

TUGAS AKHIR

**STUDI PERBANDINGAN HASIL UJI UPV DAN
SCHMIDT HAMMER TEST
(STUDI KASUS STADION BAROMBONG, MAKASSAR)**

***A COMPARATIVE STUDY OF UPV AND
SCHMIDT HAMMER TEST
(Case study of Barombong Stadium, Makassar)***

MUDHATSIR H

D111 16 508



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2020**



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL**

Jl. Poros Malino km. 6 Bontomarannu, 92172, Kab. Gowa, Sulawesi Selatan
☎ <http://civil.unhas.ac.id> ✉ civil@eng.unhas.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Makassar.

Judul Tugas Akhir

**STUDI PERBANDINGAN HASIL UJI UPV DAN SCHMIDT HAMMER TEST
(STUDI KASUS STADION BAROMBONG, MAKASSAR)**

Disusun oleh

MUDHATSIR H.

D111 16 508

Telah diperiksa dan disetujui oleh dosen pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST, MT

NIP: 197206192000122001

Ariningsih Suprapti, ST, MT

NIP: 197307122000032002

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Sipil



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, MEng

NIP: 196805292001121002

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Mudhatsir H, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “**Studi Perbandingan Hasil Uji UPV dan *Schmidt Hammer Test* (Studi Kasus Stadion Barombong, Makassar)**”, adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitnya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Makassar, November 2020

Yang membuat pernyataan



Mudhatsir H

D111 16 508

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**STUDI PERBANDINGAN HASIL UPV dan SCHMIDT HAMMER TEST (STUDI KASUS STADION BAROMBONG, MAKASSAR)**” yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Salam dan shalawat kepada Rasulullah Muhammad S.A.W. yang selalu menjadi teladan agar setiap langkah dan perbuatan kita selalu berada di jalan kebenaran dan bernilai ibadah di sisi Allah SWT. Semoga semua hal yang penulis lakukan berkaitan dengan skripsi ini juga bernilai ibadah di sisi-Nya.

Segecap kemampuan penulis telah dicurahkan dalam penyusunan tugas akhir ini. Namun demikian, penulis sangat menyadari bahwa kesempurnaan hanya milik Allah SWT. Sebagai makhluk ciptaannya, penulis memiliki banyak keterbatasan. Oleh karena itu, segala bentuk saran dan kritik senantiasa penulis harapkan agar kedepannya tulisan ini menjadi lebih baik.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak kendala yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dari berbagai pihak, maka tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak **Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. Bapak **Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge ST., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

3. Ibu **Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.**, selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
4. Ibu **Ariningsih Suprpti, S.T., M.T.**, selaku dosen pembimbing II, yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan kepada kami.
5. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **Hasanuddin S.E., A.K.**, dan ibunda **Dra. Dahlia Samad** atas doa, kasih sayang, dan segala dukungan selama ini, baik spritual maupun material, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.
2. Kakak tercinta **Achmad Qadri, S.St., M.I.K.**, dan **Mudrikah S.Ars.**, yang selalu memberikan semangat dalam penyelesaiannya tugas akhir ini.
3. Ibu **Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.**, Bapak **Dr. Eng. Fakhruddin, S.T., M.Eng.**, Bapak **Zain ST.**, Kak **Mardis ST. MT.**, Kak **Sadam ST.**, Kak **Hasbi**, Kak **Haekal**, Kak **Fahri**, **Rifky**, **Dhede** dan **Uqbah** selaku rekan-rekan di **Tim Investigasi Audit Fisik Stadion Barombong**, yang senantiasa memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
4. Saudara-saudari **PATRON 2017** yang senantiasa memberikan warna yang sangat begitu indah, dukungan yang tiada henti, semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
5. **Ria**, **Fadly**, **Rany**, **Anse**, **Mega**, **Zul**, **Uqbah**, **Dhede**, **Afdhal**, **Hanif**, **Pace**, **Indra**, **Anto**, **Rifqi**, **Muflih**, **Dylo**, **Naufal**, **Akko** dan teman-teman yang belum sempat saya sebutkan yang selama ini mendampingi dan menyemangati dan juga teman tukar pikiran dalam segala hal.

