

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Beton

2.1.1 Pengertian Beton

Penggunaan beton dan bahan-bahan vulkanik sebagai pembentuknya, seperti abu pozolanik, telah dimulai sejak zaman Yunani, Romawi, dan mungkin juga sebelum itu. Akan tetapi, awal abad kesembilan belas ternyata merupakan awal penggunaan bahan beton bertulang secara intensif (Nawy, 1985 : 2).

Ada beberapa tokoh yang berperan penting dalam perkembangan teknologi beton yaitu (Nawy, 1985 : 2) :

1. F.Coignet pada tahun 1801, menerbitkan tulisannya mengenai prinsip-prinsip konstruksi dengan meninjau kelemahannya terhadap tarik.
2. J.L Lambot pada tahun 1850, untuk pertama kali membuat kapal kecil dari semen untuk dipamerkan pada Pameran Dunia tahun 1855 di Paris.
3. J. Monier pada tahun 1867, merupakan seorang ahli taman yang mendapatkan hak paten dalam pemakaian beton bertulang yang digunakan untuk wadah tanamannya.
4. Koenen pada tahun 1886, menerbitkan tulisannya tentang teori dan perancangan struktur beton.
5. C.A.P. Turner pada tahun 1906, untuk pertama kalinya mengembangkan *flat slab* tanpa balok.

Beton merupakan campuran agregat halus dan kasar yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan lainnya, dengan menambahkan semen dan air yang berfungsi sebagai bahan pembantu untuk keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung (Istimawan Dipohusodo, 1994 : 1).

Struktur bangunan harus memiliki material dasar pembentuk yang berkualitas agar kekuatan struktur tersebut sesuai dengan kekuatan yang telah direncanakan. Beton mempunyai banyak kelebihan sehingga saat ini lazim digunakan pada struktur bangunan. Ada beberapa kelebihan yang dimiliki oleh beton yaitu (Siti Nurlina, 2008 : 38):

1. Beton sangat mudah untuk dibentuk sehingga hasil cetakannya dapat disesuaikan dengan struktur yang telah direncanakan.

2. Beton bersifat ekonomis dalam hal material, pelaksanaan, waktu konstruksi, pemeliharaan struktur, daktilitas, dan sebagainya.
3. Beton merupakan material bangunan yang tahan terhadap api dengan jangka waktu sekitar 1 hingga 3 jam.
4. Beton memiliki rigiditas yang tinggi.
5. Penyediaan material pembentuk beton mudah untuk didapatkan..
6. Beton dapat dicor langsung di tempat proyek.
7. Beton merupakan material yang cukup awet dengan biaya pemeliharaan yang rendah.

Beton memang sering digunakan sebagai bahan bangunan. Pada aplikasinya di lapangan, selain mempunyai kelebihan beton juga memiliki kekurangan. Ada beberapa kekurangan yang dimiliki oleh beton yaitu (Siti Nurlina, 2008 : 38):

1. Salah satu kelemahan beton yang utama adalah kuat tariknya yang rendah. Hal ini menyebabkan beton mudah retak
2. Kekuatan per satuan berat dan volume beton relatif rendah.
3. Memerlukan biaya tambahan pada saat pembuatan untuk bekisting.
4. Beton memiliki daktilitas yang rendah.
5. Volume beton kurang stabil. Hal ini pada tergantung waktu rangkai dan susut.

Sebelum mengeras beton yang berbentuk cair memerlukan tempat khusus yang disebut bekisting agar bisa terbentuk dari yang direncanakan. Bekisting ini umumnya terbuat dari kayu dan berfungsi sebagai cetakan agar mudah dicor pada struktur balok, kolom, dan pelat beton.

2.1.2 Bahan Penyusun Beton

Dari penjelasan sebelumnya, beton dibuat dari beberapa bahan seperti semen, air, agregat, dan bahan tambahan. Bahan – bahan pembentuk beton sangat mudah untuk didapatkan dan ekonomis. Bahan – bahan ini dicampur dan diaduk menjadi satu dengan perbandingan tertentu pada tiap bahannya untuk mencapai mutu beton yang diinginkan.

Kualitas beton tergantung pada kualitas bahan penyusunnya. Bahan – bahan penyusun beton harus diperhatikan dan dipenuhi persyaratannya agar mendapat beton dengan kualitas dan mutu yang baik. Bahan – bahan penyusun beton dijelaskan sebagai berikut :

1. Semen

Semen merupakan suatu bahan jadi yang mengeras dengan adanya air dan memiliki sifat adhesif dan kohesif yang memungkinkan melekatnya fragmen – fragmen mineral menjadi suatu massa yang padat (Siti Nurlina, 2008 : 39).

Pada proses pembuatan beton semen berguna untuk mengikat agregat kasar dan halus agar menjadi beton yang padat. Semen membutuhkan air agar dapat mengikat agregat – agregat tersebut.

