

**PENGARUH VARIASI SUDUT BETON PADA BENDA UJI BALOK
BETON DENGAN MENGGUNAKAN METODE PENGUJIAN UPV
NON DESTRUCTIVE TEST**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



**PUTRI AVIANINDYAS
NIM. 155060107111022**

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG**

2021





LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH VARIASI SUDUT BETON PADA BENDA UJI BALOK
BETON DENGAN MENGGUNAKAN METODE PENGUJIAN UPV
NON DESTRUCTIVE TEST**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



PUTRI AVIANINDYAS

NIM. 155060107111022

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing

Pada Tanggal 3 Agustus 2021

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng. Ir. Indradi Wijatmiko, ST., M. Eng. (Prac.)
NIP. 19810220 200604 1 002

Ir. Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D
NIP. 19740619 200012 1 002

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng. Ir. Indradi Wijatmiko, ST., M. Eng. (Prac.)
NIP. 19810220 200604 1 002





HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

JUDUL SKRIPSI:

Pengaruh Variasi Sudut Beton Pada Benda Uji Balok Beton Dengan Menggunakan Metode Pengujian UPV (Non Destructive Test)

Nama Mahasiswa : Putri Avianindyas

NIM : 155060107111022

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

TIM DOSEN PENGUJI

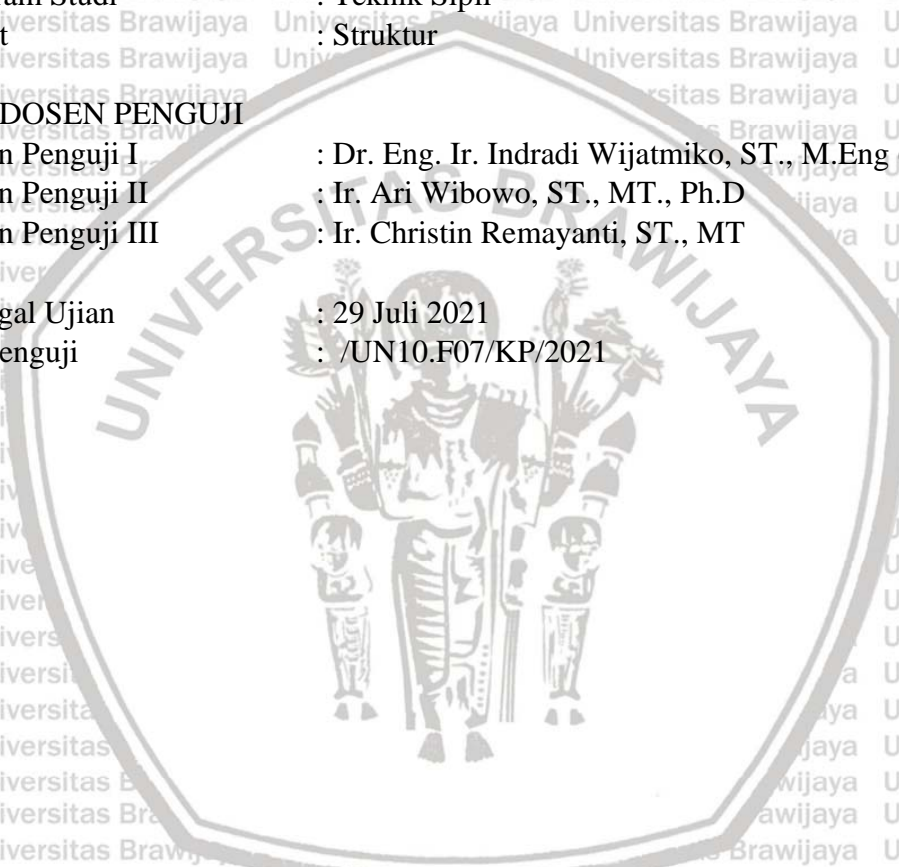
Dosen Penguji I : Dr. Eng. Ir. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Pract)

Dosen Penguji II : Ir. Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D

Dosen Penguji III : Ir. Christin Remayanti, ST., MT

Tanggal Ujian : 29 Juli 2021

SK Penguji : /UN10.F07/KP/2021





PERNYATAAN ORISINILITAS 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 adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah hyang 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 ini dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 3 Agustus 2021

Putri Avianindyas

155060107111022







KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan segala anugerah-Nya dan rahmat-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul

“ANALISIS PENGARUH VARIASI SUDUT PADA BETON TERHADAP CEPAT RAMBAT GELOMBANG DENGAN MENGGUNAKAN METODE UPV (*ULTRASONIC PULSE VELOCITY*)” dengan baik dan lancar.

Skripsi ini merupakan persyaratan terakhir akademis yang telah ditetapkan untuk menyelesaikan tahap sarjana di **Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya**.

Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan lancar tentunya karena bantuan dari banyak pihak.

Karena itu, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Alwafi Pujiraharjo, ST., MT selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Pract) selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Brawijaya dan Dosen Pembimbing I.
3. Bapak Ir. Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D selaku Dosen Pembimbing II.
4. Dr. Ir. Wisnumurti, MT selaku KKDK Struktur.
5. Ibu Ir. Christin Remayanti N, ST., MT yang turut memberikan saran kepada saya dalam penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Ir. Roland Martin Simatupang, ST., MT., MSc selaku Dosen Penasehat Akademik.
7. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah membimbing saya dalam proses pembelajaran.
8. Keluarga Besar Mahasiswa Teknik dan Keluarga Besar Mahasiswa Sipil yang telah berproses bersama dengan kekeluargaan dan memberikan semangat serta menemani dalam suka dan duka.

Saya menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, untuk itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, saya berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR..... i

DAFTAR ISI..... ii

DAFTAR GAMBAR..... v

DAFTAR TABEL..... vi

BAB I PENDAHULUAN..... 1

1.1. Latar Belakang1

1.2. Identifikasi Masalah..... 2

1.3. Rumusan Masalah.....2

1.4. Batasan Masalah 3

1.5. Tujuan3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 4

2.1. Material Beton4

2.1.1 Semen..... 6

2.1.2 Agregat kasar 7

2.1.3 Agregat Halus 8

2.1.4 Air 10

2.2. *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) test* 10

2.3. Metode Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)..... 12

2.4 Jenis-Jenis Gelombang Mekanik 14

2.5 Perambatan Gelombang 17

2.6 Kuat Tekan Beton 18

BAB III METODE PENELITIAN..... 20

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian..... 20

3.2. Alat dan Bahan Penelitian..... 20

3.2.1. Alat Penelitian..... 20

3.2.2. Bahan Penelitian..... 20

3.2.3. Alat Pengujian..... 20

3.3 Variabel Penelitian..... 21

3.4 Analisis Bahan..... 22

3.4.1 Semen..... 22



3.4.2 Air	22
3.4.3 Agregat Kasar Alami (<i>Natural Coarse Aggregate</i>).....	22
3.4.4 Agregat Halus	22
3.5 Tahap Penelitian.....	23
3.6 Rancangan Penelitian.....	24
3.7 Prosedur Penelitian	25
3.7.1 Pengujian Agregat Kasar dan Agregat Halus	25
3.7.2 Pengujian Saat <i>Fresh Concrete</i>	28
3.7.3 Pembuatan benda uji dan curing	29
3.8 UPV Test.....	30
3.9 Metode Pengolahan Data	31
3.10 Analisis Data	32
3.11 Hipotesis	33
BAB IV PEMBAHASAN	34
4.1 Pembuatan Benda Uji Balok Dengan Sisi Miring	34
4.1.1 Proses Pembuatan Benda Uji.....	34
4.1.2 Pengujian Mutu Benda Uji.....	35
4.2 Hasil Pengujian UPV (<i>Ultrasonic Pulse Echo</i>) untuk Balok Miring Satu Sisi.....	37
4.2.1 Hasil Pengujian UPV Balok Miring Satu Sisi Sudut 3,5°	37
4.2.2 Hasil Pengujian UPV Balok Miring Satu Sisi Sudut 7°.....	38
4.2.3 Hasil Pengujian UPV Balok Miring Satu Sisi Sudut 10,5°	40
4.3 Hasil Pengujian UPV (<i>Ultrasonic Pulse Echo</i>) untuk Balok Miring Dua Sisi.....	42
4.3.1 Hasil Pengujian UPV Balok Miring dua Sisi Sudut 3,5°	42
4.3.2 Hasil Pengujian UPV Balok Miring Dua Sisi Sudut 7°.....	44
4.3.3 Hasil Pengujian UPV Balok Miring Dua Sisi Sudut 10,5°	46
4.4 Rekapitulasi dan Pembahasan Hasil Pengujian UPV	48
4.4.1 Rekapitulasi dan Rekapitulasi dan Pembahasan Hasil Pengujian UPV terhadap Balok Satu Sisi Miring	48
4.4.2 Rekapitulasi dan Rekapitulasi dan Pembahasan Hasil Pengujian UPV terhadap Balok Dua Sisi Miring.....	50
BAB V KESIMPULAN	52
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	52



DAFTAR PUSTAKA..... 54

LAMPIRAN..... 55

ANOVA Data Balok Miring 1 Sisi..... 55

Uji BNT Data Balok Miring 1 Sisi..... 55

ANOVA Data Balok Miring 2 Sisi..... 56

Uji BNT Data Balok Miring 2 Sisi..... 57



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Direct Method (Metode Langsung)..... 12

Gambar 2. 2 Semi-Direct Method (Metode Semi Langsung)..... 13

Gambar 2. 3 Indirect Method (Metode Tidak Langsung)..... 13

Gambar 2. 4 Skema Diagram Alir Pengujian UPV 14

Gambar 2. 5 Pergerakan partikel pada gelombang P-waves dan S-waves 16

Gambar 2. 6 Pergerakan partikel pada gelombang permukaan: Love-waves dan Rayleigh-waves 17

Gambar 2. 7 Jenis-jenis gelombang pada alat pembaca gelombang 17

Gambar 3. 1 Alat UPV Proceq tipe PL-200..... 21

Gambar 3. 2 flowchart penelitian..... 23

Gambar 3. 3 Dimensi benda uji beton balok..... 24

Gambar 3. 4 Skema titik pengujian UPV pada benda uji silinder 30

Gambar 3. 5 titik pengukuran pada balok beton satu sisi miring..... 31

Gambar 3. 6 titik pengukuran pada balok beton dua sisi miring. 31

Gambar 3. 7 Tampilan data hasil pengujian UPV menggunakan aplikasi PL-Link. 32

Gambar 3. 8 Tampilan grafik kecepatan dan kuat tekan beton mutu K-225 33

Gambar 4. 1 Proses Pembuatan Benda Uji 35

Gambar 4. 2 Hasil Pengujian Waveform menggunakan UPV pada balok miring satu sisi sudut 3,5° 38

Gambar 4. 3 Sketsa titik pengujian pada balok miring satu sisi sudut 3,5° 38

Gambar 4. 4 Hasil Pengujian Waveform menggunakan UPV pada balok miring satu sisi sudut 7° 40

Gambar 4. 5 Sketsa titik pengujian pada balok miring satu sisi Sudut 7° 40

Gambar 4. 6 Hasil Pengujian Waveform menggunakan UPV pada balok miring satu sisi sudut 10,5° 42

Gambar 4. 7 Sketsa titik pengujian pada balok miring satu sisi Sudut 10,5° 42

Gambar 4. 8 Hasil Pengujian Waveform menggunakan UPV pada balok miring dua sisi sudut 3,5° 43

Gambar 4. 9 Sketsa titik pengujian pada balok miring satu sisi Sudut 3,5° 44

Gambar 4. 10 Hasil Pengujian Waveform menggunakan UPV pada balok miring dua sisi sudut 7° 45

Gambar 4. 11 Sketsa titik pengujian pada balok miring satu sisi Sudut 7° 46

Gambar 4. 12 Hasil Pengujian Waveform menggunakan UPV pada balok miring dua sisi sudut 10,5° 47

Gambar 4. 13 Sketsa titik pengujian pada balok miring satu sisi Sudut 10,5° 48

Gambar 4. 14 Grafik Sudut vs Kecepatan Gelombang pada Balok Miring 1 Sisi..... 49

Gambar 4. 15 Grafik Sudut vs Kecepatan Gelombang pada Balok Miring 2 Sisi..... 50



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi material adukan beton..... 5

Tabel 2. 2 Perbandingan volume material bila semen sebagai patokan 6

Tabel 2. 3 Persyaratan Batasan Gradasi Agaregat Halus SNI 03-2834-2000..... 9

Tabel 2. 4 Jenis gelombang mekanik longitudinal berdasarkan frekuensi 15

Tabel 3. 1 komposisi rasio pada mix design beton 24

Tabel 3. 2 Rincian Volume Benda Uji..... 25

Tabel 4. 1 Kebutuhan Bahan untuk Campuran Benda Uji..... 34

Tabel 4. 2 Pengujian Mutu Benda Uji 36

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian UPV Balok Miring satu sisi sudut 3,5°..... 37

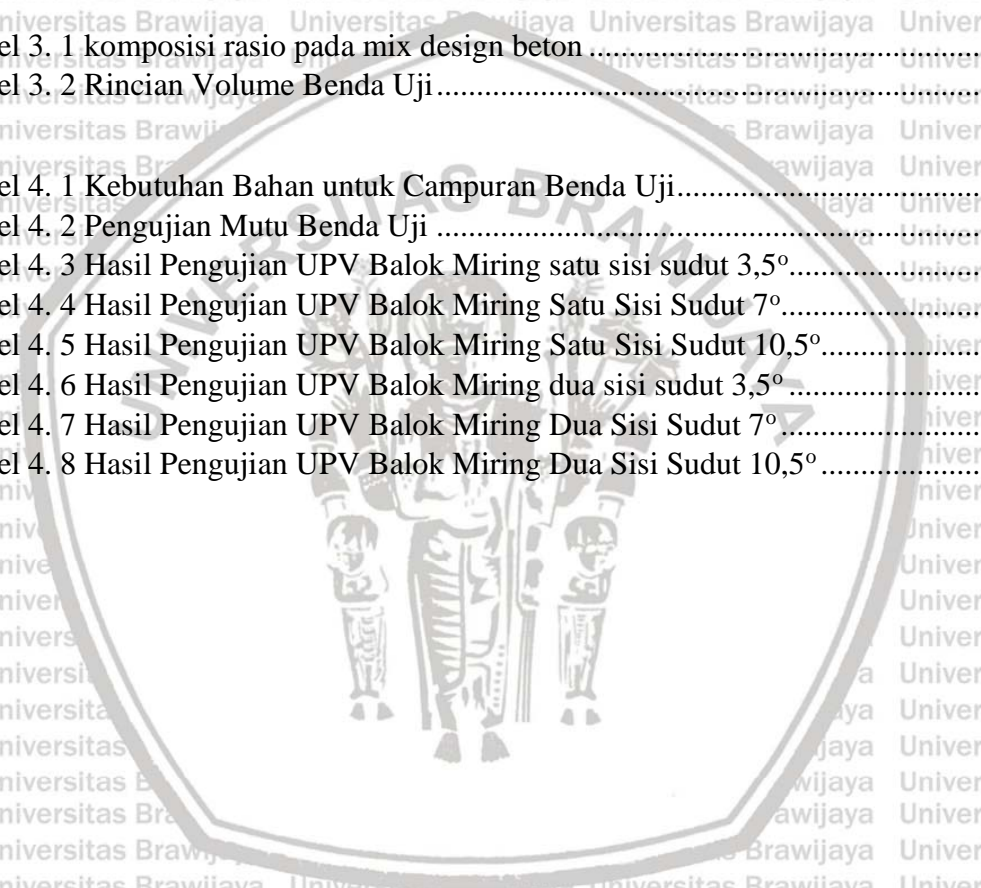
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian UPV Balok Miring Satu Sisi Sudut 7°..... 39

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian UPV Balok Miring Satu Sisi Sudut 10,5°..... 41

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian UPV Balok Miring dua sisi sudut 3,5° 43

Tabel 4. 7 Hasil Pengujian UPV Balok Miring Dua Sisi Sudut 7° 45

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian UPV Balok Miring Dua Sisi Sudut 10,5° 47



RINGKASAN

Indonesia adalah salah satu Negara dengan tingkat pembangunan yang semakin meningkat. Banyak sekali gedung – gedung tinggi yang dapat kita temui di sekitar kita. Dengan hal itu maka berkembanglah material – material yang digunakan pada dunia konstruksi. Juga dengan semakin berkembangnya desain bangunan, diperlukan material beton dengan bentuk yang berbagai macam, salah satunya adalah beton miring. Tentu saja pada setiap proyek pembangunan selalu diperlukan pengujian material untuk mendapatkan material yang berkualitas baik. Salah satu metode pengujian yang dilakukan dapat berupa menganalisis kualitas material beton dengan *ultrasonic pulse velocity* (UPE). Salah satu variabel untuk menentukan kualitas beton dengan metode ini adalah kecepatan rambat gelombang. Sehingga penelitian ini akan membahas bagaimana pengaruh kemiringan beton terhadap kecepatan rambat gelombang yang akan dideteksi dengan metode UPE. Peralatan dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel beton miring, set alat Proceq PL-200, dan software pembaca hasil uji PI-Link. Dari penelitian ini didapatkan hasil bahwa pada balok miring, kecepatan gelombang akan meningkat berbanding lurus dengan kemiringan balok beton. Kemudian dari penelitian ini dapat disimpulkan juga bahwa penggunaan metode UPV dalam mendeteksi kualitas beton dengan bentuk miring satu sisi dan dua sisi dapat dilakukan, dengan range kemiringan dari $3,5^{\circ}$ hingga $10,5^{\circ}$.

