

PENGARUH VARIASI MUTU BETON PADA BENDA UJI BALOK BETON NORMAL DENGAN MENGGUNAKAN METODE *NON DESTRUCTIVE TEST*

Kushariyanto¹, Christin Remayanti Nainggolan², Siti Nurlina²

¹Mahasiswa, Program Sarjana, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya

²Dosen, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik
Universitas Brawijaya

*Korespondensi : kushariyanto08@gmail.com

ABSTRACT

This research aims to know the relationship of the pulse velocity to compression strength with a variation of the quality of the concrete based on the ultrasonic pulse velocity. This research uses the PUNDIT PL-200 to do the process of analysis of concrete density based on the pulse velocity from the UPV. From UPV testing in this research showed that each quality and each method has a strong connection of the same compression strength and velocity. This is indicated by rising the velocity graph as the quality of the concrete itself increases. From this research also gained comparisons between the three methods, which is between direct and semi-direct methods, direct and indirect methods, as well as semi-direct and indirect methods.

Keywords : *Beam, Pulse Velocity, Flexural Tensile, Compressive, Quality, UPV.*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dibidang konstruksi semakin meningkat, salah satunya semakin beragamnya teknologi untuk mempermudah suatu pekerjaan konstruksi. Kekuatan beton dapat diuji dalam dua cara yaitu pengujian laboratorium dan pengujian lapangan. Beton menjadi komponen utama struktural yang mampu menahan dan mendistribusikan seluruh beban-beban dalam suatu bangunan. Maka perlu dilakukan pengujian terhadap beton tersebut dengan *non destructive test* atau pengujian tanpa merusak benda uji. Metode yang umum dipakai untuk pengujian beton *insitu* tanpa merusak strukturnya atau non-destructive test (NDT) salah satunya adalah menggunakan *ultrasonic pulse velocity* (UPV). Alat yang digunakan dalam pengujian UPV disebut Portable Ultrasonic Nondestructive Digital Indicating Tester (PUNDIT). Penelitian penggunaan UPV untuk memprediksi mutu dan kualitas beton telah dilakukan diantaranya yaitu penelitian mengenai kuat tekan yang dikorelasikan dengan hasil uji UPV [1][2]. Hubungan antara kuat tekan dan UPV juga dilakukan oleh Belaribi [3] pada beton fiber yang dipanaskan dengan suhu 200° C – 600° C.

Dari pengujian-pengujian tersebut maka diperoleh berbagai rumus empiris untuk memprediksi kuat tekan beton dimana rumus tersebut dipengaruhi oleh material penyusun beton, perilaku yang diberikan ke beton, usia beton dan lain sebagainya. Ayu Herma dkk [4] melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh dari variasi agregat penyusun beton terhadap hasil UPV.

Penelitian tidak hanya dilakukan untuk mengetahui korelasi antara UPV dengan kuat tekan. Penelitian lain juga dilakukan untuk mengetahui korelasi antara UPV dengan kuat lentur beton. Dari hasil penelitian tersebut maka diperoleh rumus empiris untuk memprediksi kuat tekan beton dengan menggunakan data uji UPV. Dari hasil UPV maka dapat diprediksi kuat tekan beton dan kuat lentur balok beton [5] [6].

Dengan adanya penelitian-penelitian tersebut, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai korelasi antara UPV dengan kuat lentur beton dimana akan dipengaruhi oleh variasi mutu beton.

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh variasi mutu beton terhadap cepat rambat gelombang dengan

menggunakan alat *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV).

2. Mengetahui hubungan antara metode langsung, metode semi langsung, dan metode tidak langsung berdasarkan karakteristik gelombang ultrasonik pada alat *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) yang menggambarkan kerapatan material beton.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Metode Pengujian

Pada saat pelaksanaan di lapangan, terdapat beberapa metode 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.

2.2. Hubungan Kuat Tarik Lentur dengan Kerapatan Beton

Pengujian UPV mempunyai fungsi utama yaitu untuk mengetahui kualitas beton berdasarkan cepat rambat gelombang yang dipengaruhi oleh kerapatan beton. Dari

pengujian UPV kita tidak memperoleh hasil kuat tarik lentur beton secara langsung, namun kita dapat memperoleh nilainya karena kuat tarik lentur berbanding lurus dengan kerapatan beton maka korelasi antara kuat tarik lentur beton dan cepat rambat gelombang bisa didapatkan.