Semen yang digunakan untuk beton adalah semen Portland. Komponen utama semen Portland terdiri dari batu kapur dan lempung. Batu kapur pada semen Portland mengandung kalsium dan lempung pada semen Portland mengandung aluminium silika (Istimawan Dipohusodo, 1994 : 4).

Semen yang digunakan pada pembuatan beton harus berbutir halus dan butirannya tidak menggumpal. Kehalusan butiran semen ini dapat dirasakan dengan tangan. Semen yang mengandung gumpalan tidak baik untuk pembuatan beton (Ali Asroni, 2010 : 4).

Dalam struktur bangunan penggunaan beton harus sesuai dengan kondisi lapangan. Kondisi lapangan yang berbeda menentukan pemilihan bahan pembentuk beton yang sesuai. Agar beton yang dibuat sesuai keinginan maka semen Portland menurut ASTM dibedakan beberapa jenis sesuai kebutuhan yaitu :

a) Semen tipe I

Semen Portland untuk beton yang tidak memerlukan sifat dan persyaratan yang khusus.

b) Semen tipe II

Semen Portland untuk beton yang dapat tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.

c) Semen tipe III

Semen Portland untuk beton agar cepat untuk mengeras dengan kekuatan awal yang tinggi.

e) Semen tipe IV

Semen Portland untuk beton dengan panas hidrasi rendah.

f) Semen tipe V

Semen Portland untuk beton yang memiliki ketahanan tinggi terhadap sulfat.

2. Air

Air berperan penting pada proses pembuatan beton. Air yang digunakan untuk membuat beton harus bersih, tidak boleh mengandung minyak, asam, alkali, garam-garam, zat organik, atau bahan-bahan lain yang merusak beton dan baja tulangan. Air yang digunakan sebaiknya air tawar bersih yang dapat diminum (Istimawan Dipohusodo, 1994 : 4).

Pemberian air berguna agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen pada proses pembuatan beton. Panas hidrasi terjadi pada saat reaksi kimiawi antara semen dan air. Reaksi kimiawi antara semen dan air menghasilkan pasta semen.

Pasta semen merupakan hasil dari reaksi kimiawi antara semen dengan air, maka perbandingan antara air dan semen paling menentukan. Air yang berlebih menyebabkan banyak gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak sepenuhnya selesai. Sehingga kekuatan beton yang dihasilkan akan berkurang (Siti Nurlina, 2008 : 40).

Faktor air semen (FAS) atau *water cement ratio (wcr)* adalah indikator yang penting dalam perancangan campuran beton. Faktor air semen adalah berat air dibagi dengan berat semen (Mulyono, 2004 : 42) :

$$\text{FAS} = \text{berat air/berat semen}$$

FAS berhubungan dengan kekuatan beton yang dihasilkan. Semakin besar nilai FAS maka kekuatan beton akan menurun. Sedangkan, FAS yang rendah mengakibatkan beton mencapai kekuatan tekan yang tinggi.

3. Agregat

Agregat merupakan kandungan yang paling tinggi dalam beton dibanding bahan penyusun beton lainnya. Volume agregat pada beton biasanya sekitar 60%-70% dari berat total campuran beton. Agregat berfungsi sebagai bahan pengisi beton (Mulyono, 2004 : 65).

Agregat yang digunakan pada beton pada umumnya didapatkan dari batuan alam. Agregat pada beton harus memiliki kualitas dan persyaratan yang memenuhi untuk campuran beton.

Pemilihan bahan agregat menjadi faktor yang penting untuk menjaga kualitas beton. Agregat yang cocok digunakan sebagai bahan penyusun beton harus dilihat dari (Siti Nurlina, 2008 : 44):

- Mutu dan kualitasnya;
- Ukuran dan gradasinya;
- Kebersihannya;
- Kekerasannya;
- Bentuk butirannya;
- Bentuk permukaannya.

Faktor kebersihan agregat juga berperan penting pada proses pembuatan beton. Bahan – bahan kotor yang terdapat pada agregat dapat menyebabkan kualitas beton menjadi berkurang. Selain itu menyulitkan bahan-bahan kotor dapat pada proses pengecoran beton dan membuat permukaan beton tidak rata.

Agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya. Agregat yang digunakan pada pembuatan beton dibedakan menjadi agregat kasar dan agregat halus.

a. Agregat halus

Agregat halus biasanya didapatkan dari pasir. Agregat halus memiliki diameter 1 mm – 5 mm. Agregat halus harus memenuhi persyaratan sebagai berikut (Ali Asroni, 2010 : 4) :

- Berbutir tajam dan keras.
- Tidak mudah lapuk dan hancur oleh perubahan cuaca.
- Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% dari berat keringnya.
- Tidak boleh menggunakan pasir laut karena banyak mengandung garam sehingga dapat merusak baja tulangan.

b. Agregat kasar

Agregat kasar biasanya didapatkan dari kerikil. Agregat kasar memiliki diameter 5 mm – 40 mm. Agregat kasar harus memenuhi persyaratan sebagai berikut (Ali Asroni, 2010 : 5) :

- Bersifat padat dan keras
- Agregat kasar dan halus harus bebas dari bahan organik yang dapat merusak beton.
- Agregat juga harus memiliki cukup kekerasan dan tidak mengandung lumpur.

