – ciri gelombang *P-Waves*:

- Gelombang longitudinal, yaitu gelombang yang arah partikelnya searah dengan arah rambatan.
  - Dapat merambat pada segala jenis medium (padat, gas dan cair).
  - Relatif paling lembut dibandingkan gelombang yang lain.
  - Kecepatan 330 m/s di udara, 1450 m/s di air dan 5000 m/s di benda padat (granit).
  - Memiliki amplitudo kecil.
2. Gelombang transversal atau geser (*shear waves* atau *S-waves*)

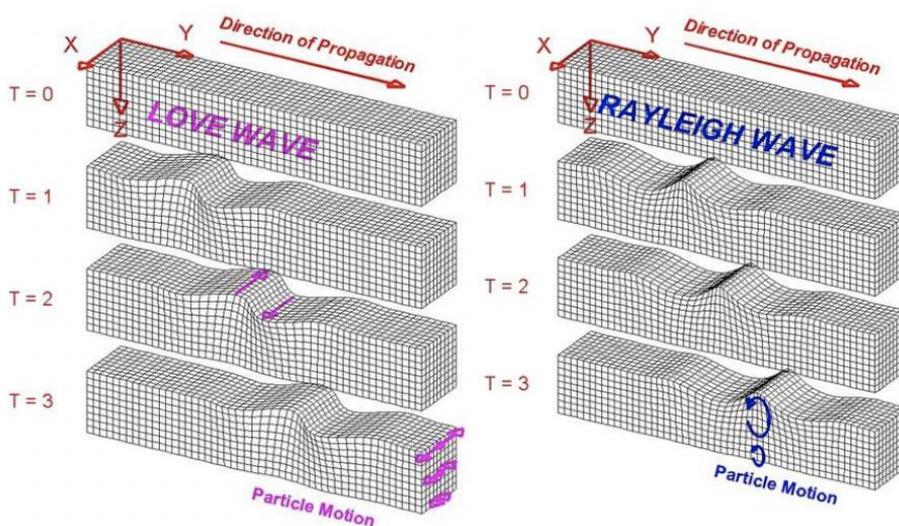
Untuk gelombang transversal dapat menimbulkan tegangan geser pada partikel dalam medium rambatnya. *S-waves* partikelnya berosilasi secara tegak lurus

dengan arah rambatan (transversal). Gelombang transversal merambat melalui medium ruang, dan dibagi menjadi gerak vertikal (SV) dan gerak horizontal (SH).

Ciri – ciri gelombang *S-Waves*:

- a. Gelombang transversal, yaitu gelombang yang arah gerak partikelnya tegak lurus arah rambatan.
  - b. Bisa merambat pada medium padat saja.
  - c. Efek kerusakan lebih besar dari *P-Waves*.
  - d. Kecepatan lebih lambat 60 % dari *P-Waves*.
  - e. Memiliki amplitude lebih besar dari gelombang primer.
3. Gelombang permukaan (*surface waves*)

*Surface waves* adalah gelombang yang perambatannya melalui permukaan dan semakin kecil apabila menjauhi permukaan. Gelombang permukaan merambat lebih lambat dan memiliki frekuensi yang lebih rendah dari gelombang longitudinal dan gelombang transversal, tetapi memiliki amplitude yang lebih besar. Gelombang permukaan dibagi menjadi dua, yaitu *Rayleigh waves* dan *Love waves*. *Rayleigh waves* merupakan gelombang yang arah gerak partikelnya memiliki gerakan yang eliptik retrograde, yaitu bergerak seperti menggulung medium yang dilaluinya dan terlihat seperti gelombang di air laut. Sedangkan *Love waves* merupakan gelombang yang arah gerak partikelnya tegak lurus dengan arah perambatannya (transversal), tetapi terjadi pada bagian permukaan.



Gambar 2.7 Pergerakan Partikel pada gelombang permukaan: *Love-waves* (kiri) dan *Rayleigh-waves* (kanan)

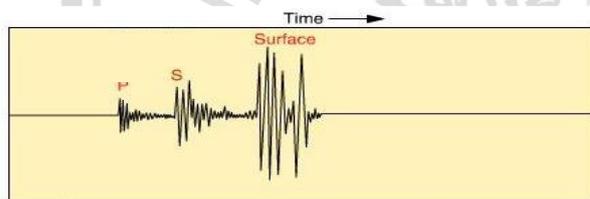
Ciri – ciri gelombang *Love-waves*:

- a. Merupakan gelombang transversal, yaitu memiliki arah gerak partikel yang tegak lurus dengan arah rambatan
- b. Memiliki kecepatan 70 % dari gelombang sekunder.
- c. Ditemukan oleh A.E.H Love pada 1911.

Ciri – ciri gelombang *Reyleigh-waves* :

- a. Gerakan *eliptik retrograde/ground roll* (tanah memutar kebelakang), tetapi secara umum gelombangnya merambat kearah depan, analoginya seperti gelombang laut/
- b. Sedikit lebih cepat dari *Love-wave* (90% dari kecepatan gelombang sekunder)
- c. Ditemukan oleh Lord Reyleigh tahun 1885.

#### 2.4 Perambatan Gelombang



Gambar 2.8 Jenis Gelombang Pada Alat Pembaca Gelombang

Sumber: (Nirbito, 2015)

Pada dasarnya, masing – masing gelombang memiliki cepat rambat yang berbeda. Pada benda padat, *P-waves* merambat paling cepat namun berbanding terbalik dengan gelombang permukaan merambat paling lambat. Menurut ASTM, pada beton kecepatan rambat *S-waves* berturut-turut adalah 60 dan 55% dari kecepatan rambat *P-waves*. Kecepatan rambat gelombang bergantung pada sifat elastis dan kerapatan dari mediumnya. Untuk medium padat elastis yang homogen, kecepatan rambat *P-waves* yaitu:

$$V = \sqrt{\frac{KE}{\rho}} \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan:

V = kecepatan rambat,



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

E = modulus elastisitas dinamis,

$\rho$  = kerapatan, dan

$\mu$  = rasio Poisson dinamis

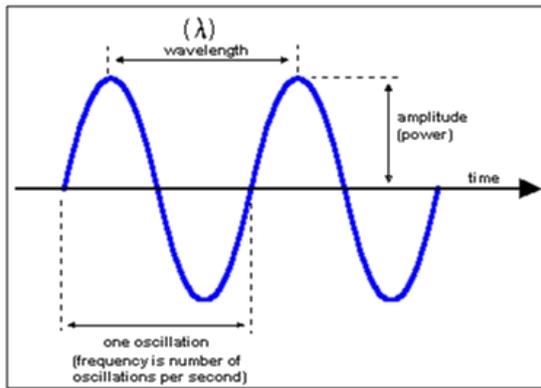
Variasi nilai E dan  $\rho$  memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai V. Pada umumnya, kecepatan rambat (V) pada beton yaitu berkisar antara 3000 m/s sampai 5000 m/s. Untuk rentang variasi nilai K terbilang sangat kecil, yaitu antara 1,06-1,20.

Ketika gelombang merambat dan menemui bagian yang memiliki perbedaan sifat material, sebagian energi dari gelombang tersebut akan tersebar dari lintasan awal gelombang. Misalnya dengan terdapat rongga, retak ataupun partikel agregat dalam beton akan menyebarkan sebagian energi gelombang kompresi dari lintasan awal gelombang tersebut. Ketika Panjang gelombang yang merambat besarnya lebih kecil atau sama dengan ukuran bagian penyebarannya maka tingkat penyebaran akan mengalami peningkatan yang menimbulkan redaman lebih cepat pada gelombang tersebut. Pada beton, batas maksimal dari frekuensi yang digunakan adalah 500 kHz, yaitu terkait dengan panjang gelombang sekitar 10 mm, yang termasuk dalam rentang ukuran agregat kasar.

## 2.5 Amplitudo Gelombang

Amplitudo adalah jarak atau simpangan terjauh dari titik kesetimbangan dalam gelombang, satuannya adalah meter. Pada gelombang listrik, amplitude berhubungan dengan tinggi dan rendahnya voltase.

Pada gelombang bunyi, amplitudo berhubungan dengan volume tinggi dan rendahnya suara. Sedangkan amplitude gelombang transversal merupakan jarak antara titik puncak atau titik lembah ke garis kesetimbangan dan amplituo gelombang longitudinal merupakan jarak terdekat antara kedua titik yang mengalami rapatan (kompresi).



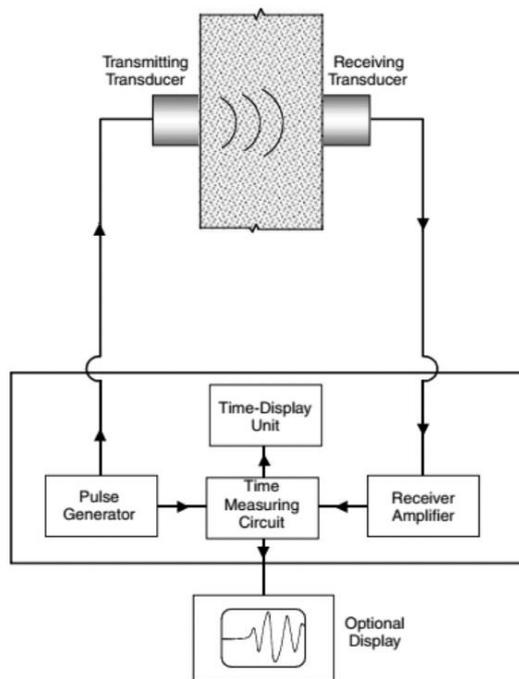
Gambar 2.9 Amplitudo pada Gelombang

Sumber: smilehacking.blogspot.com

## 2.6 Metode Pengujian

Alat UPV terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu:

- Generator gelombang (*pulse generator*) yang berisi sirkuit untuk menghasilkan gelombang listrik yang nantinya akan dikirimkan oleh *transmitter*,
- Satu pasang *transducer*, ialah *transducer* pengirim (*transmitting transducer*) yang akan mengubah gelombang listrik menjadi gelombang ultrasonik dan kemudian merambatkannya, serta terdapat *transducer* penerima (*receiving transducer*) yang menerima gelombang dari *transmitter*,
- Pengukur waktu (*time measuring circuit*), yang berfungsi mencatat waktu transmisi gelombang yang nantinya akan melalui beton, dan
- Osiloskop, berupa layar tambahan untuk dapat memantau perilaku osilasi gelombang yang di terima oleh *receiver*.



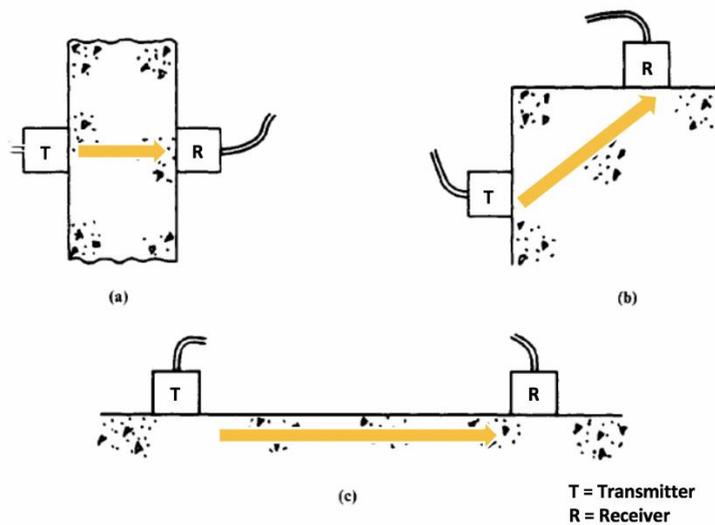
Gambar 2.10 Diagram Skematik dari Instrument UPV

Sumber: V.M Malhotra & N.J Carino (2004)

Pada saat pelaksanaan di lapangan, terdapat beberapa metode/konfigurasi pengukuran dengan menggunakan UPV. Adapun metode – metode tersebut antara lain:

- a. *Direct transmission* (langsung), yaitu *receiver* dan *transmitter* diletakkan saling berhadapan, sehingga lintasan gelombang akan menjadi tegak lurus dengan permukaan transducer. Panjang lintasan merupakan hasil pengukuran antar transducer yaitu jarak antara 2 sisi beton yang akan di uji. Dengan metode ini, menghasilkan transmisi energi gelombang paling besar dibandingkan metode lainnya. Itulah sebabnya metode ini menghasilkan hasil yang paling baik dan memuaskan.
- b. *Semi-direct transmission* (semi langsung), yaitu *transducer* dipasang pada kedua sisi yang berbeda dan tidak saling berhadapan. Untuk pengukuran Panjang lintasan didapatkan dengan mengukur jarak miring kedua *transducer*. Dengan jarak antara *transmitter* dan *receiver* tidak terlalu jauh, maka metode ini cukup mendapatkan hasil yang memuaskan.
- c. *Indirect* atau *surface transmission* (tidak langsung), yaitu pemasangan *receiver* dan *transmitter* pada sisi beton yang sama. Penggunaan metode ini yaitu apabila

hanya ada salah satu sisi beton yang dapat diakses. Apabila menggunakan metode ini, harus menentukan jarak terlebih dahulu. Hasil statistik yang diperoleh dengan menggunakan metode ini hampir sama dengan hasil pengujian dengan metode direct.



Gambar 2.11 Konfigurasi pengujian UPV. (a) *Direct method*, (b) *semi-direct method* dan (c) *indirect method*

Sumber: V.M Malhotra & N.J Carino, (2004)



Gambar 2.12 Contoh Pengujian UPV Dengan Metode *Direct*

Sumber: PROCEQ 2014

Pada dasarnya, cara kerja alat UPV adalah dengan memberikan getaran gelombang longitudinal lewat *transducer* elektro – akustik, dengan melalui cairan perantara (*couplant*) yang seperti pasta berwujud gel yang dioleskan pada permukaan beton sebelum tes dimulai. Cairan gel ini berfungsi agar antara *transducer* dan permukaan beton tidak terdapat rongga, sehingga gelombang dapat merambat dengan baik dan sempurna. Saat gelombang merambat melalui media yang berbeda, yaitu pada *couplant* dan beton, pada batas *couplant* dan beton akan terjadi pantulan gelombang yang merambat dalam bentuk gelombang longitudinal dan geser. Gelombang longitudinal merambat sejajar lintasan, sedangkan gelombang geser merambat tegak lurus lintasan.

Gelombang yang pertama kali mencapai transduser penerima adalah gelombang longitudinal, kemudian gelombang ini diubah menjadi gelombang elektronik yang nantinya dapat dideteksi oleh transduser penerima, sehingga waktu tempuh gelombang dapat diukur. Waktu tempuh (T) yang dibutuhkan gelombang untuk merambat pada beton sepanjang lintasan (L) dapat diukur, sehingga cepat rambat gelombang dapat di cari dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$V = L / T \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan:

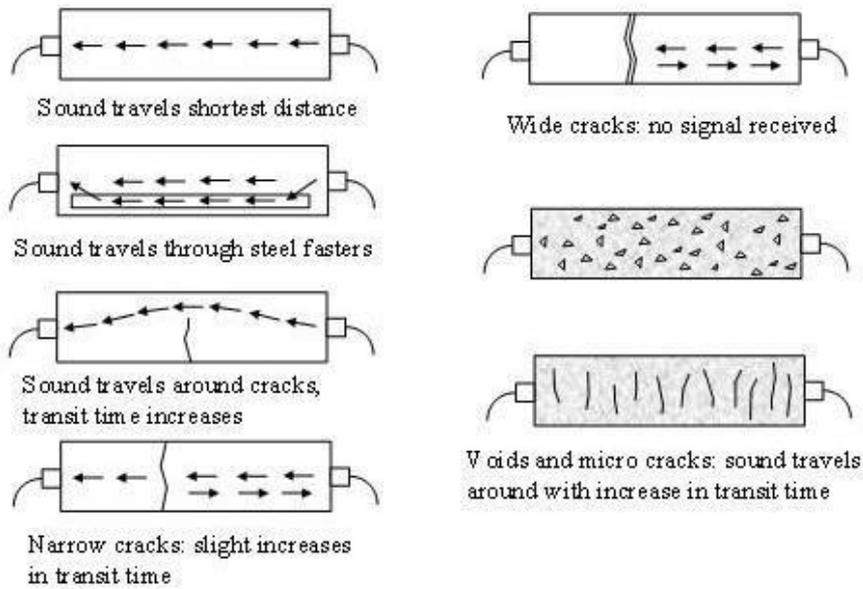
V = Kecepatan gelombang longitudinal (m/detik)

L = Panjang lintasan beton yang dilewati (m)

T = Waktu tempuh gelombang longitudinal ultrasonic (detik)

Setelah menghitung cepat rambat gelombang ultrasonik didalam beton, kecepatan tersebut kemudian di korelasikan terhadap nilai kepadatan beton yang selanjutnya dikorelasikan lagi terhadap niali mutu beton, modulus elastisitas beton, integritas beton dan kinerja beton lainnya, ditunjukkan seperti gambar di bawah ini:





Gambar 2.13 Kepadatan Material Beton

Sumber: [tunasengineering.com](http://tunasengineering.com)

Kemudian kualitas dapat ditentukan dari beton tersebut seperti tabel 2.5. Hasil perhitungan kecepatan gelombang longitudinal tersebut juga dapat digunakan untuk menginterpretasikan kualitas dari beton, antara lain:

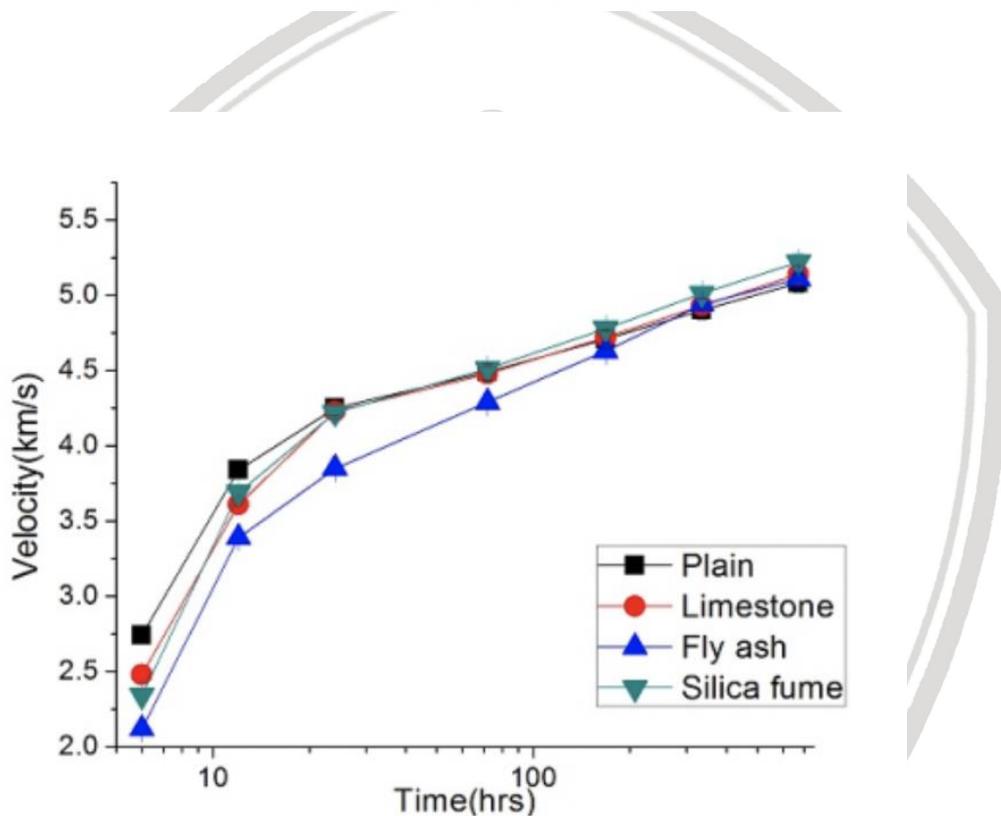
- a. Mendekteksi rongga
- b. Homogenitas beton
- c. Menentukan modulus elastis dinamis dan rasio poisson dinamis
- d. Mendeteksi keretakan
- e. Memperkirakan kuat tekan beton
- f. Memperkirakan modulus elastisitas beton

Tabel 2.5

Kualifikasi Kualitas Beton Berdasarkan Cepat Rambat Gelombang

Cepat Rambat gelombang longitudinal		Kualitas
km/detik	ft/detik	
> 4,5	> 15	Sangat Baik
3,5 - 4,5	12 - 15	Baik
3,0 - 3,5	10 - 12	Diragukan
2,0 - 3,0	7 -10	Jelek
< 2,0	< 7	Sangat Jelek

(Sumber: *International Atomic Energy Agency, 2002*)



Gambar 2.14 Perubahan Cepat Rambat Pada Beton Plain Dan Beton Dengan Admixture Terhadap Umur Beton.

