

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Beton

Menurut Mulyono (2005), beton didefinisikan sebagai campuran dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolik (*portland cement*), agregat kasar, agregat halus, dan air dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah (*admixture* atau *additive*). Menurut SNI 03-2847-2013, DPU-LPMB juga memberikan definisi tentang beton sebagai campuran antara semen portland atau semen hidrolik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan yang membentuk massa padat.

Menurut Antono (1995), beton telah dikenal sebagai bahan pilihan utama bahan bangunan karena mempunyai sifat-sifat yang menguntungkan. Beton diperoleh dari pencampuran agregat halus dan kasar dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia yang menghasilkan pengerasan dan penambahan kekuatan yang berlangsung terus dibawah suatu kelembaban dan suhu tertentu.

Pada umumnya, beton mengandung rongga udara sekitar 1%-2%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25%-40% dan agregat (agregat kasar dan agregat halus) sekitar 60%-75% (Mulyono, 2005). Parameter-parameter yang paling mempengaruhi kekuatan beton adalah:

- a. Kualitas semen.
- b. Proporsi semen terhadap campuran.
- c. Kekuatan dan kebersihan agregat.
- d. Interaksi atau adhesi antara pasta semen dengan agregat.

- e. Pencampuran yang cukup dari bahan-bahan pembentuk beton.
- f. Penempatan yang benar, penyelesaian dan pemadatan beton.
- g. Perawatan beton

B. Sifat-Sifat Beton

Dalam konstruksi, beton tidak harus memiliki semua sifat-sifat beton, dikarenakan sifat-sifat tersebut ditinjau dari kegunaan dari beton tersebut. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi sifat-sifat beton antara lain adalah perbandingan campuran beton, cara mencetak beton, cara memadatkan, dan cara merawat beton. Beberapa sifat umum yang dimiliki oleh beton adalah:

1. Kemudahan Pengerjaan (Kelecekan/ Workability)

Tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) berkaitan serta dengan tingkat kelecekan (keenceran) adukan beton. Makin cair adukan beton, maka makin mudah untuk dikerjakan. Untuk mengukur tingkat kelecekan adukan beton, maka dilakukan pengujian slump (*slump test*) menggunakan alat Kerucut Abrahams. Pada umumnya nilai slump berkisar antara 50-150 mm.

Berikut beberapa factor yang mempengaruhi kelecekan/*workability* beton segar:

- a. Banyaknya air yang dipakai dalam suatu campuran beton.
- b. Gradasi campuran agregat kasar dan agregat halus.
- c. Bentuk butiran agregat dan tekstur permukaan agregat.
- d. Ukuran maksimum agregat.

2. Pemisahan Kerikil (Segregasi)

Pada dasarnya, segregasi adalah proses terjadinya penurunan agregat kasar ke bagian bawah beton segar, atau terpisahnya agregat

kasar dari campuran karena cara penuangan dan pemadatan yang tidak baik.

Beberapa faktor yang dapat menyebabkan segregasi anatara lain adalah:

- a. Campuran kekurangan air atau kelebihan air.
- b. Kurangnya jumlah agregat halus.
- c. Ukuran agregat yang lebih dari 25 mm.

3. Pemisahan Air (*Bleeding*)

Bleeding adalah peristiwa pemisahan/naiknya air ke permukaan setelah dilakukan pemadatan. Naiknya air disertai dengan membawa semen dan butiran pasir halus, yang kemudian membuat lapisan yang disebut *laitance*. Lapisan ini akan menjadi penghalang rekataann antara beton di bawahnya dan lapisan beton atasnya.

Peristiwa ini sering terjadi pada campuran yang terlalu banyak air, dimana beton yang memiliki kadar air yang terlalu tinggi akan membuat beton memiliki aliran air. Air yang naik ini membawa butiran dan pasir halus. *Bleeding* sering terjadi setelah pencetakan beton dilakukan terlihat dengan permukaan beton penuh dengan air.

4. Kuat Tekan

Kekuatan beton terutama dipengaruhi oleh banyaknya air dan semen yang digunakan atau tergantung pada faktor air semen. Nilai kuat tekan beton semakin meningkat sejalan sengan peningkatan umurnya. Beton sudah memiliki kekuatan maksimum pada umur 28 hari. Nilai kuat beton diukur dengan membuat benda uji berbentuk silinder. Pembacaan kuat tekan pada benda uji silinder. Adapun faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan beton antara lain:

- a. Faktor air semen
- b. Umur beton

- c. Sifat agregat
- d. Jenis *admixture*
- e. Perawatan

Menurut ACI 214R-11 menjelaskan bahwa besarnya variasi kekuatan contoh uji beton tergantung pada mutu material, pembuatan dan kontrol dalam pengujian. Perbedaan kekuatan dapat ditemukan dua penyebab utama yang berbeda, seperti ditunjukkan pada tabel 1, yaitu:

Tabel 1. Penyebab Utama Variasi Kekuatan

Variasi dalam Perilaku Beton	Ketidaksesuaian dalam Metode Pengujian
Perubahan dalam rasio air semen: <ul style="list-style-type: none"> • Kontrol air yang jelek • Variasi yang sangat besar dari kelembaban dalam agregat • Perubahan sifat 	Prosedur pengambilan benda uji yang tidak tepat
Variasi dalam kebutuhan air: <ul style="list-style-type: none"> • Ukuran butir agregat, penyerapan, bentuk partikel • Perilaku semen dan bahan pencampuran • Waktu dan temperatur 	Variasi yang disebabkan oleh teknik pembuatan. Pengangkatan dan pemeliharaan silinder yang baru dibuat, kualitas cetakan yang jelek.
Variasi pada karakteristik dan bahan penyusun: <ul style="list-style-type: none"> • Agregat • Semen • Pozzolan • Bahan campur 	Perubahan dalam pemeliharaan: <ul style="list-style-type: none"> • Variasi suhu • Kelembaban yang bervariasi • Penundaan silinder ke dalam laboratorium

beton dan daya tahan jangka Panjang terutama saat berhubungan dengan alkali.