Menurut SNI 03-2847-2002 pasal 5.3 ayat 2, ukuran maksimum agregat kasar adalah :

- 1/5 jarak terkecil antara bidang samping cetakan;
- 1/3 dari tebal pelat;

- 3/4 jarak minimum antara tulangan atau tendon pratekan.

4. Bahan Tambahan

Bahan tambah adalah bahan – bahan yang ditambahkan pada proses pembuatan beton. Bahan tambah berfungsi untuk untuk mengubah sifat beton agar sesuai keperluan. Bahan tambah ini harus memenuhi SNI dan bahan tambah yang berbahan kimia harus memenuhi ASTM C 494. (Mulyono, 2004 : 117)

2.1.3 Beton Bertulang

Beton bertulang adalah penggabungan material yang terdiri dari beton dan baja tulangan yang ditanam di dalamnya. Pemberian baja tulangan yang ditanamkan di dalam beton bertujuan untuk memberikan kuat tarik. Kuat tarik baja ini dapat menutup kelemahan beton yang lemah dalam menerima gaya tarik. Kuat tarik beton berkisar 9% - 15% kuat tekannya (Istimawan Dipohusodo, 1994 : 1).

Selain memiliki kuat tarik yang tinggi, baja juga kuat dalam menerima gaya tekan. Sehingga menambah kekuatan beton dalam menerima gaya tekan. Baja tulangan mencegah keretakan pada beton agar tidak terlalu melebar. Biasanya baja tulangan yang digunakan pada beton bertulang terdiri dari tulangan utama dan sengkang.

Baja yang biasanya digunakan pada beton adalah baja berbentuk tulangan dan kawat. Penggunaan tulangan baja pada struktur beton bertulang digunakan pada elemen struktur balok, kolom, dan pelat.

Ada beberapa perbedaan sifat dari beton dan baja (W.H Mosley & J.H Bungey, 1987 : 1) :

- Kekuatan tarik beton jelek sedangkan kekuatan tarik baja bagus.
- Kekuatan tekan beton bagus sedangkan kekuatan tekan baja juga bagus tapi batang baja yang langsing akan mudah tertekuk.
- Kekuatan geser pada beton cukup tapi tidak sebagus pada baja.
- Beton lebih awet daripada baja. Hal ini dikarenakan baja mudah berkarat apabila tidak pada kondisi terlindung.
- Beton tahan terhadap api tapi baja akan kehilangan kekuatan secara cepat pada temperatur yang tinggi.

2.1.4 Selimut Beton

Selimut beton merupakan lapisan dari beton yang melapisi tulangan baja pada beton bertulang. Selimut beton berfungsi sebagai pelindung tulangan baja dari pengaruh luar seperti mencegah korosi dan memberikan daya tahan terhadap api yang diperlukan.

. Untuk beton bertulang penentuan tebal selimut berdasarkan kondisi beton tersebut. Penentuan tebal selimut beton ini diatur oleh SNI 03-2847-2002 pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Tebal Selimut Beton Untuk Beton Bertulang

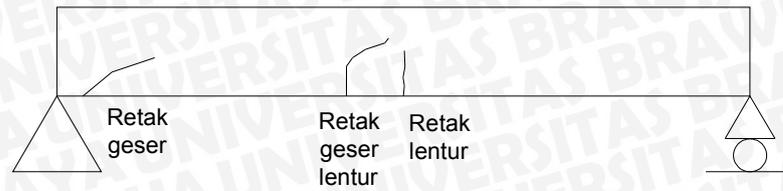
	Tebal selimut minimum (mm)
a) Beton yang dicor langsung di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah	75
b) Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca: Batang D-19 hingga D-16.....	50
Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau kawat ulir D16 dan yang lebih kecil.....	40
c) Beton yang tidak langsung berhubungan dengan cuaca atau beton tidak langsung berhubungan dengan tanah: <u>Pelat, dinding, pelat berusuk:</u> Batang D-44 dan D-56.....	40
Batang D-36 dan yang lebih kecil.....	20
<u>Balok, kolom:</u> Tulangan utama, pengikat, sengkang, lilitan spiral.....	40
<u>Komponen struktur cangkang, pelat lipat:</u> Batang D-19 dan yang lebih besar	20
Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau ulir D16 dan yang lebih kecil	15

(Sumber : SNI 03-2847-2002, halaman 41)

2.1.5 Keretakan Pada Beton

Keretakan pada beton terjadi apabila tegangan tarik beton melebihi kekuatan tarik yang dihasilkan oleh beton. Beban yang bekerja secara berlebih pada suatu elemen struktur beton sehingga melebihi batas kekuatannya dan menyebabkan adanya keretakan. Retak tidak boleh diabaikan karena dapat menyebabkan kerusakan jangka panjang. Retak pada beton dapat berkembang dan merambat lebih luas.