Rumus kuat tarik lentur dengan cepat rambat gelombang menurut Dr. Ala'a Hussein Alwan Al-Zuhairi pada jurnal "Estimation of Flexural Strength of Plain Concrete from Ultrasonic Pulse Velocity" tahun 2013 yaitu [7]:

$$f_r = \frac{PLy}{4I}$$

Dimana:

f_r = kuat tarik lentur dalam MPa

P = gaya dalam Newton

L = panjang dalam mm

y = jarak dari garis netral ke serat terluar dalam mm

I = momen inersia dalam mm⁴

Rumus kuat tarik lentur yang didapat dari *direct method* menurut Dr. Ala'a Hussein Alwan Al-Zuhairi pada jurnal "Estimation of Flexural Strength of Plain Concrete from Ultrasonic Pulse Velocity" tahun 2013[7] yaitu:

$$f_r = 0.439 \exp^{0.447V} \quad (R^2 = 0.881)$$

Dimana:

f_r = kuat tarik lentur dalam MPa

V = cepat rambat rata-rata pada metode direct

Rumus kuat tarik lentur yang didapat dari *indirect method* menurut Dr. Ala'a Hussein Alwan Al-Zuhairi pada jurnal "Estimation of Flexural Strength of Plain Concrete from Ultrasonic Pulse Velocity" tahun 2013 [7] yaitu:

$$f_r = 0.596 \exp^{0.420V_s} \quad (R^2 = 0.879)$$

Dimana:

f_r = kuat tarik lentur dalam MPa

V_s = cepat rambat rata-rata pada metode direct

3. METODE PENELITIAN

3.1. Variabel Penelitian

Ketiga variabel yang dipakai pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Variabel kontrol :

- Benda uji yang dibuat berbentuk balok berukuran 20 x 20 x 100 cm

- Pengujian kuat tarik lentur balok dilakukan pada saat umur beton 28 hari
 - Nilai Slump Test (60 -180 mm) → Struktur Pelat, Kolom, Balok dan Dinding
2. Variabel bebas:
 - Mutu beton dalam perencanaan campuran beton (*mix design*) dari benda uji.
 3. Variabel terikat :
 - Kecepatan rambat gelombang UPV pada metode langsung, semi langsung, dan tidak langsung

3.2. Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan benda uji balok sebagai benda uji utama. Benda uji balok memiliki dimensi 20 x 20 x 100 cm. Masing masing benda uji diberikan variasi pada material penyusunnya. Benda uji ini digunakan untuk pengujian UPV. Rincian benda uji terdapat pada **Tabel 1**.

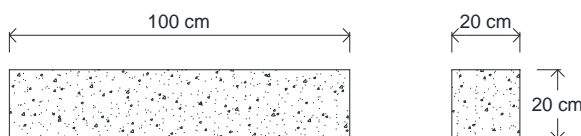
Tabel 1. Komposisi Rasio Mix Desain Beton

Mutu Beton	Semen	Air	Agregat Halus	Agregat Kasar	Jumlah
f'c 12,5 MPa	1	0,482	2,52	4,11	2
f'c 18,75 MPa	1	0,446	2,24	3,90	2
f'c 25 MPa	1	0,384	1,83	3,32	2

3.3. 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. Bekisting diberi lapisan tipis dari oli agar mudah dalam pelepasan.
5. Campuran beton dituang ke dalam bekisting.



Gambar 1. Dimensi Benda Uji Balok

3.4. 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 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.

Beberapa hal yang dilakukan dalam prosedur pengujian UPV antara lain:

1. Meratakan dan membersihkan permukaan beton.
2. Pada penelitian ini digunakan transducer 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 3.1. Kedua transducer 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.

3.5. 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 cepat rambat gelombang. Data-data tersebut kemudian dikelompokkan untuk masing-masing variasi kuat tarik lentur dari beton.

3.6. 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 tarik lentur dari beton. data-data kuat tarik lentur 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 tarik lentur dari beton.