C. Semen

Semen merupakan bahan pengikat disebabkan semen merupakan bahan hidrolis yang apabila bertemu dengan air akan bereaksi. Perekat hidrolik dihasilkan dengan cara menghaluskan klinker yang terdiri dari bahan utama silikat-silikat kalsium dan bahan tambahan batu gypsum dimana senyawa-senyawa tersebut dapat bereaksi dengan air dan membentuk zat baru bersifat perekat pada batuan. Semen dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu:

1. Semen Non-hidrolik

Semen non-hidrolik adalah semen yang tidak dapat mengikat dan mengeras didalam air, akan tetapi dapat mengeras diudara. Contoh dari semen non-hidrolik adalah kapur. Kapur merupakan bahan utama perekat pada waktu lampau.

Jenis kapur yang baik adalah kapur putih, yaitu kapur yang mengandung kalsium oksida yang tinggi ketika masih berbentuk kapur tohor dan akan mengandung banyak kalsium hidroksida ketika telah berhubungan dengan air. Kapur didapatkan dengan cara membakar batu kapur atau karbonat Bersama bahan pengotornya, yaitu magnesium, silika, besi, alkali, alumina, dan belerang.

2. Semen Hidrolik

Semen hidrolik mempunyai kemampuan untuk mengikat dan mengeras di dalam air dengan stabil. Semen hidrolik memiliki sifat dapat mengeras bila dicampur air, tidak larut dalam air, dapat mengeras walau di dalam air. Contoh semen hidrolik antara lain adalah kapur hidrolik, semen pozzolan, semen portland terak tanur tinggi, semen alumina, dan semen expansif.

a. Semen Portland

Menurut SNI 15-2049-2004, semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak semen portland terutama yang terdiri atas kalsium silikat yang bersifat hidrolis dan digiling dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat dan boleh ditambah dengan bahan tambah lain. Berikut beberapa perbedaan jenis dan kegunaan semen portland:

- 1) Jenis I, yaitu semen portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang disyaratkan pada jenis-jenis lain.
- 2) Jenis II, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.
- 3) Jenis III, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.
- 4) Jenis IV, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.
- 5) Jenis V, yaitu semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

b. Semen Portland Pozzolan

Menurut SNI 15-0302-2004, semen portland pozzolan adalah 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. Pozzolan adalah bahan yang mengandung silika atau

senyawanya dan alumina, yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida pada suhu kamar membentuk senyawa yang mempunyai sifat seperti semen.

Berikut beberapa perbedaan jenis dan kegunaan semen portland pozzolan:

- 1) Jenis IP-U, yaitu semen portland pozzolan yang dapat dipergunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan.
- 2) Jenis IP-K, yaitu semen portland pozzolan yang dapat dipergunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan beton, semen untuk tahan sulfat sedang dan panas hidrasi sedang.
- 3) Jenis P-U, yaitu semen portland pozzolan yang dapat dipergunakan untuk pembuatan beton dimana tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi
- 4) Jenis P-K, yaitu semen portland pozzolan yang dapat dipergunakan untuk pembuatan beton dimana tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi

Persyaratan kimia dan fisika semen portland pozzolan jenis IP-U dan IP-K harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

Tabel 2. Syarat Kimia (jenis IP-U dan IP-K)

No.	Jenis uji	Satuan	Persyaratan	
			IP-U	IP-K
1	MgO	%	maks. 6,00	maks. 6,00
2	SO ₃	%	maks. 4,00	maks. 4,00
3	Hilang pijar	%	maks. 5,00	maks. 5,00

(sumber: SNI 15-0302-2004)

Tabel 3. Syarat Fisika (jenis IP-U dan IP-K)

No.	Jenis uji	Satuan	Persyaratan	
			IP-U	IP-K
1	Kehalusan dengan alat <i>blaine</i>	m ² /kg	min. 280	min. 280
2	Waktu pengikatan dengan jarum <i>vicat</i> - Pengikatan awal - Pengikatan akhir	menit Jam	min. 45 maks. 7	min. 45 maks. 7
3	Kekekalan dengan <i>autoclave</i> - Pemuaian - Penyusutan	% %	maks. 0,80 maks. 0,20	maks. 0,80 maks. 0,20
4	Kuat tekan - umur 3 hari - umur 7 hari - umur 28 hari	kg/cm ² kg/cm ² kg/cm ²	min. 125 min. 200 min. 250	min. 110 min. 165 min. 205
5	Panas hidrasi - umur 7 hari - umur 28 hari	kal/g kal/g	- -	maks. 70 maks. 80
6	Kandungan udara dari mortar	% volume	maks. 12	maks. 12

(sumber: SNI 15-0302-2004)

Tabel 4. Syarat Kimia (jenis P-U dan P-K)

No.	Jenis uji	Satuan	Persyaratan	
			P-U	P-K
1	MgO	%	maks. 6,00	maks. 6,00
2	SO ₃	%	maks. 4,00	maks. 4,00
3	Hilang pijar	%	maks. 5,00	maks. 5,00

(sumber: SNI 15-0302-2004)

Tabel 5. Syarat Fisika (jenis P-U dan P-K)

No.	Jenis uji	satuan	Persyaratan	
			P-U	P-K
1	Kehalusan dengan alat <i>blaine</i>	m ² /kg	min. 280	min. 280

2	Waktu pengikatan dengan jarum <i>vicat</i>			
	- Pengikatan awal	menit	min. 45	min. 45
	- Pengikatan akhir	Jam	maks. 7	maks. 7
3	Kekekalan dengan <i>autoclave</i>			
	- Pemuaian	%	maks. 0,80	maks. 0,80
	- Penyusutan	%	maks. 0,20	maks. 0,20
4	Kuat tekan			
	- umur 3 hari	kg/cm ²	-	-
	- umur 7 hari	kg/cm ²	min. 115	min. 90
	- umur 28 hari	kg/cm ²	min. 215	min. 175
5	Panas hidrasi			
	- umur 7 hari	kal/g	-	maks. 60
	- umur 28 hari	kal/g	-	maks. 70
6	Kandungan udara dari mortar	% volume	maks. 12	maks. 22

(sumber: SNI 15-0302-2004)

c. Semen portland komposit

Menurut SNI 15-7064-2004, semen portland komposit adalah suatu semen hidrolis yang dihasilkan dari penggilingan antara terak semen portland dan gips dengan satau atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahana anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast funace slag*), poolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35% dari massa semen portland komposit. Semen portland komposit dapat digunakan untuk konstruksi umum seperti pekerjaan beton, pasangan bata, selokan, jalan, pagar dinding dan pembuatan elemen bangunan khusus seperti bahan pracetak, beton pracetak, panael beton, bata beton (*paving block*) dan sebagainya.