Sumber: B. Sanish & Santhanam (2012)

### 2.7 Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila diberi beban dengan gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh alat penguji tekan atau mesin tekan (*compression test*). Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat

umur beton mencapai 28 hari. Secara matematis, kuat tekan beton dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$f'_c = P/A \dots \dots \dots (2.3)$$

dengan:

$f'_c$  = kuat tekan beton (MPa)

P = beban maksimum (N)

A = Luas penampang (mm<sup>2</sup>)

### 2.8 Kerapatan

Kerapatan atau *density* adalah suatu sifat karakteristik setiap bahan murni. Seluruh benda merupakan tersusun dari bahan murni, misalnya emas murni. Emas murni memiliki berbagai bentuk dan massa, tetapi memiliki kerapatan yang selalu sama untuk semua jenis bentuk dan massa tersebut. Kerapatan atau density dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$\rho = M/v \dots \dots \dots (2.4)$$

dengan:

$\rho$  = kerapatan (kg/m<sup>3</sup>)

M = massa (kg)

V = Volume (m<sup>3</sup>)

### 2.9 Hubungan Kuat Tekan dengan Kerapatan Beton

Untuk mengetahui kualitas beton berdasarkan cepat rambat gelombang yang di pengaruhi oleh kerapatan beton merupakan fungsi utama dari pengujian UPV. Hasil pengujian UPV tidak memiliki hubungan dengan kuat tekan dari beton secara langsung, tetapi karena kerapatan berbanding lurus dengan kuat tekan maka korelasi antara cepat rambat gelombang dengan kuat tekan beton dapat di cari. B. Sanish & Santhanam (2012) telah meneliti cepat rambat gelombang pada sampel beton dengan umur yang berbeda – beda hingga umur beton mencapai 28 hari dengan hasil seperti pada gambar 2.14. Dari penelitian



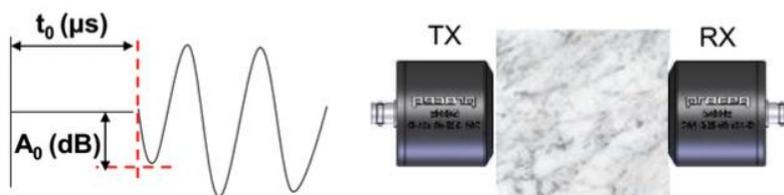
tersebut dapat dibuktikan bahwa penambahan cepat rambat terhadap umur beton lebih tinggi pada umur awal beton, dan grafik akan semakin landai pada umur akhir beton.

## 2.10 Prinsip Analisis Bentuk Gelombang (*Waveform*)

Dari gelombang yang didapatkan dari pengujian UPV, dapat dilanjutkan dengan proses analisis gelombang. Untuk melakukan pengujian awal, harus diketahui terlebih dahulu mutu sampel beton tersebut. Prinsip analisis rekomendasi dari *PROCEQ* (2014) adalah dengan membandingkan bentuk gelombang dari pengujian beton eksisting dengan beton yang menjadi acuan dengan mutu yang tentunya dapat diterima. Parameter yang di ambil adalah waktu transmisi ( $t_0$ ) dan tingkat penerimaan dari *receiver* berdasarkan amplitudo dari puncak pertama gelombang yang diterima ( $A_0$ ).

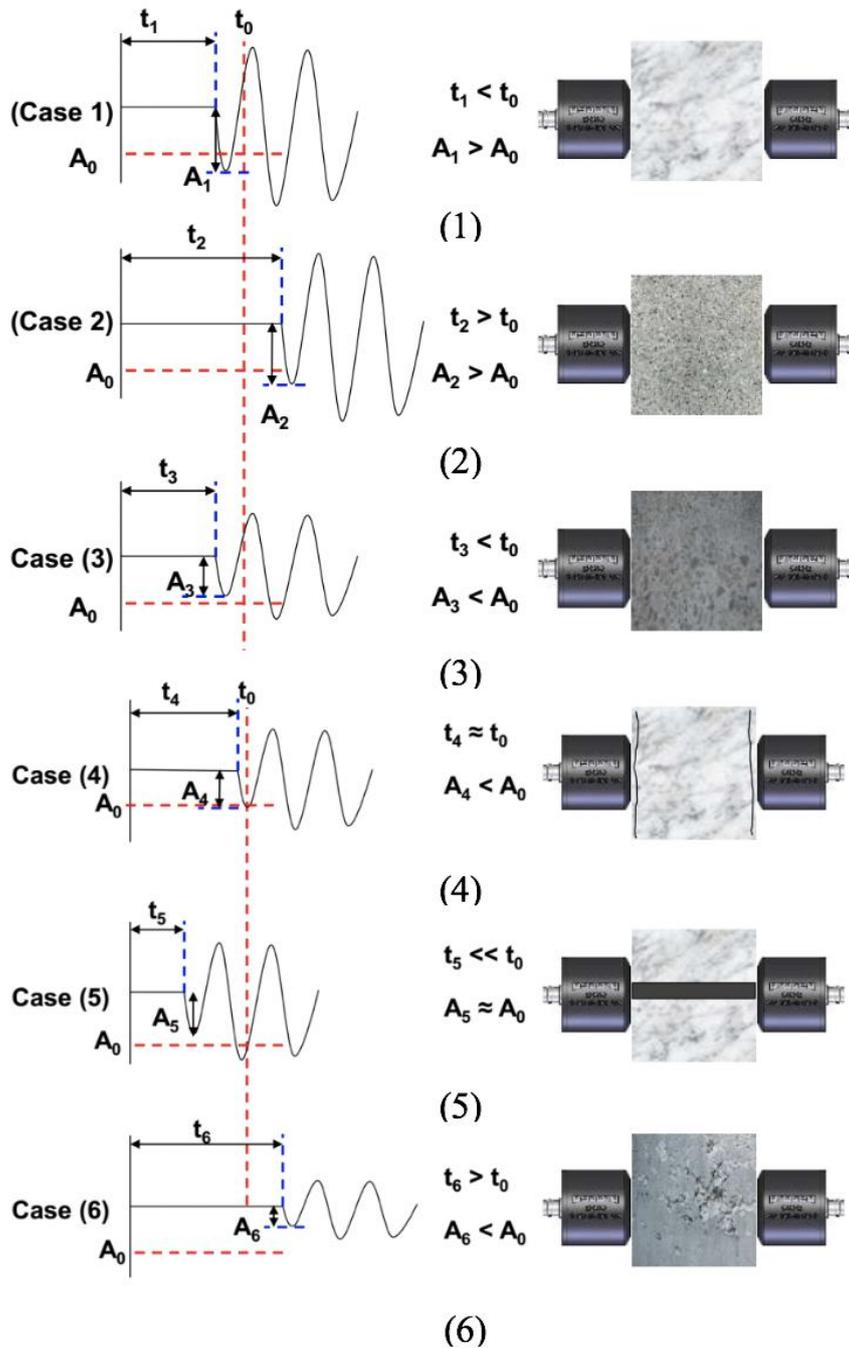
Selanjutnya adalah pengujian pada bagian struktur yang ingin diketahui mutunya untuk mendapatkan dua parameter di atas yaitu  $t_0$  dan  $A_0$  pada beton eksisting seperti pada gambar 2.15. Parameter tersebut nantinya akan dibandingkan dengan nilai hasil pengujian pada beton acuan. Sehingga mendapatkan kesimpulan mengenai mutu beton eksisting yang diuji tersebut. Beberapa interpretasi dari hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 2.16.

Hasil dari pembacaan waktu transmisi dapat diperoleh homogenitas dan kerapatan dari beton. Gelombang lebih cepat merambat melalui bagian yang memiliki kerapatan yang tinggi atau dengan rongga yang sedikit/kecil, seperti beton dengan jumlah agregat kasar (kerikil) banyak atau beton bertulang. Sedangkan amplitudo menunjukkan tingkat kehilangan energi dari gelombang yang diterima oleh *receiver* yang dipengaruhi oleh perubahan ukuran dan kerapatan partikel yang dilalui. Pada beton yang tersusun dari butiran yang relatif seragam (misalnya beton dengan jumlah pasir yang tinggi) kehilangan energi cenderung lebih rendah sehingga mengakibatkan amplitude yang terbaca menjadi lebih tinggi.



Gambar 2.15 Bentuk Gelombang dari Beton Acuan Telah Diketahui Mutunya

(Sumber: PROCEQ, 2014)



Gambar 2.16 Perbandingan Parameter Beton yang Diuji dengan Beton Acuan. (1) Beton dengan kualitas baik dan kekuatan tinggi, (2) jumlah pasir yang tinggi dan kerikil rendah, (3) jumlah kerikil tinggi dan pasir rendah, (4) retak permukaan atau pemberian couplant yang buruk, (5) pengujian melalui tulangan, dan (6) terjadi retak, honeycomb, atau rongga.

(Sumber: PROCEQ, 2014)

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang dimulai pada bulan Mei 2018 sampai selesai.

#### 3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian

Beberapa peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat untuk mempersiapkan material hingga proses pengujian benda uji pada akhirnya. Peralatan yang digunakan berada di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

##### 3.2.1 Beton Porous

Beton porous yang dimaksudkan dalam penelitian ini adalah tidak menggunakan agregat halus, dengan demikian maka akan timbul rongga – rongga berisi udara. Dengan demikian, maka akan membuat kepadatan dan luas yang perlu diselimuti oleh pasta semen akan berkurang. Rongga tersebut berkisar antara 15% - 30%. Rongga tersebut mengakibatkan aliran air yang dapat mengalir secara bebas melewati permukaan beton porous. Variasi kekuatan tekan beton porous berkisar antara 70 kg/m<sup>2</sup> hingga 140 kg/m<sup>2</sup>.

##### 3.2.1.1 Alat Penelitian

1. Cetakan silinder
2. Mesin pengaduk beton
3. Timbangan dengan kapasitas 150 kg ketelitian 100 gr
4. Timbangan dengan kapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gr
5. Satu set ayakan untuk analisa gradasi agregat
6. Plastik dan karet gelang untuk proses curing
7. Ember

8. Sekop dan cetok
9. Gergaji
10. Kain lap penyerap air
11. Satu set alat pemeriksa *slump* beton
12. Bejana untuk pengujian Density
13. Jangka sorong dan mistar pengukur

### 3.2.1.2 Bahan Penelitian

1. Semen *Portland Pozzoland*
2. Air PDAM Kota Malang
3. Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)
4. Agregat Kasar Alam (NCA)
5. *Silica fume*
6. *Fly ash*

### 3.2.2 Beton Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)

Agregat yang digunakan dalam beton RCA adalah agregat kasar dari alam dan agregat kasar daur ulang. Presentase komposisi beton RCA yang digunakan yaitu 50 % dan 100 % terhadap NCA. Gradasi ukuran agregat yang digunakan yaitu 0,5 cm hingga 2 cm.

#### 3.2.2.1 Alat Penelitian

1. Satu set ayakan untuk analisis agregat, baik agregat kasar maupun agregat halus.
2. Timbangan dengan kapasitas 150 kg dengan ketelitian 100 gr.
3. Timbangan dengan kapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gr.
4. Sendok semen.
5. Talam.
6. Cetakan beton
7. Mistar pengukur.
8. Jangka Sorong.
9. Gerobak Pengangkut.
10. Mesin pencampur beton (*concrete mixer*).
11. Satu set alat uji slump beton.

12. Mesin untuk uji tekan beton (Compression Testing Machine /Compressometer) dengan kapasitas maksimum gaya tekan hingga 5000 KN

### 3.2.2.2 Bahan Penelitian

1. Agregat Halus (Pasir)
2. Agregat Kasar Alam (NCA)
3. Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)
4. Semen, *Portland Pozzolan Cement* (PPC) jenis 1
5. Air PDAM Kota Malan

### 3.2.3 Beton Pumice Serat Kaleng

Benda uji yang digunakan pada penelitian ini yaitu beton silinder yang dicampur dengan serat kaleng kemasan yang memiliki fraksi 10 % terhadap volume beton silinder. Panjang serat 4 cm dan lebar 2 mm. Pada penelitian ini juga menggunakan agregat kasar campur yaitu batu pumice dan batu pecah dengan perbandingan 25% terhadap volume agregat kasar pada silinder beton.

#### 3.2.3.1 Alat Penelitian

1. Satu set ayakan (*siever*) untuk menganalisis gradasi agregat kasar maupun agregat halus.
2. Timbangan digital dengan ketelitian 0,1%
3. Wadah baja berbentuk silinder untuk pemeriksaan berat ini agregat.
4. Keranjang besi dilengkapi dengan alat penggantung keranjang unntuk pengujian *specific gravity* dan penyerapan agregat kasar.
5. Piknometer kapasitas 500 gram untuk pengujian *specific gravity* agregat halus.
6. Oven untuk mengeringkan agregat kasar dan halus dalam pengujian *specific gravity*.
7. Cetakan silinder (*bekisting*) dengan diameter daam 15 cm dan tinggi 30 cm yang terbuat dari besi untuk mencetak beton yang digunakan sebagai benda uji.
8. Pengaduk beton (*concrete mixer*) untuk mengaduk bahan-bahan penyusun beton silinder berserat agar membentuk campuran yang homogen.
9. Alat uji *slump* untuk mengukur nilai slump dari adukan beton. Alat ini terbuat dari besi berbentuk kerucut dengan tinggi 30 cm, diameter atas 10 cm, diameter bawah 20 cm dan dilengkapi dengan alat tumbuk berupa tongkat besi sepanjang 60 cm dengan diameter 16 mm.

10. Alat uji tekan (*compression machine*) untuk mengukur tekanan yang mampu ditahan benda uji hingga mengalami retak serta mengetahui kuat tarik belah oleh benda uji hingga mengalami retak.
11. Alat untuk memotong fiber kaleng bekas kemasan yang terdiri dari gunting untuk membuka kaleng dan alat pemotong kertas untuk memotong lembaran kaleng bekas kemasan menjadi fiber berukuran 0,2 cm x 4 cm.

### 3.2.3.2 Bahan Penelitian

1. Serat dari kaleng kemasan minuman dengan panjang 4 cm dan lebar 2 mm yang telah dibuat variasi yaitu dengan pilin A dan pilin B
2. Portland pozzoland cement (PPC)
3. Agregat halus berupa pasir
4. Agregat kasar berupa kerikil dan batu apung (*pumice*) yang telah dilapis cat.
5. Cat pelapis keramik
6. Air

### 3.2.4 Beton Fiber Plastik

Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah beton silinder yang dicampur dengan serat plastik. Lebar serat kaleng yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0,5 mm – 2,5 mm dengan panjang 6 cm dan 4 cm. Pada penelitian ini juga menggunakan agregat kasar campuran yaitu batu pecah dan batu *pumice*.

#### 3.2.4.1 Alat Penelitian

- Ayakan
- Mesin pencampur beton (*concrete mixer*)
- Tongkat pemadat
- Alat uji *slump*
- Alat Uji Tekan Silinder
- Alat Uji Tarik belah Silinder
- Karung Goni
- LVDT
- Cangkul
- Sekrop
- Pemotong kertas
- Penggaris

- Plastik
- Spidol
- Timbangan digital dengan ketelitian 0,1 – 10 gr.
- Cetakan silinder (*bekisiting*) dengan diameter dalam 15 cm dan tinggi 30 cm yang terbuat dari besi untuk mencetak beton yang digunakan sebagai benda uji.

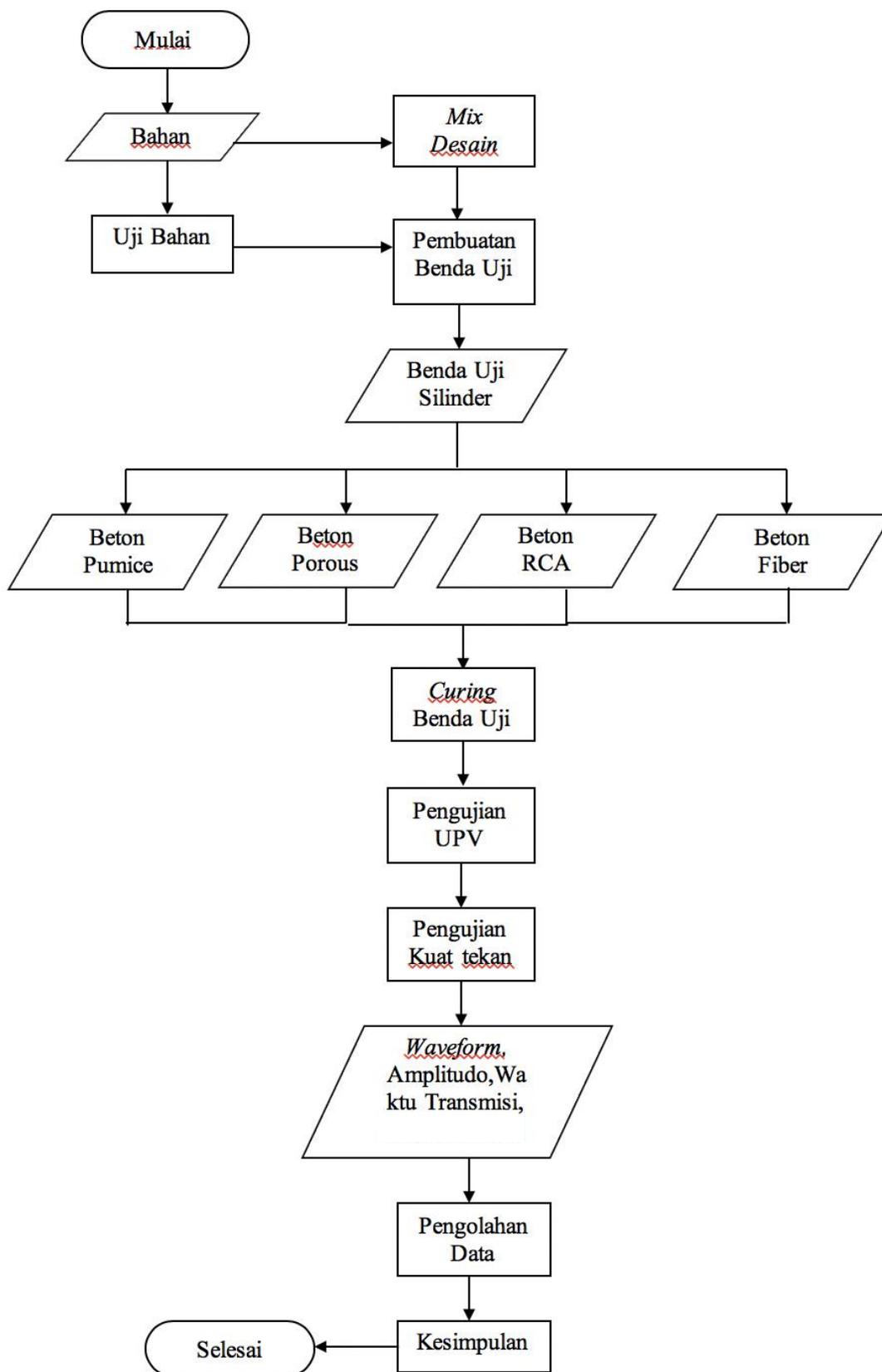
#### 3.2.4.2 Bahan Penelitian

1. Portland Pozzoland Cement (PPC) semen gresik .
2. Serat dari botol plastik berkapasitas 1,5 liter yang ada di pasaran panjang 6 cm, 4cm dan lebar 0,5-2,5mm .
3. Agregat halus berupa pasir dari lumajang
4. Agregat kasar berupa batu pecah yang didapat dari pasaran
5. Air bersih dari PDAM kota Malang

#### 3.3 UPV Test

Penelitian ini menggunakan alat UPV dengan merk *Proceq* tipe PL-200PE. Alat UPV ini berfungsi untuk mengetahui waktu transmisi dan cepat rambat gelombang ultrasonik melalui benda uji beton.