Jenis keretakan beton ini dapat dilihat pada gambar 2.1. Ada tiga jenis retak pada struktur balok (Siti Nurlina, 2008 : 78) :



Gambar 2.1 Jenis retak pada balok

- **Retak lentur**
Retak yang terjadi pada daerah momen lentur dan memiliki pola retak dengan arah retak vertikal atau tegak lurus terhadap sumbu balok.
- **Retak geser lentur**
Retak yang terjadi pada daerah yang sebelumnya mengalami retak lentur. Retak ini merupakan rambatan retak miring dari retak lentur yang sudah terjadi sebelumnya.
- **Retak geser**
Retak ini terjadi akibat kegagalan balok dalam menahan beban geser sehingga biasanya terjadi pada daerah ujung balok karena pada daerah ini timbul gaya geser terbesar. Retak geser biasanya memiliki pola retak berbentuk diagonal.

Untuk nilai lebar retak maksimum pada beton bertulang ditentukan SNI 03-2847-2002 adalah 0,4 mm untuk penampang di dalam ruangan dan 0,3 mm untuk penampang yang dipengaruhi cuaca luar.

2.2 Gelombang Ultrasonik

Gelombang bunyi merambat sebagai gelombang longitudinal yang dapat merambat di udara dan berbagai medium lainnya. Gelombang bunyi yang dapat didengar manusia berada pada jangkauan 20 Hz sampai 20 KHz. Gelombang bunyi yang memiliki frekuensi lebih dari 20 KHz disebut gelombang ultrasonik. Pada frekuensi kurang dari 20 Hz gelombang bunyi ini disebut gelombang infrasonik.

Gelombang ultrasonik adalah gelombang bunyi longitudinal dengan frekuensi lebih dari 20KHz. Gelombang ini tidak bisa didengar oleh manusia karena gelombang tersebut memiliki frekuensi melebihi batas frekuensi tertinggi yang dimiliki manusia. Frekuensi adalah banyaknya getaran pada tiap detik.

Ada beberapa hewan yang dapat mendengar gelombang ultrasonik seperti kelelawar. Kelelawar dapat memancarkan gelombang ultrasonik serta mendeteksi pantulannya. Hal ini dimanfaatkan kelelawar untuk mendeteksi lokasi mangsa (Tipler, 1991 :534).

Gelombang ultrasonik termasuk gelombang bunyi dan dapat merambat pada suatu medium. Gelombang bunyi dapat merambat pada medium padat, cair dan gas tapi tidak dapat merambat pada ruang hampa. Gelombang bunyi membutuhkan suatu medium untuk merambat. Perbedaan medium yang dilalui gelombang ultrasonik menyebabkan kecepatan gelombang pada tiap medium berbeda satu sama lain. Perbedaan kecepatan gelombang bunyi dipengaruhi oleh banyak faktor.

Penggunaan gelombang bunyi khususnya pada gelombang ultrasonik sudah banyak dimanfaatkan untuk kepentingan manusia. Kapal laut biasanya menggunakan gelombang ultrasonik untuk mendeteksi kapal selam dan benda – benda lainnya di bawah laut. Pada bidang kedokteran, gelombang ultrasonik dapat digunakan dalam pemeriksaan tubuh manusia dan pengobatan. Gelombang ultrasonik dapat digunakan untuk memeriksa janin dan ketidaknormalan pada wanita hamil (Tipler, 1991 :534).

Semakin berkembangnya teknologi dan penelitian tentang gelombang ultrasonik maka pemanfaatannya juga semakin luas. Penggunaan gelombang ultrasonik dalam bidang teknik sipil saat ini sudah dimanfaatkan dalam pemeriksaan bangunan sebagai metode *Non Destructive Test*. Dengan metode ini pemeriksaan bangunan dapat dilakukan tanpa harus merusak bangunan tersebut.

2.3 Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

2.3.1 Gambaran Umum

Penelitian tentang bunyi dan gelombang telah diteliti sejak puluhan tahun lalu di beberapa negara. Penelitian ini mengalami perkembangan dari masa ke masa. Hasil dari penelitian gelombang ultrasonik sudah banyak dimanfaatkan pada berbagai macam keperluan. Pada tahun 1960an penggunaan gelombang ultrasonik sudah mulai diaplikasikan pada pemeriksaan bangunan sebagai *Non Destructive Test*. Penggunaan gelombang ultrasonik sebagai *Non Destructive Test* dapat memberikan banyak manfaat untuk melakukan pemeriksaan pada beton.



Gambar 2.2 Alat Uji UPV : Pundit Lab (+)

(Sumber : www.proceq.com)

Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) merupakan salah satu metode *Non Destructive Test* dengan menggunakan gelombang ultrasonik yang didasari pengukuran waktu tempuh gelombang. Waktu tempuh gelombang dibaca oleh pengukur waktu pada UPV dan ditampilkan dalam bentuk kecepatan gelombang.