Kata kunci: Beton miring, Ultrasonic Pulse Velocity, Pengujian non-destruktif, kecepatan gelombang.

Indonesia is one of the countries with an increasing level of development. There are so many tall buildings that we can find around us. With this, the materials used in the construction also developed. Thereafter with the advance of building design, concrete materials with various forms are needed, one of which is sloped concrete. Of course, in every construction project, material testing is always needed to get good quality material. One of the testing methods can be in the form of analyzing the quality of the concrete material with ultrasonic pulse velocity (UPE). One of the variables to determine the quality of concrete with this method is the speed of wave propagation. So this study will discuss the influence of the concrete slope on the speed of wave propagation that will be detected by the UPE method. The equipment and materials used in this study were sloping concrete samples, the tool set Proceq PL-200, and the PI-Link test result reader software. From this study, it was found that in inclined beams, the wave speed will increase in direct proportion to the slope of the concrete beams. Then from this study it can also be concluded that the use of the UPV method in detecting the quality of concrete with one-sided and two-sided sloping forms can be done, with a slope range from 3.5 to 10.5° .

Keywords: Sloped concrete, Ultrasonic Pulse Velocity, Non-destructive testing, wave speed.



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia adalah salah satu Negara dengan tingkat pembangunan yang semakin meningkat. Banyak sekali gedung – gedung tinggi yang dapat kita temui di sekitar kita. Dengan hal itu maka berkembanglah material – material yang digunakan pada dunia konstruksi, salah satunya adalah beton. Beton adalah salah satu material yang sering digunakan di bidang konstruksi. Beton diperoleh dari hasil campuran antara semen, air, agregat halus, agregat kasar, dengan perbandingan tertentu dan dapat ditambah dengan bahan tambahan campuran (*admixture*). Pada jaman sekarang ini beton merupakan bahan penyusun utama dari suatu konstruksi karena memiliki kemampuan untuk mendistribusikan beban serta kuat dalam menahan gaya tekan.

Namun inovasi terkait beton tidak berhenti hanya di situ saja. Banyak sekali modifikasi yang di lakukan pada beton guna meningkatkan kekuatan dan kegunaannya. Seperti yang di sebutkan di atas bahwa beton hanya kuat untuk menahan gaya tekan. Nilai kuat tariknya hanya berkisar 9% - 15% saja dari kuat tekannya (Dipohusodo Istimawan, 1994). Maka dari itu, beton termasuk material yang bersifat getas yang berarti ketidakmampuan material untuk berdeformasi plastis. Solusi dari permasalahan tersebut adalah ditambahkan tulangan baja guna menahan gaya Tarik.

Dapat kita ketahui, beton merupakan material yang memiliki homogenitas yang rendah. Dengan kata lain kesamaan antara benda uji beton juga sangat besar kemungkinan untuk berbeda. Oleh karena itu, pada pekerjaan nyata di lapangan, beton haruslah melawati beberapa pengujian agar sesuai dengan spesifikasi yang di inginkan. Pengujian pada beton di lakukan dengan 3 cara yaitu dengan pengujian sebelum melakukan pengecoran, yang dilakukan dengan cara *Slump test* yang harus memenuhi nilai *Slump* yang di tentukan. Setelah itu ada pengujian di laboratorium yaitu dengan cara mengambil beberapa sampel beton segar sebelum pengecoran untuk diuji di laboratorium. Beton tersebut disimpan hingga umur beton 28 hari lalu dilakukan pengujian. Pengujian ini menghasilkan hasil yang akurat, sebab data kekuatan beton diperoleh dari uji sampel secara langsung. Namun dalam pengujian ini memiliki kekurangan yaitu hasil

pengujian kurang mewakili kualitas beton aktual pada struktur yang telah jadi. Pada struktur yang telah jadi, kualitas beton mengalami perbedaan. Perbedaan ini disebabkan karena proses pengerjaan beton serta kondisi lingkungan di lapangan misalnya kelembaban, temperatur, dan faktor lainnya. Faktor-faktor tersebut tidak dapat diketahui hanya melalui uji laboratorium saja. Maka dari itu di lakukan percobaan dengan sampel kering di lapangan.

Pengujian di lapangan di bagi menjadi 2 yaitu pengujian secara merusak struktur bangunan (*destructive test*) yang ada dan memerlukan tindak lanjut berupa perbaikan. Dengan cara pengambilan sampel inti dari beton structural. Lalu dengan cara tanpa merusak struktur atau yang disebut *non-destructive test (NDT)* salah satunya adalah menggunakan kecepatan pulse ultrasonik atau *ultrasonic pulse velocity (UPV)*. Alat yang digunakan dalam pengujian UPV disebut PUNDIT (*Portable Ultrasonic Nondestructive Digital Indicating Tester*). Alat tersebut mampu mengetahui cepat rambat gelombang ultrasonik. Dari data cepat rambat tersebut dapat ditunjukkan bagaimana kerapatan, homogenitas, serta ada tidaknya rongga di dalam beton. Pada penelitian sebelumnya di gunakan material yang berbeda beda sehingga mengakibatkan adanya ketidak sesuaian pada hasil. Dan juga belum di bahasnya pengaruh umur beton terhadap hasil pengujian *UPV*.

1.2. Identifikasi Masalah

Pengujian kualitas beton yang tak merusak (*non-destructive test*) adalah *UPV Test*. Yaitu dengan menggunakan cepat rambat gelombang. Dari pengujian tersebut didapatkan data berupa kecepatan rambat gelombang yang berasal dari pancaran gelombang yang merambat melalui beton. Dari kecepatan yang telah di dapat perlu diinterpretasikan untuk menentukan kualitas dari beton tersebut. Sehingga perlu dilakukan penelitian mengenai kecepatan gelombang dari alat uji *UPV* untuk dapat mengetahui kualitas beton secara praktis terutama ketika pengujian pada komponen struktur di lapangan. Dan mencari pengaruh sudut pada beton yang tidak simetris.

1.3. Rumusan Masalah

Adapun beberapa masalah yang akan di bahas antara lain:

1. Bagaimana implementasi metode pengujian *UPV* pada benda uji balok beton ?

2. Bagaimana pengaruh variasi sudut pada benda uji balok beton terhadap cepat rambat gelombang dengan menggunakan metode UPV ?

3. Bagaimana pengaruh metode pengujian UPV pada benda uji balok beton?

1.4. Batasan Masalah

1. Penelitian ini dikhususkan untuk beton tak bertulang, dengan menggunakan balok dengan kemiringan $3,5^\circ$, 7° , $10,5^\circ$
2. Kemiringan pada balok terjadi pada 1 sisi dan 2 sisi
3. Pada penelitian ini parameter kerapatan yang dianalisis adalah berdasarkan pengujian UPV
4. Mutu beton yang digunakan adalah 18.75 Mpa
5. Pengujian yang di lakukan adalah pengujian UPV dengan metode *direct*, *semi-direct*, dan *indirect*

1.5. Tujuan

1. Untuk mengetahui hasil implementasi metode pengujian UPV pada benda uji balok beton.
2. Untuk menganalisis pengaruh variasi sudut pada benda uji balok terhadap cepat rambat gelombang dengan menggunakan metode UPV.
3. Untuk menganalisis pengaruh metode pengujian UPV pada benda uji balok beton.

1.6. Manfaat

Manfaat yang di harapkan adalah:

1. **Bagi Penulis:** Dapat menganalisis pengaruh sudut terhadap pengujian yang dilakukan dengan *destructive test* dan *non-destructive test*
2. **Bagi Pembaca:** Dapat menjadi acuan dalam penentuan kualitas kuat tekan beton dengan menggunakan gelombang *pulse velocity*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Material Beton

Beton merupakan bahan bangunan yang diperoleh dari hasil pencampuran antara semen, air, agregat halus, agregat kasar, dengan perbandingan tertentu dan kadang-kadang ditambah bahan tambahan campuran (Suseno, 2010). Pada umumnya, beton mengandung rongga udara sekitar 1%-2%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25%-40%, dan agregat (agregat halus dan agregat kasar) sekitar 60%-75%. Untuk mendapatkan kekuatan yang baik, sifat dan karakteristik dari masing-masing bahan penyusun tersebut perlu dipelajari (Mulyono, 2004).

Nilai kuat tekan beton relatif tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya, dan beton merupakan bahan bersifat getas. Nilai kuat tariknya hanya berkisar 9%-15% saja dari kuat tekannya.

Masalah yang dihadapi oleh seorang perencana adalah bagaimana merencanakan komposisi dari bahan - bahan penyusun beton tersebut agar dapat memenuhi spesifikasi teknik yang ditentukan (sesuai dengan spesifikasi teknik dalam kontrak atau permintaan pemilik).

Dalam pembuatannya, keseragaman kualitas beton sangat dipengaruhi oleh keseragaman bahan dasar dan metode pelaksanaan. Pada prakteknya dilapangan, umumnya beton yang disuplai oleh perusahaan pembuatan beton (ready mix) telah terjamin keseragaman bahan dasarnya. Untuk mendapatkan kualitas dan keseragaman beton sesuai seperti yang disyaratkan maka pelaksanaan pembuatan beton harus dilakukan dengan baik dan sesuai dengan prosedur. Yang dimaksud dengan kualitas beton seperti yang disyaratkan disini adalah kuat tekan beton pada umur ke-28 hari. Oleh karena sebab-sebab diatas maka diperlukan adanya kontrol kualitas yang dapat mengetahui kemungkinan terjadinya output yang tidak sesuai dengan yang disyaratkan sedini mungkin. Berikut adalah tabel campuran beton berdasarkan SNI 7394 : 2008

Tabel 2. 1 Komposisi material adukan beton

No	Berat Material (Kg)				W/C Ratio	Total Berat (Kg)	Mutu
	Semen	Pasir	Kerikil	Air			
1	247	869	999	215	0,87	2.330,00	K 100
2	276	828	1.012	215	0,78	2.331,00	K 125
3	299	799	1.017	215	0,72	2.330,00	K 150
4	326	760	1.029	215	0,66	2.330,00	K 175
5	352	731	1.031	215	0,61	2.329,00	K 200
6	371	698	1.047	215	0,58	2.331,00	K 225
7	384	692	1.039	215	0,56	2.330,00	K 250
8	406	684	1.026	215	0,53	2.331,00	K 275
9	413	681	1.021	215	0,52	2.330,00	K 300
10	439	670	1.006	215	0,49	2.330,00	K 325
11	448	667	1.000	215	0,48	2.330,00	K 350

Dengan ketentuan :

- Berat satuan pasir = 1.400 kg/m³
- Berat satuan kerikil = 1.350 kg/m³
- Faktor bulking pasir = 20 %

Dan untuk menemukan perbandingan bila menggunakan semen sebagai patokan dari takaran, maka perbandingan volume menjadi :

Tabel 2. 2 Perbandingan volume material bila semen sebagai patokan

No	Perbandingan Volume Material				Mutu
	Semen	Pasir	Kerikil	Air	
1	1	3,141	3,745	1,088	K 100
2	1	2,679	3,395	0,974	K 125
3	1	2,386	3,149	0,899	K 150
4	1	2,082	2,923	0,824	K 175
5	1	1,854	2,712	0,763	K 200
6	1	1,680	2,613	0,724	K 225
7	1	1,609	2,505	0,700	K 250
8	1	1,504	2,340	0,662	K 275
9	1	1,472	2,289	0,651	K 300
10	1	1,363	2,122	0,612	K 325
11	1	1,329	2,067	0,600	K 350

2.1.1 Semen

Berdasarkan SNI-15-0302-2004, semen PPC (Portland Pozzolan Cement) yaitu suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen portland dengan pozzolan halus, yang di produksi dengan menggiling klinker semen portland dan

pozzolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dengan bubuk pozzolan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozzolan 6% sampai dengan 40% massa semen portland pozzolan.

Hidrolis berarti sangat senang bereaksi dengan air, senyawa yang bersifat hidrolis akan bereaksi dengan air secara cepat. Semen portland bersifat hidrolis karena di dalamnya terkandung kalsium silikat ($x\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) dan kalsium sulfat ($\text{CaSO}_4\cdot x\text{H}_2\text{O}$) yang bersifat hidrolis dan sangat cepat bereaksi dengan air. Reaksi semen dengan air berlangsung secara irreversibel, artinya hanya dapat terjadi satu kali dan tidak bisa kembali lagi ke kondisi semula.

Dalam buku Bahan Bangunan (Hendro Suseno, 2010), semen merupakan bahan yang mempunyai kegunaan beragam pada bangunan teknik sipil baik yang bersifat struktural maupun non struktural seperti :

- a. Bahan baku utama beton sebagai perekat agregat.
- b. Bahan baku produk mortar seperti plesteran, plamir, acian, bata, genteng, pipa, *paving block*, pipa, kolom hias dan lain-lain.
- c. Bahan baku produk semen berserat.
- d. Bahan perbaikan tanah.
- e. Bahan penambal retakan maupun keropos.
- f. Bahan elemen-elemen dekorasi.

2.1.2 Agregat kasar

Agregat merupakan komponen beton yang paling berperan dalam menentukan besarnya. Agregat untuk beton adalah butiran mineral keras yang bentuknya mendekati bulat dengan ukuran butiran antara 0,063 mm—150 mm. Agregat menurut asalnya dapat dibagi dua yaitu agregat alami yang diperoleh dari sungai dan agregat buatan yang diperoleh dari batu pecah. Dalam hal ini, agregat yang digunakan adalah agregat alami yang berupa coarse agregat (kerikil), coarse sand (pasir kasar), dan fine sand (pasir halus). Dalam campuran beton, agregat merupakan bahan penguat (strengter) dan pengisi (filler), dan menempati 60%—75% dari volume total beton.