Tabel 6. Syarat Uji Kimia Semen Portland Komposit

No	Uraian	Persyaratan
1	SO ₃	Maks, 4,0 %

(sumber: SNI 25-7064-2004)

Tabel 7. Syarat Uji Kimia Semen Portland Komposit

No	Uraian	Satuan	Persyaratan
1	Kehalusan dengan alat blaine	m ² kg	min. 280
2	Kekekalan bentuk dengan autoclave: - Pemuaian - Penyusutan	% %	maks. 0,80 maks. 0,20
3	Waktu pengikatan dengan alat vicat: - Pengikatan awal - Pengikatan akhir	Menit Menit	min. 45 maks. 375
4	Kuat tekan - Umur 3 hari - Umur 7 hari - Umur 28 hari	kg/m ² kg/m ² kg/m ²	min. 125 min. 200 min. 250
5	Pengikatan semu: - Penetrasi akhir	%	min. 50
6	Kandungan udara dalam mortar	% volume	maks. 12

(sumber: SNI 25-7064-2004)

D. Agregat

Menurut Sukirman (2003), agregat didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan solid. Agregat merupakan batuan sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa yang berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen.

Menurut SNI 2847: 2013, agregat merupakan bahan berbutir, seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan slag tanur (*blast-furnace slag*), yang digunakan dengan media perekat untuk menghasilkan beton atau mortar semen hidrolis.

1. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat yang tertahan dari ayakan 4,75 mm (ASTM C33). Syarat-syarat agregat kasar sebagai berikut:

- a. Agregat kasar harus terdiri butiran keras dan tidak berpori
- b. Bersifat kekal, artinya tidak mudah pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca,
- c. Modulus halus butir agregat kasar antara 5-7,1 dengan variasi butir sesuai standar gradasi.
- d. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1 %, apabila kadar lumpur melampaui 1% agregat kasar harus di cuci.
- e. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang reaktif terhadap alkali.

Tabel 8. Batas Gradasi Agregat Halus

ASTM C-33 Standard Specification for Concrete Aggregate										
Table 2 Grading Requirements for Coarse Aggregate										
Size Number	Nominal Size	Amount Fine Than Each Laboratory sieve (square Openungs)								
		Percentage by Weight								
	Square Openings	2"	1"-1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No .4	No .8	No .16
4	1-1/2" to No.3/4"	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-	-

467	1-1/2" to No.4	100	96- 100	-	35- 70	-	10- 30	0-5	-	-
57	1" to No.4	-	100	96- 100	-	25- 60	-	0- 10	0-5	-
6	3/4" to No.3/8	-	-	100	90- 100	25- 55	0-15	0-5	-	-
67	3/4" to No.4	-	-	100	90- 100	-	20- 55	0- 10	0-5	
7	1/2" to No.4	-	-	-	100	90- 100	40- 70	0- 15	0-5	
8	3/8" to No.8	-	-	-	-	100	85- 100	0- 30	0- 10	0-5

(sumber: ASTM C33)

2. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang lolos dari ayakan 4,75 mm (ASTM C33).

- Modulus kelengkapannya harus tidak kurang dari 2,3 atau lebih dari 3,1
- Tidak mengsndung lumpur lebih dari 5 %
- Tidak mudah pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca
- Tidak mengandung zat organik yang terlalu banyak
- Khusus untuk beton dengan tingkat keawetan tinggi, agregat halus harus tidak reaktif terhadap alkali
- Agregat halus dari laut/pantai boleh dipakai asal dengan petunjuk Lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.

Berikut tabel gradasi agregat halus berdasarkan ASTM C33:

Tabel 9. Batas Gradasi Agregat Halus

Ukuran Saringan ASTM	Persentasi Berat yang Lolos pada Tiap Saringan
9,5 mm	100
4,75 mm	95-100
2,36 mm	80-100
1,18 mm	50-85
0,600 mm	25-60
0,300 mm	5-30
0,150 mm	0-10

(sumber: ASTM C33)

E. Air

Air sangat diperlukan pada pembuatan beton, bahkan air merupakan bahan dasar pembuatan beton. Air merupakan bahan penyusun beton yang diperlukan untuk memicu proses kimiawi semen, membasahi agregat, yang juga berfungsi sebagai pelumas antara butiran-butiran agregat agar dapat dikerjakan dan dipadatkan.

Selain itu, air juga berpengaruh terhadap kuat tekan beton, karena beton kelebihan air dapat menyebabkan penurunan pada kekuatan beton itu sendiri. Selain itu lebih air akan mengakibatkan beton mengalami *bleeding*, yaitu air akan naik ke permukaan beton segar yang sudah dituangkan, naiknya air bersama dengan butiran semen dan butiran pasir halus. Air dalam campuran beton dapat berpengaruh terhadap sifat *workability* adukan beton, besar kecilnya nilai susut beton, kelangsungan reaksi dengan semen sehingga dihasilkan kekuatan selang beberapa waktu, dan peranan air sangat mendukung perawatan adukan beton diperlukan untuk menjamin pengerasan yang baik.