3.7. Hipotesis

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

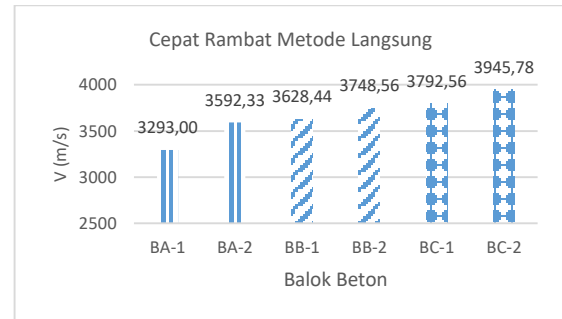
1. Terdapat pengaruh variasi mutu beton terhadap cepat rambat gelombang dengan menggunakan alat *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV).
2. Terdapat hubungan antara metode langsung, metode semi langsung, dan metode tidak langsung berdasarkan karakteristik gelombang ultrasonik pada alat *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) yang menggambarkan kerapatan material beton.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

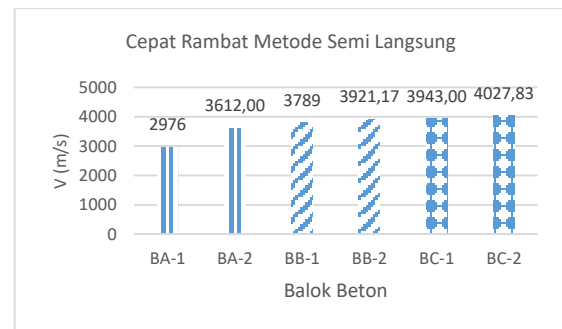
4.1. Hasil Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

Pengujian dilakukan menggunakan alat PUNDIT PL-200 dari PROCEQ dengan menggunakan 3 (tiga) metode pengujian yaitu metode langsung, metode semi-langsung, dan metode tidak langsung pada sampel yang sama. Pada ketiga metode tersebut menghasilkan data kecepatan rambat gelombang yang berbeda, dimana metode langsung mempunyai kecepatan rambat gelombang yang lebih besar daripada metode lainnya. Untuk mendapatkan cepat rambat gelombang yang perlu diinputkan pada alat yaitu jarak rambat, dimana pada penelitian ini yang menggunakan metode langsung dan metode tidak langsung, maka jaraknya sama dengan lebar balok yaitu 20 cm, sedangkan pada metode semi langsung menggunakan jarak 22 cm. Ketiga metode tersebut menghasilkan output hasil kecepatan yang kemudian dianalisis menggunakan software PL-Link.

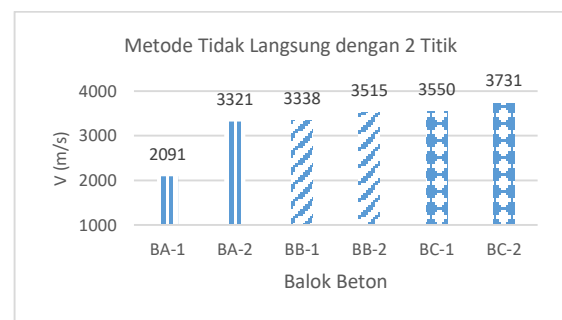
Hasil pengujian didapatkan rata-rata kecepatan antara 2000 m/s sampai dengan 4100 m/s. Terdapat 6 sampel benda uji balok beton, dan pada setiap benda uji balok dilakukan beberapa kali pengujian.



Gambar 2. Grafik Kecepatan Sampel Balok Dengan Metode Langsung



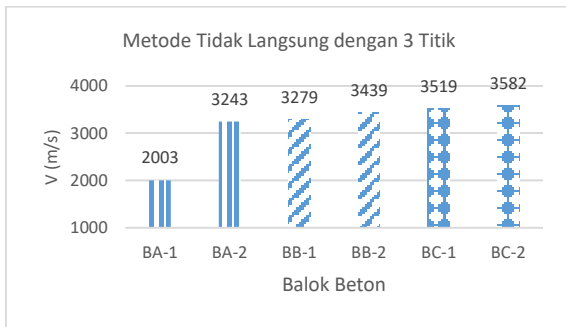
Gambar 3. Grafik Kecepatan Sampel Balok Dengan Metode Semi Langsung



Gambar 4. Grafik Kecepatan Sampel Balok Dengan Metode Tidak Langsung Dengan 2 Titik