Alat uji UPV sangat mudah untuk dioperasikan dan praktis karena mudah untuk dibawa. Alat uji UPV ini memiliki banyak manfaat dalam pengujian beton dan bangunan.

2.3.2 Cara Kerja Upv

Cara kerja UPV pada dasarnya mengirim getaran gelombang pada beton dan menerima getaran untuk selanjutnya dihitung lama waktu tempuh perambatan getaran gelombang tersebut (V.M Maholtra & N.J Carino, 2004).

Kecepatan getaran gelombang akan ditampilkan oleh alat uji UPV berdasarkan waktu tempuh yang telah dihitung. Secara umum, hubungan kecepatan, waktu, dan jarak tempuh dapat diketahui dari persamaan sebagai berikut :

$$V = \frac{L}{T} \quad (2 - 1)$$

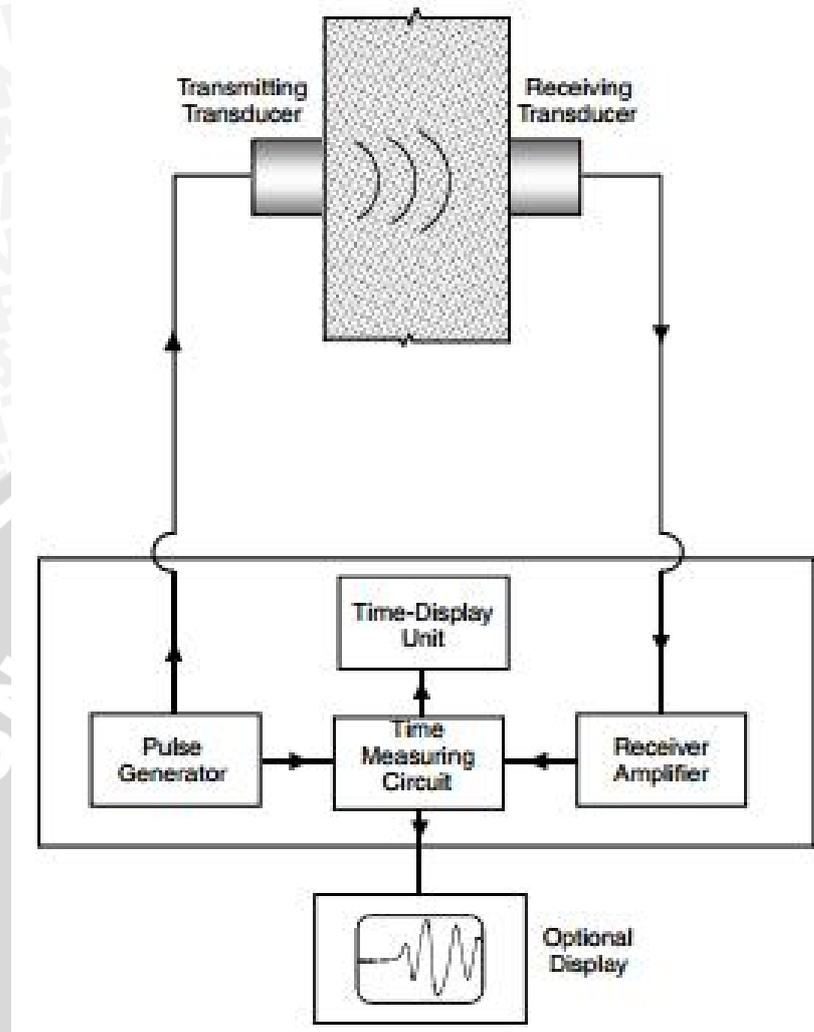
dengan :

V = kecepatan (m/s)

L = jarak tempuh (m)

T = waktu tempuh (s)

Waktu tempuh gelombang diketahui berdasarkan jarak tempuh antar *transducer* sehingga dapat diketahui kecepatannya. UPV menggunakan *tranducer* untuk mengirim gelombang dan menerimanya kembali. Ada dua jenis *tranducer* yang digunakan pada UPV yaitu *transmitter* dan *receiver*. Pada gambar 2.2 dijelaskan proses kerja UPV



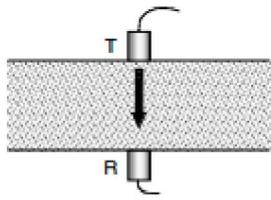
Gambar 2.3 Diagram Alir Uji UPV

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

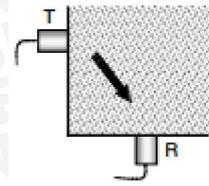
Menurut V.M Maholtra dan N.J Carino, cara kerja UPV diawali pada rambatan gelombang ultrasonik yang dikirim dan melewati suatu medium. Getaran – getaran gelombang ultrasonik dikirim melalui *transmitter* (pemancar gelombang) dan merambat ke dalam beton untuk selanjutnya diterima oleh *receiver* (penerima gelombang). *Receiver* menerima getaran gelombang dan waktu tempuh gelombang dihitung sehingga kecepatannya dapat diketahui.