Agregat kasar mineral ini harus bersih dari bahan-bahan organik, dan harus mempunyai ikatan yang baik dengan semen dan air. Jenis agregat kasar yang umum digunakan adalah:

- a) Batu pecah alami, didapatkan dari cadas atau batu pecah alami yang digali.
- b) Kerikil alami, didapatkan dari pengikisan tepi maupun dasar sungai oleh air sungai yang mengalir.
- c) Agregat kasar buatan, berupa *slag* atau *shale* yang digunakan untuk beton berbobot ringan.

Adapun syarat – syarat agregat kasar di katakana memiliki mutu yang baik, antara lain adalah:

- 1 Butir-butirnya keras dan tidak berpori, indeks kekerasan ≤ 5 % (diuji dengan goresan batang tembaga). Bila diuji dengan bejana Rudeloff atau Los Angeles
- 2 Kekal, tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca (terik matahari dan hujan). Jika diuji dengan larutan garam Natrium Sulfat bagian yang hancur maksimum 12 %, jika dengan garam Magnesium Sulfat maksimum 18 %.
- 3 Tidak mengandung lumpur (butiran halus yang lewat ayakan 0,06 mm) lebih dari 1 %.
- 4 Tidak boleh mengandung zat-zat yang raktif terhadap alkali.
- 5 Butiran agregat yang pipih dan panjang tidak boleh lebih dari 20 %.
- 6 Modulus halus butir antara 6 – 7,10 dan dengan variasi butir sesuai standar gradasi.
- 7 Ukuran butir maksimum tidak boleh melebihi dari : $1/5$ jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, $1/3$ tebal pelat beton, $3/4$ jarak bersih antar tulangan atau berkas tulangan.

2.1.3 Agregat Halus

Dalam campuran beton di perlukan agregat halus yang berguna untuk mengisi rongga rongga pada campuran agar menghasilkan kuat tekan beton yang sesuai dengan rencana.

Agregat halus (pasir) adalah agregat yang semua butirannya menembus ayakan dengan lubang 4,8 mm. Agregat halus merupakan pengisi yang berupa pasir. Ukurannya bervariasi antara ukuran No.4 dan No.100 saringan standar Amerika. Agregat halus yang di gunakan harus terbebas dari bahan organik, lempung, dan berukuran minimal tertahan saringan no. 100.

Persyaratan mutu agregat halus:

1. Batas gradasi agregat halus sesuai SNI 03-2834-2000 dapat dilihat pada tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Persyaratan Batasan Gradasi Agaregat Halus SNI 03-2834-2000

Lubang Ayakan (mm)	Persen Bahan Butiran yang Lewat Ayakan			
	No. 1 (Pasir Kasar)	No. 2 (Pasir Sedang)	No. 3 (Pasir Agak Halus)	No. 4 (Pasir Halus)
9,6	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : SNI 03-2834-2000

2. Modulus Halus Butir (MHB) agregat halus sesuai SK SNI S-04-1989-F yaitu 1,5%-3,8%. Sedangkan menurut ASTM C-33 yaitu 2,3%-3,1%.
3. Penyerapan air maksimal 2,3% (ASTM C-33)
4. Kadar lumpur agregat halus sesuai SK SNI S-04-1989-F tidak lebih dari 5%. Apabila lebih dari 5% maka pasir harus dicuci.
5. Butir-butirnya tajam dan keras, dengan indeks kekerasan $\leq 2,2$ menurut standar SK SNI S-04-1989-F.
6. Tidak hancur oleh pengaruh cuaca (terik matahari dan hujan). (SK SNI S-04-1989-F)
7. Jika diuji dengan larutan garan Natrium Sulfat bagian yang hancur maksimum 12%, jika dengan garam Magnesium Sulfat maksimum 18%. (SK SNI S-04-1989-F)
8. Apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan, harus masuk salah satu daerah susunan butir menurut zona 1, 2, 3, atau 4 dan harus memenuhi syarat sebagai berikut (SK SNI S-04-1989-F) :
 - a) sisa di atas ayakan 4,8 mm, maks 2 % dari berat
 - b) sisa di atas ayakan 1,2 mm, maks 10 % dari berat
 - c) sisa di atas ayakan 0,30 mm, maks 15 % dari berat

d) Tidak boleh mengandung zat organik dan garam karena akan mempengaruhi mutu beton.

2.1.4 Air

Air merupakan bahan sebagai bahan reaksi kimiawi dengan semen yang mengakibatkan akan adanya pengerasan antara semen dan bahan penyusun lainnya. Air yang di gunakan pun harus tidak mengandung senyawa senyawa lain seperti minyak, zat kimia, tercemar garam, memiliki bau dan berubah warna. Hal itu akan mengakibatkan menurunnya kualitas beton yang akan di kerjakan. Adapun beberapa air yang dapat di gunakan sebagai pembuatan beton antara lain:

1. Air hujan, air hujan menyerap gas dan udara pada saat jatuh ke bumi. Biasanya air hujan mengandung unsur oksigen, nitrogen dan karbondioksida.
2. Air permukaan, terdiri dari air sungai, air danau, air genangan dan air reservoir. Air sungai atau danau dapat digunakan sebagai air pencampur beton asal tidak tercemar limbah industri. Sedangkan air rawa atau air genangan yang mengandung zat-zat alkali tidak dapat digunakan.
3. Air Tanah. Biasanya mengandung unsur kation dan anion. Selain itu juga kadang-kadang terdapat unsur CO₂, H₂S dan NH₃.
4. Air laut. Air laut mengandung 30.000 – 36.000 mg/liter garam (3 % - 3,6 %) dapat digunakan sebagai air pencampur beton tidak bertulang. Air laut yang mengandung garam di atas 3 % tidak boleh digunakan untuk campuran beton. Untuk beton pra tekan, air laut tidak diperbolehkan karena akan mempercepat korosi pada tulangnya.

FAS yang optimal. Jumlah air yang diperlukan untuk proses hidrasi pada umumnya kira kira hanya 35% dari berat semennya, penambahan jumlah air akan mengurangi kekuatan beton setelah mengeras. Air yang dihindari untuk campuran beton adalah air yang mengandung bahan organik, garam, asam alkali, minyak dan bahan lainnya yang dapat menurunkan kualitas beton atau tulangnya.

2.2. Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) test

Pengujian beton dengan cara *non-destructive test* sering kali dilakukan untuk pengujian beton pada bangunan yang telah berdiri agar dapat mendapatkan hasil kekuatan beton tanpa

merusak elemen bangunan baik structural maupun non struktural. Pengujian ini biasanya di gunakan untuk sekedar *maintenance* bangunan bangunan publik dan juga untuk mengidentifikasi jika terhadap kerusakan pada suatu bangunan.

Ada beberapa macam pengujian yang biasa di gunakan, salah satunya adalah *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV). Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) merupakan metode pengujian beton pada bangunan eksisting dilapangan yang bersifat Non-Destructive Test atau pengujian beton tanpa merusak benda uji. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kuat tekan beton dengan pendekatan rambatan gelombang ultrasonik pada beton.

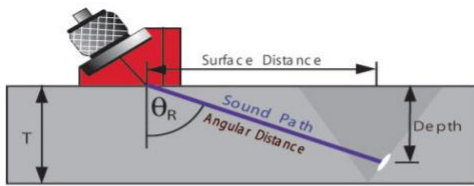
Prinsip kerja dari metode ini adalah gelombang ultrasonik disalurkan dari *transmitter transducer* yang ditempatkan pada permukaan beton, setelah itu gelombang ultrasonik ini merambat melalui material beton menuju *receiver transducer*. Hasil pembacaan dari metode ini adalah kecepatan waktu tempuh gelombang ultrasonik yang akan diukur oleh alat *PUNDIT (Portable Unit Non Destructive Indicator Tester)* menggunakan satuan micro second. UPV Test berpatokan pada (BS 1881-203; ASTM 0597)

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

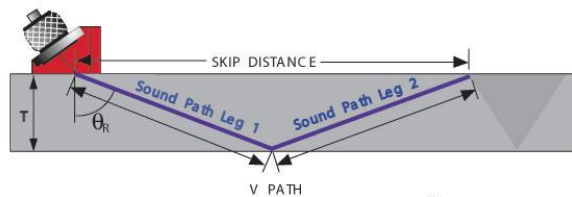
Pada bahan uji beton balok persegi atau simetris akan menimbulkan gelombang yang linear, namun berbeda dengan beton yang diuji kali ini bentuknya tidak persegi, maka dari itu pada pengujian UPV akan menimbulkan sudut pada gelombangnya. Pengaruh sudut pada pengujian UPV ini rambat gelombang ultrasonik.

Sebagai contoh pada contoh di bawah ini terdapat baji yang digunakan untuk membuat gelombang dari transduser menjadi miring. Dapat dilihat bahwa gelombang akan mengalami

pembiasan dan pemantulan saat masuk ke dalam material uji.



θ_R = Angle of Refraction
 T = Material Thickness
 Surface Distance = $\sin \theta_R \times$ Sound Path
 Depth (1st Leg) = $\cos \theta_R \times$ Sound Path



θ_R = Refracted Angle
 T = Material Thickness
 Skip Distance = $2T \times \tan \theta_R$
 $\text{Leg} = \frac{T}{\cos \theta_R}$
 $\text{V-Path} = \frac{2T}{\cos \theta_R}$

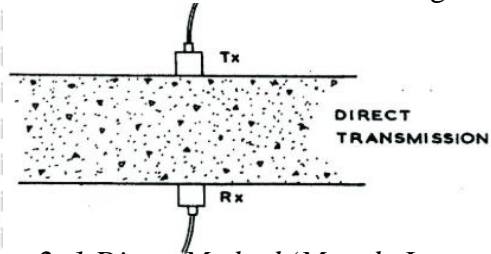
2.3. Metode Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

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 3 metode yaitu metode direct, semi direct, dan indirect. 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.

Ada 3 metode yang dapat digunakan dalam pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPV)*, yaitu :

a) *Direct Method* (Metode Langsung)

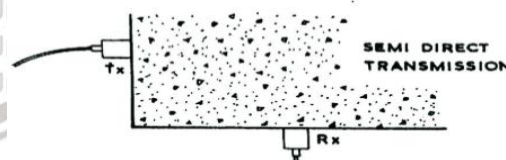
Pada metode langsung, kedua transducer diletakkan saling berhadapan secara tegak lurus di dua permukaan beton yang berbeda. Panjang lintasan gelombang diukur berdasarkan jarak antara transmitter dan receiver. Karena posisi transducer yang diletakkan secara paralel, metode langsung menghasilkan transmisi energi gelombang yang paling besar dibandingkan metode lainnya. Oleh karena itu hasil pengujian *UPV* menggunakan metode langsung memberikan hasil yang paling baik dan mendekati kuat tekan aktual bila dibandingkan dengan metode lainnya.



Gambar 2. 1 *Direct Method* (Metode Langsung)

b) *Semi Direct Method* (Metode Semi Langsung)

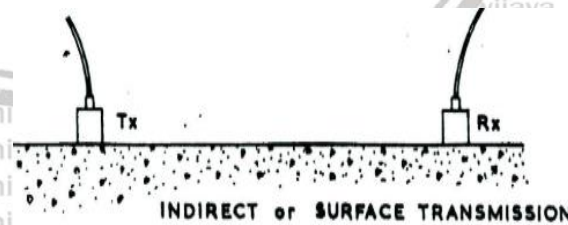
Pada metode semi langsung, kedua transducer terletak secara saling tegak lurus pada kedua permukaan yang berbeda. Panjang lintasan gelombang ultrasonik dapat diukur berdasarkan jarak miring antara transmitter dan receiver. Hasil yang diperoleh menggunakan metode semi langsung tidak seakurat apabila menggunakan metode langsung, tetapi masih bisa dikatakan baik apabila jarak antara transmitter dan receiver diletakkan tidak terlalu jauh.



Gambar 2. 2 *Semi-Direct Method* (Metode Semi Langsung)

c) *Indirect Method* (Metode Tidak Langsung)

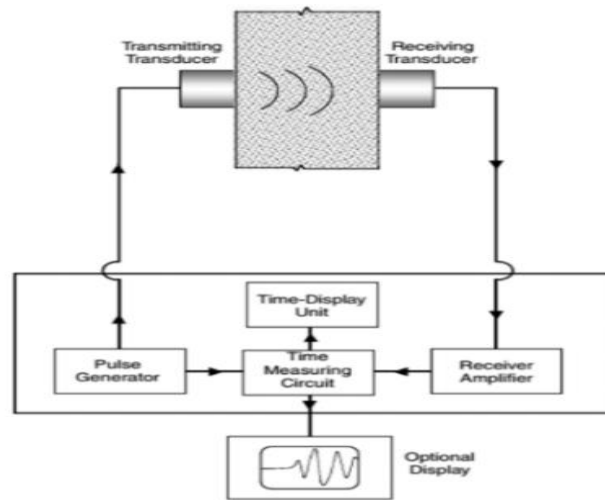
Metode tidak langsung adalah metode yang cukup sering digunakan di lapangan karena keterbatasan posisi ruang untuk mengukur beton, sehingga hanya salah satu sisi beton yang dapat digunakan untuk pengujian *UPV*. Pada metode ini, kedua transducer diletakkan sejajar pada permukaan yang sama. Panjang lintasan gelombang ultrasonik dapat diukur berdasarkan jarak antara transmitter dan receiver. Hasil yang diperoleh pada pengujian *UPV* menggunakan metode tidak langsung dapat dikatakan cukup buruk, jauh dari kuat tekan aktual apabila dibandingkan menggunakan metode *Compression Test*. Oleh karena itu diperlukan factor pengali agar hasil metode tidak langsung mendekati hasil metode langsung.



Gambar 2. 3 *Indirect Method* (Metode Tidak Langsung)

Cara kerja dari alat *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)* adalah dengan memberikan getaran gelombang ultrasonik longitudinal melewati transducer transmitter, kemudian merambat melalui gel pasta (*couplant*). *Couplant* sendiri berfungsi agar tidak adanya rongga antara *transducer* dengan permukaan beton agar sinyal gelombang dapat merambat secara sempurna. Ketika

sebuah gelombang merambat melalui medium yang berbeda, pada kasus ini yaitu permukaan beton dan couplant maka akan terjadi pantulan gelombang yang merambat dalam bentuk gelombang longitudinal (*P-Wave*) dan geser (*S-Wave*). *P-Wave* merambat sejajar lintasan dan *S-Wave* merambat tegak lurus lintasan. *P-Wave* akan mencapai *transducer receiver* terlebih dahulu. Kemudian akan gelombang akan diubah menjadi sinyal gelombang elektro akustik agar dapat dideteksi oleh *transducer receiver* dan kemudian *transmission time* dapat diukur.