Dari **Gambar 2**, **Gambar 3**, **Gambar 4**, dan **Gambar 5** didapatkan balok beton normal pada semua benda uji dan pada semua metode UPV mempunyai nilai cepat rambat gelombang yang relatif meningkat sesuai dengan hipotesa awal. Hal ini dikarenakan semakin tinggi mutu maka semakin tinggi pula kerapatan pada beton

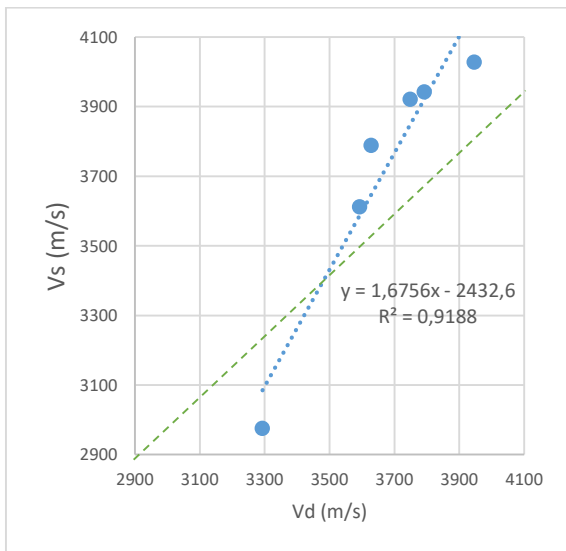
sehingga cepat rambat gelombang juga semakin meningkat.



Gambar 5. Grafik Kecepatan Sampel Balok Dengan Metode Tidak Langsung Dengan 3 Titik

4.2. Korelasi Hasil Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) Metode Langsung dan Metode Semi Langsung

Setelah mendapatkan data-data cepat rambat gelombang pada ketiga metode, kemudian dicari korelasi antara 2 metode dari ketiga metode tersebut. Pada sub bab ini akan dijelaskan korelasi antara metode langsung dan semi langsung.

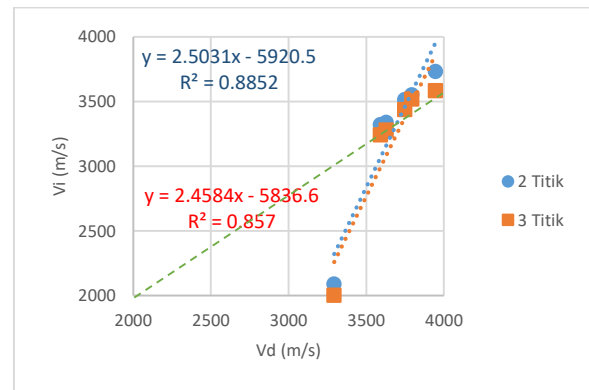


Gambar 6. Grafik Hubungan Antara Cepat Rambat Gelombang Pada Metode Langsung dan Semi Langsung

Dari **Gambar 6** didapatkan hubungan linier yang menghasilkan persamaan $V_s = 1.6756V_d - 2432.6$ dan mempunyai R^2 sebesar 0.9188.

4.3. Korelasi Hasil Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) Metode Langsung dan Metode Tidak Langsung

Setelah mendapatkan data-data cepat rambat gelombang pada ketiga metode, kemudian dicari korelasi antara 2 metode dari ketiga metode tersebut. Pada sub bab ini akan dijelaskan korelasi antara metode langsung dan tidak langsung.



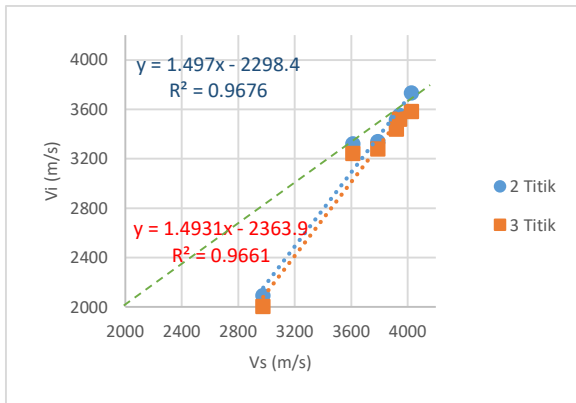
Gambar 7. Grafik Hubungan Antara Cepat Rambat Gelombang Pada Metode Langsung dan Tidak Langsung

Dari **Gambar 7** didapatkan hubungan linier yang menghasilkan persamaan $V_{i2} = 2.5031V_d - 5920.5$ dan $V_{i3} = 2.4584V_d - 5836.6$ dan mempunyai R^2 sebesar 0.8852 dan 0.857.