Berikut ini persyaratan air untuk campuran beton menurut SNI 03-2847-2002, yaitu:

- 1) Air yang digunakan pada campuran beton harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung oli, asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang merugikan terhadap beton atau tulangan.
- 2) Air pencampur yang digunakan pada beton prategang atau pada beton yang didalamnya tertanam logam aluminium, termasuk air bebas yang terkandung dalam agregat, tidak boleh mengandung ion klorida dalam jumlah yang membahayakan.
- 3) Air yang tidak dapat diminum tidak boleh digunakan pada beton, kecuali pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama dan hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum.

F. *Hammer test*

Menurut RSNI 4803-2000, metode pengujian ini mencakup penentuan angka pantul beton keras dengan menggunakan palu pantul yang digunakan oleh pegas. Metode ini dapat digunakan untuk memperkirakan kekuatan beton, untuk itu dibutuhkan korelasi antara kekuatan beton dan angka pantul. Hubungan ini harus ditetapkan dari campuran beton dan alat yang telah ditetapkan. Hubungan beton dan angka pantul dibuat dari kekuatan beton yang biasa digunakan. Untuk memperkirakan kekuatan pada saat pembangunan, tetapkan hubungan dengan menampilkan angka pantul pada benda uji yang dicetak dan mengukur kekuatan dari benda uji yang sama atau serupa. Untuk memperkirakan kekuatan pada struktur yang ada,

tetapkan hubungan antara angka pantul yang diukur pada struktur dengan kekuatan inti beton yang diambil dari lokasi yang bersangkutan.

Menurut RSNI 4083-2000, Berikut ini adalah alat, cara pengujian, dan cara perhitungan dari metode *hammer test*, yaitu:

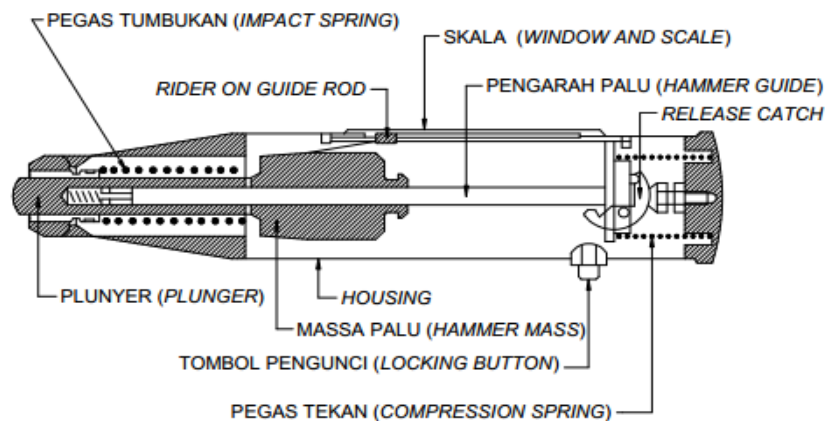
1. Alat yang digunakan dalam metode ini adalah sebagai berikut:
 - a. Palu Pantul, terdiri dari sebuah palu baja yang gerakannya dikendalikan oleh pegas, apabila dilepas akan memukul hulu palu yang terbuat dari baja yang kontak langsung pada permukaan beton. Palu baja harus bergerak dengan kecepatan konstan dan dapat dilakukan ulang. Jarak pantul antara palu baja dan hulu palu diukur dalam skala linier.
 - b. Batu penggosok, terbuat dari silika karbid atau bahan lain yang sejenis dengan tekstur butiran sedang.
 - c. Anvil penguji, silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 150 mm terbuat dari baja dengan kekerasan permukaan tumbukan sampai dengan $66 \text{ HRC} \pm 2 \text{ HRC}$ diukur dengan metode uji ASTM E 18. Anvil memiliki alat pengarah agar palu pantul berada di tengah daerah tumbukan dan berfungsi menjaga alat tetap tegak lurus permukaan uji.
 - d. Verifikasi, palu pantul harus dirawat dan diverifikasi setiap tahun serta apabila pengoperasiannya diragukan. Verifikasi pengoperasian palu pantul dengan menggunakan anvil seperti dijelaskan pada butir 6.3. Selama verifikasi, anvil diletakkan pada pelat atau lantai beton. Pabrik harus melaporkan angka pantul yang diperoleh dari pengoperasian alat yang benar ketika pengujian dilakukan pada anvil dengan kekerasan sesuai spesifikasi.

2. Cara pengujian *hammer test* adalah sebagai berikut:

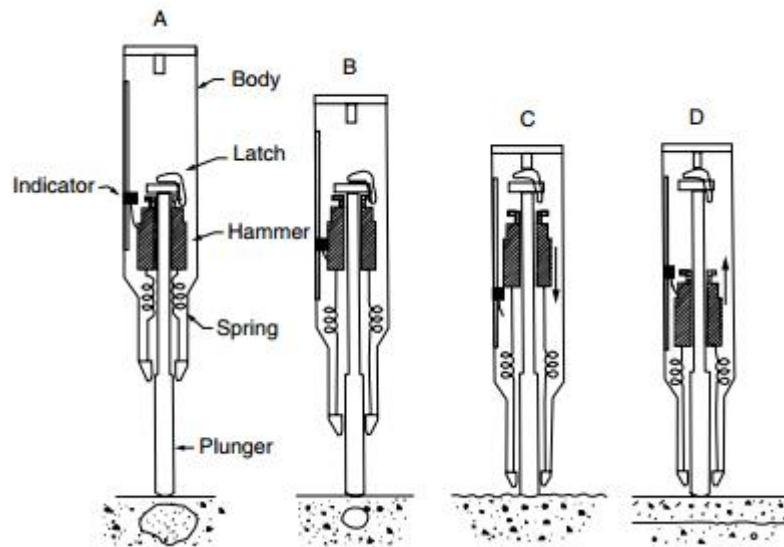
- a. Pegang alat dengan kokoh sehingga posisi hulu palu tegak lurus dengan permukaan beton yang diuji.
- b. Tekan alat secara perlahan ke arah permukaan uji sampai palu pantul menumbuk hulu palu.
- c. Setelah tumbukan tahan tekanan pada alat dan apabila perlu tekan tombol pada sisi alat untuk mengunci hulu palu pada posisinya.
- d. Baca dan catat angka pantul pada skala untuk angka yang terdekat. Lakukan 10 titik bacaan pada setiap daerah pengujian dengan jarak masing–masing titik bacaan tidak boleh lebih kecil dari 25 mm.
- e. Periksa permukaan beton setelah tumbukan, batalkan pembacaan jika tumbukan memecahkan atau menghancurkan permukaan beton karena terdapat rongga udara, dan ambil titik bacaan yang lain.