### 3.4 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

### 3.5 Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan benda uji silinder sebagai benda uji utama. Benda uji silinder memiliki diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Masing masing benda jenis benda uji diberikan variasi pada jenis agregat kasar pada betonnya. Benda uji ini digunakan untuk pengujian UPV. Jumlah benda uji silinder adalah 36 buah dengan jumlah tiap variasi adalah 9 buah, serta benda uji kubus dengan jumlah total 10 buah. Rincian benda uji terdapat pada tabel 3.1.

### 3.6 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang akan diukur adalah sebagai berikut:

- a. Variabel bebas (*independent variable*), yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti. Dalam penelitian ini, yang menjadi variabel bebas adalah variasi agregat kasar dalam perencanaan campuran beton (*mix design*) dari benda uji.
- b. Variabel terikat, yaitu variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas. Variabel terikat dari penelitian ini adalah nilai kerapatan pada beton dan *waveform* dari hasil pengujian UPV, meliputi waktu transmisi serta amplitudo gelombang.

Tabel 3.1

Variasi Penelitian Beton

Beton	Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	Ket.
Normal	1	0,6	2,1	3,0	-
Fiber Normal	1	0,5	2,1	2,9	Fiber kaleng sebesar 10%
Fiber Kait	1	0,5	2,1	2,9	Fiber kaleng sebesar 10%
Pumice Normal	1	0,6	2,1	3,2	25 % Agregat kasar adalah pumice
Pumice Fiber Normal	1	0,5	2,1	2,4	25 % Agregat kasar adalah pumice & Fiber kaleng sebesar 10%

Beton	Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	Ket.
<b>Pumice Pilin A</b>	1	0,5	2,1	2,4	25 % Agregat kasar adalah pumice & Fiber kaleng sebesar 10% dipilin 1x
<b>Pumice Pilin B</b>	1	0,5	2,1	2,4	25 % Agregat kasar adalah pumice & Fiber kaleng sebesar 10% dipilin 1,5x
<b>Porous Normal</b>	1	0,4	-	8,4	-
<b>Porous 1</b>	1	0,4	-	9,1	Silica Fume 7 %
<b>Porous 2</b>	1	0,6	-	11,3	Fly Ash 25 %
<b>Porous Recycle</b>	1	0,4	-	7,6	Agregat kasar menggunakan RCA 100%
<b>Recycle</b>	1	0,6	1,7	1,9	Agregat kasar menggunakan RCA 100%

### 3.7 Prosedur Penelitian

#### 3.7.1 Pengujian Bahan Dasar

Pengujian bahan dasar yang akan digunakan mengacu pada buku petunjuk praktikum teknologi beton dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Bahan dasar yang diuji adalah variasi pada agregat kasarnya. Unsur-unsur dalam pengujian karakteristik agregat kasar meliputi: analisis butiran, pengujian berat jenis penyerapan, dan kadar air.

### 3.7.2 Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

1. Bahan penyusun beton disiapkan dengan kuantitas sesuai mix desain.
2. Bahan-bahan tersebut dimasukkan ke dalam alat pengaduk kemudian diaduk selama kurang lebih 15 menit hingga campuran menjadi homogen.
3. Setelah pengadukan, diambil sebagian adonan beton untuk dilakukan pengujian *slump*.
4. Cetakan disiapkan dengan memberikan lapisan tipis dari oli.
5. Campuran beton dituang ke dalam cetakan silinder dan kubus.

### 3.7.3 Perawatan Benda Uji

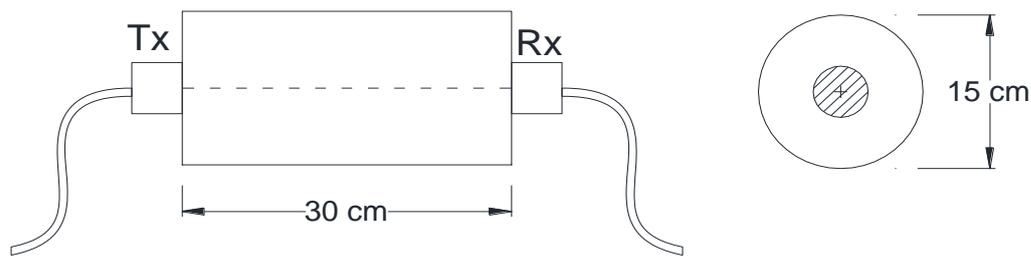
Setelah 24 jam cetakan benda uji silinder dan kubus dibuka dan dilakukan perawatan dengan tujuan agar semen terhidrasi dengan sempurna. Perawatan benda uji meliputi dua cara antara lain:

1. Benda uji direndam dalam bak berisi air dengan suhu  $23^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$ .
2. Benda uji diselimuti dengan karung goni basah dan tiap hari dibasahi terus menerus dengan air.

Waktu perawatan benda uji disamakan setiap variasi benda uji sesuai dengan waktu pengecorannya. Pada penelitian ini perawatan beton dihentikan dua minggu (14 hari) setelah tanggal pengecoran.

### 3.7.4 Pengujian UPV

Pada penelitian ini pengujian UPV dilakukan dengan menggunakan alat Pundit PL-200. Pengujian dilakukan pada benda uji beton yang telah berumur 28 hari. Pengambilan data dilakukan dengan metode *direct* yaitu dengan menempatkan *transducer* pada titik tengah permukaan atas dan bawah dari benda uji silinder dan kubus seperti terlihat pada gambar 3.2. Pada penelitian menggunakan *transducer* standar dengan frekuensi 54 kHz. Hasil yang didapatkan dari pengujian UPV berupa cepat rambat, waktu transmisi, amplitudo, serta *waveform* atau bentuk dari gelombang yang diterima oleh *receiver transducer*.



Gambar 3.2 Skema titik pengujian UPV pada benda uji silinder.

Beberapa hal yang dilakukan dalam prosedur pengujian UPV antara lain:

1. Meratakan dan membersihkan permukaan beton.
2. Pada penelitian ini digunakan transduser standar dengan frekuensi 54 kHz.
3. Mengkalibrasi alat uji UPV dengan tujuan agar pembacaan waktu tempuh pada *transmitter* dan *receiver* sama, seperti ditunjukkan pada gambar 3.3. Kedua transduser ditempatkan pada kedua sisi *calibration rod* yang telah disediakan.
4. Menentukan jarak *transmitter* dan *receiver* pada layar Pundit PL-200.
5. Memberikan gel (*couplant*) pada permukaan kontak *transmitter* dan *receiver* setiap sebelum pengujian dimulai.
6. Pengujian dilakukan pada titik yang telah ditentukan sebelumnya
7. Pengujian UPV telah selesai dan didapatkan hasil berupa bentuk gelombang ultrasonik beserta waktu transmisi dan cepat rambatnya.

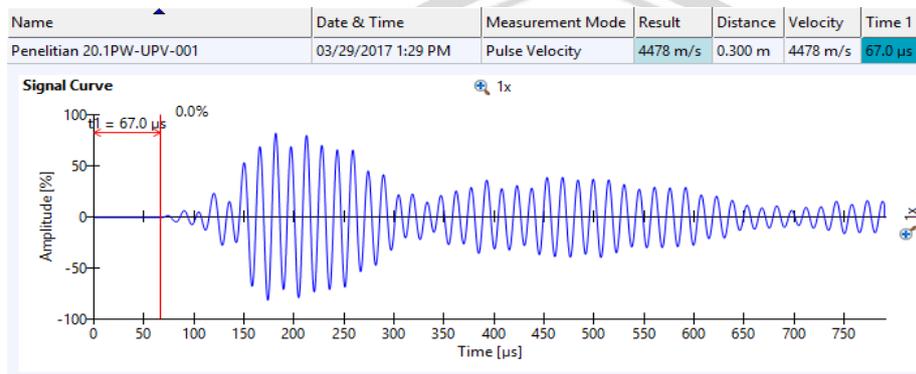


Gambar 3.3 Proses Kalibrasi Awal Alat Uji UPV.

### 3.8 Metode Analisis

#### 3.8.1 Pengumpulan Data

Dari pengujian-pengujian yang telah dilakukan diambil beberapa data-data yang diperlukan. Pengujian UPV menghasilkan data berupa *waveform* dari gelombang yang diterima receiver pada setiap benda uji dan kemudian diolah menggunakan aplikasi PL-Link di komputer. Dari setiap *waveform* tersebut didapatkan beberapa parameter gelombang yaitu waktu transmisi dan amplitudo gelombang. Data-data tersebut kemudian dikelompokkan untuk masing-masing variasi kuat tekan dari beton.



Gambar 3.4 Tampilan data hasil pengujian UPV menggunakan aplikasi PL-Link.

Tabel 3.2

Form Parameter-Parameter Gelombang

Benda Uji	Sampel	Waktu ( $\mu$ s)				Amplitudo (%)		
		T0	T1	Tmaks	T2	A1	Amaks	A2
	1							
A	2							
	3							

#### 3.8.2 Pengolahan Data

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kerapatan dari beton berdasarkan cepat rambat dan waktu transmisi menggunakan alat UPV. Pada penelitian ini parameter kerapatan beton didasarkan pada nilai kuat tekan dari beton. Data-data kuat tekan dan

parameter gelombang yang telah diambil dari hasil pengujian kemudian dilakukan seleksi data dengan standar deviasi untuk membuang data-data yang menyimpang. Dari data-data yang telah diseleksi kemudian disusun tabel dan grafik untuk mendapatkan hubungan dan korelasi antara parameter-parameter gelombang dengan kuat tekan dari beton.

Dari data-data di atas diambil satu sampel yang dipakai sebagai acuan dalam perbandingan karakteristik beton. Kemudian dari seluruh data-data tersebut dikelompokkan berdasarkan nilai relatif terhadap sampel acuan untuk mengetahui hubungan kerapatan dengan karakteristik gelombangnya.

### 3.8.3 Hipotesis

Berdasarkan hasil kajian pustaka, maka penelitian diharapkan akan memberikan hasil yaitu:

1. Terdapat Pengaruh antara *Transmission Time* dan Amplitudo terhadap kuat tekan beton dengan variasi agregat kasar pada alat UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*).
2. Terdapat pengaruh karakteristik gelombang ultrasonik terhadap kualitas beton dengan variasi agregat kasar pada alat UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*).

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang digunakan pada penelitian ini terdapat 4 jenis beton, yaitu:

1. Beton variasi porous
2. Beton variasi agregat kasar daur ulang (RCA)
3. Beton variasi agregat kasar pumice (batu apung)
4. Beton variasi fiber

##### 4.1.1 Beton Variasi Porous

Benda uji berupa silinder dengan ukuran dimensi diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Perencanaan campuran beton dilakukan berdasarkan pedoman dari SNI-03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Pada beton variasi porous mempunyai variasi campuran (*mix design*) dengan kuat rencana yang berbeda – beda. Berikut adalah rincian hasil perhitungan proporsi kebutuhan bahan dari beton variasi porous:

Tabel 4.1  
Kebutuhan Bahan untuk Campuran Bahan Benda Uji Beton Variasi Porous

Beton	Kuat Tekan Rencana (Mpa)	Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar
Porous Normal	14	1	0,4	-	8,4
Porous 1	14	1	0,4	-	9,1
Porous 2	14	1	0,6	-	11,3
Porous Recycle	14	1	0,4	-	7,6

Dari perencanaan campuran benda tersebut maka selanjutnya dilakukan proses pembuatan benda uji yaitu beton variasi porous sebanyak 4 buah dengan kekuatan rencana 14 Mpa. Setelah proses pengecoran, dilakukan proses perawatan atau *curing* terlebih dahulu kemudian dilakukan pengujian pada saat umur 28 hari. Hasil perencanaan variasi campuran benda uji beton variasi porous terdapat pada tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2

Variasi Campuran Benda Uji

Beton	Keterangan
<b>Porous Normal</b>	-
<b>Porous 1</b>	<i>Silica Fume</i> 7%
<b>Porous 2</b>	<i>Fly Ash</i> 25%
<b>Porous Recycle</b>	Agregat kasar menggunakan RCA 100%

#### 4.1.2 Beton Variasi Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)

Benda uji berupa silinder dengan ukuran dimensi diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Perencanaan campuran beton dilakukan berdasarkan pedoman dari SNI-03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Pada beton variasi porous mempunyai variasi campuran (*mix design*) dengan kuat rencana yang berbeda – beda. Berikut adalah rincian hasil perhitungan proporsi kebutuhan bahan dari beton variasi agregat kasar daur ulang (RCA):

Tabel 4.3

Kebutuhan Bahan untuk Campuran Bahan Benda Uji Beton Variasi Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)

Beton	Kuat Tekan Rencana (Mpa)	Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar
<i>Recycle</i>	20	1	0,6	1,7	1,9

Dari perencanaan campuran benda tersebut maka selanjutnya dilakukan proses pembuatan benda uji yaitu beton variasi agregat kasar daur ulang (RCA) sebanyak 1 buah dengan kekuatan rencana 20 Mpa. Setelah proses pengecoran, dilakukan proses perawatan atau *curing* terlebih dahulu kemudian dilakukan pengujian pada saat umur 28 hari. Hasil perencanaan variasi campuran benda uji beton variasi Agregat Kasar Daur Ulang (RCA) terdapat pada tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4

Variasi Campuran Benda Uji Beton Variasi Agregat Kasar Daur Ulang (RCA)

Beton	Keterangan
Recycle	Agregat kasar menggunakan RCA 100%

#### 4.1.3 Beton Variasi Agregat Kasar Pumice

Benda uji berupa silinder dengan ukuran dimensi diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Perencanaan campuran beton dilakukan berdasarkan pedoman dari SNI-03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Pada beton variasi agregat kasar pumice mempunyai variasi campuran (*mix design*) dengan kuat rencana yang berbeda – beda. Berikut adalah rincian hasil perhitungan proporsi kebutuhan bahan dari beton variasi agregat kasar pumice:

Tabel 4.5

Kebutuhan Bahan untuk Campuran Bahan Benda Uji Beton Variasi Agregat Kasar Pumice

Beton	Kuat Tekan Rencana (Mpa)	Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar
Pumice Normal	17	1	0,6	2,1	3,2
Pumice Fiber Normal	17	1	0,5	2,1	2,4
Pumice Pilin A	17	1	0,5	2,1	2,4
Pumice Pilin B	17	1	0,5	2,1	2,4

Dari perencanaan campuran benda tersebut maka selanjutnya dilakukan proses pembuatan benda uji yaitu beton variasi agregat kasar pumice sebanyak 4 buah dengan kekuatan rencana 17 Mpa. Setelah proses pengecoran, dilakukan proses perawatan atau *curing* terlebih dahulu kemudian dilakukan pengujian pada saat umur 28 hari. Hasil perencanaan variasi campuran benda uji beton variasi agregat kasar pumice terdapat pada tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6

Variasi Campuran Benda Uji Beton Variasi Agregat Kasar Pumice

Beton	Keterangan
<b>Pumice Normal</b>	25 % Agregat Kasar adalah pumice
<b>Pumice Fiber Normal</b>	25% Agregat kasar adalah pumice dan fiber kaleng sebesar 10%
<b>Pumice Pilin A</b>	25 % Agregat Kasar adalah pumice, 25% Agregat kasar adalah pumice dan fiber kaleng sebesar 10% dipilin 1x
<b>Pumice Pilin B</b>	25 % Agregat Kasar adalah pumice, 25% Agregat kasar adalah pumice dan fiber kaleng sebesar 10% dipilin 1,5x

#### 4.1.4 Beton Variasi Fiber

Benda uji berupa silinder dengan ukuran dimensi diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Perencanaan campuran beton dilakukan berdasarkan pedoman dari SNI-03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Pada beton variasi Fiber mempunyai variasi campuran (*mix design*) dengan kuat rencana yang berbeda – beda. Berikut adalah rincian hasil perhitungan proporsi kebutuhan bahan dari beton variasi agregat kasar pumice:

Tabel 4.7

Kebutuhan Bahan untuk Campuran Bahan Benda Uji Beton Variasi Fiber

Beton	Kuat Tekan Rencana (Mpa)	Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar
Fiber Normal	17	1	0,5	2,1	2,9
Fiber Kait	17	1	0,5	2,1	2,9

Dari perencanaan campuran benda tersebut maka selanjutnya dilakukan proses pembuatan benda uji yaitu beton variasi agregat kasar pumice sebanyak 2 buah dengan kekuatan rencana 17 Mpa. Setelah proses pengecoran, dilakukan proses perawatan atau *curing* terlebih dahulu kemudian dilakukan pengujian pada saat umur 28 hari. Hasil perencanaan variasi campuran benda uji beton variasi agregat kasar pumice terdapat pada tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.8

Variasi Campuran Benda Uji Beton Variasi Fiber

Beton	Keterangan
Fiber Normal	Fiber Kaleng sebesar 10%
Fiber Kait	Fiber Kaleng sebesar 10%

#### 4.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Menggunakan Uji Tekan

Pada seluruh benda uji dilakukan pengujian kuat tekan. Pengujian tekan pada seluruh benda uji menggunakan *Compression Test Machine* yang bertujuan untuk memperoleh beban maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji tersebut sehingga dapat dihitung kuat tekan dari beton tersebut. Pengujian beton dilakukan saat beton berusia 28 hari, sehingga tidak digunakan perkalian faktor koreksi kuat tekan terhadap umur beton. Berikut adalah cara menghitung kuat tekan benda uji silinder ( $f'_c$ ) dengan luasan bidang tekan (A) yang

digunakan yaitu luas lingkaran dengan diameter 15 cm, dengan menggunakan rumus (4-1) sebagai berikut:

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(4-1)$$

dengan:

$f'c$  = kuat tekan (MPa)

$P$  = beban maksimum (N)

$A$  = luas bidang tekan ( $mm^2$ )

Tabel 4.9

Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder Menggunakan Uji Tekan

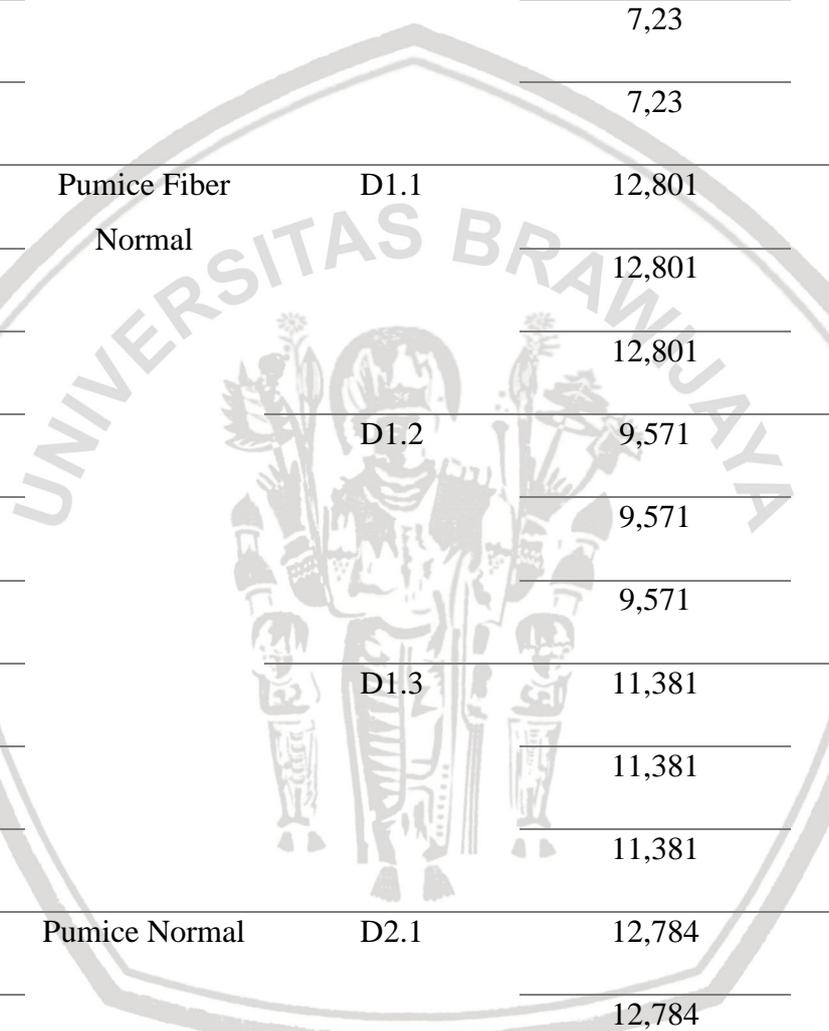
No.	Nama Sampel	Kode	Kuat Tekan ( $f'c$ ) Mpa	Rata2
1	Normal	N1.2	13,52	13,52
2			13,52	
3			13,52	
4	Fiber Normal	A1.1	20,58	20,58
5			20,58	
6			20,58	
7		A1.2	21,35	21,35
8			21,35	
9			21,35	
10		A1.3	15,05	15,05
11			15,05	
12			15,05	



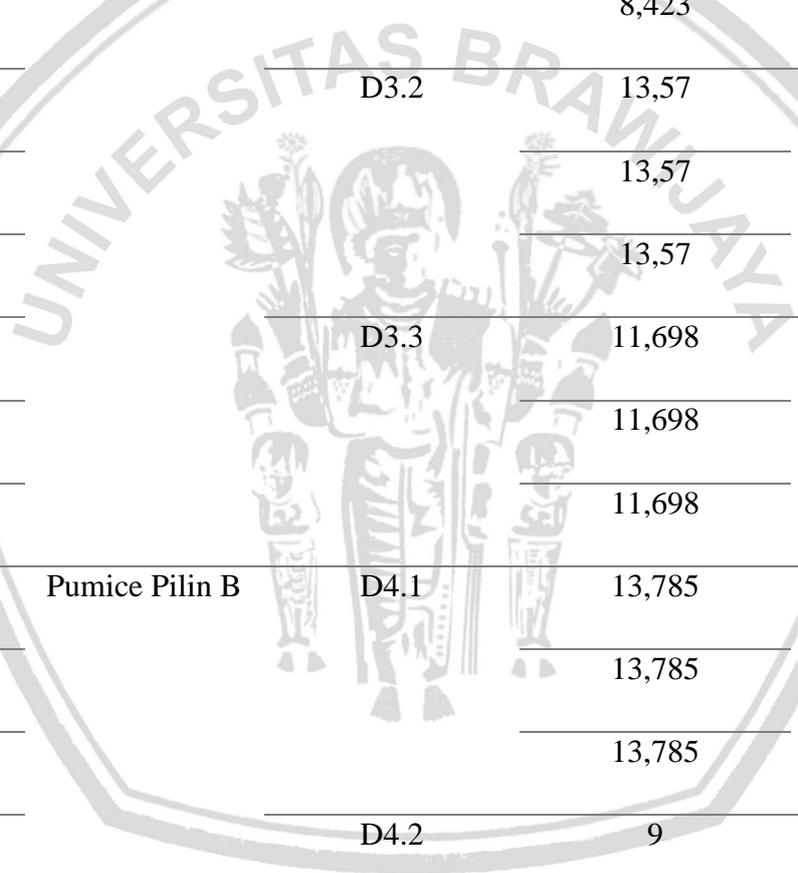
No.	Nama Sampel	Kode	Kuat Tekan (f'c) Mpa	Rata2
13	Fiber Kait	A2.1	13,41	13,41
14			13,41	
15			13,41	
16		A2.2	15,87	15,87
17			15,87	
18			15,87	
19		A2.3	18,33	18,33
20			18,33	
21			18,33	
22	Beton Porous Normal	B1.1	7,311	7,311
23			7,311	
24			7,311	
25		B1.2	5,881	5,881
26			5,881	
27			5,881	
28		B1.3	3,557	3,557
29			3,557	
30			3,557	
31	Beton Porous 1	B2.1	5,434	5,434
32			5,434	

No.	Nama Sampel	Kode	Kuat Tekan (f'c) Mpa	Rata2
33			5,434	
34		B2.2	9,07	9,07
35			9,07	
36			9,07	
37		B2.3	6,619	6,619
38			6,619	
39			6,619	
40	Beton Porous	B3.1	6,291	6,291
41	Recycle		6,291	
42			6,291	
43		B3.2	5,618	5,618
44			5,618	
45			5,618	
46		B3.3	4,087	4,087
47			4,087	
48			4,087	
49	Beton Porous 2	B4.1	8,94	8,94
50			8,94	
51			8,94	
52		B4.2	8,37	8,37

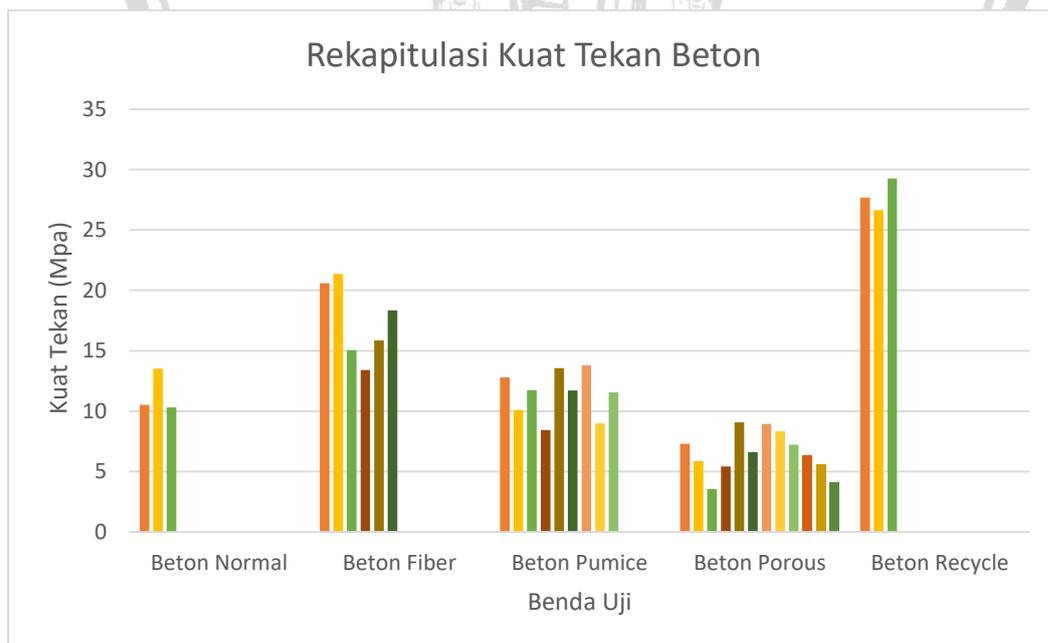
No.	Nama Sampel	Kode	Kuat Tekan (f'c) Mpa	Rata2
53			8,37	
54			8,37	
55		B4.3	7,23	7,23
56			7,23	
57			7,23	
58	Pumice Fiber	D1.1	12,801	12,801
59	Normal		12,801	
60			12,801	
61		D1.2	9,571	9,571
62			9,571	
63			9,571	
64		D1.3	11,381	11,381
65			11,381	
66			11,381	
67	Pumice Normal	D2.1	12,784	12,784
68			12,784	
69			12,784	
70		D2.2	10,086	10,086
71			10,086	
72			10,086	



No.	Nama Sampel	Kode	Kuat Tekan (f'c) Mpa	Rata2
73		D2.3	11,749	11,749
74			11,749	
75			11,749	
76	Pumice Pilin A	D3.1	8,423	8,423
77			8,423	
78			8,423	
79		D3.2	13,57	13,57
80			13,57	
81			13,57	
82		D3.3	11,698	11,698
83			11,698	
84			11,698	
85	Pumice Pilin B	D4.1	13,785	13,785
86			13,785	
87			13,785	
88		D4.2	9	9
89			9	
90			9	
91			9	
92		D4.3	11,551	11,551



No.	Nama Sampel	Kode	Kuat Tekan (f'c) Mpa	Rata2
93			11,551	
94			11,551	
95	Beton Recycle	C1.1	27,67	27,67
96			27,67	
97			27,67	
98		C1.2	26,65	26,65
99			26,65	
100			26,65	
101		C1.3	29,25	29,25
102			29,25	
103			29,25	



#### Gambar 4.1 Kuat Tekan Sampel Beton Silinder dengan Uji Tekan

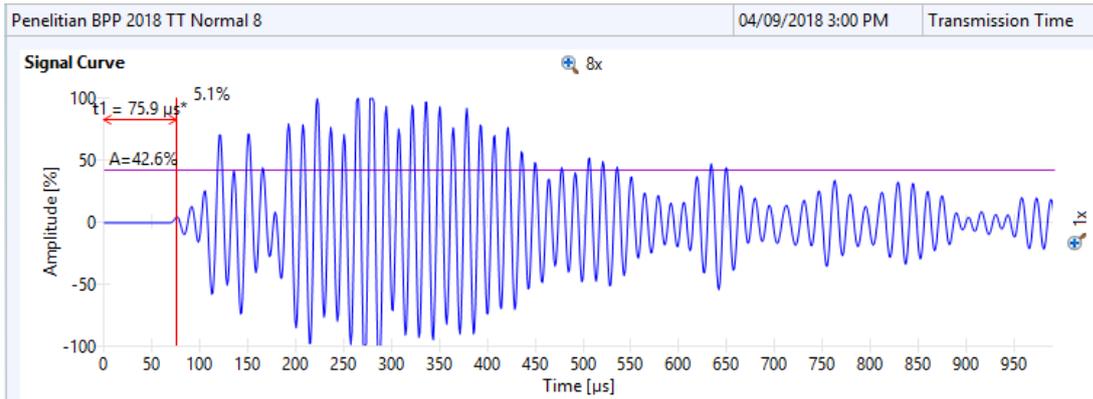
Sumber: Hasil Penelitian

Didapatkan kesimpulan hasil dari pengujian kuat tekan pada tabel 4.9 menunjukkan bahwa kuat tekan beton aktual sebagian besar hasilnya lebih kecil dari kuat tekan rencana. Hal tersebut dapat disebabkan akibat proses pengerjaan beton yang kurang sempurna baik pada proses pengadukan hingga proses vibrasi berlangsung.

### 4.3 Hasil Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

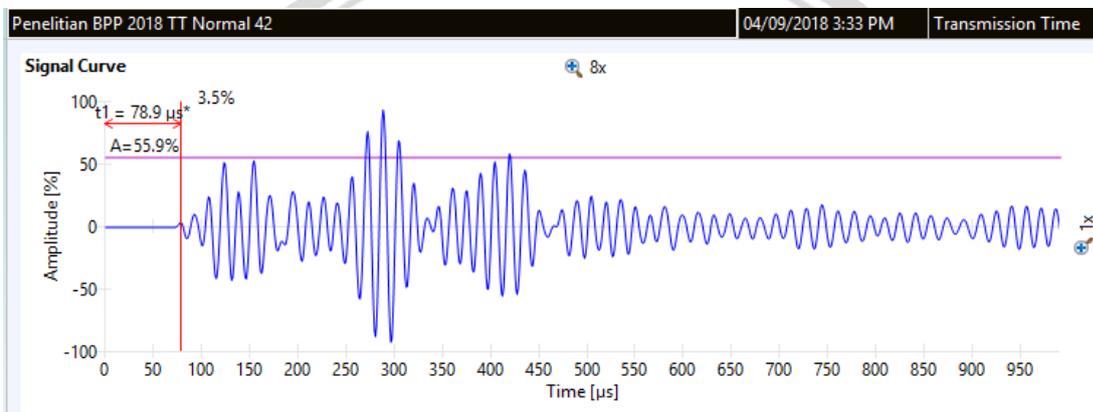
Pengujian UPV dilakukan pada benda uji silinder pada 4 jenis variasi beton, seperti yang sudah dijelaskan pada sub bab sebelumnya. Pengujian UPV dilakukan menggunakan alat *PUNDIT PL-200* dari *PROCEQ* dengan menggunakan 2 (dua) mode pengukuran yaitu mode *transmission time* (TT) dan *pulse velocity* (PV) pada sample yang sama. Pada penggunaan secara umum, kedua moda tersebut menghasilkan data yang berbeda. *Output* yang dihasilkan pada mode TT yaitu waktu transmisi gelombang sedangkan *output* dari mode PV yaitu cepat rambat gelombang. Pada penelitian menggunakan mode pengukuran yaitu *Transmission Time* (TT). Untuk mendapatkan cepat rambat gelombang, perlu diketahui jarak rambat untuk diinputkan ke pada alat tersebut. Pada penelitian ini digunakan metode langsung (*direct method*), sehingga jaraknya adalah 30 cm (tinggi silinder) yang kemudian dibagi dengan waktu transmisi sesuai dengan rumus (2-2). Dari kedua moda tersebut didapatkan *output* asli (*raw*) yang sama berupa waveform. Kemudian akan didapatkan parameter – parameter gelombang dengan menggunakan aplikasi *PL-Link* seperti amplitudo dan waktu transmisi seperti dijelaskan pada gambar 4.2 hingga 4.5 .

Parameter yang di ambil pada pengujian UPV adalah (1)  $t_0$  dan  $A_0$  yaitu waktu dan amplitudo gelombang pertama terdeteksi beton yang menjadi acuan, (2)  $t_1$  dan  $A_1$  yaitu waktu dan amplitudo gelombang pertama beton, (3)  $t_{maks}$  dan  $A_{maks}$  yaitu waktu dan amplitudo gelombang saat kondisi maksimum dan (4)  $t_2$  dan  $A_2$  yaitu waktu dan amplitudo gelombang ketika terjadi pergantian fase gelombang pertama. Sebagai contoh pada gambar 4.2 – 4.5. Untuk sample Beton Normal sebagai acuan didapatkan  $t_0$  sebesar 75,9  $\mu s$  dan  $A_0$  sebesar 5,1 %, sedangkan untuk sample Fiber Kait sebagai pembanding didapatkan  $t_1$  sebesar 78,9  $\mu s$ ;  $A_1$  sebesar 3,5%;  $t_{maks}$  sebesar 241,3  $\mu s$ ;  $A_{maks}$  sebesar 17,9% ;  $t_2$  sebesar 153,3  $\mu s$ ;  $A_2$  sebesar 51,5%.



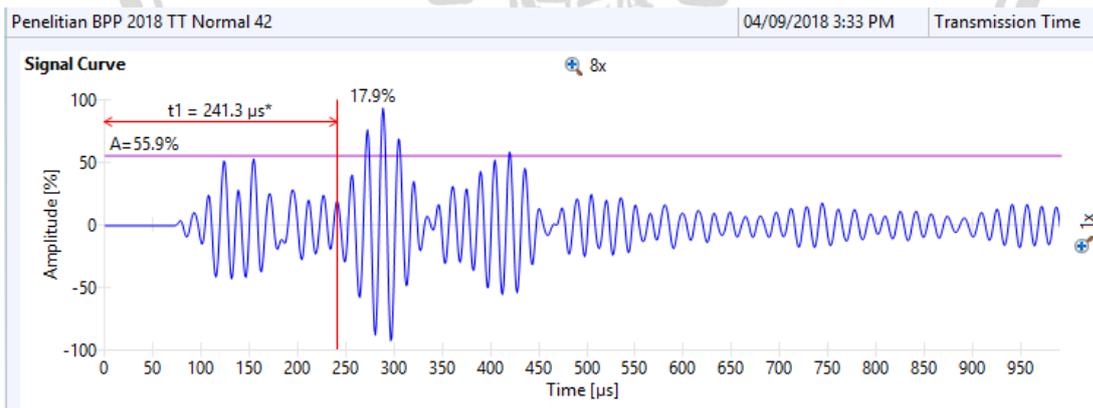
Gambar 4.2 Contoh Pengambilan Parameter  $t_0$  dan  $A_0$  Beton Acuan.