6. **Arie, Zakkir, Diat, Azman, Rama, Inar, Afni, Mawa, Inu dan Azizah** selaku rekan-rekan **KKN Gel. 102 Posko Desa Pa'bentengan, Kecamatan Eremerasa, Kabupaten Bantaeng** yang telah menjadi saudara bagi penulis.
7. Keluarga besar **Amsterdam Institute** yang telah menjadi tempat belajar dan tempat menimba banyak pengalaman sehingga saya bisa seperti sekarang.
8. Rekan-rekan tim **UKM Basket UNHAS** tempat mengasah skill bermain basket saya dan memberikan pengalaman yang tidak terlupakan selama mengikuti berbagai macam pertandingan basket tingkat Universitas.
9. Semua pihak yang telah membantu penulis selama menempuh pendidikan Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin yang penulis tidak bisa sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu mengharapkan kepada pembaca kiranya dapat memberi sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini.

Akhirnya semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkat dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Makassar, November 2020

Penulis

Mudhatsir H

ABSTRAK

Abstrak. Sepak bola merupakan olahraga nomor satu di Indonesia dan juga paling digemari di dunia. Tentu saja dalam olahraga sepak bola dibutuhkan fasilitas-fasilitas yang menunjang agar permainan sepak bola dapat berlangsung dengan aman dan nyaman. Stadion sepak bola yang menjadi tempat berlangsungnya pertandingan, mempunyai peran penting karena selain pemain sepak bola, tentu saja para penonton maupun penggemar sepak bola akan datang untuk mendukung tim kebanggaan mereka. Salah satu stadion yang berada di Kota Makassar yaitu Stadion Barombong yang direncanakan berkapasitas 35000 penonton. Namun dari pengamatan visual, terdapat indikasi pembangunan stadion yang tidak sesuai dengan mutu yang disyaratkan sehingga diperlukan analisis untuk mengevaluasi serta mengetahui kondisi eksisting mutu beton Stadion Barombong. Tugas akhir ini merupakan analisis perbandingan kuat tekan beton untuk metode NDT pada Stadion Barombong, Kota Makassar yang terdiri dari *Schmidt Hammer Test* dan *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)*. Hasil dari kedua metode pengujian tersebut didapatkan kuat rata-rata hasil uji Schmidt Hammer Test sebesar 349 kg/cm^2 dan hasil uji UPV sebesar 257 kg/cm^2 , dengan koefisien variasi (CV) berturut-turut 5,24 % dan 3,3%. Dengan nilai CV yang lebih kecil, maka hasil uji UPV lebih akurat dibandingkan dengan Schmidt Hammer Test. Korelasi yang didapatkan dari nilai kuat tekan antara pengujian Schmidt Hammer Test dan UPV diperoleh persamaan $Y = 0,5655x + 124,41$ dimana X adalah kuat tekan dengan Schmidt Hammer Test dan Y menyatakan kuat tekan dengan UPV dengan nilai $R^2 = 0,5178$.

Kata Kunci : *Stadion, Kuat Tekan, Schmidt Hammer Test, UPV*

ABSTRACT

Abstract. Football is the most favorited sport in Indonesia and is also the most popular sport in the world. It is certain that football needs supporting facilities so that the football game can take place safely and comfortably. The football stadium, which is the venue for matches, has an important role as, in addition to football players, spectators and football fans come to support their proud team. One of the stadiums in Makassar is Stadion Barombong which is planned to have a capacity of 35,000 spectators. From the visual observations, there were indications on the stadium construction that were not in accordance with the required quality; therefore, an analysis was needed to evaluate and determine the existing condition of the concrete quality of Stadion Barombong. This final project was a comparative analysis of concrete compressive strength for the NDT method in Stadion Barombong, Makassar, consisting of Schmidt Hammer Test and Ultrasonic Pulse Velocity (UPV). The results of the two test methods showed that an average strength of Schmidt Hammer Test is 349 kg/cm², and that of the UPV test is 257 kg/cm², with coefficient of variation (CV) respectively of 5.24% and 3.3%. With a smaller CV value, the UPV test results are more accurate than Schmidt Hammer Test. Correlation obtained from the compressive strength value between Schmidt Hammer Test and UPV results in the equation $Y = 0,5655x + 124,41$ where X is the compressive strength with Schmidt Hammer Test, and Y states the compressive strength with UPV with a value of $R^2 = 0.5178$.