2.3.3 Metode Pada Uji UPV

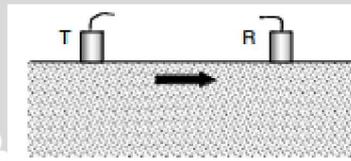
Untuk melakukan pengujian UPV, ada tiga metode yang digunakan. Perbedaan ketiga metode tersebut adalah pemasangan *transmitter* dan *receiver* pada permukaan beton. Metode – metode tersebut dapat dilihat pada gambar 2.3.



1. Direct Transmission



2. Semi-Direct Transmission



3. Indirect Transmission

Gambar 2.4 Metode Pengujian UPV

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

Pada gambar 2.3 ada berbagai metode penempatan pemasangan *transmitter* dan *receiver* pada permukaan beton. Ketiga metode ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. *Direct Transmission* adalah metode pengukuran dengan cara *transmitter* dan *receiver* diletakkan secara berhadapan.
2. *Seni Indirect Transmission* adalah metode pengukuran dengan cara *transmitter* dan *receiver* diletakkan masing - masing pada bidang permukaan yang berbeda, satu pada bidang datar dan satu yang lain pada bidang tegak lurus.
3. *Indirect Transmission* adalah metode pengukuran dengan cara *transmitter* dan *receiver* diletakkan pada satu bidang permukaan.

Direct transmission memberikan hasil pengujian yang lebih memuaskan dibandingkan dengan kedua metode lainnya. Pada metode *direct transmission*, gelombang ultrasonik dapat merambat lebih lancar dan maksimal karena *transmitter* dan *receiver* diletakkan secara berhadapan. Pada metode *semi indirect transmission* juga cukup memberikan hasil yang memuaskan dengan ketentuan jarak antara *transmitter* dan *receiver* tidak terlalu jauh. Sedangkan pada *indirect transmission* perlu diperhatikan jarak antara *transmitter* dan *receiver* karena diletakkan pada satu bidang permukaan.

Untuk itu jarak antara *transmitter* dan *receiver* diatur terlebih dahulu seperti yang dikehendaki. Pada umumnya metode *indirect transmission* digunakan untuk mengukur kedalaman retak pada permukaan beton. Ketiga metode tersebut dapat digunakan dengan mempertimpangkan kondisi lapangan yang ada. Agar mendapatkan hasil yang lebih memuaskan dan maksimal sebaiknya pengukuran dilakukan dengan metode *direct transmission* apabila kondisi lapangan memungkinkan memakai metode tersebut.

2.3.4 Faktor – Faktor Pengaruh Pada Uji UPV

Uji UPV termasuk metode *Non Destructive Test* sehingga tingkat akurasi dari hasil pengujiannya akan berbeda dengan metode *Destructive Test*. Akurasi uji UPV dipengaruhi oleh kecepatan rambat gelombang ultrasonik pada benda uji. Ada berbagai macam faktor yang mempengaruhi kecepatan gelombang pada uji UPV yaitu sebagai berikut :

- Jarak tempuh antara *transmitter* dan *receiver*

Transmitter berfungsi untuk mengirimkan gelombang sedangkan *receiver* berfungsi untuk menerimanya. Jarak tempuh yang dilalui gelombang berpengaruh pada waktu tempuhnya. Semakin panjang jarak tempuh antara *transmitter* dan *receiver* maka akan ada kecenderungan pengurangan kecepatan gelombang semakin besar. Kecepatan gelombang pada jarak tempuh yang pendek lebih cepat daripada jarak tempuh yang panjang.

- Kondisi permukaan beton

Kondisi permukaan beton yang kasar akan mengurangi kecepatan gelombang pada uji UPV. Uji UPV sebaiknya dilakukan pada permukaan beton yang rata.

- Suhu beton

Cuaca luar dan suhu beton yang ekstrim dapat mempengaruhi kecepatan gelombang yang melewati beton. Pada tabel 2.2, dijelaskan faktor koreksi pada suhu beton yang berbeda.