Sumber: Proceq, 2014



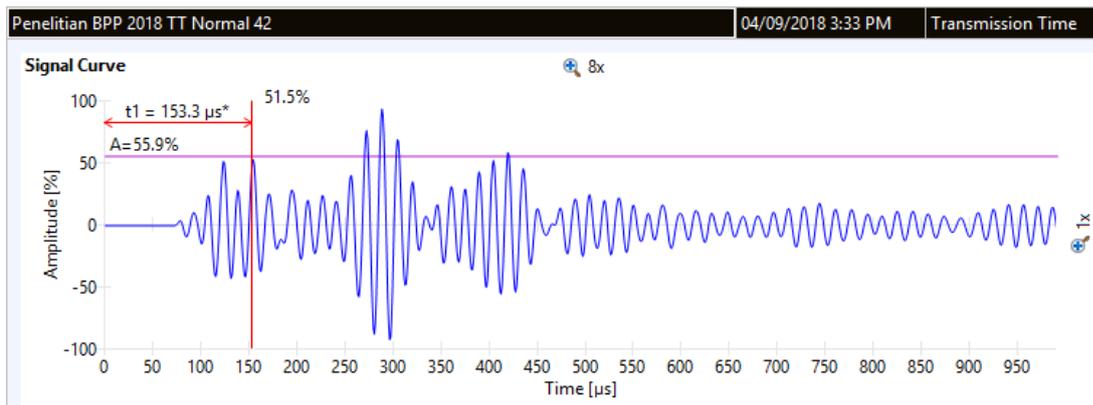
Gambar 4.3 Contoh Pengambilan Parameter  $t_1$  dan  $A_1$  Beton Pemandang.

Sumber: Proceq, 2014



Gambar 4.4 Contoh Pengambilan Parameter  $t_2$  dan  $A_2$  Beton Pemandang.

Sumber: Proceq, 2014



Gambar 4.5 Contoh Pengambilan Parameter  $t_{maks}$  dan  $A_{maks}$  Beton Pemandangan.

Sumber: Proceq, 2014

Konversi satuan untuk nilai Amplitudo yaitu dengan satuan persen (%). Nilai maksimum untuk alat UPV dalam satuan decibel (dB) adalah 80 dB. Satuan decibel merupakan satuan dari intensitas suara.

#### 4.3.1 Pengambilan Sampel Beton Acuan dengan Pengukuran Moda TT (*Transmission Time*)

Pada penelitian ini diambil sampel beton yang akan dijadikan sebagai beton acuan dalam penentuan kualitas beton berdasarkan karakteristik gelombangnya. Pada penelitian ini terdapat 4 benda uji dengan agregat kasar yang berbeda – beda, untuk itulah kami mengambil sampel beton normal sebagai beton acuan. Sampel yang dijadikan sebagai beton acuan yaitu sampel silinder dengan perbandingan *mix design* 1:2:3 (semen: agregat halus: agregat kasar) dengan nilai  $f_{as}$  sebesar 0,6 dan  $f_c'$  rata – rata sebesar 13,52 MPa dikarenakan perbandingan tersebut merupakan perbandingan yang sesuai dengan SNI 03-2834-2000.

Pada gambar 2.15 *Case 1*, dapat dilihat bahwa beton dengan kualitas baik dan kekuatan tinggi didapatkan nilai  $t_1 < t_0$  dan  $A_1 > A_0$  dan setelah dilakukan pengujian dengan beton pemandangan, beton normal dengan kode N1.2 paling banyak memenuhi persyaratan tersebut. Untuk itu kami memilih beton normal dengan kode N1.2 berdasarkan data parameter *waveform* yang telah di uji sebanyak 3 kali pada setiap sampelnya dengan pengujian sebagai berikut pada tabel 4.10.

Tabel 4.10

Rekapitulasi Data Parameter Waveform TT Beton Acuan

No.	Nama Sample	Kode	Waktu ( $\mu$ s)		Amplitudo (%)	
			t0	Rata – Rata	A0	Rata- Rata
1	Normal	N1.1	78,9	78,9	1,9	1,43333333
2			78,9		1	
3			78,9		1,4	
4		N1.2	75,9	75,9	3,1	4
5			75,9		3,8	
6			75,9		5,1	
7		N1.3	78,9	78,9	1,5	1,7
8			78,9		1,6	
9			78,9		2	

#### 4.3.2 Pengukuran dengan Moda TT (Transmission Time) Beton Pemanding

Pengujian dilakukan pada ke 4 (empat) benda uji silinder dengan perbedaan agregat kasar, dimana setiap sampelnya di uji lebih dari 1 (satu) kali. Berikut adalah hasil pengujian dan analisis *waveform* untuk moda TT terdapat pada tabel 4.11 berikut.

Tabel 4.11

Rekapitulasi Data Parameter *Waveform TT* Beton Pemanding

No.	Nama Sample	Kode	Waktu ( $\mu$ s)				Amplitudo (%)			
			t1	Rata2	tmaks	t2	A1	Rata2	Amaks	A2
1	Fiber	A1.1	78,9	76,4	150,2	179,1	2,8	2,067	56,7	15,6
2	Normal		75,9		150,2	179,1	1,3		34,8	18,6

3			74,4		150,2	180,6	2,1		30,5	11
4		A1.2	74,4	74,4	163,9	192,7	2,4	2,433	44	8
5			74,4		162,4	206,4	1,7		32,8	5,4
6			74,4		163,9	223,1	3,2		69,8	4
7		A1.3	75,9	74,9	163,9	192,7	2,1	2,6	54	21
8			74,4		162,4	214	2,7		30	9
9			74,4		148,7	191,2	3		42,4	18,6
10	Fiber	A2.1	78,9	79,4	156,3	236,7	1,5	1,133	42,1	13,7
11	Kait		78,9		173	233,7	1		36,9	7,4
12			80,4		154,8	230,6	0,9		43,3	1,6
13		A2.2	78,9	78,9	154,8	201,8	1,5	2,8	29,1	12,1
14			78,9		124,4	258	3,4		46,3	1,8
15			78,9		153,3	241,3	3,5		51,5	17,9
16		A2.3	77,4	77,4	153,3	214	3,3	2,4	48,6	8,2
17			77,4		153,3	212,4	2,5		42	4,5
18			77,4		153,3	183,6	1,4		32	6,8
19	Beton	B1.1	54,6	55,633	147,2	188,2	5,7	4,933	36,8	13,3
20	Porous		57,7		127,5	189,7	4,9		29,1	4,6
21	Normal		54,6		125,9	186,6	4,2		23,5	12,9
22		B1.2	62,2	61,2	163,9	182,1	1,2	0,833	22,2	4,3
23			60,7		223,1	298,9	0,8		37,8	9,5
24			60,7		221,5	285,3	0,5		44,2	16,1

25		B1.3	59,2	58,2	194,2	268,6	6,5	5,4	47,7	25,4
26			57,7		194,2	298,9	4,7		48,1	10,4
27			57,7		227,6	330,8	5		50,8	54,8
28	Beton	B2.1	53,1	55,133	144,2	265,5	4,7	3,4	33,2	15,2
29	Porous 1		57,7		244,3	274,6	4,5		23,3	9,7
30			54,6		143,4	231,8	1		21,6	7,1
31		B2.2	54,6	54,1	145,7	207,9	6,2	6,5	58,3	31,3
32			53,1		192,7	279,2	6		32,4	14,4
33			54,6		142,6	207,9	7,3		74,9	27,5
34		B2.3	53,1	52,6	138,1	183,6	5,5	4,867	40,4	20,4
35			51,6		138,1	201,8	4		33,9	7,6
36			53,1		171,5	209,4	5,1		41,7	27,1
37	Beton	B3.1	62,2	60,7	262,5	280,7	3,5	3,7	77,4	25,3
38	Porous Recycle		59,2		148,7	295,9	3,9		38,9	16,2
39			60,7		262,5	280,7	3,7		77,4	25,3
40		B3.2	57,7	58,2	262,5	298,9	3,1	2	29,2	9,4
41			57,7		314,1	386,9	2,2		58,3	32,4
42			59,2		203,3	270,1	0,7		29,9	11,8
43		B3.3	54,6	55,6	244,3	330,8	3,2	3,4	66,4	22,5
44			56,1		214	230,6	3		41	4
45			56,1		188,2	227,6	4		52,4	6
46		B4.1	50,1	50,1	122,9	171,5	8,4	5,8	66,3	27

47	Beton		50,1		163,9	192,7	3,6		60,3	4,7
48	Porous 2		50,1		209,4	247,3	5,4		60	32,9
49		B4.2	53,1	51,6	192,7	318,6	4,5	5,067	50	4,1
50			48,6		192,7	286,8	6,2		65,5	12,4
51			53,1		194,2	233,7	4,5		67,9	45,1
52		B4.3	54,6	53,6	163,9	189,7	5,1	5,433	44,5	11,6
53			53,1		223,1	248,9	4,8		43,2	5,1
54			53,1		223,1	245,8	6,4		34,7	24,2
55	Pumice	D1.1	81,9	82,433	207,9	251,9	2,8	2,3	47,1	12,6
56	Fiber Normal		81,9		229,1	273,1	2,4		46,9	26,2
57			83,5		229,1	244,3	1,7		50,4	16,2
58		D1.2	80,4	82,967	218,5	248,9	2,4	1,733	54,9	25,3
59			83,5		261	320,2	1,7		47,2	0,7
60			85		326,2	358,1	1,1		33	6,7
61		D1.3	81,9	80,4	168,4	261	4,2	3,9	58,8	19,6
62			80,4		230,6	321,7	3,9		35,5	15,7
63			78,9		214	291,3	3,6		56,5	12,1
64	Pumice	D2.1	77,4	77,4	183,6	244,3	0,9	1,4	32,3	14
65	Normal		77,4		168,4	229,1	1,9		58,1	28,4
66			77,4		185,1	203,3	1,4		42,6	27,3
67		D2.2	77,4	77,9	153,3	188,2	0,8	1,5	36	13,5
68			77,4		248,9	292,9	1,7		60,4	29,8

<b>69</b>			78,9		248,9	350,5	2		49,5	20,7
<b>70</b>		D2.3	85	73,467	376,3	424,9	4,6	2,7	63,6	14,4
<b>71</b>			81,9		317,1	358,1	1,9		35	16,9
<b>72</b>			53,5		168,4	277,7	1,6		32,1	1,5
<b>73</b>	Pumice	D3.1	81,9	80,9	198,8	368,7	2,8	2,233	53,7	5,4
<b>74</b>	Pilin A		80,4		159,3	264	2,5		26,4	18,3
<b>75</b>			80,4		365,7	423,3	1,4		47	9
<b>76</b>		D3.2	77,4	77,4	221,5	253,4	1,4	2,133	47,7	16,3
<b>77</b>			77,4		220	279,2	2,8		62,6	28,2
<b>78</b>			77,4		277,7	408,2	2,2		57,9	26,9
<b>79</b>		D3.3	78,9	78,4	125,9	212,4	4	3,767	58,3	11,4
<b>80</b>			77,4		124,4	168,4	3,6		43,4	4,2
<b>81</b>			78,9		258	347,5	3,7		56,8	0,9
<b>82</b>	Pumice	D4.1	78,9	78,9	403,6	722,3	1,7	1,9	50,2	11,8
<b>83</b>	Pilin B		78,9		522	838,4	1,7		39,5	6,3
<b>84</b>			78,9		464,3	681,3	2,3		57,8	14,4
<b>85</b>		D4.2	78,9	79,275	303,5	347,5	2,2	2,175	67,9	23,7
<b>86</b>			80,4		421,8	450,7	1,1		41,4	14,7
<b>87</b>			78,9		359,6	390	1,7		49	27,9
<b>88</b>			78,9		282,2	371,8	3,7		45,9	20,4
<b>89</b>		D4.3	81,9	80,4	160,8	245,8	3,2	3	59,9	25,4
<b>90</b>			80,4		276,2	394,5	3,3		51	7,9

91			78,9		157,8	247,3	2,5		58,8	23,4
92	Beton	C1.1	75,9	75,867	166,9	195,7	6	6,3333	37,2	18,4
93	Recycle		75,9		268,6	195,7	6,8		66,4	17,8
94			75,8		166,9	195,7	6,2		29,3	20,4
95		C1.2	74,4	74,4	162,4	191,2	5,7	4,7	37,1	34
96			74,4		176,6	191	4,7		40	31,3
97			74,4		279,2	336,9	3,7		65,3	44,8
98		C1.3	74,4	74,4	179,1	207,9	4,5	11	31,2	26,5
99			74,4		265,5	499,2	14,9		67,9	10
100			74,4		148,7	179,1	13,6		29,9	7,4

#### 4.4 Hubungan Antara Kuat Tekan Beton dengan Parameter Gelombang

Setiap benda uji di rata – rata untuk didapatkan hubungan antara kuat tekan beton dengan parameter – parameter gelombang. Perbandingan antara kuat tekan dan parameter gelombang disajikan pada tabel 4.12 dan 4.13 dibawah ini.

Tabel 4.12

Rekapitulasi Kuat Tekan serta Parameter t1 dan A1 untuk waveform TT Beton Acuan

No.	Nama Sampel	Kode	Kuat Tekan (f'c) Mpa	Rata2	Waktu Trans-misi (μs)	Rata2	Amplitudo (%)	Rata2
1	Normal	N1.2	13,52	13,52	75,9	75,9	3,1	4
2			13,52		75,9		3,8	
3			13,52		75,9		5,1	

Tabel 4.13

Rekapitulasi Kuat Tekan serta Parameter t1 dan A1 untuk waveform TT Beton

Pembanding

No.	Nama Sampel	Kode	Kuat Tekan (f'c) Mpa	Rata2	Waktu Transmisi ( $\mu$ s)	Rata2	Amplitudo (%)	Rata2
1	Fiber Normal	A1.1	20,58	20,58	78,9	76,4	2,8	2,06667
2			20,58		75,9		1,3	
3			20,58		74,4		2,1	
4		A1.2	21,35	21,35	74,4	74,4	2,4	2,43333
5			21,35		74,4		1,7	
6			21,35		74,4		3,2	
7		A1.3	15,05	15,05	75,9	74,9	2,1	2,6
8			15,05		74,4		2,7	
9			15,05		74,4		3	
10	Fiber Kait	A2.1	13,41	13,41	78,9	79,4	1,5	1,13333
11			13,41		78,9		1	
12			13,41		80,4		0,9	
13		A2.2	15,87	15,87	78,9	78,9	1,5	2,8
14			15,87		78,9		3,4	
15			15,87		78,9		3,5	
16		A2.3	18,33	18,33	77,4	77,4	3,3	2,4
17			18,33		77,4		2,5	

18			18,33		77,4		1,4	
19	Beton	B1.1	7,311	7,311	54,6	55,633	5,7	4,93333
20	Porous Normal		7,311		57,7		4,9	
21			7,311		54,6		4,2	
22		B1.2	5,881	5,881	62,2	61,2	1,2	0,83333
23			5,881		60,7		0,8	
24			5,881		60,7		0,5	
25		B1.3	3,557	3,557	59,2	58,2	6,5	5,4
26			3,557		57,7		4,7	
27			3,557		57,7		5	
28	Beton	B2.1	5,434	5,434	53,1	55,133	4,7	3,4
29	Porous 1		5,434		57,7		4,5	
30			5,434		54,6		1	
31		B2.2	9,07	9,07	54,6	54,1	6,2	6,5
32			9,07		53,1		6	
33			9,07		54,6		7,3	
34		B2.3	6,619	6,619	53,1	52,6	5,5	4,86667
35			6,619		51,6		4	
36			6,619		53,1		5,1	
37	Beton	B3.1	6,291	6,291	62,2	60,7	3,5	3,7
38	Porous Recycle		6,291		59,2		3,9	
39			6,291		60,7		3,7	

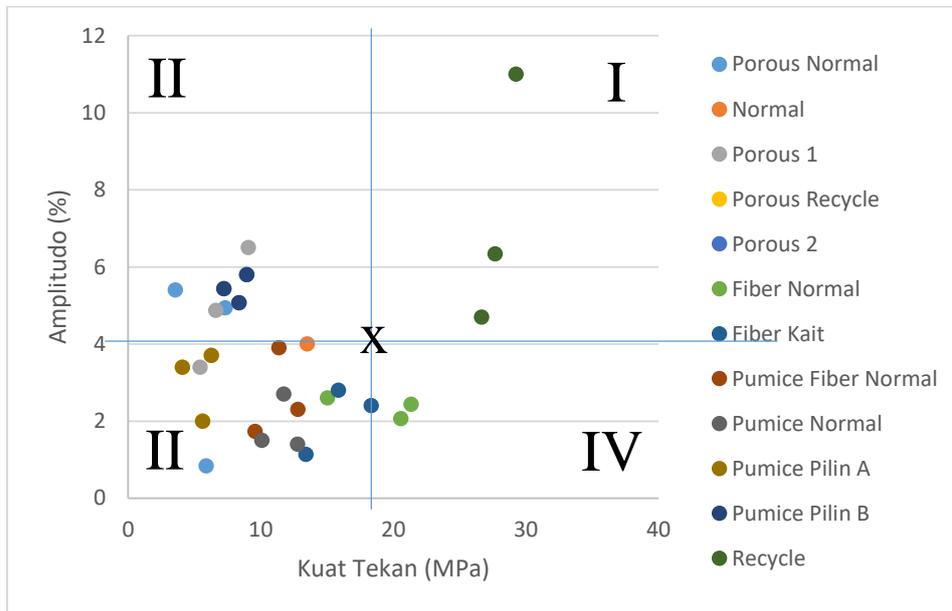
40		B3.2	5,618	5,618	57,7	58,2	3,1	2
41			5,618		57,7		2,2	
42			5,618		59,2		0,7	
43		B3.3	4,087	4,087	54,6	55,6	3,2	3,4
44			4,087		56,1		3	
45			4,087		56,1		4	
46	Beton	B4.1	8,94	8,94	50,1	50,1	8,4	5,8
47	Porous 2		8,94		50,1		3,6	
48			8,94		50,1		5,4	
49		B4.2	8,37	8,37	53,1	51,6	4,5	5,06667
50			8,37		48,6		6,2	
51			8,37		53,1		4,5	
52		B4.3	7,23	7,23	54,6	53,6	5,1	5,43333
53			7,23		53,1		4,8	
54			7,23		53,1		6,4	
55	Pumice	D1.1	12,801	12,801	81,9	82,433	2,8	2,3
56	Fiber		12,801		81,9		2,4	
57	Normal		12,801		83,5		1,7	
58		D1.2	9,571	9,571	80,4	82,967	2,4	1,73333
59			9,571		83,5		1,7	
60			9,571		85		1,1	
61		D1.3	11,381	11,381	81,9	80,4	4,2	3,9

<b>62</b>			11,381		80,4		3,9	
<b>63</b>			11,381		78,9		3,6	
<b>64</b>	Pumice	D2.1	12,784	12,784	77,4	77,4	0,9	1,4
<b>65</b>	Normal		12,784		77,4		1,9	
<b>66</b>			12,784		77,4		1,4	
<b>67</b>		D2.2	10,086	10,086	77,4	77,9	0,8	1,5
<b>68</b>			10,086		77,4		1,7	
<b>69</b>			10,086		78,9		2	
<b>70</b>		D2.3	11,749	11,749	85	73,467	4,6	2,7
<b>71</b>			11,749		81,9		1,9	
<b>72</b>			11,749		53,5		1,6	
<b>73</b>	Pumice	D3.1	8,423	8,423	81,9	80,9	2,8	2,23333
<b>74</b>	Pilin A		8,423		80,4		2,5	
<b>75</b>			8,423		80,4		1,4	
<b>76</b>		D3.2	13,57	13,57	77,4	77,4	1,4	2,13333
<b>77</b>			13,57		77,4		2,8	
<b>78</b>			13,57		77,4		2,2	
<b>79</b>		D3.3	11,698	11,698	78,9	78,4	4	3,76667
<b>80</b>			11,698		77,4		3,6	
<b>81</b>			11,698		78,9		3,7	
<b>82</b>	Pumice	D4.1	13,785	13,785	78,9	78,9	1,7	1,9
<b>83</b>	Pilin B		13,785		78,9		1,7	