3. Cara perhitungan metode *hammer test* adalah sebagai berikut:

Hasil pembacaan yang berbeda lebih dari 6 satuan dari rata-rata 10 titik bacaan diabaikan dan tentukan nilai rata-rata dihitung dari pembacaan data yang memenuhi syarat. Bila lebih dari 2 titik bacaan memiliki perbedaan lebih dari 6 satuan dari nilai rata-rata, maka seluruh rangkaian pembacaan harus dibatalkan dan tentukan angka pantul pada 10 titik bacaan baru pada daerah pengujian.



Gambar 1. Struktur Bagian Palu Pantul



Gambar 2. Gambaran Sistematis Alat Palu Pantul Saat Pengujian
Hammer Test

G. Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) Test

Menurut ASTM C597-2012, metode pengujian ini mencakup penentuan kecepatan rambat gelombang longitudinal melalui beton. Metode ini dapat digunakan untuk menilai atau mengetahui keseragaman mutu beton, mendeteksi adanya rongga/retak, dan untuk mengevaluasi efektivitas perbaikan retak. Metode ini juga dapat untuk mengetahui adanya perubahan sifat-sifat beton, dan pada pemeriksaan suatu struktur, untuk memperkirakan tingkat kerusakan atau retakan pada beton.

Metode ini tidak dapat diterapkan untuk rambat gelombang jenis lain yang melalui beton. Rambatan dari gelombang longitudinal dipancarkan oleh transduser elektro akustik yang berhubungan dengan salah satu permukaan dari beton. Setelah melalui beton, rambatan gelombang diterima dan dikonversikan menjadi energi listrik oleh transduser kedua yang berjarak L dari transduser pemancar. Waktu tempuh T diukur secara elektronik. Kecepatan rambat gelombang V dihitung dengan membagi L dengan T .

Berikut ini adalah alat, cara pengujian, dan perhitungan dari pengujian UPV menurut ASTM C597-2012 adalah sebagai berikut:

1. Alat yang digunakan dalam pengujian UPV, yaitu:
 - a. Generator kecepatan rambat gelombang dan transduser pengirim, Generator kecepatan rambat gelombang harus terdiri dari sirkuit untuk membangkitkan tegangan kecepatan rambat gelombang. Transduser untuk mengubah gelombang pulsa elektronis menjadi pancaran gelombang energi mekanis harus memiliki frekuensi resonansi dalam rentang 20 kHz sampai dengan 100 kHz. Generator kecepatan rambat gelombang harus menghasilkan kecepatan rambat gelombang yang berulang pada tingkat tidak kurang dari 3 kecepatan rambat gelombang per detik. Alat transduser dibuat dari *piezoelectric*, *magnetostrictive*, atau bahan yang sensitif terhadap tegangan (*voltagesensitive material*) lainnya (*Rochelle salt*, kuarsa, barium titanate, lead zirconate-titanate (PZT), dan sebagainya) dan terlindung. Suatu kecepatan rambat gelombang pemicu harus dibuat untuk memulai sirkuit pengukur waktu.
 - b. Transduser penerima dan penguat (*Amplifier*), transduser penerima harus sesuai/cocok dengan transduser pengirim. Tegangan yang dihasilkan oleh penerima harus diperkuat seperlunya untuk menghasilkan kecepatan rambat gelombang pemicu pada sirkuit pengukur waktu. Penguat (*amplifier*) harus mempunyai respon rata antara setengah dan tiga kali frekuensi resonansi dari transduser penerima.
 - c. Sirkuit pengukur waktu, sirkuit pengukur waktu dan pemicu gelombang harus mampu memberikan ketepatan resolusi pengukuran seluruh waktu minimal 1 mikrosekon. Pengukuran waktu dimulai dari dilepaskannya tegangan pemicu dari generator kecepatan rambat gelombang, dan sirkuit pengukuran waktu harus

beroperasi pada frekuensi berulang dari generator kecepatan rambat gelombang. Sirkuit pengukur waktu harus memberikan hasil/keluaran apabila gelombang penerima terdeteksi, dan hasil ini harus digunakan untuk menentukan waktu tempuh yang ditampilkan pada unit penampil. Sirkuit pengukur waktu tidak boleh sensitif terhadap temperatur pengoperasian pada rentang 0 °C sampai dengan 40 °C dan perubahan tegangan listrik dalam sumber daya sebesar kurang lebih 15 %.

- d. Unit penampil, Terdapat 2 tipe unit penampil yang tersedia. Unit yang modern menggunakan pengukur selang waktu dan penampil digital pembacaan langsung dari waktu tempuh. Unit yang lama menggunakan tabung sinar katoda dimana pulsa yang dikirim dan diterima, ditampilkan sebagai penyimpangan jejak yang berhubungan dengan skala waktu yang ditetapkan.
- e. Batang kalibrasi, sebuah batang logam atau bahan lainnya yang awet/tahan lama yang waktu tempuh gelombang longitudinalnya telah diketahui. Waktu tempuh harus dicatat secara permanen pada batang kalibrasi.
- f. Bahan perantara (*coupling agent*), bahan kental (seperti oli, jeli larut dalam air, karet lunak (*moldable rubber*), atau gemuk (*grease*)) untuk menjamin efisiensi transfer energi antara beton dan transduser. Fungsi bahan perantara (*Coupling agent*) adalah untuk menghilangkan udara antara permukaan kontak dari transduser dengan beton. Air dapat digunakan sebagai bahan perantara bila dapat tergenang pada permukaan atau pada pengujian di dalam air.