4.4. Korelasi Hasil Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) Metode Semi Langsung dan Metode Tidak Langsung

Setelah mendapatkan data-data cepat rambat gelombang pada ketiga metode, kemudian dicari korelasi antara 2 metode dari ketiga metode tersebut. Pada sub bab ini akan dijelaskan korelasi antara metode semi langsung dan tidak langsung.

Dari **Gambar 8** didapatkan hubungan linier yang menghasilkan persamaan $V_{i2} = 1.497V_s - 2298.4$ dan $V_{i3} = 1.4931V_s - 2363.9$ dan mempunyai R^2 sebesar 0.9676 dan 0.9661.



Gambar 8. Grafik Hubungan Antara Cepat Rambat Gelombang Pada Metode Semi Langsung dan Tidak Langsung

4.5. Pembahasan Korelasi Hasil Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

Setelah mendapat data-data cepat rambat gelombang pada ketiga metode, kemudian dicari hubungan antara kecepatan gelombang pada ketiga metode yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Hasil UPV

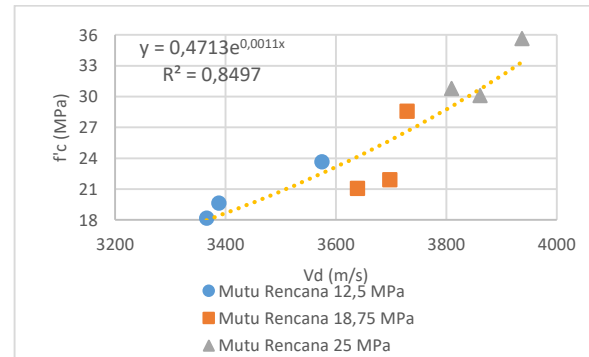
Benda Uji	Vs/Vd	Vi2/Vd	Vi3/Vd	Vi2/Vs	Vi3/Vs
BA-1	0.90	0.63	0.61	0.70	0.67
BA-2	1.01	0.92	0.90	0.92	0.90
BB-1	1.04	0.92	0.90	0.88	0.87
BB-2	1.05	0.94	0.92	0.90	0.88
BC-1	1.04	0.94	0.93	0.90	0.89
BC-2	1.02	0.95	0.91	0.93	0.89
Rata-rata	1.01	0.88	0.86	0.87	0.85
Persentase	101.00%	88.31%	86.13%	87.10%	84.92%

Dari Tabel 2 didapatkan bahwa data untuk kecepatan gelombang (PV) pada metode langsung hampir sama dengan metode semi langsung karena perbandingan pada kedua metode mendekati 1 (satu), dan metode tidak langsung lebih kecil dibandingkan dengan kedua metode tersebut, pada metode tidak langsung 2 titik yaitu 0.88 sedangkan dengan metode tidak langsung 3 titik yaitu 0.86. Dari data kecepatan rambat gelombang diatas juga didapatkan beberapa persamaan dalam bentuk presentase yaitu $V_s=101\%V_d$, $V_{i2}=88.31\%V_d$, $V_{i3}=86.13\%V_d$, $V_{i2}=87.1\%V_s$, $V_{i3}=84.92\%V_s$.

4.6. Hubungan Antara Mutu Beton dengan Cepat Rambat Gelombang pada Metode Langsung

Setelah mendapat data-data korelasi ketiga mutu dengan cepat rambat gelombang

pada metode langsung, kemudian dicari hubungan antara mutu beton dan cepat rambat gelombang dengan menggunakan metode langsung.

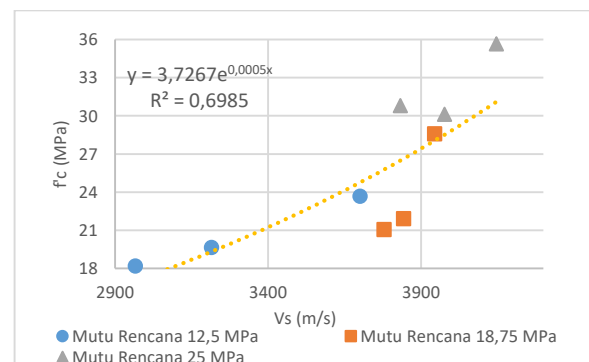


Gambar 9. Grafik Gabungan

Dari Gambar 9 didapatkan persamaan $f'_c=0.4713e^{0.0011V_d}$ dan mempunyai R^2 sebesar 0.8497.