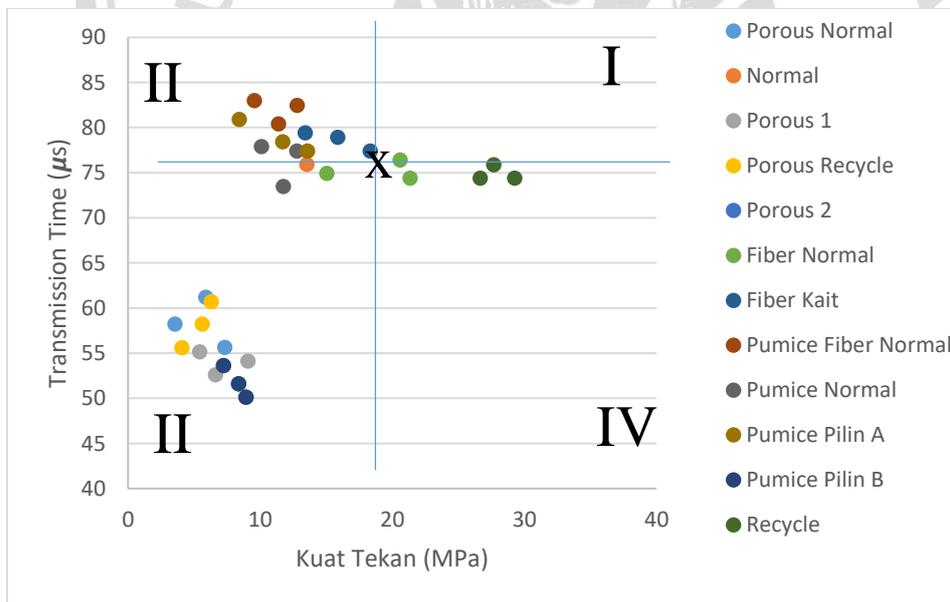
84			13,785		78,9		2,3	
85		D4.2	9	9	78,9	79,275	2,2	2,175
86			9		80,4		1,1	
87			9		78,9		1,7	
88			9		78,9		3,7	
89		D4.3	11,551	11,551	81,9	80,4	3,2	3
90			11,551		80,4		3,3	
91			11,551		78,9		2,5	
92	Beton	C1.1	27,67	27,67	75,9	75,867	6	6,3333
93	Recycle		27,67		75,9		6,8	
94			27,67		75,8		6,2	
95		C1.2	26,65	26,65	74,4	74,4	5,7	4,7
96			26,65		74,4		4,7	
97			26,65		74,4		3,7	
98		C1.3	29,25	29,25	74,4	74,4	4,5	11
99			29,25		74,4		14,9	
100			29,25		74,4		13,6	

Dari data di atas dapat diketahui bahwa beton dengan (*mix design*) perbandingan dan pemilihan agregat kasar yang berbeda dapat menghasilkan kuat tekan yang berbeda, dan sebagian besar kurang dari kuat tekan beton yang sudah direncanakan. Perbedaan tersebut dikarenakan adanya perbedaan kualitas atau mutu dari suatu benda uji yang disebabkan oleh perbedaan kerapatan dari masing – masing benda uji yang dipengaruhi oleh komposisi dan susunan dari bahan – bahan penyusun beton. Pada penelitian ini digunakan 4 jenis agregat kasar yang berbeda – beda dan hal tersebut mengakibatkan perbedaan kuat tekan beton yang

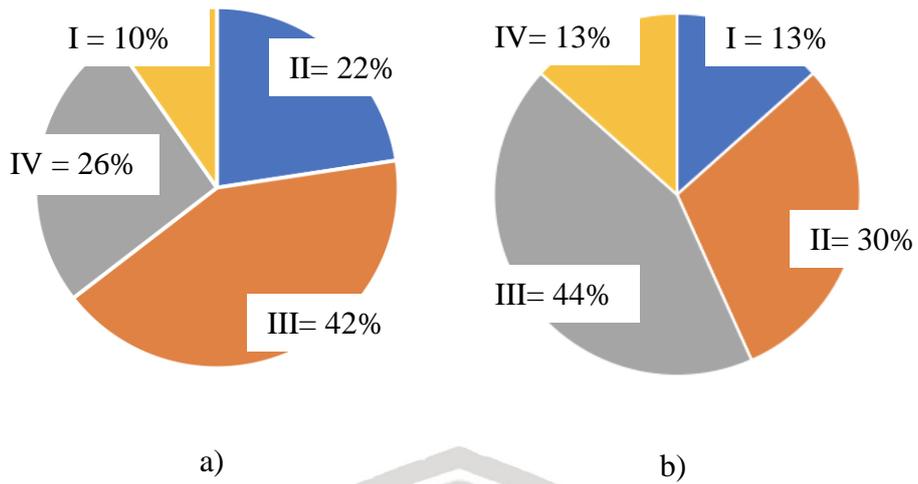
beragam. Kualitas dari beton tersebut sangat bergantung pada kualitas pengerjaan, mulai dari pencampuran bahan hingga pembuatan benda uji. Oleh karena itu, yang digunakan dalam analisis pada penelitian ini yaitu kuat tekan aktual dari masing – masing benda uji.



Gambar 4.6 Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Amplitudo.



Gambar 4.7 Hubungan Kuat Tekan Beton dengan *Transmission Time*.



Gambar 4.8 Prosentase Sebaran Data disetiap Kuadran

a) Amplitudo

b) Transmission Time dengan Metode TT.

Tabel 4.14

Contoh Cara Perhitungan Presentase Sebaran Data disetiap Kuadran pada Nilai Amplitudo dengan Metode TT.

No.	Kuadran	Jumlah	Presentase (%)
1	I	3	10
2	II	7	22
3	III	14	42
4	IV	8	26
<b>Total</b>		32	100

Dengan penjelasan kuadran I hingga IV nilai Amplitudo sebagai berikut:

1. Kuadran I =  $A_1 > A_0$  dan Kuat Tekan Beton Pemanding  $>$  Kuat Tekan Beton Acuan
2. Kuadran II =  $A_1 > A_0$  dan Kuat Tekan Beton Pemanding  $<$  Kuat Tekan Beton Acuan
3. Kuadran III =  $A_1 < A_0$  dan Kuat Tekan Beton Pemanding  $<$  Kuat Tekan Beton Acuan

4. Kuadran IV =  $A_1 < A_0$  dan Kuat Tekan Beton Perbandingan  $>$  Kuat Tekan Beton Acuan

Dengan penjelasan kuadran I hingga IV nilai *Transmission Time* sebagai berikut:

1. Kuadran I =  $t_1 > t_0$  dan Kuat Tekan Beton Perbandingan  $>$  Kuat Tekan Beton Acuan
2. Kuadran II =  $t_1 > t_0$  dan Kuat Tekan Beton Perbandingan  $<$  Kuat Tekan Beton Acuan
3. Kuadran III =  $t_1 < t_0$  dan Kuat Tekan Beton Perbandingan  $<$  Kuat Tekan Beton Acuan
3. Kuadran IV =  $t_1 < t_0$  dan Kuat Tekan Beton Perbandingan  $>$  Kuat Tekan Beton Acuan

Hubungan kuat tekan beton dengan parameter gelombang (*Transmission Time* dan Amplitudo) ditampilkan pada gambar 4.6 dan 4.7. Pada grafik tersebut didapatkan hubungan kuat tekan beton perbandingan  $t_1$  dan  $A_1$  dengan beton acuan  $t_0$  dan  $A_0$  ditunjukkan bahwa terdapat hubungan yang cukup signifikan pada metode TT tersebut.

Dari kedua data di atas dapat diketahui bahwa nilai perbandingan antara amplitudo dan kuat tekan dan *transmission time* dan kuat tekan lebih banyak pada kuadran III yaitu bernilai 42% untuk amplitudo terhadap kuat tekan dan 44% untuk *transmission time* terhadap kuat tekan. Sehingga dari data hasil pengujian benda uji dikatakan memiliki nilai amplitudo dan *transmission time* yang lebih besar dari beton acuan dan nilai kuat tekan yang lebih kecil daripada beton acuan.

Sebaran data pada hubungan Amplitudo dan kuat tekan pada beton acuan dan perbandingan relatif beragam, nilai amplitudo terhadap kuat tekan beton variasi *porous* cenderung lebih tinggi dari nilai amplitudo terhadap kuat tekan beton acuan, nilai amplitudo terhadap kuat tekan beton variasi *pumice* cenderung lebih rendah dari nilai amplitudo terhadap kuat tekan beton acuan, nilai amplitudo terhadap kuat tekan beton variasi *fiber* cenderung lebih rendah nilai amplitudo terhadap kuat tekan beton acuan, dan nilai Amplitudo terhadap kuat tekan beton variasi *recycle* cenderung lebih rendah nilai amplitudo terhadap kuat tekan beton acuan.

Sedangkan sebaran data pada hubungan *transmission time* dan kuat tekan pada beton acuan dan perbandingan relatif beragam pula, nilai *transmission time* terhadap kuat tekan beton variasi *porous* cenderung lebih rendah dari nilai *transmission time* terhadap kuat tekan beton acuan, nilai *transmission time* terhadap kuat tekan beton variasi *pumice* cenderung lebih tinggi dari nilai amplitudo terhadap kuat tekan beton acuan, nilai *transmission time*

terhadap kuat tekan beton variasi fiber cenderung lebih tinggi dari nilai *transmission time* terhadap kuat tekan beton acuan, dan nilai *transmission time* terhadap kuat tekan beton variasi *recycle* cenderung lebih rendah dari nilai *transmission time* terhadap kuat tekan beton acuan.

Pada beton variasi *porous* dimana kondisi agregat dengan homogenitas yang relatif tinggi yaitu hanya menggunakan agregat kasar saja tanpa menggunakan agregat halus, nilai Amplitudo lebih besar dari beton acuan dan nilai *transmission time* lebih rendah dari beton acuan. Nilai kuat tekan terhadap amplitudo dan *transmission time* memiliki nilai yang lebih rendah dari beton acuan.

Pada beton variasi *pumice* baik *pumice* tanpa fiber maupun dengan fiber dimana kondisi agregat dengan homogenitas yang relatif lebih rendah yaitu terdapat agregat halus dan agregat kasar dengan agregat kasar berupa batuan *pumice* dengan tekstur berpori atau berrongga sehingga menyebabkan kehilangan energi yang besar, maka nilai Amplitudo lebih rendah dari beton acuan dan nilai *transmission time* lebih besar dari beton acuan. Nilai kuat tekan terhadap amplitudo dan *transmission time* memiliki nilai yang lebih rendah dari beton acuan.

Pada beton variasi fiber normal dan kait dimana kondisi agregat dengan homogenitas yang relatif lebih rendah yaitu terdapat agregat halus dan agregat kasar dengan agregat kasar diberikan penambahan fiber dari serat baja, nilai Amplitudo lebih rendah dari beton acuan dan nilai *transmission time* lebih besar dari beton acuan. Nilai kuat tekan terhadap amplitudo dan *transmission time* memiliki nilai yang lebih tinggi dari beton acuan.

Pada beton variasi RCA dimana kondisi agregat dengan homogenitas yang relatif lebih rendah yaitu terdapat agregat halus dan agregat kasar dengan agregat kasar berasal dari *recycled* agregat dengan mutu K300 hingga K350, nilai Amplitudo lebih tinggi dari beton acuan dan nilai *transmission time* hampir mendekati dengan nilai dari beton acuan. Nilai kuat tekan terhadap amplitudo dan *transmission time* memiliki nilai yang lebih tinggi dari beton acuan.

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa hubungan kuat tekan beton dan amplitudo memiliki nilai yang beragam, tergantung pada komposisi beton itu sendiri. Dengan lebih banyaknya komposisi agregat kasar, maka nilai amplitudo terhadap kuat tekan akan lebih

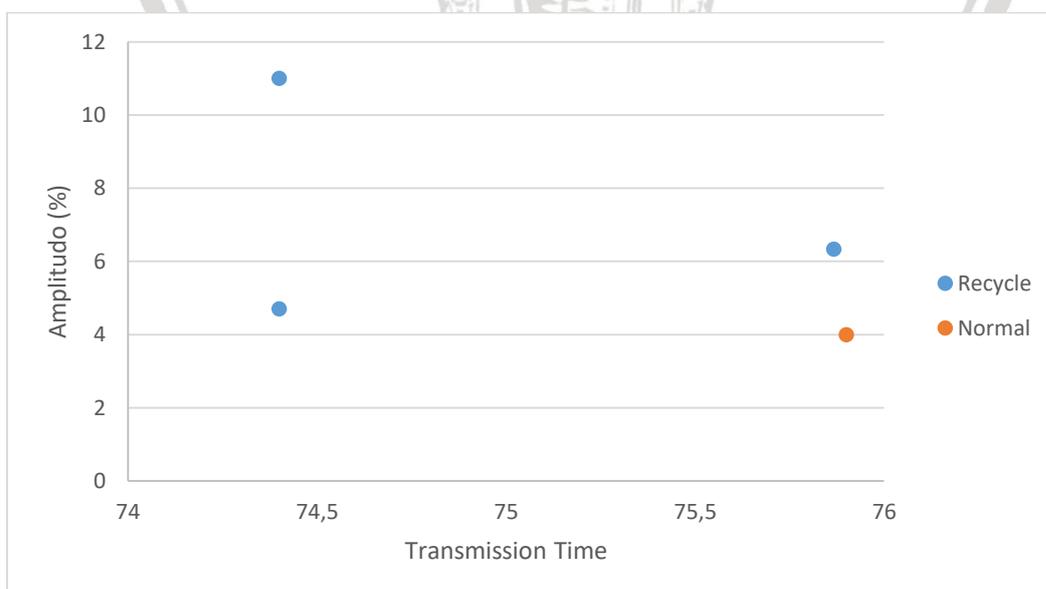
tinggi sedangkan apabila semakin banyaknya komposisi agregat kasar maka nilai *transmission time* terhadap kuat tekan akan lebih rendah.

Ketidakteraturan hasil pengukuran Amplitudo serta kuat tekan aktual yang lebih kecil dari kuat tekan rencana tersebut membuktikan bahwa sebagian besar benda uji beton pada penelitian ini memiliki homogenitas yang rendah. Nilai homogenitas yang rendah menyebabkan kehilangan energi lebih tinggi sehingga nilai amplitudo menjadi lebih rendah dan nilai *transmission time* menjadi lebih tinggi. Kemungkinan penyebabnya antara lain adanya rongga serta susunan agregat yang tidak seragam, yang merupakan faktor penting penunjang kekuatan dari beton.

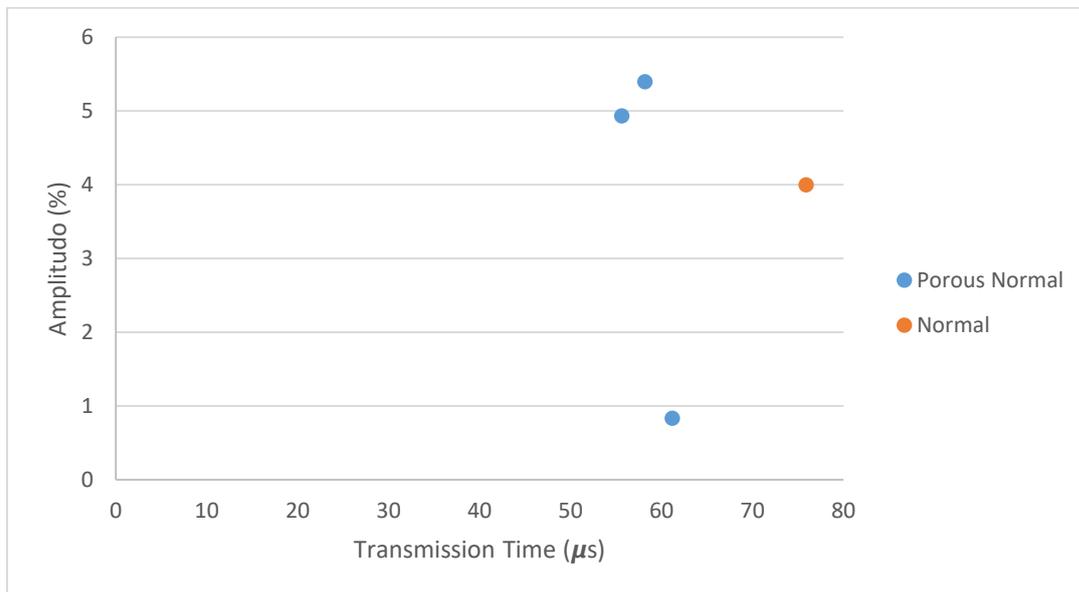
Sedangkan untuk nilai kuat tekan yang berpengaruh pada homogenitas yaitu bukan berarti semakin tinggi material yang seragam (homogenitas) maka menyebabkan nilai kuat tekan tinggi. Contohnya pada beton variasi porous karena terdapat rongga yang lebih banyak, maka menyebabkan nilai kuat tekan beton porous lebih rendah dari beton acuan.

#### 4.5 Hubungan Antara *Transmission Time* dengan Amplitudo

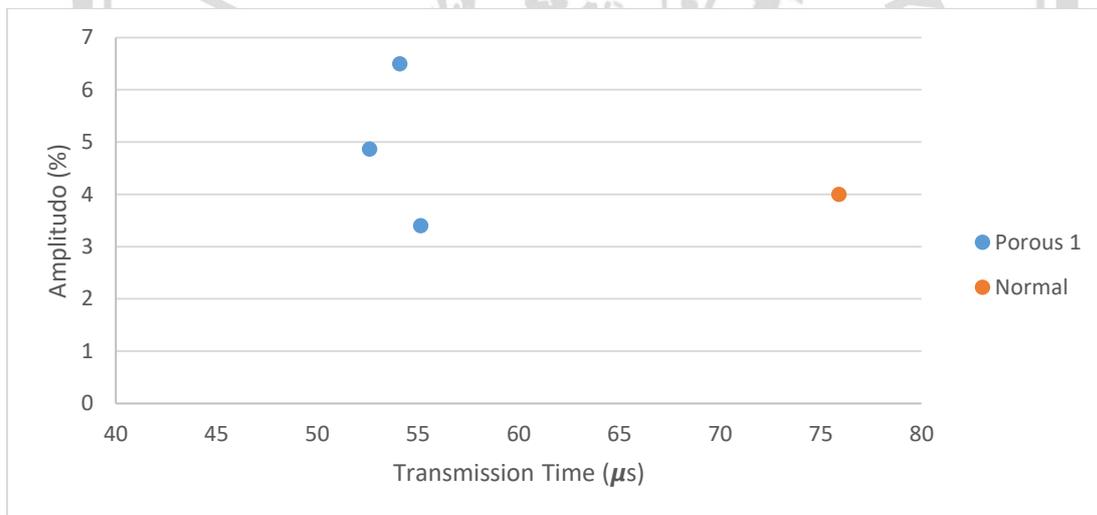
Dari hasil penelitian yang dilakukan dengan metode TT akan menghasilkan parameter gelombang. Dari parameter gelombang tersebut akan didapatkan nilai *transmission time* dan amplitudo. Pada Gambar 4.8 hingga 4.23 adalah hasil grafik dari perbandingan dari masing - masing benda uji terhadap beton acuan dan beton pembanding.