Keywords : *Stadium, compressive strength, Schmidt Hammer Test, UPV*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah Penelitian	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Batasan Masalah	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Beton	6
2.2. Kuat Tekan Beton	7
2.3. Pengujian Non-destructive Test	8
2.4. <i>Schmidt Hammer Test</i>	11
2.4.1. Faktor yang Mempengaruhi Nilai Rebound	13
2.4.2. Kalibrasi.....	17

2.5. Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) Test.....	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	26
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	26
3.2. Jenis dan Sumber Penelitian	26
3.3. Bagan Alir Penelitian.....	27
3.4. Alat Pengujian.....	27
3.5. Prosedur Penelitian	28
3.5.1. Investigasi Lapangan	28
3.5.2. Pengujian Palu Beton (<i>Schmidt Hammer Test</i>)	29
3.5.3. Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1. Hasil Penelitian.....	35
4.1.1. Gambaran Visual Kondisi Struktur	35
4.1.2. Kuat Tekan Beton	35
4.2. Pengujian Palu Beton (<i>Schmidt Hammer Test</i>)	38
4.2.1. Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)	40
4.3. Perbandingan Hasil Pengujian <i>Hammer Test</i> dan UPV test.....	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	50
5.1. Kesimpulan.....	50
5.2. Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN.....	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar. 1. Lokasi Stadion Barombong.....	2
Gambar. 2. Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton.....	7
Gambar. 3. Korelasi antara UPV, <i>Hammer Test</i> , dan <i>Compression Test</i> untuk Benda Uji Silinder	10
Gambar. 4. Sketsa Alat <i>Schmidt Hammer Test</i>	11
Gambar. 5. Perbandingan Kuat Tekan dan Nilai <i>Rebound</i> terhadap Kualitas Agregat.....	14
Gambar. 6. Korelasi Kuat Tekan dengan Tipe Agregat	15
Gambar. 7. Korelasi Kuat Tekan Dengan Kelembaban.....	17
Gambar. 8. Efek Pembebanan Setelah Kalibrasi.....	18
Gambar. 9. Skematik Peralatan untuk Pengujian	23
Gambar. 10. Kurva Konversi Mutu UPVT	24
Gambar. 11. Diagram Alir Penelitian.....	27
Gambar. 12. Tahap Persiapan Pengujian	29
Gambar. 13. Tahap Teknis Pengujian	31
Gambar. 14. Grafik Pengujian <i>Schmidt Hammer Test</i>	32
Gambar. 15. Metode Pengukuran pada Tes UPV	33
Gambar. 16. Kondisi Visual Struktur Beton Stadion Barombong	35
Gambar. 17. Denah Lantai 1 Stadion Barombong	36
Gambar. 18. Denah Lantai 2 Stadion Barombong	37
Gambar. 19. Potongan Melintang Stadion Barombong.....	37
Gambar. 20. Perbandingan Kuat Tekan Hasil <i>Hammer Test</i> dan UPV	49

DAFTAR TABEL

Tabel. 1. Klasifikasi Kualitas Beton Berdasarkan Kecepatan Gelombang	34
Tabel. 2. Hasil Pengujian <i>Hammer Test</i> pada Balok Lantai 2 dan 3.....	38
Tabel. 3. Hasil Pengujian Beton Metode UPV.....	40
Tabel. 4. Rekapitulasi Hasil UPV <i>Test</i>	46
Tabel. 5. Perbandingan <i>Hammer Test</i> dan UPV <i>Test</i>	47