2. Cara pengujian dari metode UPV adalah sebagai berikut:

a. Memeriksa fungsi peralatan dan pengaturan waktu nol (*zero – time*)

Periksa peralatan apakah telah berfungsi dengan benar dan lakukan pengaturan waktu nol. Gunakan bahan perantara pada ujung batang kalibrasi, kemudian lakukan penekanan pada kedua transduser dengan baik pada masing-masing ujung batang kalibrasi sampai waktu tempuh yang stabil ditampilkan pada unit penampil waktu. Atur waktu nol sampai ditampilkan waktu tempuh sesuai dengan nilai yang ditandai pada batang kalibrasi. Untuk beberapa instrumen, pengaturan waktu nol dibuat dengan mengaplikasikan bahan perantara (*coupling agent*) dan menekan permukaan kedua transduser secara bersamaan. Peralatan seperti ini menggunakan mikroprosesor untuk merekam waktu tunda, yang secara otomatis mengurangi pengukuran waktu tempuh berikutnya. Untuk peralatan seperti ini, ukur waktu tempuh melalui batang kalibrasi untuk memastikan bahwa pengaturan waktu nol telah dilakukan secara benar. Periksa pengaturan nol pada setiap jam selama pengoperasian alat secara terus-menerus, dan setiap kali kabel penghubung atau transduser diganti. Jika waktu yang ditampilkan tidak sesuai dengan waktu tempuh dari batang kalibrasi, tidak diperbolehkan menggunakan alat tersebut, dan kembalikan batang serta alat tersebut kepada pembuatnya.

b. Penentuan waktu singgah

Untuk mendapatkan hasil terbaik, letakan transduser berlawanan arah secara langsung satu sama lainnya. Oleh karena lebar pancaran/rambatan dari gelombang getaran yang dipancarkan oleh transduser adalah besar, maka diperbolehkan untuk mengukur waktu singgah untuk melintasi sudut/pojok struktur tetapi dengan

resiko kehilangan sensitivitas dan keakuratan. Pengukuran disepanjang permukaan yang sama tidak boleh digunakan kecuali hanya satu permukaan struktur yang terjangkau, mengingat pengukuran seperti itu mungkin hanya menunjukkan hasil untuk lapisan permukaan, dan kecepatan pulsa yang dihitung tidak sesuai dengan yang diperoleh melalui transmisi.

3. Perhitungan metode *hammer test* adalah sebagai berikut:

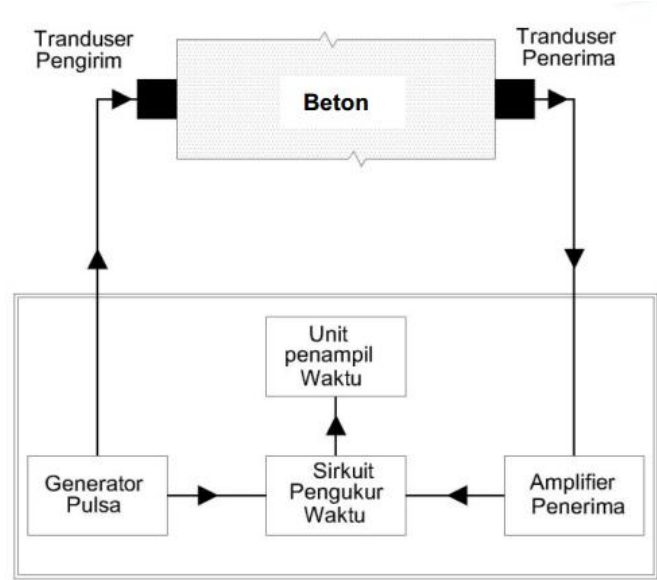
$$V = \frac{L}{T} (3)$$

Keterangan :

V : Kecepatan rambat gelombang, meter per sekon (m/s)

L : jarak antara pusat permukaan tranduser, meter (m)

T : waktu tempuh, sekon (s)



Gambar 3. Gambaran Sistematika Alat Pengujian *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)* dengan Metode Pengambilan *Direct Transmission*

H. *Compression Test*

Menurut Neville (2002), pengujian yang paling umum dilakukan untuk beton yang sudah mengeras adalah uji kuat tekan, hal ini bisa terjadi karena pengujian ini mudah untuk dilaksanakan, karakteristik beton yang diinginkan berhubungan erat dengan kuat tekannya, dan yang paling utama adalah karena kuat tekan menjadi salah satu faktor penting dalam desain struktur.

Kekuatan tekan beton adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasikan mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi tingkat kekuatan struktur yang dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan.

Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan berkala pada benda uji silinder beton sampai hancur. Untuk standar pengujian kuat tekan digunakan SNI 03- 6805 – 2002 dan ASTM C 39/C 39M-04a.

Untuk pengujian kuat tekan beton, benda uji berupa silinder beton berdiameter 3 dan 6 inci dan tingginya 20 dan 30 cm ditekan dengan beban P sampai runtuh. Karena ada beban tekan P , maka terjadi tegangan tekan pada beton (σ_c) sebesar beban (P) dibagi dengan luas penampang beton (A), sehingga dirumuskan :