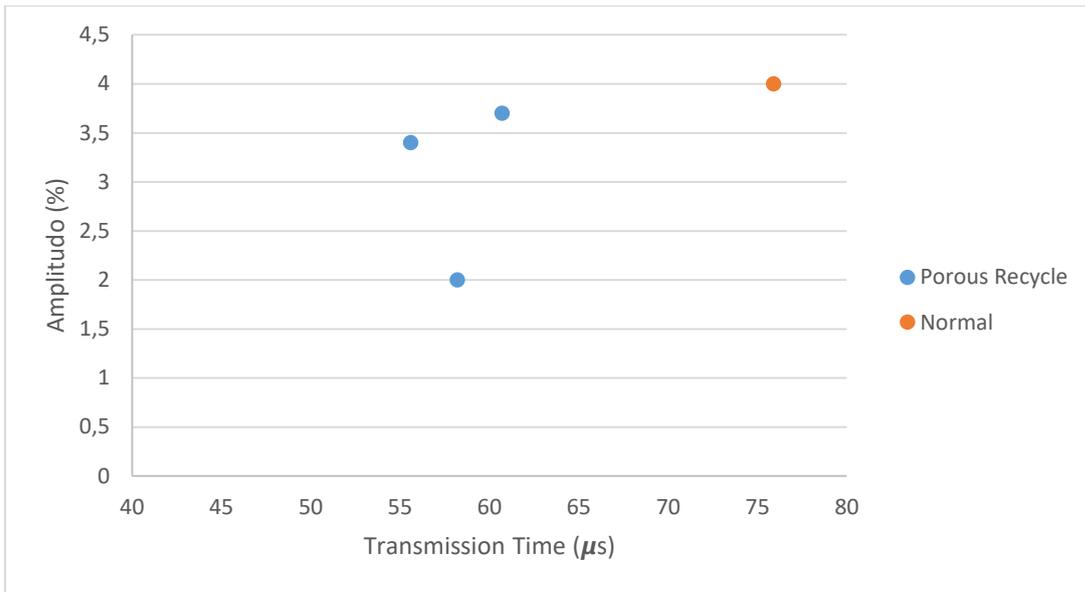
Gambar 4.9 Hubungan Amplitudo dan *Transmission Time* pada Beton Recycle



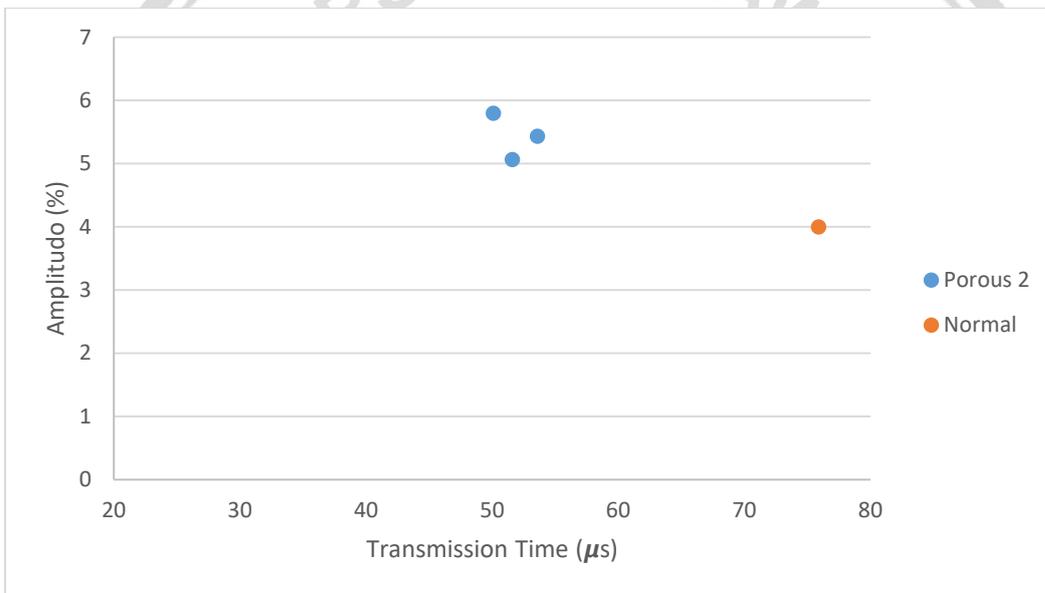
Gambar 4.10 Hubungan Amplitudo dan *Transmission Time* pada Beton Porous Normal



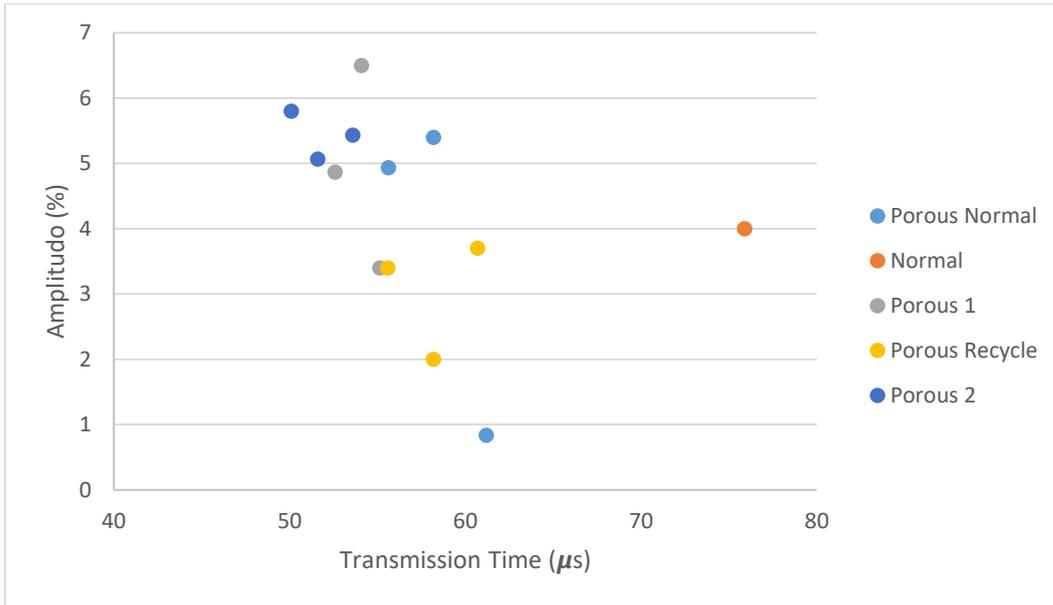
Gambar 4.11 Hubungan Amplitudo dan *Transmission Time* pada Beton Porous Porous



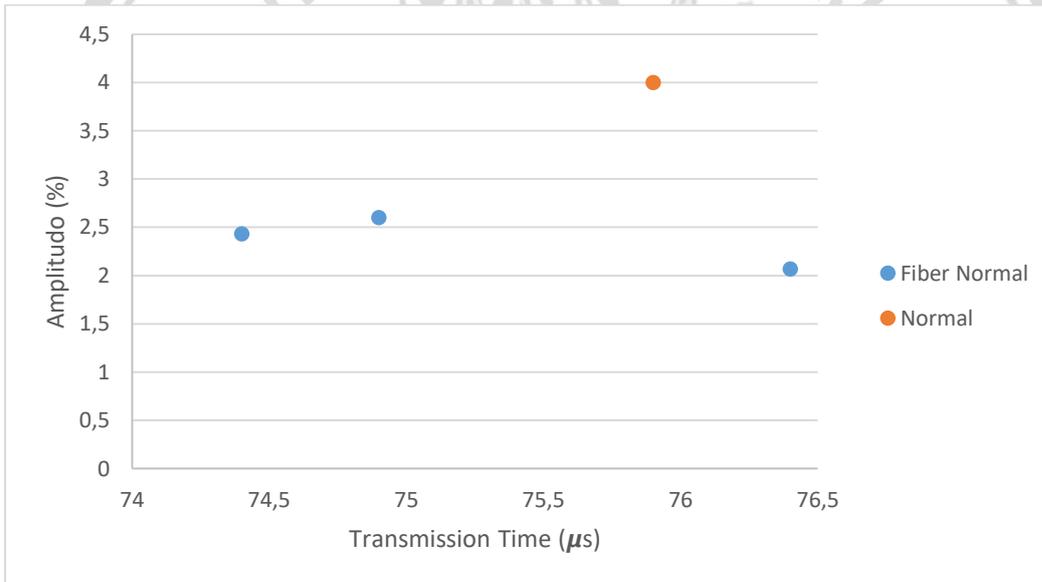
Gambar 4.12 Hubungan Amplitudo dan *Transmission Time* pada Beton Porous Recycle



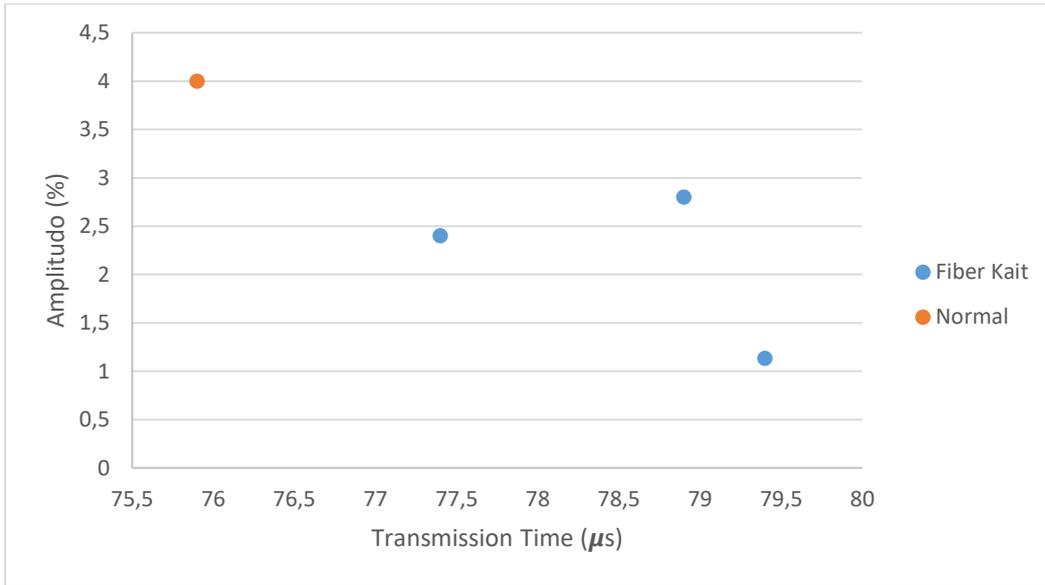
Gambar 4.13 Hubungan Amplitudo dan *Transmission Time* pada Beton Porous2



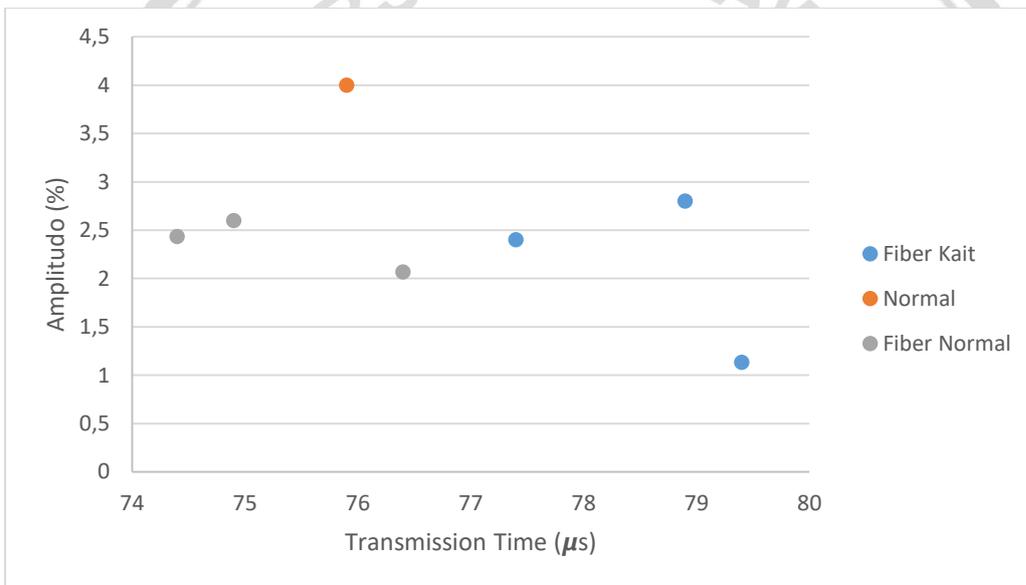
Gambar 4.14 Hubungan Amplitudo dan *Transmission Time* pada Beton Porous Keseluruhan



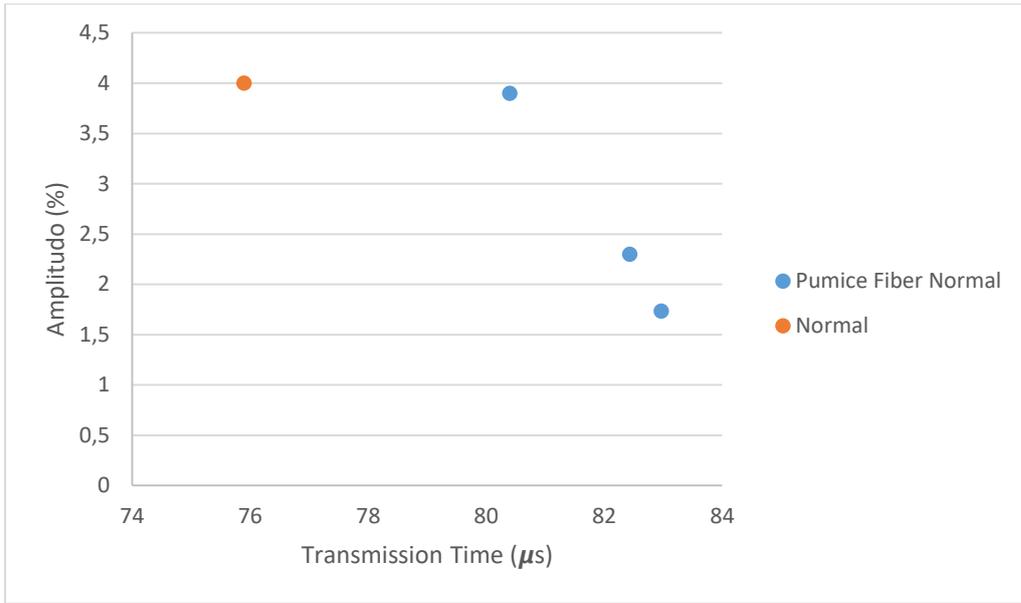
Gambar 4.15 Hubungan Amplitudo dan *Transmission Time* pada Beton Fiber Normal



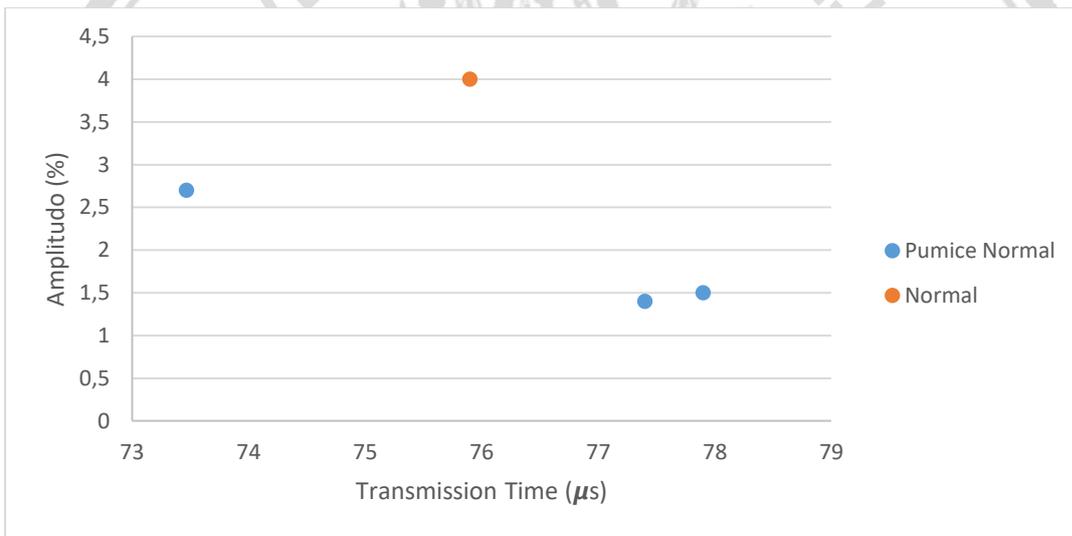
Gambar 4.16 Hubungan Amplitudo dan *Transmission Time* pada Beton Fiber Kait



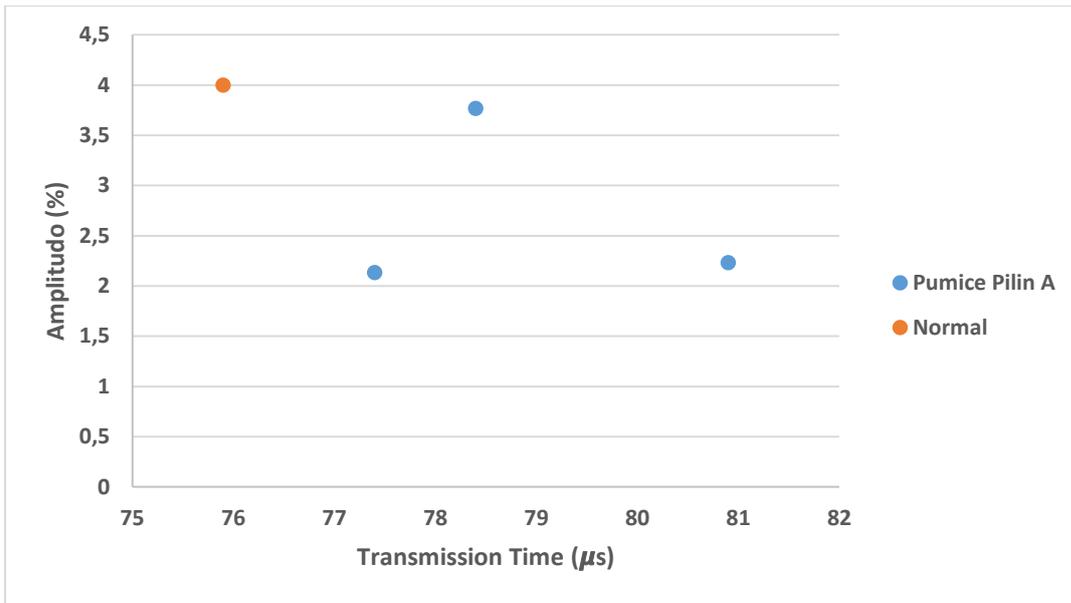
Gambar 4.17 Hubungan Amplitudo dan *Transmission Time* pada Beton Fiber Keseluruhan