Tabel 2.2 Efek Suhu Beton Pada Kecepatan Gelombang

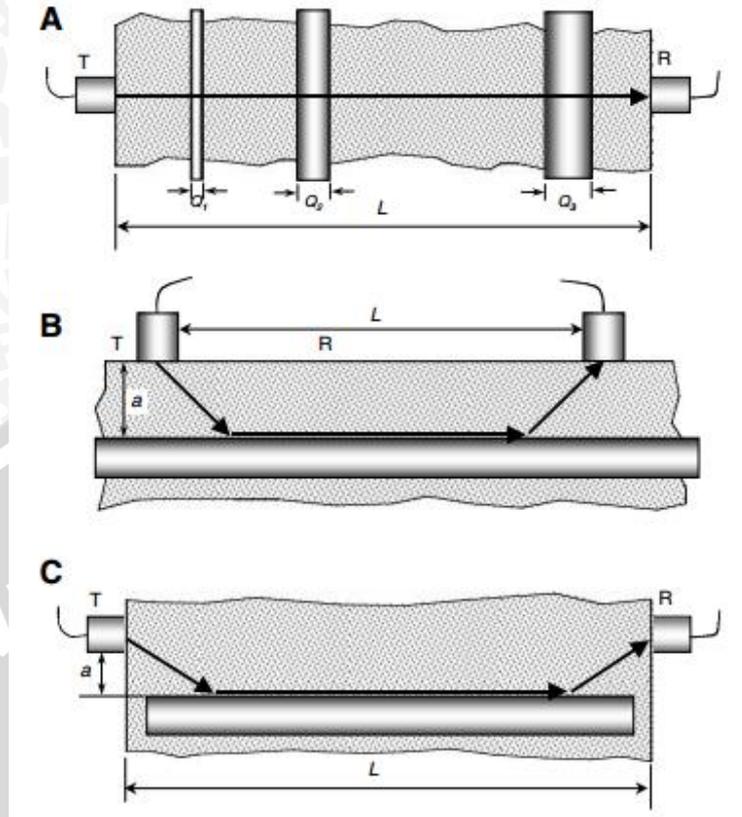
Suhu Beton	Faktor Koreksi (%)	
	Beton Kering	Beton Basah
^o C	%	%
60	+5	+4
40	+2	+1,7
20	0	0
0	-0,5	-1
-4	-1,5	-7,5

(Sumber : *British Standard 1881 part 203*, tabel 1)

- Pengaruh terhadap tulangan baja

Kecepatan gelombang ultrasonik pada beton rata – rata berkisar antara 3700 m/s – 4200 m/s. Kecepatan gelombang ultrasonik pada baja lebih tinggi daripada kecepatan gelombang pada beton. Oleh karena itu pemberian tulangan baja pada balok beton bertulang menyebabkan kecepatan gelombang mengalami perubahan. Kecepatan gelombang yang berbeda akan mempengaruhi hasil pengujian UPV.

Menurut V.M Maholtra dan N.J Carino (2004) ada beberapa pengaruh tulanga pada uji UPV (lihat gambar 2.5). Pada gambar 2.5 dijelaskan tentang pengaruh tulangan baja terhadap berbagai macam posisi tulangan baja. Pada gambar 2.5 bagian A menjelaskan pengaruh tulangan baja dengan posisi baja tegak lurus terhadap arah rambatan gelombang secara *direct transmission*. Pada gambar 2.5 bagian B menjelaskan pengaruh tulangan baja dengan posisi baja sejajar terhadap permukaan beton dengan arah rambatan gelombang secara *indirect transmission*. Pada gambar 2.5 bagian C menjelaskan pengaruh tulangan baja dengan posisi baja sejajar terhadap arah rambatan gelombang secara *direct transmission*.



Gambar 2.5 Pengaruh Tulangan Baja
(Sumber : V.M Maholtra & N.J Carino, 2004)

Hubungan antara kecepatan gelombang terhadap tulangan baja dengan posisi baja tegak lurus terhadap arah rambatan secara *direct transmission* (gambar 2.5 bagian A) pada beton bertulang dapat dilihat pada tabel 2.3

Tabel 2.3 Pengaruh Tulangan Baja dengan Posisi Tegak Lurus Terhadap Arah Rambatan Secara *Direct Transmission*

Ls/L	$\frac{V_c}{V} = \frac{\text{kecepatan gelombang pada beton}}{\text{kecepatan gelombang pada beton bertulang}}$		
	$V_c = 3000 \text{ m/s}$	$V_c = 4000 \text{ m/s}$	$V_c = 5000 \text{ m/s}$
1/12	0,96	0,97	0,99
1/8	0,94	0,96	0,98
1/6	0,92	0,94	0,97
1/4	0,88	0,92	0,96
1/3	0,83	0,89	0,94
1/2	0,75	0,83	0,92

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

dengan :

V = kecepatan gelombang pada beton bertulang (m/s)

V_c = kecepatan gelombang pada beton (m/s)

V_s = kecepatan gelombang pada tulangan baja (m/s)

- L = Jarak total tempuh gelombang antara *transmitter* dan *receiver* (m)
 L_s = Jarak total tempuh gelombang pada tulangan baja (m)
 a = Jarak transducer terhadap tulangan

Pada gambar 2.5 bagian B dan C pengaruh tulangan baja ditunjukkan pada tabel 2.4. Tetapi hal ini sulit untuk diaplikasikan karena tergantung pada kecepatan gelombang pada tulangan baja.