Gambar 2. 4 Skema Diagram Alir Pengujian UPV

2.4 Jenis-Jenis Gelombang Mekanik

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

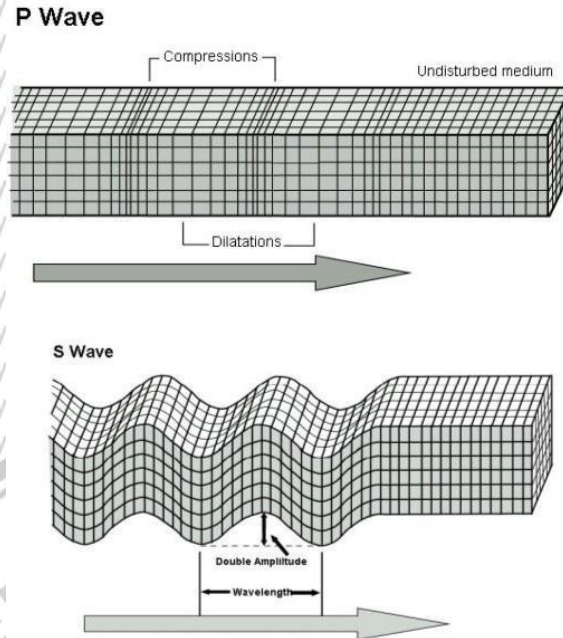
Tabel 2. 4 Jenis gelombang mekanik longitudinal berdasarkan frekuensi

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

Gelombang mekanik menyalurkan energi pada partikel dalam medium rambatnya, sehingga dalam perambatannya terjadi pergerakan dan interaksi antar partikel. Tiga jenis gelombang mekanis akan timbul ketika suatu permukaan dari media padat elastis yang besar diberikan beban dinamis maupun getaran, yaitu:

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

P-waves juga disebut gelombang kompresi karena memberikan tegangan tekan dan tarik (sejajar arah rambatnya) pada medium rambatnya. Pada gelombang ini partikel berosilasi maju dan mundur dari titik ekuilibriumnya. Gelombang ini mampu merambat melalui segala jenis medium baik padat, cair, maupun gas. *P-waves* memiliki kecepatan rambat yang paling cepat, tetapi amplitudonya paling kecil di antara gelombang-gelombang lainnya.



Gambar 2. 5 Pergerakan partikel pada gelombang P-waves dan S-waves

2. Gelombang geser atau transversal (*shear waves* atau *S-waves*)

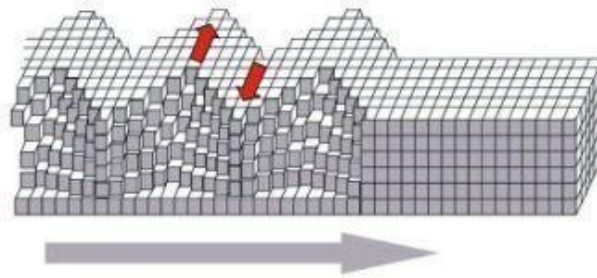
S-waves menimbulkan tegangan geser pada partikel dalam medium rambatnya. Pada gelombang ini partikelnya berosilasi secara tegak lurus dengan arah rambatan (transversal). Karena merambat melalui medium ruang, gelombang ini juga dibagi menjadi gerak horizontal (SH) dan gerak vertikal (SV).

3. Gelombang permukaan (*surface waves*)

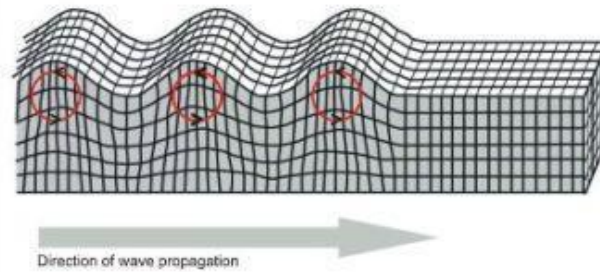
Gelombang permukaan merupakan gelombang yang merambat melalui permukaan dan semakin mengecil apabila semakin menjauhi permukaan. Gelombang permukaan merambat lebih lambat dan frekuensinya lebih rendah dari gelombang badan (*P-waves* dan *S-waves*), tetapi memiliki amplitudo yang lebih besar. Gelombang permukaan dibagi menjadi 2 yaitu *Love waves* dan *Rayleigh waves*. *Love waves* merupakan gelombang yang arah gerak partikelnya tegak lurus arah rambatnya (transversal), tetapi terjadi di permukaan. Sedangkan *Rayleigh waves* memiliki gerakan partikel yang *eliptik retrograde*, yaitu bergerak menggulung medium yang dilalui dan terlihat seperti gerakan gelombang air di laut.

Surface waves

Love wave



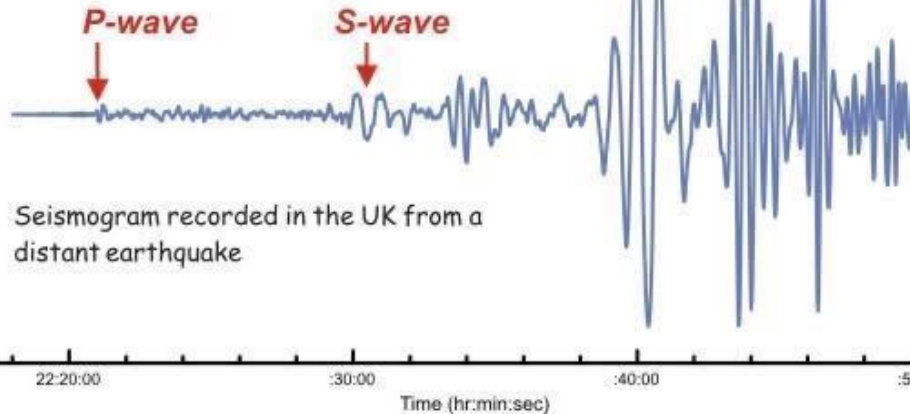
Rayleigh wave



Gambar 2. 6 Pergerakan partikel pada gelombang permukaan: Love-waves dan Rayleigh-waves

2.5 Perambatan Gelombang

Surface waves



Gambar 2. 7 Jenis-jenis gelombang pada alat pembaca gelombang.

Masing-masing jenis gelombang memiliki karakteristik cepat rambat yang berbeda-beda. Pada benda padat, P-waves merambat paling cepat sedangkan gelombang permukaan

yang paling lambat, seperti pada gambar 2.5. Pada beton, menurut ASTM kecepatan rambat *S-waves* dan permukaan 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* adalah:

$$V = \sqrt{\frac{KE}{\rho}} \quad \text{.....(2-1)}$$

Dengan:

V = kecepatan rambat,

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

E = modulus elastis dinamis

ρ = kerapatan

μ = rasio Poisson dinamis

Rentang variasi dari nilai K sangat kecil, yaitu antara 1,06-1,20. Tetapi, variasi nilai E dan ρ berpengaruh signifikan terhadap V . Umumnya kecepatan rambat (V) pada beton yaitu antara 3000 hingga 5000 m/s.

2.6 Kuat Tekan Beton

Beton mempunyai kemampuan untuk menerima gaya tekan persatuan luas, ini yang disebut dengan kekuatan tekan (f'_c). Kekuatan tekan beton sangat tinggi namun beton memiliki kuat tarik yang lemah. Kuat tekan beton merupakan salah satu parameter untuk mengetahui kualitas beton. Kuat tekan beton dapat diketahui dengan cara pengujian pada benda uji yang berbentuk kubus dengan ukuran 150 x 150 x 150 mm atau silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Rata-rata nilai f'_c dapat dipengaruhi akibat bentuk benda uji, seperti benda uji silinder menghasilkan kuat tekan lebih rendah dari pada benda uji kubus. Selain bentuk juga dapat dipengaruhi oleh kualitas bahan penyusun, kerapatan, umur beton, dan campuran pada beton. Kuat tekan beton akan semakin bertambah seiring dengan berkurangnya faktor air-semen atau nilai w/c (Mattacchione & Mattacchione, 1995).

Beton merupakan struktur yang sangat kuat untuk menerima gaya tekan, tetapi lemah terhadap gaya tarik. Sehingga untuk mengetahui nilai kuat tekan dari sebuah struktur beton (f'_c), dapat diperoleh melalui pengujian *Compression Test* menggunakan mesin *Compression Testing Machine (CTM)* dengan cara memberikan beban tekan (P) pada benda uji

beton sampai hancur. Benda uji untuk *Compression Test* dapat berupa beton silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm atau kubus dengan ukuran 15 x 15 x 15 cm.

Standar pengujian kuat tekan dapat menggunakan peraturan SNI 03- 6805 – 2002 dan ASTM C 39/C 39M-04a.

Dengan adanya beban tekan (P), maka terjadi tegangan tekan pada beton (σ_c) sebesar beban (P) dibagi dengan luas penampang beton (A), sehingga dirumuskan :

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2-1)$$

dengan :

- f'_c = tegangan tekan beton (Mpa)
- P = besar beban tekan (N)
- A = luas penampang beton (mm²)



BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dilaksanakan pada semester genap tahun ajaran 2020/2021.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1. Alat Penelitian

Penelitian ini menggunakan peralatan sebagai berikut:

1. Satu set ayakan untuk analisis gradasi agregat kasar maupun agregat halus.
2. Timbangan
3. Cetok
4. Satu set alat uji slump.
5. Alat bantu untuk pengecoran (Sendok semen, palu karet, ember)
6. *Concrete mixer* (Alat pencampur bahan beton)
7. Gerobak pengangkut (Arko)
8. Talam.
9. Jangka Sorong.
10. Penggaris

3.2.2. Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan sebagai berikut:

1. Semen, *Portland pozzolan cement* (PPC)
2. Agregat kasar dari batu pecah (NCA)
3. Agregat Halus (Pasir)
4. Air bersih

3.2.3. Alat Pengujian

1. Alat *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV)

Alat UPV dengan merk Proceq tipe PL-200. Berisikan 1 transducer (1 transmitter dan 1 receiver) dan juga 1 buat pundit. Alat ini untuk menunjukkan waktu cepat rambat gelombang ultrasonik pada benda uji beton.



Gambar 3. 1 Alat UPV Proceq tipe PL-200

3.3. Variabel Penelitian

Pada penelitian ini ada beberapa variabel yang menjadi fokus tinjauan yang akan diukur yaitu:

- a. Variabel bebas (independent variable), adalah variable yang ditentukan sendiri oleh penulis dan dapat diubah guna kepentingan penelitian. Variabel bebas merupakan variable yang dapat mempengaruhi variable lain. Dalam penelitian ini variable bebas yang digunakan adalah:
 - 1) Kecepatan gelombang ultrasonik hasil UPV test pada kemiringan 3,5°.
 - 2) Kecepatan gelombang ultrasonik hasil UPV test pada kemiringan 7°.
 - 3) Kecepatan gelombang ultrasonik hasil UPV test pada kemiringan 10,5°.
- b. Variabel terikat, yaitu variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas. Variabel terikat dari penelitian ini adalah nilai kecepatan pada beton normal.
- c. Variabel kontrol, yaitu variabel yang berfungsi sebagai kontrol terhadap variabel bebas dan variabel terikat, yaitu nilai *Slump Test*.

3.4. Analisis Bahan

3.4.1 Semen

Semen yang digunakan pada penelitian ini berjenis semen *Portland Pozzolan Cement (PPC)* tipe I. Sebelum di gunakan di lakukan pengamatan terlebih dahulu dengan cara melihat fisik dari semen tersebut. Semen yang di gunakan bermerk semen tiga roda.

3.4.2 Air

Penelitian ini menggunakan air PDAM kota malang dan air bersih yang tidak berubah warna dan tidak berbau.

3.4.3 Agregat Kasar Alami (*Natural Coarse Aggregate*)

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini menggunakan kerikil dari batu pecah. Sebelum digunakan untuk pengecoran, dilakukan beberapa pengujian, diantaranya adalah :

- SNI 03-2847-2002 (analisa saringan agregat kasar dan halus)
- SNI-1969-2008 (Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar)
- ASTM C-29-71 (Cara Pengujian Berat Isi Agregat)

3.4.4 Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir dan harus dilakukan pengujian terlebih dahulu sesuai dengan SNI 03-2847-2002 tentang analisis saringan agregat halus dan kasar.

3.5 Tahap Penelitian



Gambar 3. 2 flowchart penelitian

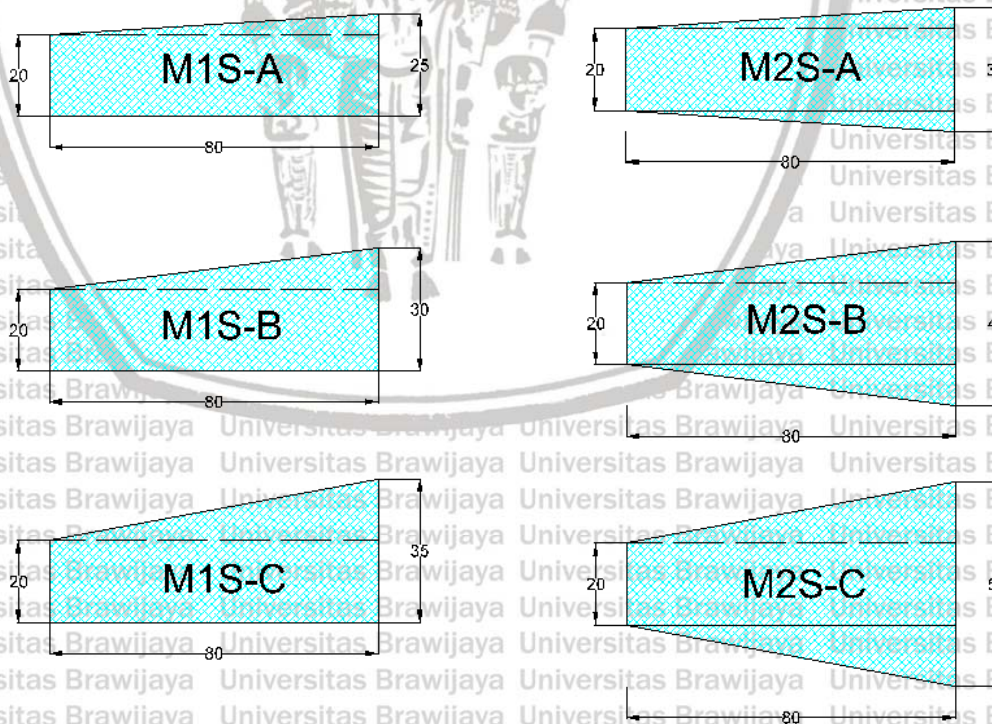


3.6 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan benda uji beton balok normal dengan ukuran yang ditampilkan pada gambar 3.3 Digunakan 3 benda uji dengan masing-masing satu sudut miring 3,5°, 7°, dan 10,5°. dan 3 benda uji dengan masing-masing dua sisi sudut miring 3,5°, 7°, dan 10,5°. Komposisi rasio benda uji berdasarkan SNI 7394 : 2008 dapat dilihat pada tabel 3.1. Rincian volume benda uji dapat dilihat pada table 3.2.

Tabel 3. 1 komposisi rasio pada mix design beton

Beton	Semen	Air	Agregat Kasar	Agregat Halus	Jumlah
Beton mutu $f_c' = 18,75 \text{Mpa}$	1	0,7	2,505	1,609	6



Gambar 3. 3 Dimensi benda uji beton balok

Tabel 3. 2 Rincian Volume Benda Uji

Beton	Jenis Benda Uji	Volume 1 Benda uji (m^3)
Beton 3,5° (M1S-A)	Balok	0,052
Beton 7° (M1S-B)	Balok	0,056
Beton 10,5° (M1S-C)	Balok	0,06
Beton 3,5° (M2S-A)	Balok	0,048
Beton 7° (M2S-B)	Balok	0,064
Beton 10,5° (M2S-C)	Balok	0,08

3.7 Prosedur Penelitian

3.7.1 Pengujian Agregat Kasar dan Agregat Halus

3.7.1.1 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis, berat jenis jenuh kering permukaan (SSD), berat jenis semu, dan presentase berat air yang mampu diserap pori terhadap berat agregat kasar kering.