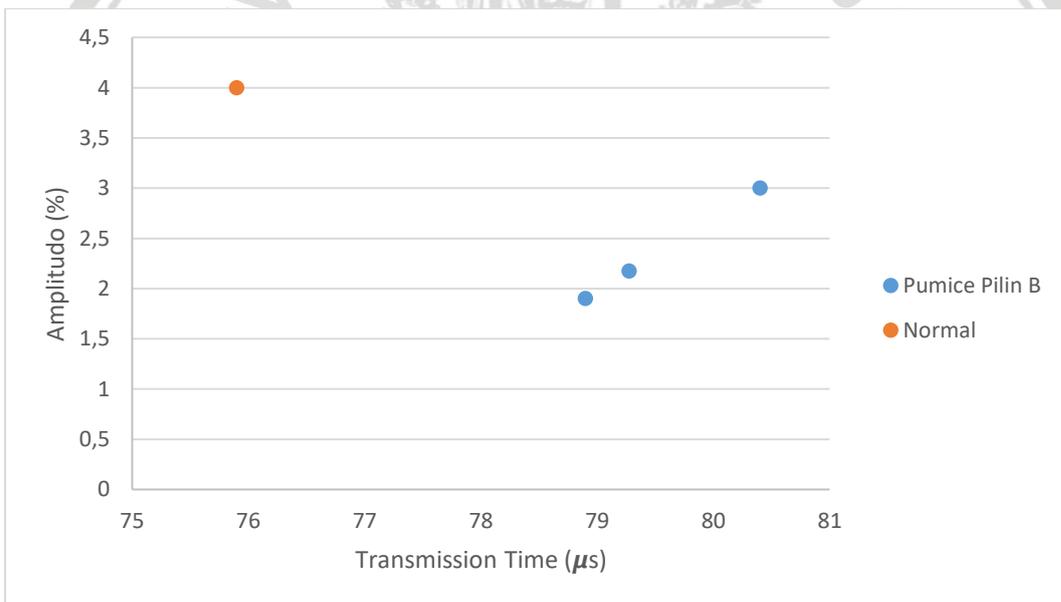
Gambar 4.18 Hubungan Amplitudo dan *Transmission Time* pada Beton Fiber Pumice Fiber Normal



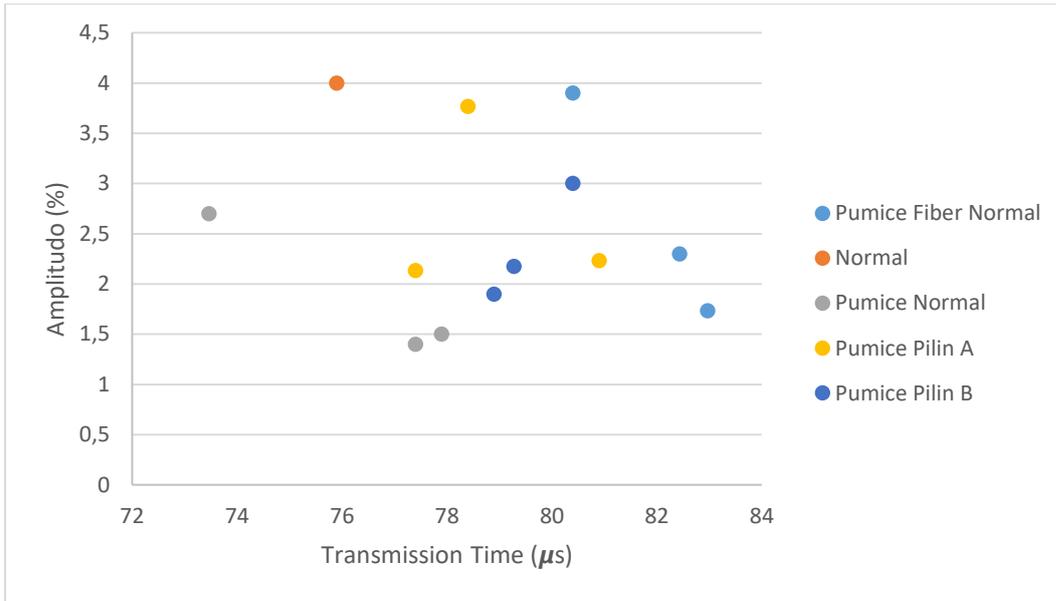
Gambar 4.19 Hubungan Amplitudo dan *Transmission Time* pada Beton Fiber Pumice Normal



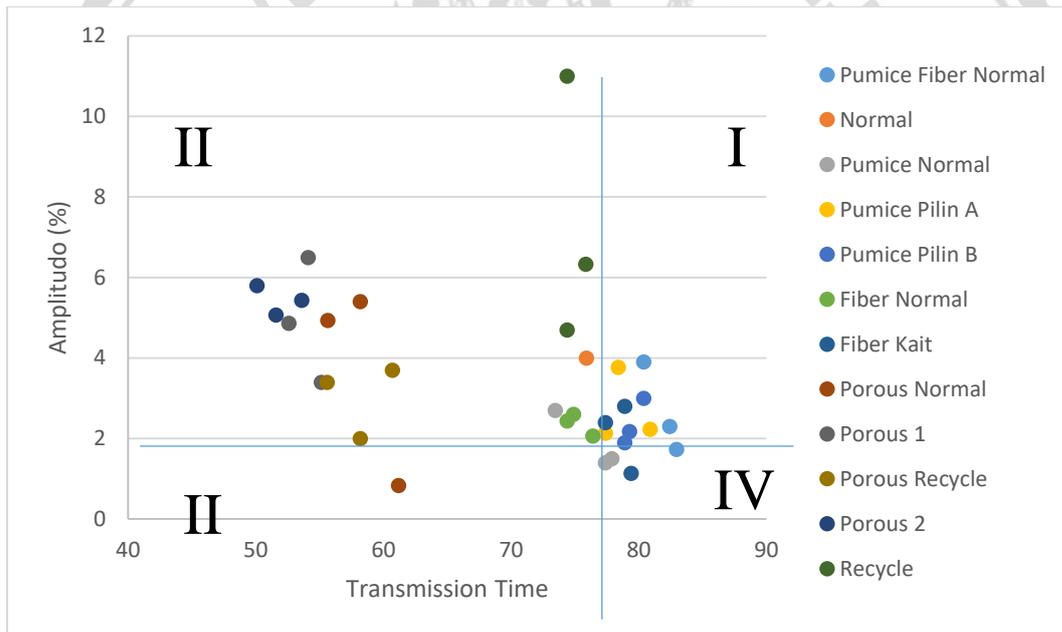
Gambar 4.20 Hubungan Amplitudo dan *Transmission Time* pada Beton Pumice Pilin A



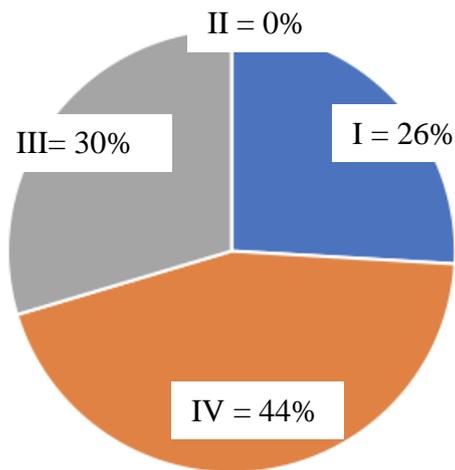
Gambar 4.21 Hubungan Amplitudo dan *Transmission Time* pada Beton Pumice Pilin B



Gambar 4.22 Hubungan Amplitudo dan *Transmission Time* pada Beton Pumice Keseluruhan



Gambar 4.23 Hubungan Amplitudo dan *Transmission Time* pada Seluruh Benda Uji



Gambar 4.24 Prosentase Sebaran Data disetiap Kuadran pada Grafik Hubungan antara Amplitudo dan *Transmission Time* dengan Metode TT

Dengan penjelasan kuadran I hingga IV sebagai berikut:

1. Kuadran I =  $t_1 > t_0$  dan  $A_1 > A_0$
2. Kuadran II =  $t_1 < t_0$  dan  $A_1 > A_0$
3. Kuadran III =  $t_1 < t_0$  dan  $A_1 < A_0$
4. Kuadran IV =  $t_1 > t_0$  dan  $A_1 < A_0$

Dari hasil pengujian dan perbandingan di atas dapat diketahui bahwa seluruh benda uji dapat diketahui mutunya dari analisis bentuk gelombang dengan perbandingan antara Amplitudo dan *transmission time* dari pengujian beton pembanding/eksisting dengan beton acuan. Untuk dapat mengetahui kondisi dan mutu dari beton pembanding dapat dilihat pada gambar 2.14 dan 2.15.

Setelah dilakukan pengujian dan analisis bentuk gelombang, dapat diketahui bahwa benda uji beton memiliki kondisi sebagai berikut:

- Beton Variasi Fiber termasuk dalam *Case 6* (Kuadran IV) yaitu  $t_1 > t_0$  dan  $A_1 < A_0$  beton dengan kondisi terjadi retak, honey comb atau rongga.
- Beton Variasi Porous termasuk dalam *Case 3* (Kuadran III) yaitu  $t_1 < t_0$  dan  $A_1 < A_0$ , beton dengan kondisi jumlah kerikil tinggi dan pasir rendah.

- Beton Variasi Pumice termasuk dalam *Case 6* (Kuadran IV) yaitu  $t_1 > t_0$  dan  $A_1 < A_0$ , beton dengan kondisi terjadi retak, honey comb atau rongga.
- Beton Variasi *Recycle* termasuk dalam *Case 1* (Kuadran I) yaitu  $t_1 < t_0$  dan  $A_1 > A_0$ , beton dengan kondisi kualitas baik dan kekuatan tinggi.

Adanya rongga maupun perbedaan partikel yang dilewati gelombang dapat menyebabkan difraksi atau refleksi serta mampu meredam energi yang dirambatkan oleh gelombang ultrasonik, sehingga mempengaruhi intensitas gelombang yang diterima oleh transduser. Pola kerapatan dan susunan agregat yang berbeda menyebabkan pola difraksi dan refleksi yang berbeda pula, sehingga akan mempengaruhi besarnya energi yang terbaca pada transduser. Hal ini menjadi salah satu kendala dalam penelitian ini yaitu belum dapat memastikan keseragaman dari komposisi dan susunan agregat serta kerapatan aktual dari benda uji yang diteliti.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

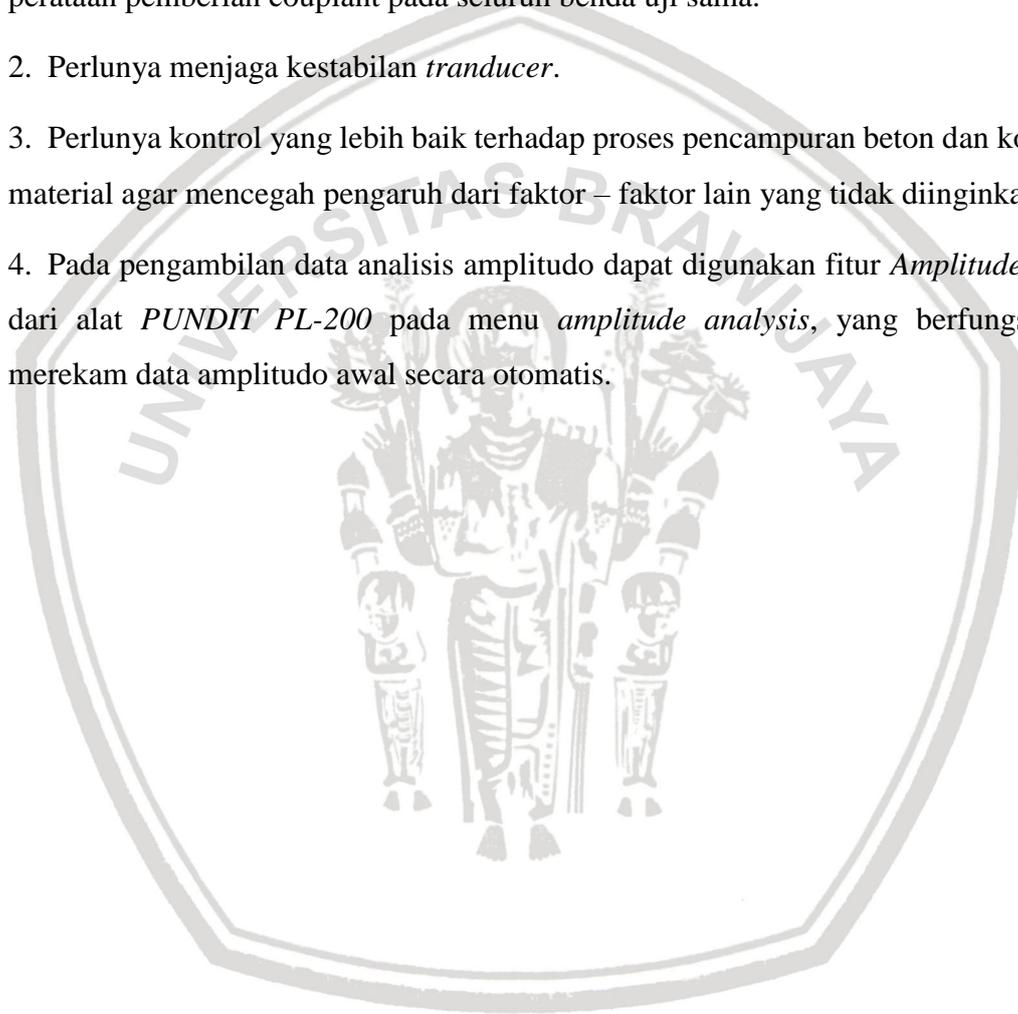
1. Dari hasil pengujian kuat tekan didapatkan hasil pengukuran kuat tekan *compression test* terhadap benda uji silinder yang digunakan dengan 4 variasi agregat kasar yang digunakan memberikan kuat tekan rata – rata sebesar 17,43 MPa pada beton variasi Fiber; 6,53 Mpa pada beton variasi Porous; 11,37 MPa pada beton variasi Pumice; 27,86 MPa pada beton variasi Recycle. Dari hasil regresi antara hubungan kuat tekan dengan amplitudo dan kuat tekan dengan transmission time  $R^2$  sebesar 0,271 dan 0,4107, maka terdapat hubungan antara keduanya, tetapi hubungan tersebut tidak signifikan. Nilai perbandingan antara amplitudo dan kuat tekan serta *transmission time* dan kuat tekan dominan pada kuadran III. Sedangkan untuk hubungan kuat tekan dan amplitudo (A1) atau *transmission time* (t0) didapatkan kesimpulan bahwa nilai homogenitas yang rendah menyebabkan kehilangan energi lebih tinggi sehingga nilai amplitudo menjadi lebih rendah dan nilai *transmission time* menjadi lebih tinggi. Pada nilai kuat tekan yang berpengaruh pada homogenitas yaitu bukan berarti semakin tinggi material yang seragam (homogenitas) maka menyebabkan nilai kuat tekan tinggi.
2. Dari hasil analisis antara kuat tekan dan parameter gelombang, didapatkan kesimpulan bahwa dengan dibandingkan dengan sampel beton acuan yang dianggap memiliki kerapatan yang seragam, didapatkan pola sebaran data dengan kesimpulan, beton variasi Fiber termasuk Case 6 (Kuadran IV); beton variasi *Porous* termasuk Case 3 (Kuadran III); beton variasi *Pumice* termasuk Case 6 (Kuadran IV); beton variasi *Recycle* termasuk Case 1 (Kuadran I). Hal ini dikarenakan perambatan gelombang akan memiliki waktu transmisi yang lebih cepat pada beton yang memiliki kerapatan tinggi yang kemungkinan besar kuat tekannya juga tinggi. Sedangkan untuk nilai amplitudo masih belum menemukan hasil yang konsisten karena ketidakseragaman komposisi dan susunan agregat yang menimbulkan pembacaan amplitudo yang berbeda-beda meskipun dalam satu sampel yang sama. Dari hasil regresi antara hubungan amplitudo dan transmission time,  $R^2$  sebesar 0,3092. Maka terdapat hubungan antara keduanya, tetapi hubungan

tersebut tidak signifikan dikarenakan adanya perbedaan komposisi agregat , perbedaan perawatan beton dan lain – lain.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian terhadap benda uji beton menggunakan alat *Ultrasonic Pulse Velocity*, maka terdapat beberapa saran yang dapat di gunakan pada penelitian selanjutnya:

1. Pemberian cairan *couplant* pada saat pengujian *UPV* harus dipastikan jumlah agar perataan pemberian *couplant* pada seluruh benda uji sama.
2. Perlunya menjaga kestabilan *transducer*.
3. Perlunya kontrol yang lebih baik terhadap proses pencampuran beton dan komposisi material agar mencegah pengaruh dari faktor – faktor lain yang tidak diinginkan.
4. Pada pengambilan data analisis amplitudo dapat digunakan fitur *Amplitude Marker* dari alat *PUNDIT PL-200* pada menu *amplitude analysis*, yang berfungsi untuk merekam data amplitudo awal secara otomatis.



## DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 544. 1982. *State of the art report on fiber reinforced concrete – Report : ACI 544 IR – 82*. Farmington Hills : American Concrete Institute.
- B. Sanish, K & Santhanam, Manu. (2012). Characterization of Strength Development of Concrete Using Ultrasonic Method. Makalah dalam *18th World Conference on Non-destructive Testing*, Durban, South Africa, 16-20 April 2012.
- International Atomic Energy Agency, Vienna. (2002). *Guidebook on non-destructive testing of concrete structures, Training Course Series No. 17*.
- Malhotra, V.M. & Carino, N.J. (2004). *Handbook on Nondestructive Testing of Concrete*. Boca Raton: CRC Press.
- Mattacchione, Angelo & Mattacchione, Livia. (1995). Correlation Between 28-Day Strength and Density. *Concrete International*. XVII (3): 37-41.
- Neville & Brooks. (2010). *Concrete technology*, 442.
- Nugroho, Eko Hindaryanto. 2010. “ Analisis Porositas dan Permeabilitas Beton dengan Bahan Tambah Fly Ash untuk Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)”. Skripsi. FT, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret Surakarta
- PROCEQ. (2014). *Pundit PL-200 and PE Ultrasonic Training*. Switzerland : Proceq.
- Souroushian, P., & Bayasi, Z. (1991). Fiber-type effect on the performance of steel fiber reinforced concrete. *ACI Materials Journal*, 88(2), 129-134
- Wedhanto, S. (2015). Penggunaan Metode Ultrasonic Pulse Velocity Test Untuk Memperkirakan Kekuatan dan Keseragaman Mutu Beton K200 Secara Non Destruktif. *Jurnal Bangunan*, 20, 43-52.
- Yulian, Albertus E. (2017). Analisis Kerapatan Beton Dengan Menggunakan Cepat Rambat Dan Transmission Time Pada Alat UPV (Ultrasonic Pulse Velocity). *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil 1 (1)*, pp. 106-116 2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Variasi Jenis Beton



Beton Normal



Beton Fiber



Beton Porous



Beton RCA (*Recycled Coarse Aggregate*)



Beton Pumice

Lampiran 2 Dokumentasi Pengujian Alat *Ultrasonic Pulse Velocity*



Proses Pengujian Alat UPV pada Beton Porous



Proses Pengujian Alat UPV pada Beton Porous



Proses Pemberian *Couplant* pada *Transmitter* dan *Receiver*



Proses Pembacaan *Waveform* dengan Metode TT



Proses Pengujian Alat UPV pada Beton Fiber



Proses Pembacaan *Waveform* dengan Metode TT