BAB I

PENDAHULUAN

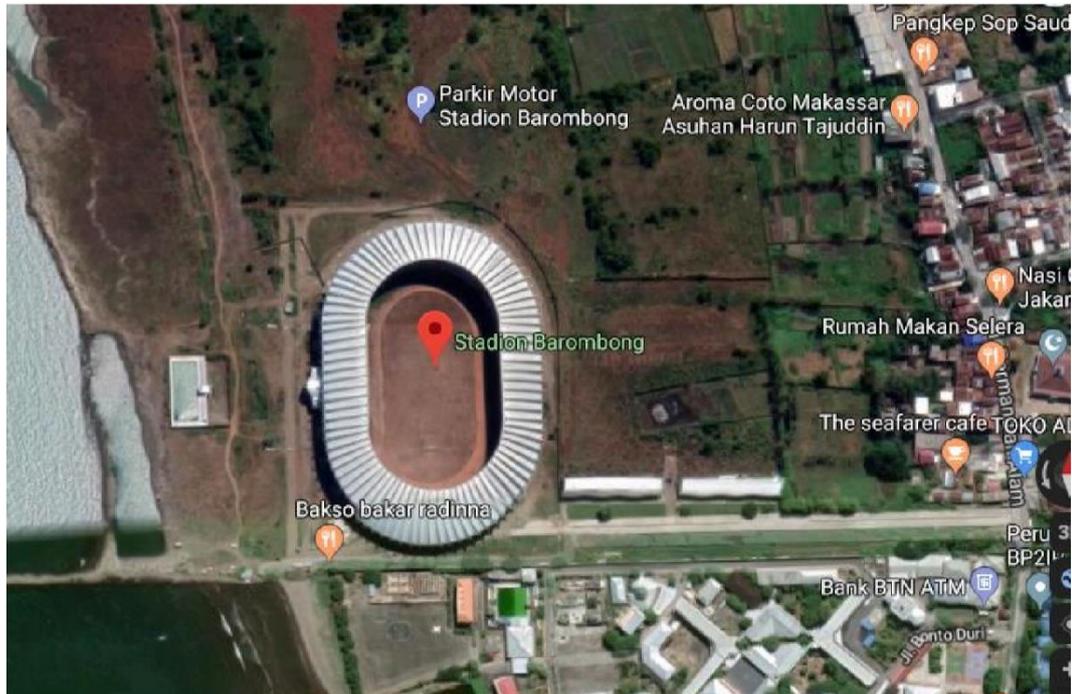
1.1. Latar Belakang

Sepakbola sebagai olah raga nomor satu di Indonesia dan paling di gemari di dunia. Perkembangan sepak bola saat ini telah melahirkan banyak pemain berbakat. Bahkan kini sepakbola bukan hanya sebagai olah raga saja, namun telah menjadikan sepakbola sebagai salah satu industri yang sangat berkembang dengan bermunculan kompetisi-kompetisi yang menghadirkan sponsor yang tidak sedikit. Kompetisi yang sangat populer di Indonesia adalah Liga Indonesia yang merupakan kompetisi dengan menghadirkan klub-klub sepakbola profesional dari seluruh nusantara.

Stadion sepakbola sebagai tempat berlangsungnya pertandingan mempunyai peran yang sangat penting. Tidak sedikit orang datang ke stadion untuk menyaksikan suatu pertandingan sepak bola. Penonton yang datang ke stadion selain ingin menyaksikan pertandingan, juga ingin mendapat kenyamanan dalam menyaksikan pertandingan tersebut.

Stadion Internasional Barombong adalah bangunan yang direncanakan sebagai gedung olahraga yang mampu menampung hingga 35 ribu penonton. Stadion ini berlokasi di Barombong, Kecamatan Tamalate, Kota Makassar yang mulai dibangun secara bertahap pada tahun 2013 dan dilanjutkan sampai pada tahun 2017.