A. Pelaksanaan Pengujian.

1. Cuci agregat kasar
2. Keringkan agregat kasar di dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}C$ sampai beratnya tetap.

3. Dinginkan dalam suhu kamar selama 1 sampai 3 jam, biarkan mengering hingga suhunya kira-kira 50° C. Timbang benda uji dengan ketelitian 0,5 gram.
4. Rendam agregat kasar dalam air pada suhu ruangan selama 24±4 jam.
5. Keluarkan agregat kasar, lap dengan lembaran penyerap air. Lakukan dengan hati-hati untuk menghindari penguapan air dari pori-pori agregat dalam mencapai kondisi SSD.
6. Timbang agregat kasar.
7. Letakan agregat kasar ke dalam keranjang dan masukkan ke dalam air. Goncangkan agregat tersebut untuk mengeluarkan udara dan menentukan beratnya di dalam air.

B. Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Air.

Berdasarkan SNI 03-1969-1990, pengujian dihitung sebagaimana berikut ini:

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{Bk}{(Bj - Ba)} \dots\dots\dots(3.1)$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh} = \frac{Bj}{(Bj - Ba)} \dots\dots\dots(3.2)$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{(Bk - Ba)} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(Bj - Bk)}{Bk} \times 100\% \dots\dots\dots(3.4)$$

Dengan,

Bk = Berat benda uji kering oven (gram)

Bj = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)

Ba = Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (gram)

3.7.1.2 Pengujian Berat isi Agregat

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berat isi agregat kasar yaitu perbandingan berat material kering agregat dengan volumenya. Pemeriksaan ini berdasarkan (ASTM C-29-71).

A. Peralatan

1. Timbangan dengan ketelitian 0,1% berat contoh;

2. Tongkat baja pemadatan diameter 15 mm, panjang 50 cm yang berujung lingkaran;
3. Kotak takar kaku berbentuk silinder

B. Pelaksanaan Pengujian dan perhitungan

Prosedur percobaan dalam praktikum ini yaitu:

1. Persiapkan peralatan dan bahan yang akan digunakan;
2. Ukurlah diameter dan tinggi dari talam silinder yang akan digunakan menggunakan mistar;
3. Dalam melakukan praktikum pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat terdapat 3 metode yang akan digunakan yaitu metode berat isi lepas, berat isi tusuk dan berat isi ketuk;
4. Pengujian berat isi dan rongga udara dalam agregat dilakukan sebagai berikut:

a) Metode Dilepas

1. Timbang dan catatlah berat wadah (W_1)
2. Masukkan agregat kasar dengan hati-hati agar tidak berjatuh dan tidak terpisah dengan 3. butir-butir yang lainnya, dengan ketinggian maksimum 5 cm di atas wadah dengan menggunakan sekop sampai penuh
3. Ratakan permukaan agregat kasar dengan menggunakan mistar perata
4. Timbang dan catatlah berat wadah beserta agregat kasar (W_2)
5. Hitunglah berat agregat kasar ($W_3 = W_2 - W_1$)

b) Metode Ditusuk

1. Timbang dan catatlah berat wadah (W_1)
2. Isilah wadah dengan agregat kasar dalam tiga lapis yang sama tebal.
3. Setiap lapis dipadatkan dengan tongkat pemadat yang ditusukkan sebanyak 25x secara merata.
4. Pada saat lapis ke tiga, isi agregat kasar melebihi ukuran wadah. Tusuk sebanyak 25x kemudian ratakan dengan mistar perata
5. Timbang dan catatlah berat benda wadah beserta agregat kasar (W_2)
6. Hitunglah berat agregat kasar ($W_3 = W_2 - W_1$)

c) Metode Digoyang

1. Timbang dan catatlah berat wadah (W_1)

2. Isilah wadah dengan agregat kasar dalam tiga lapis yang sama tebal.
3. Letakkan wadah ditempat yang rata dan kokoh, kemudian setiap lapis dipadatkan dengan cara menggoyang-goyangkan wadah sebanyak 25x secara merata
4. Pada saat lapis ke tiga, isi agregat kasar melebihi ukuran wadah. Goyangkan sebanyak 25x kemudian ratakan dengan mistar perata
5. Timbang dan catatlah berat wadah beserta agregat kasar (W_2)
6. Hitunglah berat agregat kasar ($W_3 = W_2 - W_1$)

3.7.2 Pengujian Saat *Fresh Concrete*

3.7.2.1 Pengujian Keleccakan (*Slump test*)

Pengujian Slump Test bertujuan untuk mengetahui hasil campuran beton tersebut sudah sesuai dengan keleccakan yang di inginkan atau tidak. Keleccakan adalah kemudahan beton tersebut untuk di cetak. Adapun alat – alat yang di gunakan, cara pengujian dan analisisnya yaitu:

A. Alat dan bahan

1. Kerucut Abrams (Kerucut yang bagian runcingnya hilang), sebagai cetakan. Dengan diameter bawah 20,3 cm, diameter atas 10,2 cm dan tinggi 30,5 cm.
2. Batang besi dengan ujung bulat, panjang ± 60 cm diameter 10-16 mm.
3. Talam.
4. Cetok.
5. Mistar atau pita ukur.

B. Langkah - langkah Pengujian

Langkah – langkah dari percobaan slump adalah:

1. Cuci kerucut abrams dan juga batang besi
2. Letakkan kerucut abrams pada talam yang memiliki permukaan datar.
3. Masukkan beton segar kedalam kerucut dengan tata cara 1/3 tinggi kerucut abrams lalu di padatkan dengan batang logam lalu di isi 2/3 dan begitu seterusnya hingga penuh. Setelah penuh isi rongga yang masih ada dengan beton segar lalu ratakan menggunakan logam besi.

4. Setelah itu bersihkan sekitar kerucut abras dan Tarik kerucut secara vertikal.
5. Setelah di Tarik beton segar akan runtuh sebagian lalu balik kerucut abras dan letakkan logam besi secara horizontal di atas kerucut abras.
6. Lalu ukur tinggi *slump* dari selisih tinggi rata-rata benda uji dengan tinggi kerucut dan catat. Seluruh proses uji *slump* tidak boleh lebih dari 3 menit.

C. Perhitungan Nilai Slump

$$\text{Slump (cm)} = \text{Tinggi cetakan (cm)} - \text{tinggi rata-rata benda uji} \dots\dots\dots(3.1)$$

3.7.3 Pembuatan benda uji dan curing

Benda uji yang digunakan adalah 6 buah benda uji. Benda uji ini akan di uji yaitu pengujian *UPV*. Curing bertujuan agar beton tidak cepat kehilangan kandungan air agar dapat bereaksi maksimal dengan semen. Adapun beberapa hal yang harus di lakukan antara lain:

A. Alat dan bahan

Alat – alat yang perlu di persiapkan adalah:

1. Cetakan balok sesuai dengan ukuran
2. Cetok
3. Alat penumbuk berupa besi panjang
4. Tongkat perata
5. Palu karet

B. Pembuatan benda uji

Langkah – langkah pembuatan benda uji silinder antara lain:

1. Langkah pertama adalah mengolesi cetakan balok dengan oli agar mempermudah untuk di lepaskan ketika beton telah mengeras.
2. Beton segar yang telah selesai di uji *slump* dan memenuhi persyaratan di masukkan kedalam cetakan balok.
3. Pengisiannya hampir sama dengan cara pengujian *slump*, dengan di masukkan 1/3 bagian lalu di padatkan dengan cara di tusuk menggunakan besi sebanyak 25 kali. begitu pula pada lapisan 2/3 dan penuh.

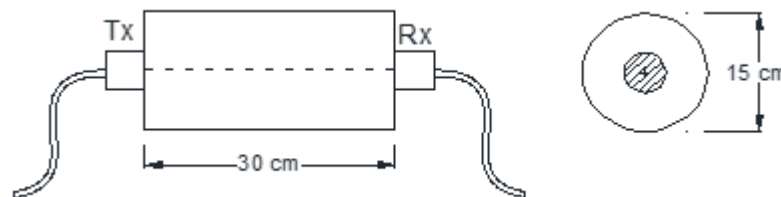
4. Ketika di isi cetakan harus di pukul – pukul menggunakan palu karet agar agregat dapat mengisi rongga udara yang ada.
5. Setelah penuh lalu di ratakan dan di diamankan hingga mengeras.

C. Proses Curing

Setelah beton mengeras dan di lepas dari cetakan selanjutnya beton harus di curing dengan cara beton di tutupi menggunakan kain yang telah di basahi. Kondisi kain harus tetap basah selama masa curing.

3.8 UPV Test

Pengujian UPV ini dilakukan dengan menggunakan alat Pundit PL-200. Pengujian dilakukan pada benda uji beton 28 hari. Pengujian 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 3.3. 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*.

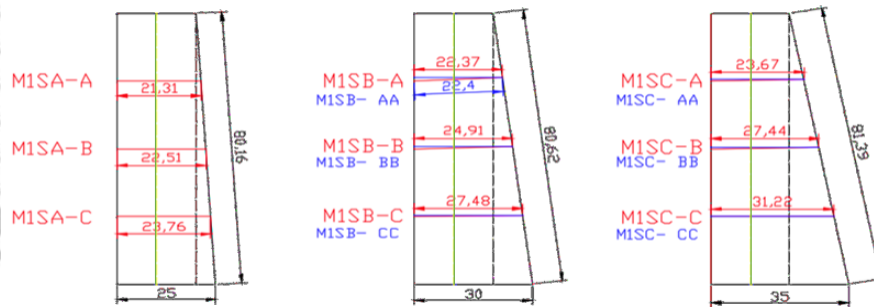


Gambar 3. 4 Skema titik pengujian UPV pada benda uji silinder

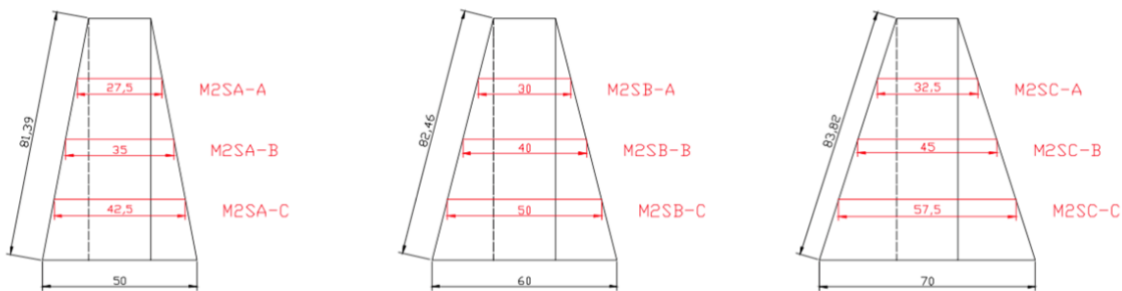
Beberapa hal yang dilakukan dalam prosedur pengujian UPV antara lain:

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. 5 titik pengukuran pada balok beton satu sisi miring.

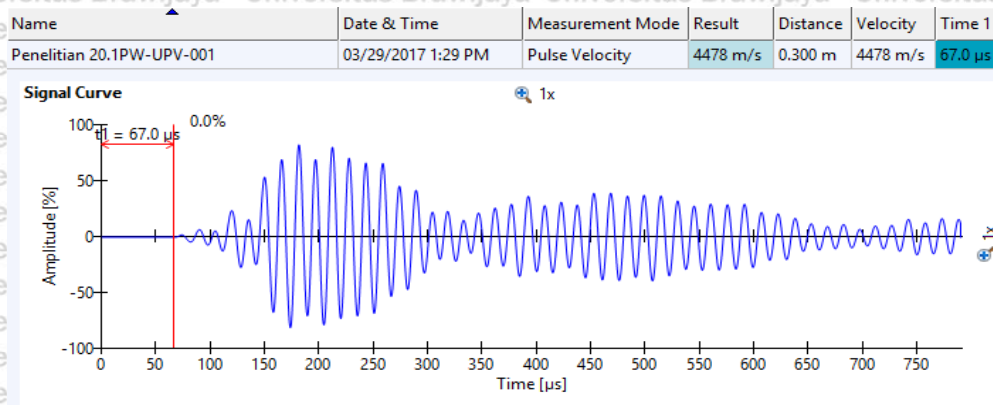


Gambar 3. 6 titik pengukuran pada balok beton dua sisi miring.

3.9 Metode Pengolahan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini di ambil dari beberapa pengujian yang di lakukan ketika beton berumur 28 hari. Dengan mutu beton yang ditentukan. Lalu dilakukan pengujian *UPV* untuk mendapatkan data berupa *waveform* dan juga kecepatan gelombang ultrasonik yang diterima oleh *receiver*. Hasil dari percobaan tersebut lalu di olah menggunakan aplikasi PL-Link agar mendapat parameter cepat

rambat gelombang. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan korelasi antara cepat rambat gelombang pada ultrasonic dan juga kuat tekan beton.



Gambar 3. 7 Tampilan data hasil pengujian UPV menggunakan aplikasi PL-Link.

3.10 Analisis 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 kecepatan gelombang pada tiap balok beton. Data-data 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 tiap benda uji.

Dari data – data diatas lalu di buatlah grafik yang menunjukkan hasil dari pengujian yang dilakukan. Dari grafik ini dapat di ambil kesimpulan tentang korelasi sudut beton terhadap cepat rambat gelombang.



Gambar 3. 8 Tampilan grafik kecepatan dan kuat tekan beton mutu K-225

Dari data-data di atas diambil satu sampel yang dipakai sebagai acuan dalam perbandingan karakteristik beton, yaitu sample pada umur hari. Kemudian dari seluruh data-data tersebut dikelompokkan berdasarkan nilai relatif terhadap sampel acuan untuk mengetahui hubungan kerapatan dengan karakteristik gelombangnya. Kemudian dari data tersebut dibuat persamaan regresi exponential dikarenakan beton mempunyai karakteristik banyak variable didalam kuat tekan beton sehingga menggunakan persamaan exponential. Dan juga membandingkan apakah nilai reduksi kuat tekan beton pada SNI dapat di gunakan pada *UPV test*.

3.11 Hipotesis

berdasarkan referensi dan pemahaman penulis, maka penelitian ini diharapkan memiliki hasil :

1. Pengujian UPV memiliki tingkat akurasi yang tinggi.
2. Semakin kecil sudut pada benda uji balok maka hasil cepat rambat gelombang dengan menggunakan alat *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)* semakin besar.
3. Hasil pengujian UPV dengan metode direct akan mendekati kuat tekan actual beton.

**BAB IV
PEMBAHASAN**

4.1 Pembuatan Benda Uji Balok Dengan Sisi Miring

Benda uji yang digunakan pada penelitian ini menggunakan beton normal sebanyak 6 buah balok. Terdapat dua jenis beton yaitu beton dengan satu sisi miring sejumlah 3 buah balok beton dan dua sisi miring sejumlah 3 buah balok beton. Keenam benda uji ini masing – masing memiliki sudut yang berbeda, balok dengan kemiringan satu sisi memiliki sudut yaitu 3,5°, 7°, 10,5°. Balok dengan kemiringan dua sisi memiliki masing – masing sudut yaitu 3,5°, 7°, 10,5°. Perencanaan campuran beton dilakukan berdasarkan SNI-03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Hasil perhitungan proporsi kebutuhan bahan dari setiap variasi terdapat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Kebutuhan Bahan untuk Campuran Benda Uji

Banyaknya Bahan	Semen (kg)	Air (kg/m³)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	
Tiap Campuran Benda Uji	46,76	20,87	104,82	183,34	
SF = 5%	49,1	21,91	110,07	191,45	
Mutu Beton	Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	Jumlah
Beton f'c 18,75 MPa	1	0,446	2,24	3,90	6

Dari perencanaan campuran tersebut dilakukan proses pembuatan benda uji. Benda uji yang berhasil dibuat yaitu: Balok beton normal dengan f'c 18,75 MPa sebanyak 6 buah. Setelah proses pengecoran, dilakukan proses perawatan atau *curing* kemudian dilakukan pengujian pada saat umur beton telah melewati 28 hari.