Tabel 2.4 Pengaruh Tulangan Baja dengan Posisi Sejajar Terhadap Arah Rambatan Secara *Direct* dan *Indirect Transmission*

a/L	$\frac{V_c}{V} = \frac{\text{kecepatan gelombang pada beton}}{\text{kecepatan gelombang pada beton bertulang}}$			
	$V_c/V_s = 0,90$	$V_c/V_s = 0,80$	$V_c/V_s = 0,71$	$V_c/V_s = 0,60$
0	0,90	0,80	0,71	0,60
1/20	0,94	0,86	0,78	0,68
1/15	0,96	0,88	0,80	0,71
1/10	0,99	0,92	0,85	0,76
1/7	1,00	0,97	0,91	0,83
1/5	1,00	1,00	0,99	0,92
1/4	1,00	1,00	1,00	1,00

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

Pendekatan untuk mengetahui pengaruh tulangan hanya terbatas pada tulangan yang susunannya cukup sederhana seperti pada gambar 2.5. Tapi untuk pengaruh tulangan yang lebih rumit susunannya tidak mungkin untuk melakukan sebuah koreksi karena sulit untuk menganalisisnya.

2.3.5 Penggunaan UPV

UPV memiliki banyak manfaat untuk menguji kualitas beton tanpa harus merusaknya. Secara umum, kegunaan UPV yaitu (V.M Maholtra & N.J Carino, 2004):

1. Mengestimasi kuat tekan beton.
2. Menganalisa *homogeneity* pada beton.
3. Mengukur kedalaman retak.
4. Menganalisa sifat *durability* beton
5. Mengetahui modulus elastisitas beton

Selain itu pengujian UPV dapat menunjukkan kualitas beton berdasarkan kecepatan gelombang yang melewatinya. Penilaian kualitas beton berdasarkan kecepatan gelombang yang melewatinya dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2.5. Kecepatan Gelombang dan Kualitas Beton

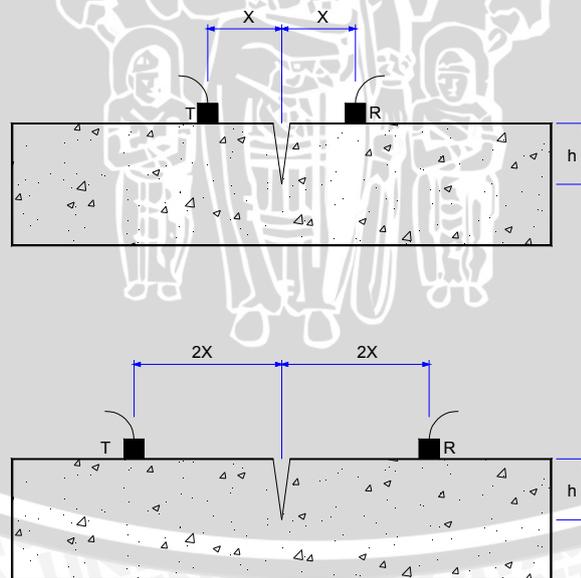
Kecepatan gelombang (m/s)	Kualitas Beton
Di atas 4500	Sangat Baik
3500 – 4500	Baik
3000 – 3500	Cukup
Di bawah 3000	Buruk

(Sumber : *Indian Standard 133111 part 1*, 1992)

2.3.6 Mengukur Keretakan dengan Upv

Pengujian UPV memiliki banyak manfaat untuk melakukan pemeriksaan pada beton. Salah satu pengujian UPV pada beton adalah mengukur kedalaman retak. Pengukuran kedalaman retak menggunakan UPV dilakukan dengan metode *indirect*. Pengukuran keretakan dilakukan dengan cara mengukur waktu tempuh pada permukaan beton yang mengalami keretakan. Dengan mengetahui waktu tempuh gelombang ultrasonik maka dalam retak dapat diketahui.

Pada dasarnya, pengukuran keretakan dapat didekati dengan cara mengetahui waktu dan jarak tempuh gelombang. *Transmitter* dan *receiver* diletakkan secara berseberangan pada permukaan beton dengan jarak tertentu. Pengukuran dilakukan pada bagian beton yang retak. Jarak antara *transmitter* dan *receiver* diatur sedemikian rupa pada permukaan beton (dapat dilihat pada gambar 2.6).



Gambar 2.6 Pengukuran Keretakan Dengan Uji UPV

Pada gambar 2.6 kedalaman retak dapat diketahui dari hubungan jarak X terhadap waktu tempuh T_1 dan T_2 . Menurut *British Standard 1881* pendekatan

hubungan jarak *transducer*, waktu tempuh T_1 dan T_2 dapat dilihat pada persamaan empiris yaitu :

$$H = X \sqrt{\frac{4T_1^2 - T_2^2}{T_2^2 - T_1^2}} \quad (2 - 2)$$

dengan :

H = kedalaman retak

X = jarak antara *transmitter* atau *receiver* terhadap garis retak (disarankan 15 cm)

T_1 = waktu tempuh gelombang ultrasonik pada jarak sejauh X terhadap garis retak

T_2 = waktu tempuh gelombang ultrasonik pada jarak sejauh 2X terhadap garis retak

2.4 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan kajian teori yang telah disampaikan maka dapat diambil hipotesa :

1. Adanya kesalahan relatif pada hasil pengukuran menggunakan uji UPV terhadap kedalaman retak buatan yang ada.
2. Adanya perbedaan kesalahan relatif hasil pengukuran kedalaman retak buatan menggunakan uji UPV antar variasi selimut beton.