Namun dari pengamatan visual, terdapat cacat pada struktur beton stadion barombong seperti ditemukan banyaknya retak struktur dan honey comb atau rongga-rongga pada beton yang relatif dalam dan lebar yang dapat menurunkan kapasitas dalam memikul beban. Tulangan beton yang korosi juga banyak ditemukan akibat tidak cukupnya selimut beton. Hal ini disebabkan oleh kurang bagusnya mutu pekerjaan persiapan, pengecoran dan pemadatan beton. Pada struktur atap juga mulai terjadi korosi, baik pada rangka utama, gording, bahkan pada bautnya. Hal ini diperparah lokasi stadion yang sangat dekat dengan laut. Apabila dibiarkan, maka akan berdampak terhadap durabilitas dan umur ekonomis stadion.



Gambar. 1. Lokasi Stadion Barombong

Maka dari itu, audit fisik Stadion Barombong perlu dilakukan untuk mengetahui kondisi eksisting konstruksi gedung, baik struktur beton maupun struktur atap sebelum dilakukan pembangunan ke tahap selanjutnya. Audit fisik yang akan dilakukan adalah analisis mutu beton dengan metode *non-destructive test* yaitu pengujian dengan Schmidt Hammer dan *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV).

Dari uraian diatas, penulis mencoba untuk mengangkat Tugas Akhir berjudul :

“STUDI PERBANDINGAN HASIL UJI UPV DAN SCHMIDT HAMMER (STUDI KASUS STADION BAROMBONG, MAKASSAR)”

1.2. Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang yang dikemukakan di atas, maka dapat diambil rumusan masalah:

1. Bagaimana nilai kuat tekan struktur beton kondisi eksisting dari pengujian Schmidt Hammer dan *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV).
2. Bagaimana hubungan hasil pengujian kuat tekan beton menggunakan alat Schmidt Hammer dan *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV).

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengevaluasi nilai kuat tekan struktur beton dengan menggunakan alat Schmidt Hammer dan *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV).
2. Membuat hubungan hasil kuat tekan dari Schmidt Hammer dan *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV).

1.4. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini secara umum diharapkan dapat memberikan informasi masukan sebagai berikut :

1. Memberikan informasi mengenai mutu beton kondisi eksisting struktur stadion Barombong.
2. Memberikan hasil perbandingan mutu kuat tekan beton dari alat *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) dan *Schmidt Hammer Test*.
3. Dapat digunakan sebagai referensi untuk rekomendasi pembangunan tahap selanjutnya.

1.5. Batasan Masalah

Demi tercapainya penelitian diperlukan suatu batasan dalam penulisan agar pembahasan tidak meluas ruang lingkupnya sehingga tujuan dari penulisan dapat tercapai dan dipahami.

Adapun ruang lingkup penulisan yang dijadikan batasan dalam penulisan adalah :

1. Penelitian ini dilakukan pada skala studi kasus di lapangan.
2. Mengumpulkan data sekunder berupa As Build Drawing (arsitektur dan struktur)
3. Pengujian mutu beton menggunakan *Schmidt Hammer test* dan UPV.

1.6. Sistematika Penulisan

Secara umum tulisan ini terbagi dalam lima bab, yaitu : Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, Metodologi Penelitian, Hasil Pengujian dan Pembahasan, serta Kesimpulan dan Saran

Berikut merupakan rincian secara umum mengenai kandungan dari kelima bab tersebut :

BAB 1. PENDAHULUAN

Bab ini mengandung uraian tentang informasi secara keseluruhan dari penelitian ini yang berkenaan dengan latar belakang penelitian, rumusan masalah, maksud dan tujuan diadakan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi uraian mengenai dasar-dasar teori yang berkaitan dengan penelitian.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai uraian tentang metode, bahan, peralatan, cara penelitian serta uraian pelaksanaan penelitian.