4.7. Hubungan Antara Mutu Beton dengan Cepat Rambat Gelombang pada Metode Semi Langsung

Setelah mendapat data-data korelasi ketiga mutu dengan cepat rambat gelombang pada metode semi langsung, kemudian dicari hubungan antara mutu beton dan cepat rambat gelombang dengan menggunakan metode semi langsung.



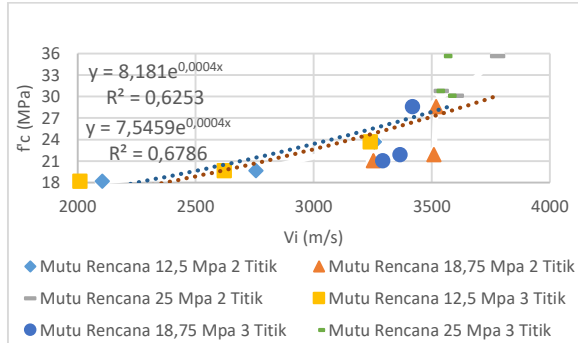
Gambar 10. Grafik gabungan ketiga mutu beton

Dari Gambar 10 didapatkan persamaan $f'_c=3.7267e^{0.0005V_s}$ dan mempunyai R^2 sebesar 0.6985.

4.8. Hubungan Antara Mutu Beton dengan Cepat Rambat Gelombang pada Metode Tidak Langsung

Setelah mendapat data-data korelasi ketiga mutu dengan cepat rambat gelombang pada

metode langsung, kemudian dicari hubungan antara mutu beton dan cepat rambat gelombang dengan menggunakan metode tidak langsung dengan 2 titik dan 3 titik penembakan.



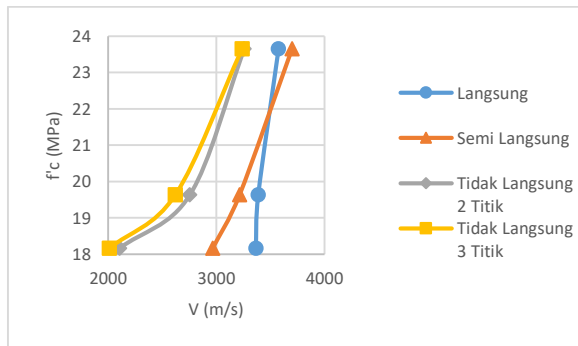
Gambar 11. Grafik Gabungan

Dari **Gambar 11** didapatkan persamaan untuk metode tidak langsung 2 titik yaitu $f'c = 7.5459e^{0.0004Vi^2}$ dan mempunyai R^2 sebesar 0.6786 sedangkan untuk metode tidak langsung 3 titik yaitu $f'c = 8.181e^{0.0004Vi^3}$ dan mempunyai R^2 sebesar 0.6253.

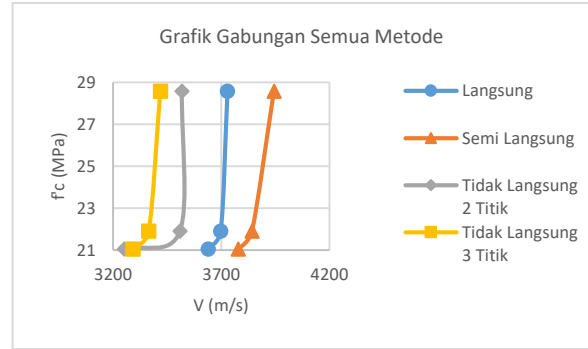
4.9. Hubungan Antara Mutu dengan Metode Langsung, Semi Langsung, dan Tidak Langsung

Setelah mendapat data-data kuat tekan pada ketiga mutu beton dengan cepat rambat gelombang pada ketiga metode, kemudian digabungkan data-data tersebut.