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

σ_c = tegangan tekan beton, MPa

P = besar beban tekan, N

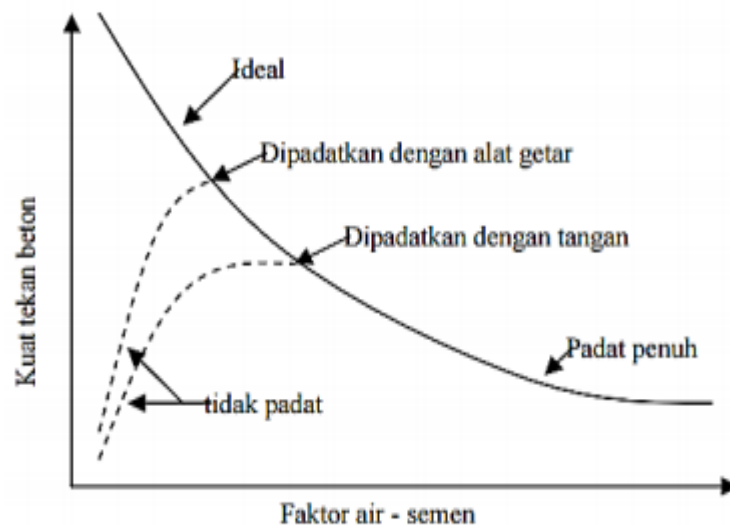
A = luas penampang beton, mm²

Beberapa faktor lain yang mempengaruhi kekuatan tekan beton, yaitu:

1. Faktor Air Semen

Jumlah air untuk campuran beton pada umumnya dihitung berdasarkan nilai perbandingan antara berat air dan berat semen Portland pada campuran adukan, dan pada peraturan beton Indonesia (PBI-1971) dikenal dengan istilah faktor air semen yang disingkat dengan fas, sedangkan peraturan pengganti (SNI 03-2847-2002) disebut rasio air semen yang disingkat dengan ras, atau *water cement ratio* (wcr).

Pada umumnya makin besar nilai fas, makin besar pula jumlah air yang digunakan pada campuran beton, berarti adukan beton makin encer dan mutu beton akan makin turun/rendah, sebaliknya makin kecil nilai fas, makin tinggi kuat tekan beton yang dihasilkan.



Gambar 4. Grafik Hubungan Kuat Tekan Beton dan Faktor Air Semen

2. Umur Beton

Kuat tekan beton akan bertambah sesuai dengan bertambahnya umur beton tersebut. Karena beton ini termasuk bahan yang sangat awet (ditinjau dari pemakaiannya), maka sebagai standar kuat tekan akan ditetapkan waktu beton berumur 28 hari. Menurut PBI-1971:

Tabel 10. Hubungan antara Umur dan Kuat Tekan Beton

Umur (Hari)	Kuat Tekan Beton (%)
3	40
7	65
14	88
21	95
28	100
90	120
365	135

(Sumber : PBI-1971)

3. Jumlah dan Jenis Semen

Jumlah kandungan semen yang digunakan pada adukan akan berpengaruh terhadap kuat tekan beton dengan penjelasan sebagai berikut :

- a. Pada fas sama, jika jumlah semen terlalu sedikit atau terlalu berlebihan, maka akan diperoleh kuat tekan betonnya rendah. Pada jumlah semen terlalu sedikit, berarti jumlah air juga sedikit, sehingga adukan beton sulit dipadatkan dan akibatnya kuat tekan beton menjadi rendah. Demikian pula pada jumlah semen berlebihan, berarti jumlah air juga berlebihan, sehingga beton mengandung banyak pori dan akibatnya kuat tekannya rendah.

- b. Pada nilai slump sama, beton dengan kandungan semen lebih banyak mempunyai kuat tekan lebih tinggi. Hal ini karena pada nilai slump sama, jumlah air juga hampir sama, sehingga penambahan semen berarti pengurangan nilai *fas*, yang berakibat penambahan kuat tekan beton.

Jenis semen juga berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Semen Portland yang dipakai untuk struktur harus mempunyai kualitas tertentu yang telah ditetapkan agar dapat berfungsi secara efektif. Jenis Portland semen yang digunakan ada 5 jenis yaitu : I, II, III, IV, V.

4. Pekerjaan Perawatan (*Curing*)

Tujuan perawatan beton adalah memelihara beton dalam kondisi tertentu pasca pembukaan bekisting (*demoulding of form work*) agar optimasi kekuatan beton dapat dicapai mendekati kekuatan yang telah direncanakan. Perawatan ini berupa pencegahan atau mengurangi kehilangan/penguapan air dari dalam beton yang ternyata masih diperlukan untuk kelanjutan proses hidrasi. Bila terjadi kekurangan/kehilangan air maka proses hidrasi akan terganggu/terhenti dan dapat mengakibatkan terjadinya penurunan perkembangan kekuatan beton, terutama penurunan kuat tekan

Kondisi perawatan yang baik dapat dicapai dengan menggunakan salah satu metode di bawah ini :

- a. Beton dibasahi terus menerus dengan air
- b. Beton direndam di dalam air
- c. Beton dilindungi dengan karung basah, film plastic, atau kertas perawatan tahan air
- d. Dengan menggunakan perawatan gabungan acuan-membran cair untuk mempertahankan uap air semula dari beton basah

- e. Perawatan uap untuk beton yang dihasilkan dari kondisi pabrik, seperti pipa dan balok pra cetak, dan tiang atau girder pra tekan. Temperatur perawatan uap ini sekitar 150°F.

Lama perawatan tergantung kepada jenis semen, kekuatan, cuaca, rasio permukaan terekspos per volume, dan kondisi terekspos. Karena proses perawatan merupakan proses untuk memperbaiki mutu, maka semakin lama perawatan, semakin baik pula mutu betonnya.

Sehari setelah pengecoran merupakan saat yang terpenting untuk periode sesudahnya. Oleh sebab itu diperlukan perawatan dengan air sehingga untuk jangka panjang, kualitas beton, baik kekuatan maupun kekedapan airnya, dapat lebih baik. Perawatan dengan cara membasahi menghasilkan beton yang terbaik. Semakin erat pendekatan kondisi perawatan, semakin kuat beton yang dihasilkan.