4.1.1 Proses Pembuatan Benda Uji

Jumlah benda uji yang digunakan adalah 6 buah, Adapun beberapa hal yang harus dilakukan antara lain alat dan bahan yang perlu di persiapkan adalah cetakan balok sesuai dengan

ukuran, cetok, alat penumbuk berupa besi panjang, tongkat perata, palu karet. Selanjutnya langkah – langkah pembuatan benda uji silinder yang pertama adalah mengolesi cetakan balok dengan oli agar mempermudah untuk di lepaskan ketika beton telah mengeras, beton segar yang telah selesai di uji slump dan memenuhi persyaratan di masukkan kedalam cetakan balok. Hampir sama dengan cara pengujian slump, dengan di masukkan 1/3 bagian lalu di padatkan dengan cara di tusuk menggunakan besi sebanyak 25 kali. Dipadatkan juga pada lapisan 2/3 dan penuh. Ketika di isi cetakan harus di pukul – pukul menggunakan palu karet agar agregat dapat mengisi rongga udara yang ada. Setelah penuh lalu di ratakan dan di di amkan hingga mengeras. Setelah beton mengeras dan di lepas dari cetakan selanjutnya beton harus di curing dengan cara beton di tutupi menggunakan kain yang telah di basahi dan kondisi kain harus tetap basah selama masa perawatan saat beton mulai mengeras.



Gambar 4. 1 Proses Pembuatan Benda Uji

4.1.2 Pengujian Mutu Benda Uji

Pada pengujian kuat tekan, terdapat variasi hasil kuat tekan pada masing-masing benda uji. Untuk hasil penelitian terpaut nilai yang cukup signifikan antara kelima benda uji. Rata-rata hasil kuat tekan yang dihasilkan yaitu antara 30-36 MPa. Kuat tekan yang dilakukan pada penelitian ini yaitu Hammer Test.

Tabel 4. 2 Pengujian Mutu Benda Uji

Benda Uji	Kode Benda Uji	f c Hammer Test (MPa)	Rata-rata Hammer Test	Standart Deviasi
Beton Normal	M2S A	28,5	27,875	3,8578923
	M2S A	29		
	M1S C 1	32		
	M1S C 2	34		
	M1S B 1	31		
	M1S B 2	27		
	M1S B 3	32		
	M1S A 1	30		

Tabel 4.2 Pengujian Mutu Benda Uji

Benda Uji	Kode Benda Uji	f c Hammer Test (MPa)	Rata-Rata Hammer Test	Standart Deviasi
Beton Normal	M1S A 2	28	27,875	3,8578923
	M1S A 3	31		
	M2S C 1	24		
	M2S C 2	25		
	M2S B 1	19		
	M2S B 2	25		
	M2S B 3	24,5		
	M2S B 4	26		

4.2 Hasil Pengujian UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*) untuk Balok Miring Satu Sisi

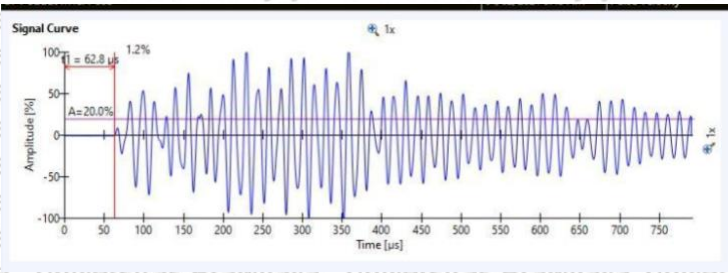
4.2.1 Hasil Pengujian UPV Balok Miring Satu Sisi Sudut 3,5°

Pada hasil pengujian UPV dengan metode langsung pada balok miring satu sisi sudut 3,5 ° Pada objek M1S – A (3,5 °), terdapat hasil pengujian pada *Measurement Point A* menunjukkan percobaan pertama mendapatkan 3596 V (m/s), yang kedua 3737 V (m/s) dan yang terakhir 3697 V (m/s). Hasil pengujian pada *Measurement Point B* menunjukkan percobaan pertama mendapatkan 3676 V (m/s), yang kedua 3713 V (m/s) dan yang terakhir 3606 V (m/s). Hasil pengujian pada *Measurement Point C* menunjukkan percobaan pertama mendapatkan 3780 V (m/s), yang kedua 3727 V (m/s) dan yang terakhir 3822 V (m/s). Dari hasil pengujian ini juga mendapatkan nilai rata-rata yaitu 3706 V (m/s)

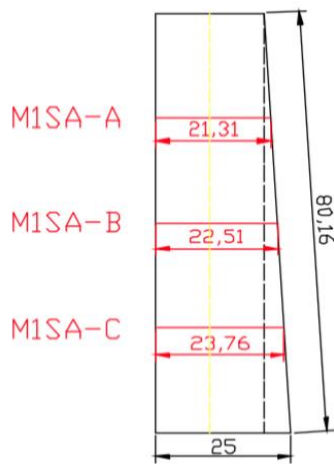
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian UPV Balok Miring satu sisi sudut 3,5°

Objek	Titik Pengukuran	V (m/s)				t (µs)			
		1st	2nd	3rd	Rata-rata	1st	2nd	3rd	Rata-rata
M1S - A (3,5°)	A	3596	3737	3596	3643	58,4	56,2	56,8	57,13
	B	3676	3713	3676	3688	61,2	60,6	62,4	61,40
	C	3780	3727	3822	3776	63,5	64,4	62,8	63,57
	Kontrol	3510	3646	3666	3607	227,9	219,4	218,2	221,83

Hasil pengujian UPV pada benda uji balok M1S-A didapatkan hasil rata-rata yang meningkat dari titik A - C seperti pada tabel 4.3. Kemudian distance juga telah sesuai dengan ukuran balok beton yang telah diilustrasikan pada gambar 4.3.



Gambar 4. 2 Hasil Pengujian Waveform menggunakan UPV pada balok miring satu sisi sudut 3,5°



Gambar 4. 3 Sketsa titik pengujian pada balok miring satu sisi sudut 3,5°

Pada penelitian ini menggunakan metode langsung maka jaraknya seperti pada gambar 4.3 menghasilkan output berupa waveform yang kemudian dianalisis menggunakan software PL-Link untuk mengambil hasil gelombang seperti waktu transmisi dan amplitude yang terdapat pada gambar 4.2 didapatkan t_1 sebesar $62,8 \mu s$; A_1 sebesar $1,2\%$, dan perkiraan puncak gelombang pada waktu $200 - 350 \mu s$ dengan Amplitudo mencapai 100% .

4.2.2 Hasil Pengujian UPV Balok Miring Satu Sisi Sudut 7°

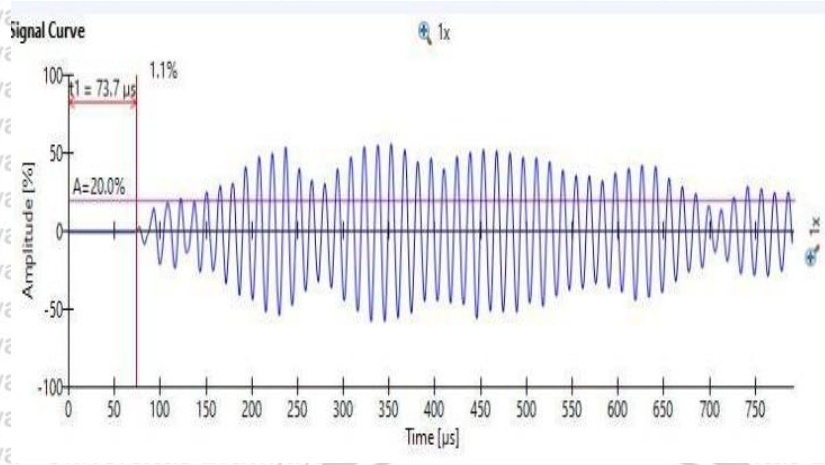
Pada hasil pengujian UPV balok miring satu sisi sudut 7° Pada objek M1S – B (7°), terdapat hasil pengujian pada *Measurement Point A* menunjukkan percobaan pertama mendapatkan 3781 V (m/s) , yang kedua 3787 V (m/s) dan yang terakhir 3781 V (m/s) . Hasil pengujian pada *Measurement Point B* menunjukkan percobaan pertama mendapatkan $3761 \text{ V$

(m/s), yang kedua 3830 V (m/s) dan yang terakhir 3824 V (m/s). Hasil pengujian pada *Measurement Point C* menunjukkan percobaan pertama mendapatkan 3830 V (m/s), yang kedua 3825 V (m/s) dan yang terakhir 3874 V (m/s). hasil pengujian pada *Measurement Point D* menunjukkan percobaan pertama mendapatkan 3758 V (m/s), yang kedua 3758 V (m/s) dan yang terakhir 3740 V (m/s). Hasil pengujian pada *Measurement Point E* menunjukkan percobaan pertama mendapatkan 3708 V (m/s), yang kedua 3697 V (m/s) dan yang terakhir 3697 V (m/s). Hasil pengujian pada *Measurement Point F* menunjukkan percobaan pertama mendapatkan 3840 V (m/s), yang kedua 3840 V (m/s) dan yang terakhir 3840 V (m/s). Dari hasil pengujian ini juga mendapatkan nilai rata-rata yaitu 3786,6667 V (m/s)

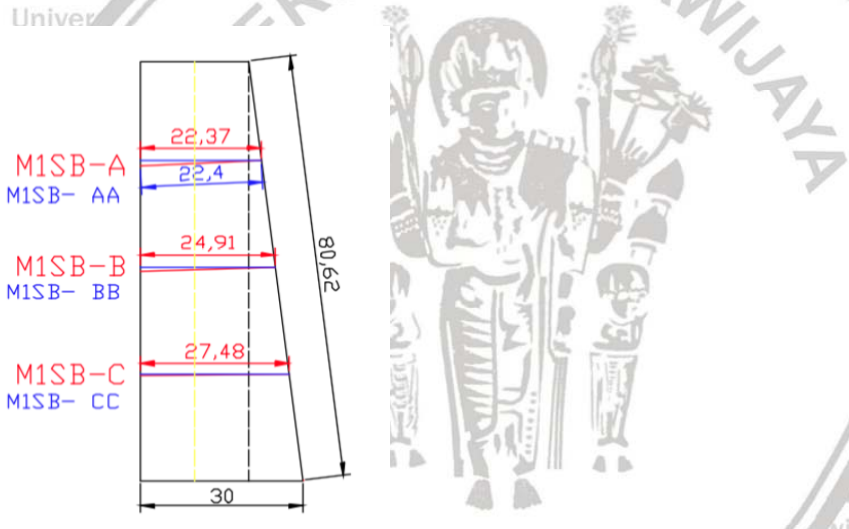
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian UPV Balok Miring Satu Sisi Sudut 7°

Objek	Titik Pengukuran	V (m/s)				t (μs)			
		1st	2nd	3rd	Rata-rata	1st	2nd	3rd	Rata-rata
MIS - B (7°)	A	3761	3830	3824	3805	67	65,8	65,9	66,23
	B	3830	3825	3873	3843	73,1	73,2	72,3	72,87
	C	3758	3758	3740	3752	61,2	61,2	61,5	61,30
	Kontrol	3723	3811	3717	3750	214,9	209,9	215,2	213,33

Hasil pengujian UPV pada benda uji balok MIS-B didapatkan hasil rata-rata 3800 m/s. Seperti pada *tabel 4.4*. Kemudian distance juga telah sesuai dengan ukuran balok beton yang telah diilustrasikan pada *Gambar 4.5*.



Gambar 4. 4 Hasil Pengujian Waveform menggunakan UPV pada balok miring satu sisi sudut 7°



Gambar 4. 5 Sketsa titik pengujian pada balok miring satu sisi Sudut 7°

Pada penelitian ini menggunakan metode langsung maka jaraknya seperti pada Gambar 4.5 menghasilkan output berupa waveform yang kemudian dianalisis menggunakan software PL-Link untuk mengambil hasil gelombang seperti waktu transmisi dan amplitude yang terdapat pada Gambar 4.4 didapatkan t_1 sebesar $73,7 \mu s$; A_1 sebesar 1,1%, dan perkiraan puncak gelombang pada waktu $300 - 350 \mu s$ dengan Amplitudo mencapai sekitar 55%.

4.2.3 Hasil Pengujian UPV Balok Miring Satu Sisi Sudut 10,5°

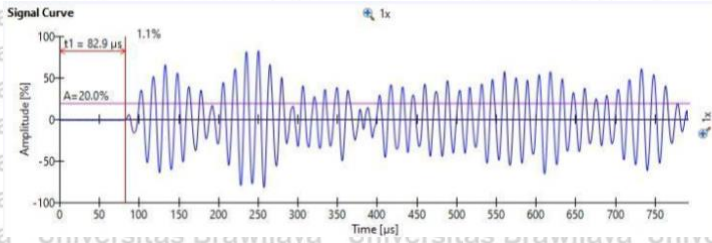
Pada hasil pengujian UPV balok miring satu sisi sudut $10,5^\circ$ Pada objek MIS - C (10°), terdapat hasil pengujian pada *Measurement Point A* menunjukkan percobaan pertama

mendapatkan 3834 V (m/s), yang kedua 3865 V (m/s) dan yang terakhir 3822 V (m/s). Hasil pengujian pada *Measurement Point B* menunjukkan percobaan pertama mendapatkan 3736 V (m/s), yang kedua 3508 V (m/s) dan yang terakhir 3814 V (m/s). Hasil pengujian pada *Measurement Point C* menunjukkan percobaan pertama mendapatkan 3772 V (m/s), yang kedua 3777 V (m/s) dan yang terakhir 3837 V (m/s). Hasil pengujian pada *Measurement Point D* menunjukkan percobaan pertama mendapatkan 3678 V (m/s), yang kedua 3715 V (m/s) dan yang terakhir 3744 V (m/s). Hasil pengujian pada *Measurement Point E* menunjukkan percobaan pertama mendapatkan 3857 V (m/s), yang kedua 3831 V (m/s) dan yang terakhir 3800 V (m/s). Hasil pengujian pada *Measurement Point F* menunjukkan percobaan pertama mendapatkan 3860 V (m/s), yang kedua 3920 V (m/s) dan yang terakhir 3920 V (m/s). Dari hasil pengujian ini juga mendapatkan nilai rata-rata yaitu 3793,8889 V (m/s).

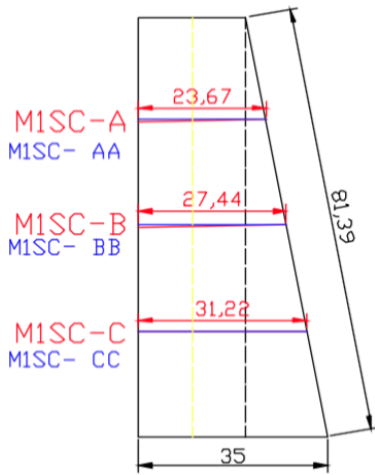
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian UPV Balok Miring Satu Sisi Sudut 10,5°

Objek	Titik Pengukuran	V (m/s)				t (μs)			
		1st	2nd	3rd	Rata-rata	1st	2nd	3rd	Rata-rata
MIS - C (10,5°)	A	3736	3508	3814	3686	73,6	78,4	72,1	74,70
	B	3772	3777	3837	3795	83,5	83,4	82,1	83,00
	C	3768	3715	3744	3742	63,7	64,6	64,1	64,13
Kontrol		3504	3509	3650	3554	228,3	228	219,2	225,17

Hasil pengujian UPV pada benda uji balok MIS-C didapatkan hasil rata-rata 3741 m/s. Seperti pada tabel 4.5. Kemudian distance juga telah sesuai dengan ukuran balok beton yang telah diilustrasikan pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 6 Hasil Pengujian Waveform menggunakan UPV pada balok miring satu sisi sudut 10,5°.