BAB 4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis perhitungan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian serta pembahasan dari hasil pengujian yang diperoleh.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat uraian tentang kesimpulan yang dapat diambil dari hasil-hasil analisis terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan yang disertai dengan saran-saran yang diusulkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton

Beton (*concrete*) merupakan campuran semen *Portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (*admixture*) (SNI 03-2847, 2013) Agregat halus yang digunakan pada pencampuran beton biasanya adalah pasir alam atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu. Dari bahan pembentuk beton tersebut, semen berfungsi mengikat butir-butir agregat hingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat.

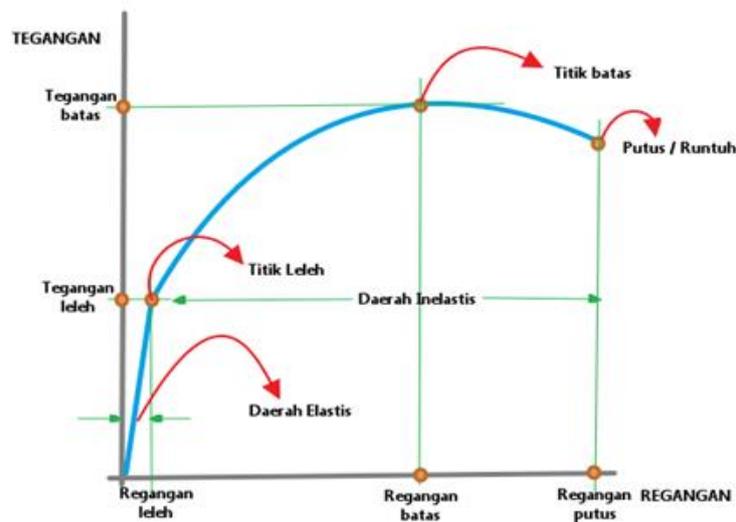
Seperti substansi-substansi mirip batuan lainnya, beton memiliki kuat tekan yang tinggi dan kuat tarik yang sangat rendah. Beton bertulang adalah suatu kombinasi antara beton dan baja dimana tulangan baja berfungsi menyediakan kuat tarik yang tidak dimiliki beton.

Beton terdiri atas agregat, semen dan air yang dicampur bersama-sama dalam keadaan plastis dan mudah untuk dikerjakan. Karena sifat ini menyebabkan beton mudah untuk dibentuk sesuai dengan keinginan pengguna. Sesaat setelah pencampuran, pada adukan terjadi reaksi kimia yang pada umumnya bersifat hidrasi dan menghasilkan suatu pengerasan dan penambahan kekuatan.

Beton adalah suatu material heterogen yang sangat kompleks dimana reaksi terhadap tegangan tidak hanya tergantung dari reaksi komponen individu tetapi juga interaksi antar komponen, kurva tegangan-regangan beton disajikan pada Gambar 1. Sifat-sifat beton pada umumnya dipengaruhi oleh kualitas bahan, cara pengerjaan, dan cara perawatannya . (Murdock dan Brook, 1991).

Pada saat keras, beton diharapkan mampu memikul beban sehingga

sifat utama yang harus dimiliki oleh beton adalah kekuatannya. Kekuatan beton terutama dipengaruhi oleh banyaknya air dan semen yang digunakan atau tergantung pada faktor air semen dan derajat kekompakannya. Adapun faktor yang mempengaruhi kekuatan beton adalah perbandingan berat air dan semen, tipe dan gradasi agregat, kualitas semen, dan perawatan (*curing*).



Gambar. 2. Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Beton

2.2. Kuat Tekan Beton

Dalam SNI 03-1974-1990, kuat tekan beton adalah besarnya beban per satuan luas, yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani dengan gaya tekan tertentu, yang dihasilkan oleh mesin tekan. Selanjutnya Mulyono (2006) mengemukakan bahwa kuat tekan beton mengidentifikasi mutu sebuah struktur di mana semakin tinggi kekuatan struktur yang dikehendaki, maka semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan.