I. Pengolahan Data Dengan Metode Penolakan Data *Chauvenet's Criterion*

Menurut Sunarta (2012), jika kita membuat N pengukuran X_1, \dots, X_N dari kuantitas N tunggal, dan jika salah satu hasil pengukuran (misalnya X_{sus}) adalah berbeda dengan yang lain, maka perlu digunakan metode *chauvenet's criterion* untuk memberikan tes sederhana, untuk memutuskan apakah akan menolak nilai tersebut atau tidak. Pertama yang harus dilakukan yaitu menghitung *mean* dan standar deviasi dari semua pengukuran N, kemudian menemukan jumlah standar deviasi dari X_{sus} yang berbeda dari \bar{x} .

$$t_{sus} = \frac{|x_{sus} - \bar{x}|}{\sigma_x} \dots\dots\dots (5)$$

Selanjutnya, menentukan probabilitas (asumsi pengukuran terdistribusi normal sekitar 0,7 dengan lebar σ_x) untuk mendapatkan hasil sebagai data yang menyimpang sebagai x_{sus} , dan, karenanya, jumlah pengukuran diharapkan menyimpang,

$$n = N \times Prob \text{ (Selain } \sigma_x) \dots\dots\dots (6)$$

Jika $n < \frac{1}{2}$, sesuai dengan *chauvenet's criterion*, maka kita dapat menolak nilai x_{sus} . Oleh karena ada beberapa perkecualian terhadap *chauvenet's criterion* (terutama jika N tidak terlalu besar), dimana harus digunakan hanya sebagai upaya terakhir, ketika pengukuran x tidak dapat diperiksa. Keberatan dengan *chauvenet's criterion* adalah lebih besar jika dua atau lebih pengukuran memiliki x_{sus} , tetapi pengujian dapat diperluas untuk situasi ini.

J. Pengujian Core Drill

Menurut SNI 03-3403-1994, Pengujian ini merupakan pengujian untuk menentukan nilai kuat tekan beton pada struktur yang sudah dilaksanakan.

Pada pengujian core drill terdapa beberapa faktor pengali untuk menentukan hasil akhir dari kuat tekan beton yang akan dicari. Berikut ini faktor pengali:

Faktor pengali, C_0 :

1. Arah pengambilan benda uji beton inti secara horizontal = 1
2. Arah pengambilan benda uji beton inti secara vertical = 0,92

Faktor Pengali, C_1 (Perbandingan tinggi beton/diameter):

1. $\frac{t}{\phi} = 2$, faktor pengali = 1
2. $\frac{t}{\phi} = 1,75$, faktor pengali = 0,98
3. $\frac{t}{\phi} = 1,5$, faktor pengali = 0,96
4. $\frac{t}{\phi} = 1,25$, faktor pengali = 0,93
5. $\frac{t}{\phi} = 1$, faktor pengali = 0,87

K. Kajian Penelitian Relevan

Berikut ini beberapa penelitian yang relevan dengan penelitian ini, yaitu:

1. Penelitian yang dilakukan oleh R. Martin Simatupang, Devi Nuralinah, dan Christin Remayanti yang berjudul “Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton antara *Hammer Test*, *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV), dan *Compression Test*”. Hasil dari penelitian ini adalah terjadi perbedaan antara hasil *hammer test* dan *compression test*. Sehingga untuk mengetahui nilai kuat tekan beton diperlukan suatu faktor pengali atau konstanta.

Berikut ini hasil regresi yang didapatkan:

Benda Uji	Mutu Beton	Persamaan
Silinder	K-175	$C = -787.269 + 4.5962H + 0.1191U$
	K-225	$C = -710.025 + 1.0406H + 0.11508U$
	K-250	$C = 471.838 - 1.7425H + 0.0922U$
Kubus	K-175	$C = 259.677 - 0.6250H + 0.0213U$
	K-225	$C = 501.952 - 0.2036H - 0.0403U$
	K-250	$C = 832.988 - 0.5908H - 0.0971U$

Keterangan: C = *Compression strength* (kg/cm^2), H = *rebound number* (kg/cm^2), U = *ultrasonic pulse velocity* (m/s).

Persamaan penelitian yang terdahulu dengan penelitian yang saya lakukan adalah terletak pada metode pengujian yang digunakan yaitu *hammer test*, *UPV test*, dan *compression test*. Perbedaannya yaitu terletak pada benda uji yang digunakan yaitu menggunakan silinder dan kubus sedangkan penelitian saya hanya menggunakan beton silinder. Selain itu mutu beton yang digunakan juga berbeda yaitu mutu K-175, K-225, dan K-250 dan penelitian saya menggunakan mutu beton 25 MPa.

2. Penelitian yang dilakukan oleh I Nengah Gandi Wirotama, Siti Nurlina, dan Ananda Insan Firdausy yang berjudul “Korelasi Nilai Kuat Tekan Beton dengan Menggunakan *Non-Destructive Test* dan *Destructive Test*”. Hasil dari penelitian ini adalah terjadi perbedaan antara hasil

non-destructive test dan *destructive test*. Sehingga untuk mengetahui nilai kuat tekan beton diperlukan suatu faktor pengali atau konstanta.

Berikut ini hasil regresi yang didapatkan:

Benda Uji	Mutu Beton	Persamaan Regresi
Silinder	20 MPa	$Y = 37,517 - 0,413X_1 - 0,004 X_2$
	25 MPa	$Y = 79,749 + 1,519X_1 - 0,021 X_2$
	30 MPa	$Y = -77,420 + 0,046X_1 + 0,023 X_2$
	35 MPa	$Y = -4,708 + 0,051X_1 + 0,006 X_2$
	Gabungan	$Y = -80,142 + 0,340X_1 + 0,021 X_2$
Kubus		$Y = -132,711 + 0,339X_1 - 0,033 X_2$

Keterangan: Y = *Compression test*, X_1 = *hammer test*, X_2 = *ultrasonic pulse velocity*.

Persamaan penelitian yang terdahulu dengan penelitian yang saya lakukan adalah terletak pada metode pengujian yang digunakan yaitu hammer test, UPV test, dan compression test. Perbedaannya yaitu terletak pada benda uji yang digunakan yaitu menggunakan silinder dan kubus sedangkan penelitian saya hanya menggunakan beton silinder. Selain itu mutu beton yang digunakan juga berbeda yaitu mutu 20 MPa, 25 MPa, 30 MPa, 35 MPa dan penelitian saya menggunakan mutu beton 25 MPa.