Gambar 4. 7 Sketsa titik pengujian pada balok miring satu sisi Sudut 10,5°.

Pada penelitian ini menggunakan metode langsung maka jaraknya seperti pada Gambar 4.7 menghasilkan output berupa waveform yang kemudian dianalisis menggunakan software PL-Link untuk mengambil hasil gelombang seperti waktu transmisi dan amplitude yang terdapat pada Gambar 4.6 didapatkan t_1 sebesar $82,9 \mu s$; A_1 sebesar $1,1\%$, dan perkiraan puncak gelombang pada waktu $200 - 250 \mu s$ dengan Amplitudo mencapai sekitar 80% .

4.3 Hasil Pengujian UPV (Ultrasonic Pulse Velocity) untuk Balok Miring Dua Sisi

4.3.1 Hasil Pengujian UPV Balok Miring dua Sisi Sudut 3,5°

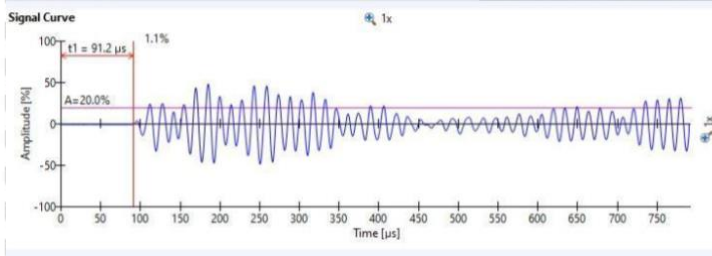
Pada hasil pengujian UPV balok miring dua sisi sudut 3,5° Pada objek M2S – A (3,5°), terdapat hasil pengujian pada *Measurement Point* A menunjukkan percobaan pertama mendapatkan 3830 V (m/s) , yang kedua 3789 V (m/s) dan yang terakhir 3830 V (m/s) . Hasil pengujian pada *Measurement Point* B menunjukkan percobaan pertama mendapatkan 3880 V (m/s) , yang kedua 3884 V (m/s) dan yang terakhir 3893 V (m/s) . Hasil pengujian pada

Measurement Point C menunjukkan percobaan pertama mendapatkan 3700 V (m/s), yang kedua 3697 V (m/s) dan yang terakhir 3714 V (m/s). Dari hasil pengujian ini juga mendapatkan nilai rata-rata yaitu 3801,89 V (m/s)

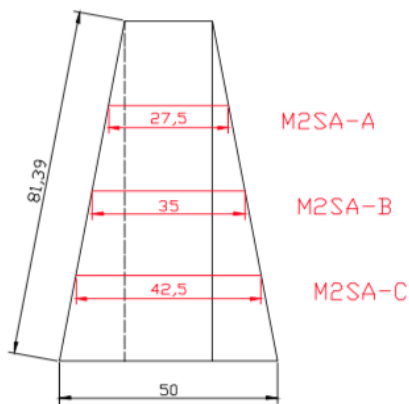
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian UPV Balok Miring dua sisi sudut 3,5°

Objek	Titik Pengukuran	V (m/s)				t (μs)			
		1st	2nd	3rd	Rata-rata	1st	2nd	3rd	Rata-rata
M2S - A (3,5°)	A	3814	3789	3830	3811	73,4	73,9	73,1	73,47
	B	3880	3884	3893	3886	91,5	91,4	91,2	91,37
	C	3700	3697	3714	3704	113,5	113,6	113,1	113,40
	Kontrol	3675	3680	3682	3679	217,7	217,4	217,3	217,47

Hasil pengujian UPV pada benda uji balok M2S-A didapatkan hasil rata-rata 3800 m/s. Seperti pada tabel 4.6. Kemudian distance juga telah sesuai dengan ukuran balok beton yang telah diilustrasikan pada Gambar 4.9.



Gambar 4. 8 Hasil Pengujian Waveform menggunakan UPV pada balok miring dua sisi sudut 3,5°



Gambar 4. 9 Sketsa titik pengujian pada balok miring satu sisi Sudut $3,5^\circ$

Pada penelitian ini menggunakan metode langsung maka jaraknya seperti pada gambar 4.9 menghasilkan output berupa waveform yang kemudian dianalisis menggunakan software PL-Link untuk mengambil hasil gelombang seperti waktu transmisi dan amplitude yang terdapat pada gambar 4.8 didapatkan t_1 sebesar $91,2 \mu\text{s}$; A_1 sebesar $1,4\%$, dan perkiraan puncak gelombang pada waktu $150 - 200 \mu\text{s}$ dengan Amplitudo mencapai 50% .

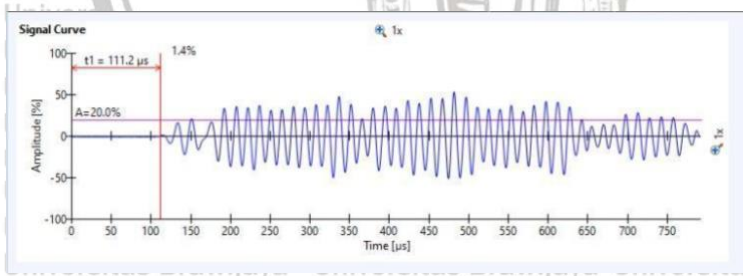
4.3.2 Hasil Pengujian UPV Balok Miring Dua Sisi Sudut 7°

Pada hasil pengujian UPV balok miring dua sisi sudut 7° Pada objek M2S – B (7°), terdapat hasil pengujian pada *Measurement Point A* menunjukkan percobaan pertama mendapatkan 3628 V (m/s) , yang kedua 3567 V (m/s) dan yang terakhir 3676 V (m/s) . Hasil pengujian pada *Measurement Point B* menunjukkan percobaan pertama mendapatkan 3777 V (m/s) , yang kedua 3700 V (m/s) dan yang terakhir 3727 V (m/s) . Hasil pengujian pada *Measurement Point C* menunjukkan percobaan pertama mendapatkan 3401 V (m/s) , yang kedua 3478 V (m/s) dan yang terakhir 3485 V (m/s) . Dari hasil pengujian ini juga mendapatkan nilai rata-rata yaitu $3604,33 \text{ V (m/s)}$

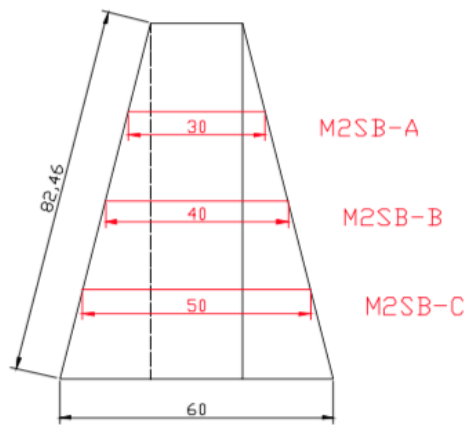
Tabel 4. 7 Hasil Pengujian UPV Balok Miring Dua Sisi Sudut 7°

Objek	Titik Pengukuran	V (m/s)				t (µs)			
		1st	2nd	3rd	Rata-rata	1st	2nd	3rd	Rata-rata
M2S - B (7°)	A	3616	3567	3676	3620	82,9	84,1	81,6	82,87
	B	3777	3700	3727	3735	111,2	113,5	112,7	112,47
	C	3401	3478	3485	3455	152,9	149,5	149,2	150,53
	Kontrol	3148	3157	3299	3201	254,1	253,4	242,5	250,00

Hasil pengujian UPV pada benda uji balok M2S-B didapatkan hasil rata-rata 3603 m/s. Seperti pada tabel 4.7. Kemudian distance juga telah sesuai dengan ukuran balok beton yang telah diilustrasikan pada Gambar 4.11.



Gambar 4. 10 Hasil Pengujian Waveform menggunakan UPV pada balok miring dua sisi sudut 7°



Gambar 4. 11 Sketsa titik pengujian pada balok miring satu sisi Sudut 7° .

Pada penelitian ini menggunakan metode langsung maka jaraknya seperti pada gambar 4.11 menghasilkan output berupa waveform yang kemudian dianalisis menggunakan software PL-Link untuk mengambil hasil gelombang seperti waktu transmisi dan amplitude yang terdapat pada gambar 4.10 didapatkan t_1 sebesar $111,2 \mu\text{s}$; A_1 sebesar $1,1\%$, dan perkiraan puncak gelombang pada waktu $450 - 500 \mu\text{s}$ dengan Amplitudo mencapai sekitar 50% .

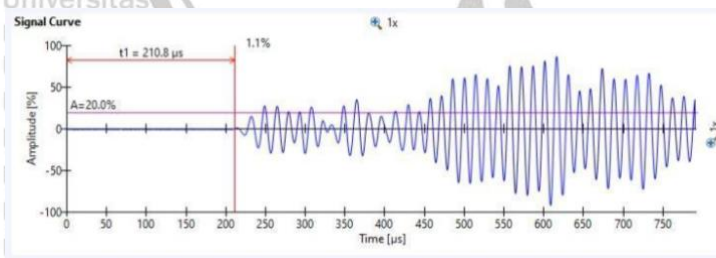
4.3.3 Hasil Pengujian UPV Balok Miring Dua Sisi Sudut $10,5^\circ$

Pada hasil pengujian UPV balok miring dua sisi sudut $10,5^\circ$ Pada objek M2S – C ($10,5^\circ$), terdapat hasil pengujian pada *Measurement Point A* menunjukkan percobaan pertama mendapatkan 3672 V (m/s) , yang kedua 3635 V (m/s) dan yang terakhir 3731 V (m/s) . Hasil pengujian pada *Measurement Point B* menunjukkan percobaan pertama mendapatkan 3615 V (m/s) , yang kedua 3624 V (m/s) dan yang terakhir 3648 V (m/s) . Hasil pengujian pada *Measurement Point C* menunjukkan percobaan pertama mendapatkan 3783 V (m/s) , yang kedua 3783 V (m/s) dan yang terakhir 3788 V (m/s) . Dari hasil pengujian ini juga mendapatkan nilai rata-rata yaitu $3697,6667 \text{ V (m/s)}$.

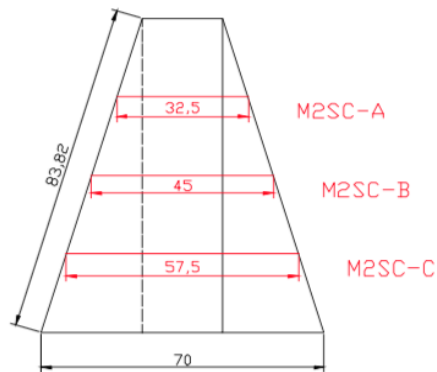
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian UPV Balok Miring Dua Sisi Sudut 10,5°

Objek	Titik Pengukuran	V (m/s)				t (μs)			
		1st	2nd	3rd	Rata-rata	1st	2nd	3rd	Rata-rata
M2S - C (10,5°)	A	3694	3635	3731	3687	87,9	89,4	87,1	88,13
	B	3615	3624	3648	3629	121,7	121,4	120,6	121,23
	C	3783	3783	3796	3787	153,3	153,3	152,8	153,13
	Kontrol	3777	3788	3795	3787	211,8	211,2	210,8	211,27

Hasil pengujian UPV pada benda uji balok M2S-C didapatkan hasil rata-rata 3701 m/s. Seperti pada tabel 4.8 Kemudian distance juga telah sesuai dengan ukuran balok beton yang telah diilustrasikan pada Gambar 4.13.



Gambar 4. 12 Hasil Pengujian Waveform menggunakan UPV pada balok miring dua sisi sudut 10,5°



Gambar 4. 13 Sketsa titik pengujian pada balok miring satu sisi Sudut $10,5^\circ$

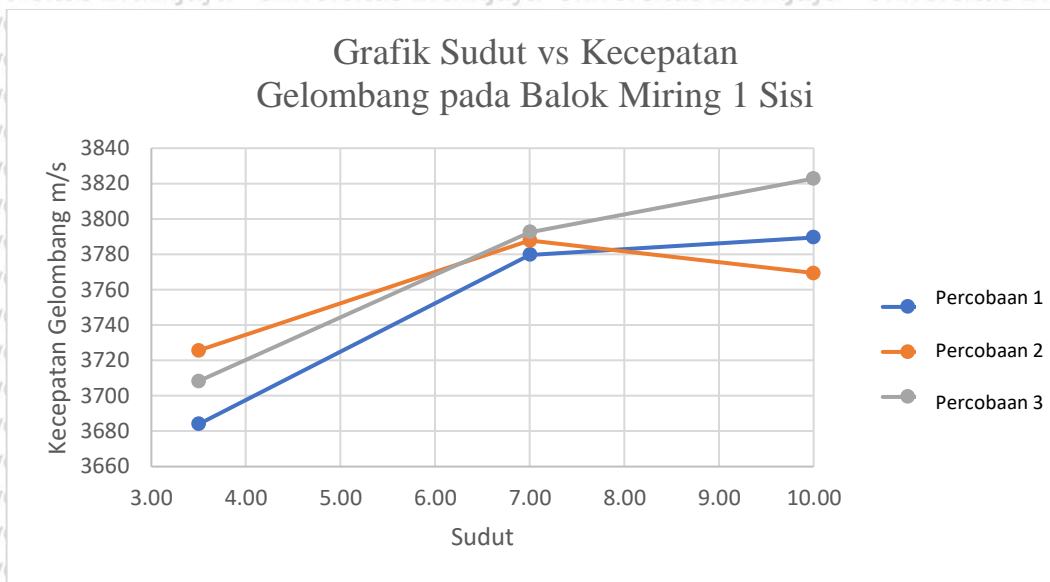
Pada penelitian ini menggunakan metode langsung maka jaraknya seperti pada gambar 4.13 menghasilkan output berupa waveform yang kemudian dianalisis menggunakan software PL-Link untuk mengambil hasil gelombang seperti waktu transmisi dan amplitude yang terdapat pada gambar 4.12 didapatkan t_1 sebesar $210,8 \mu s$; A_1 sebesar $1,1\%$, dan perkiraan puncak gelombang pada waktu $600 - 650 \mu s$ dengan Amplitudo mencapai sekitar 90% .