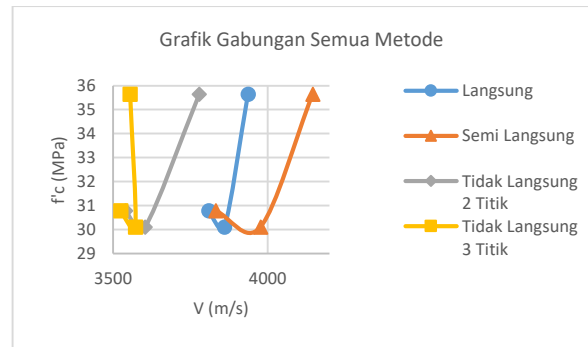
Dari **Gambar 12**, **Gambar 13**, **Gambar 14** dapat ditarik kesimpulan bahwa pada semua metode, semakin tinggi kuat tekan beton maka semakin tinggi pula cepat rambat gelombangnya.



Gambar 12. Hubungan Antara Mutu A Dengan Semua Metode UPV



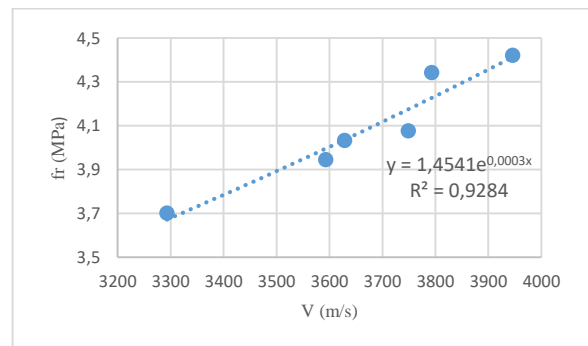
Gambar 13. Hubungan Antara Mutu B Dengan Semua Metode UPV



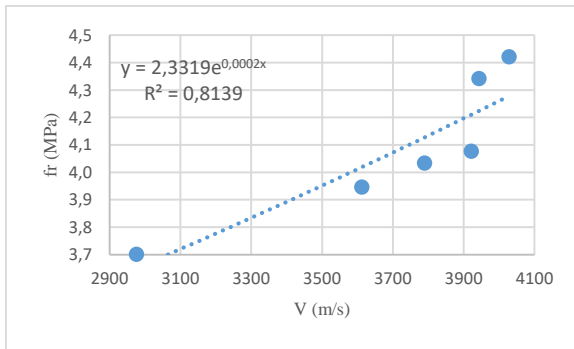
Gambar 14. Hubungan Antara Mutu C Dengan Semua Metode UPV

4.10. Hubungan Antara Kuat Tarik Lentur Beton Dengan Cepat Rambat Gelombang

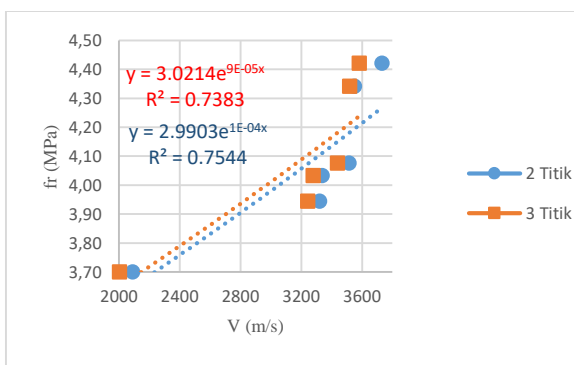
Setelah data-data didapat, kemudian setiap benda uji dirata-rata untuk dapat dicari hubungan antara kuat tarik lentur balok beton dengan kecepatan rambat gelombang. perbandingan antara kuat tarik lentur dan kecepatan rambat gelombang dibagi menjadi 3 (tiga) berdasarkan masing-masing metode yang digunakan.



Gambar 15. Hubungan Kecepatan dan Kuat Tarik Lentur Dengan Menggunakan Metode Langsung



Gambar 16. Hubungan Kecepatan dan Kuat Tarik Lentur Dengan Menggunakan Metode Semi Langsung



Gambar 17. Hubungan Kecepatan dan Kuat Tarik Lentur Dengan Menggunakan Metode Tidak Langsung

Dari **Gambar 15**, **Gambar 16**, dan **Gambar 17** dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kuat tarik lentur balok maka semakin tinggi pula cepat rambat gelombangnya, selain itu juga didapatkan hubungan eksponensial antara nilai cepat rambat gelombang dengan kuat tarik lentur beton.