4.4 Rekapitulasi dan Pembahasan Hasil Pengujian UPV

4.4.1 Rekapitulasi dan Pembahasan Hasil Pengujian UPV terhadap

Balok Satu Sisi Miring

Dari hasil pengukuran pengaruh kemiringan sudut pada balok miring satu sisi terhadap kecepatan gelombang yang dilakukan dengan metode uji UPV telah didapatkan masing-masing tiga data hasil pengulangan dari tiap variasi sudut yaitu $3,5^\circ$, 7° , dan $10,5^\circ$. Nilai pengujian untuk masing-masing variasi sudut telah dijelaskan di bagian 4.2. Hasil pengukuran pengaruh kemiringan sudut pada balok terhadap kecepatan gelombang yang dilakukan dengan metode uji UPV dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 4.14 Grafik Sudut vs Kecepatan Gelombang pada Balok Miring 1 Sisi

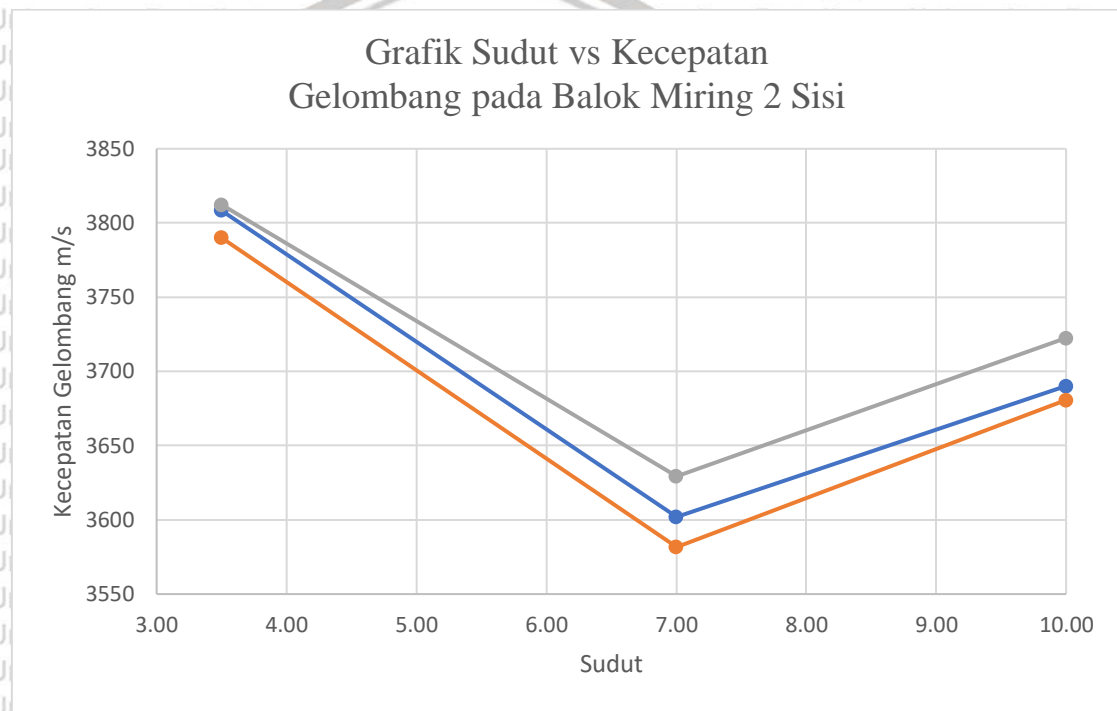
Hasil pengukuran menunjukkan bahwa terjadi beberapa perbedaan trend pada tiap titik percobaan pengukuran yang dilakukan. Terjadi trend yang selalu naik walaupun terlihat perbedaan gradien untuk percobaan 1 dan 3. Pada data 2 terjadi fluktuasi yang cukup nyata. Grafik menunjukkan terjadi trend naik dari sudut 3,5 ke 7, lalu menurun pada sudut 7 menuju 10. Tetapi secara umum trend yang terjadi adalah kecepatan gelombang meningkat berbanding lurus dengan meningkatnya kemiringan balok.

Pada *Gambar 4.14* terlihat rata – rata grafik naik dari balok sudut 3,5° ke 7° lalu 10,5°, perbedaan panjang lintasan tidak terlalu signifikan, namun tetap terlihat perbedaan pada kecepatan gelombang, beberapa hal dapat berpengaruh pada kecepatan gelombang seperti partikel di dalam beton yang mempengaruhi getaran rambat gelombang.

Untuk menilai apakah variasi sudut memberikan pengaruh yang signifikan dan berbeda nyata terhadap kecepatan gelombang digunakan metode analisis data berupa ANOVA dan uji BNT. Hasil ANOVA dan uji BNT secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran. Dari hasil tersebut didapatkan nilai F hitung sebesar 17,7 yang lebih besar dari F tabel yaitu 5,143 untuk signifikansi 95% dan 10,925 untuk signifikansi 99%. Lalu hasil uji BNT 5% menunjukkan bahwa tiap variasi sudut mendapatkan simbol yang berbeda. Dengan hasil ANOVA dan uji BNT yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan dan hasil pengukuran yang berbeda nyata dari nilai sudut balok terhadap cepat rambat gelombang.

4.4.2 Rekapitulasi dan Rekapitulasi dan Pembahasan Hasil Pengujian UPV terhadap Balok Dua Sisi Miring

Dari hasil pengukuran pengaruh kemiringan sudut pada balok dengan miring pada dua sisi terhadap kecepatan gelombang yang dilakukan dengan metode uji UPV telah didapatkan masing-masing tiga data hasil pengulangan dari tiap variasi sudut yaitu $3,5^\circ$, 7° , dan $10,5^\circ$. Nilai pengujian untuk masing-masing variasi sudut telah dijelaskan di bagian 4.3. Hasil pengukuran pengaruh kemiringan sudut pada balok terhadap kecepatan gelombang yang dilakukan dengan metode uji UPV dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



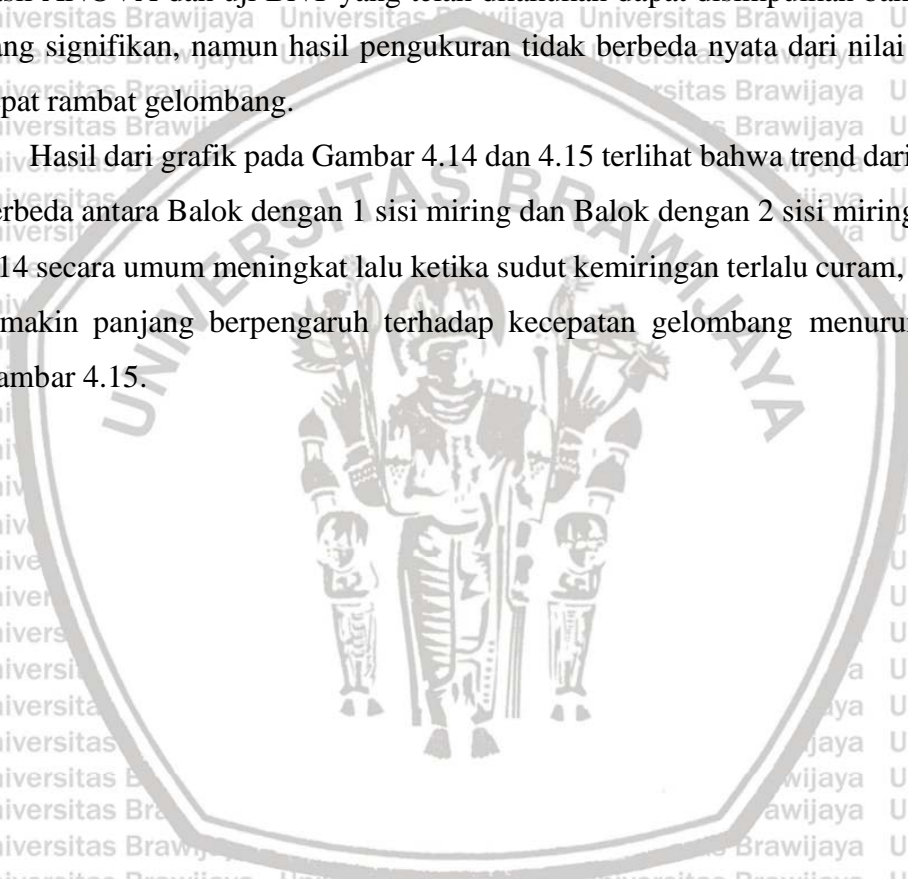
Gambar 4. 15 Grafik Sudut vs Kecepatan Gelombang pada Balok Miring 2 Sisi

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa terjadi kemiripan trend pada tiap percobaan pengukuran yang dilakukan. Namun secara umum terjadi fluktuasi nilai pengukuran kecepatan gelombang. Pada sudut 7° tampak bahwa terjadi penurunan nilai dan meningkat kembali pada sudut $10,5^\circ$.

Pada Gambar 4.15 terlihat grafik menurun dari balok sudut $3,5^\circ$ ke 7° lalu meningkat pada balok sudut $10,5^\circ$, perbedaan yang signifikan pada balok sudut 7° karena kepadatan material tidak lebih padat seperti balok lainnya atau berongga, karena partikel di dalam beton yang mempengaruhi kecepatan rambat gelombang yang menyebabkan hasil V lebih kecil.

Pada balok miring dua sisi pun kembali dilakukan ANOVA dan uji BNT untuk menilai apakah variasi sudut memberikan pengaruh yang signifikan dan berbeda nyata terhadap kecepatan gelombang. Hasil ANOVA dan uji BNT secara lengkap dapat dilihat pada **Lampiran**. Dari hasil tersebut didapatkan nilai F hitung sebesar 75.03 yang jauh lebih besar dari F tabel yaitu 5.143 untuk signifikansi 95% dan 10.925 untuk signifikansi 99%. Namun hasil uji BNT 5% menunjukkan bahwa tiap variasi sudut mendapatkan simbol yang sama. Dengan hasil ANOVA dan uji BNT yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan, namun hasil pengukuran tidak berbeda nyata dari nilai sudut balok terhadap cepat rambat gelombang.

Hasil dari grafik pada Gambar 4.14 dan 4.15 terlihat bahwa trend dari kedua grafik tersebut berbeda antara Balok dengan 1 sisi miring dan Balok dengan 2 sisi miring, grafik pada Gambar 4.14 secara umum meningkat lalu ketika sudut kemiringan terlalu curam, panjang lintasan akan semakin panjang berpengaruh terhadap kecepatan gelombang menurun seperti grafik pada Gambar 4.15.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil setelah melakukan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Metode pengujian UPV pada benda uji balok beton merupakan gambaran dari kerapatan partikel penyusun beton pada bagian dalam beton, yang terjadi pada beton gelombang ultrasonic akan menimbulkan getaran pada partikel dari transmitter ke receiver, semakin tinggi kerapatan pada material penyusun beton maka kecepatan rambat gelombang akan semakin tinggi.
2. Hasil pengujian UPV dipengaruhi oleh Panjang lintasan yang terjadi karena sudut. Pada balok dengan kemiringan satu sisi kecepatan gelombang meningkat berbanding lurus dengan meningkatnya kemiringan balok. Pada balok miring dua sisi terjadi penurunan yang signifikan pada Balok Miring 2 sisi dengan sudut 7° , dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan kemungkinan karena pada balok tersebut kerapatan partikel penyusun beton pada bagian dalam berbeda dari balok lainnya sehingga berpengaruh pada cepat rambat gelombang.
3. Penggunaan metode UPV dalam mendeteksi kualitas kerapatan beton dengan bentuk balok miring satu sisi dan dua sisi dapat dilakukan, dengan range kemiringan dari $3,5^\circ$ hingga $10,5^\circ$.

5.2 Saran

Menurut penelitian terhadap benda uji balok dengan berbagai macam variasi Sudut menggunakan alat UPV, maka terdapat beberapa saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Perlu adanya kontrol yang lebih baik dalam proses pencampuran beton dan macam material serta pemadatan pada setiap lapisan beton agar terhindar dari faktor-faktor yang tidak diinginkan.
2. Perlu adanya penambahan metode pengukuran seperti menggunakan UPE untuk membandingkan hasil yang sudah diteliti dan mendapatkan kesimpulan yang lebih komprehensif.



3. Perlu adanya penambahan jumlah sampel pada masing-masing variasi beton yang bertujuan untuk memperluas variasi data agar regresi dan korelasi yang telah didapat dapat digunakan secara umum.
4. Jumlah benda uji terbatas sehingga perlu tambahan benda uji untuk memberikan validasi Analisa dan pengambilan kesimpulan.



DAFTAR PUSTAKA

- Ayu Herma P, Enggie; Wijatmiko, Indradi; P. Budio, Sugeng. (2018). Pengaruh Variasi Agregat Kasar Penyusun Beton Terhadap Kerapatan Beton dengan Menggunakan *Pulse Velocity* pada Alat Upv (*Ultrasonic Pulse Velocity*).
- International Atomic Energy Agency, Vienna.(2002). *Guidebook on non-destructive testing of concrete structures, Training Course Series No. 17.*
- Neville & Brooks. (2010). Concrete technology, 442.
- PROCEQ. (2014). *Pundit PL-200 and PE Ultrasonic Training*. Switzerland : Proceq.
- PROCEQ. (2015). *Operating Instructions Pundit PL-200*. Switzerland : Proceq.
- Rodrogez, E. "Effect of Surface Roughness in Ultrasonic Testing (Pulse Echo by Direct Contact) in AISI/SAE 4340 Steel Samples", Nov 2003 Vol. 8, No.11, Homepage:"The e-Journal of Nondestructive Testing & Ultrasonics" web site <http://www.ndt.net>, Last Login Date: 18.06.2020
- Saputra, Teguh Dwi. (2018). Investigasi Rongga dan Kedalaman Retak pada Balok Beton dengan UPE dan UPV. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil 1 (1)*, pp. 412-422 2018
- Sudjana. (1996). *Metoda Statistika*. Bandung: Tarsito Bandung
- Suseno, Hendro. (2010). *Bahan Bangunan untuk Teknik Sipil*. Malang: Bargie Media
- Yulian, Albertus Eky. (2018). 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

LAMPIRAN

ANOVA Data Balok Miring 1 Sisi

Ulangan (r)	Perlakuan (a)			Total
	3.5°	7°	10°	
1	3684	3779.67	3789.5	11253.17
2	3725.67	3787.83	3769.33	11282.83
3	3708.33	3792.5	3822.83	11323.66
Total	11118	11360	11381.66	33859.66
Rata2	3706	3786.666667	3793.886667	11286.55333

FK	1	127386286.
JKP	9	14283.3056
JKT	2	16703.9672
JKG	3	2420.66153

SV	db	JK	KT	Fhitung	Ftabel		Notasi
					0.05	0.01	
Perlakuan	2	14283.30569	7141.652844	17.70173834	5.143	10.925	**
Galat	6	2420.661533	403.4435889				
Total	8	16703.96722					

Uji BNT Data Balok Miring 1 Sisi

Sd	T 5%/2	BNT
16.40007294	2.44691	40.1295025

Perlakuan	Rata2	Rata2+BNT	Simbol
3.5	3706	3746.129502	a
7	3786.666667	3826.796169	b
10	3793.886667	3834.016169	c

ANOVA Data Balok Miring 2 Sisi

Ulangan (r)	Perlakuan (a)			Total
	3.5	7	10	
1	3808.33	3602	3690	11100.33
2	3790	3581.67	3680.67	11052.34
3	3812.33	3629.33	3722.33	11163.99
Total	11410.66	10813	11093	33316.66
Rata2	3803.553333	3604.333333	3697.666667	11105.55333

FK 12333331
 4.8
 59611.705
 JKP 69
 61995.093
 JKT 89
 JKG 2383.3882

SV	db	JK	KT	Fhitung	Ftabel		Notasi
					0.05	0.01	
Perlakuan	2	59611.70569	29805.85284	75.0339861	5.143	10.925	**
Galat	6	2383.3882	397.2313667				
Total	8	61995.09389					

Uji BNT Data Balok Miring 2 Sisi

Sd	T 5%/2	BNT
16.27331899	2.44691	39.819347

Perlakuan	Rata2	Rata2+BNT	Simbol
3.5	3803.553333	3843.37268	a
7	3604.333333	3644.15268	a
10	3697.666667	3737.486014	a