Setelah mendapat data-data korelasi kuat tarik lentur dengan cepat rambat gelombang, kemudian digabungkan data-data tersebut. dari hubungan kuat tarik lentur dengan cepat rambat gelombang didapatkan persamaan yaitu $fr = ae^{bv}$, dimana fr adalah kuat tarik lentur dan V adalah cepat rambat gelombang. Gabungan persamaannya dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Persamaan Kuat Tarik Lentur Beton Dari Kecepatan Gelombang

Metode	Persamaan	R ²
Langsung	$fr = 1.4541e^{0.0003Vd}$	0.9284
Semi Langsung	$fr = 2.3319e^{0.0002Vs}$	0.8139
Tidak Langsung 2 Titik	$fr = 2.9903e^{0.0001V^2}$	0.7544
Tidak Langsung 3 Titik	$fr = 3.0214e^{0.00009V^3}$	0.7383

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada beton dengan mutu A memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 20,49 Mpa. Pada beton dengan mutu B memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 23,84 Mpa. Pada beton dengan mutu C memiliki kuat tekan rata-rata sebesar 32,18 Mpa. Cepat rambat gelombang dengan metode langsung, semi langsung, dan tidak langsung mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya mutu beton dikarenakan semakin tinggi mutu maka semakin tinggi pula kerapatan pada material penyusun beton. Dari penelitian ini didapatkan persamaan hubungan antara mutu beton dengan cepat rambat gelombang pada semua metode UPV, yang nantinya dapat digunakan untuk umum.
2. Pada metode langsung dan semi langsung mempunyai kisaran kecepatan rambat yang hampir sama yaitu $V_s = 101\% V_d$ namun kecepatan rambat pada metode tidak langsung relatif lebih lambat jika dibandingkan dengan kedua metode sebelumnya yaitu $V_{i2} = 88.31\% V_d$, $V_{i3} = 86.13\% V_d$, $V_{i2} = 87.1\% V_s$, $V_{i3} = 84.92\% V_s$.

5.2. Saran

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

1. Diperlukan adanya penambahan jumlah sampel pada masing-masing mutu beton agar data korelasi yang didapat bisa lebih akurat dan hasil penelitiannya bisa lebih bermanfaat untuk digunakan secara umum.
2. Beberapa mutu beton mempunyai nilai koefisien determinasi R² yang relatif kecil maka perlu disempurnakan.
3. Diperlukan kontrol pembuatan benda uji yang lebih baik terhadap proses pencampuran beton dan pemadatan beton agar terhindar dari faktor-faktor yang tidak diinginkan yang dapat mempengaruhi data yang akan digunakan dalam penelitian selanjutnya.
4. Diperlukan kestabilan transduser dan banyak cairan couplant saat pengujian UPV

berlangsung agar pembacaan data cepat rambat gelombang dapat lebih akurat.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kurtulus, C, et al. Experimental Study On Compressive Strength, Ultrasonic Pulse Velocity and Water Content of Concrete At Early Ages After A 28 Day Curing Period. Eastern Anatolian Journal of Science, Vol. VI, Issue II : 31 – 39
- [2] Simatupang, R. Martin; Nuralinah, Devi; Remayanti, Christin. (2016). Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton antara *Hammer Test*, *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)* dan *Compression Test*. *Rekayasa Sipil*, 10, 26-32.
- [3] Belaribi, H. et al. The Relationship Between The Compressive Strength and Ultrasonic Pulse Velocity Concrete With Fibers Exposed To High Temperatures. ICEMAEP 2016, October 2016.
- [4] 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*).
- [5] Bouchhima, L, et al. Flexural Strength and Ultrasonic Pulse Velocity of Crushing Sand-Lime-Cement-Phosphogypsum Building Brick Grade SW. IJRASET Vol.1, Issue V, December 2013 :16-21
- [6] Hussein, A; Alwan Al-Zuhairi. Estimation of Flexural Strength of Plain Concrete From Ultrasonic Pulse Velocity. *Journal of Engineering*, Vol.19, No.2, February 2013 : 197 - 2016
- [7] Al-Zuhairi, Ala'a Hussein Alwan. (2013). Estimation Of Flexural Strength Of Plain Concrete From Ultrasonic Pulse Velocity. *University of Baghdad Engineering Journal*.