Kekuatan tekan karakteristik f_{ck} dihitung $f_{ck} = f_{cm} - 1,64S_d$ dengan taraf signifikan 5%. Adapun faktor lain yang dapat mempengaruhi mutu kekuatan beton seperti yang dikemukakan oleh Mulyono (2006) yaitu: (1)

proporsi bahan penyusun, (2) metode pencampuran, (3) perawatan, dan (4) keadaan pada saat pengecoran.

Berdasarkan SNI 03-1974-1990, nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan rumus:

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (\text{Pers. 1})$$

Dimana:

$f'c$ = Kuat tekan beton (N/mm²)

P = Beban maksimum (N)

A = Luas penampang (mm²)

2.3. Pengujian Non-destructive Test

Mahmoudipour (2009), melakukan penelitian tentang non destructive test (NDT) dengan menggunakan metode *Hammer test*, UPV test dan juga compression test. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan suatu persamaan korelasi dengan berbagai parameter beton seperti agregat, semen, dan lainnya. Penelitian ini menggunakan 69 benda uji. Benda uji yang dipakai adalah silinder diameter 4 in. dengan tinggi yang berbeda-beda. Sedangkan tinggi silinder minimal dua kali diameternya. Kemudian nilai kuat tekan silinder ini dikonversi ke kuat tekan kubus 20x20x20 cm³ untuk bisa dibandingkan.

Kemudian nilai kuat tekan inilah yang akan dibandingkan dengan nilai kuat tekan yang didapatkan dari UPV dan rebound hammer. Banyak faktor yang mempengaruhi hasil dari setiap metode NDT yang digunakan, sehingga sangat penting untuk mendapatkan korelasi antara kuat tekan beton dari compression test dengan metode NDT. Dari hasil tes terhadap benda uji, nilai regresi untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton dari metode kombinasi dalam hal ini adalah hasil rebound hammer (R) dan hasil UPV lebih baik daripada hanya menggunakan salah satu nilai. Secara umum, nilai dari metode kombinasi ini dapat diambil dari multi

regresi dalam diagram tiga dimensi yang dapat ditulis,

$$S = k_1 + k_2 \text{ UPV} + k_3 R$$

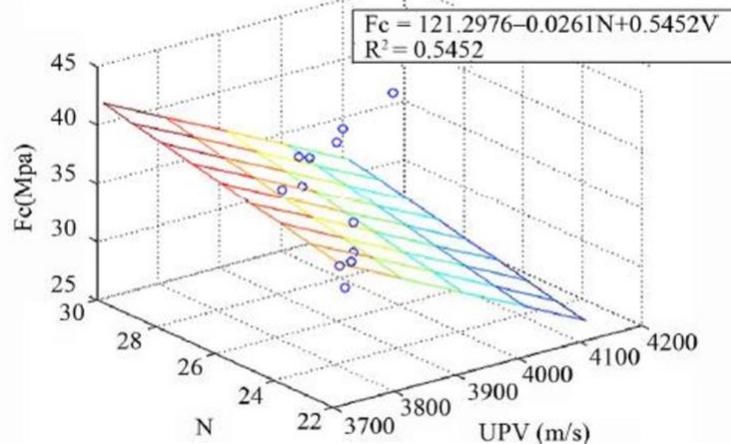
Dimana k_1 , k_2 , dan k_3 adalah konstanta empiris. dituliskan persamaan korelasi antara UPV, rebound hammer dan compression test sebagai berikut:

$$C = 0,0148\text{UPV} + 0,5285R - 43,32$$

Hannachi dan Guetteche (2012), menggunakan metode kombinasi untuk mengevaluasi kuat tekan beton. Beberapa parameter yang mempengaruhi karakteristik beton seperti tipe dan ukuran dari agregat, kandungan semen diimplementasikan dalam penelitian ini. Dua pengujian dilakukan untuk mengukur karakteristik beton yaitu uji tekan dengan benda uji silinder dan benda uji yang diambil langsung dari struktur eksisting.

Metode non-destructive yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan Rebound Hammer (RH) dan Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) sedangkan untuk pengujian destructive tes dengan melakukan coring pada struktur eksisting. Perkiraan hasil kuat tekan beton didapatkan melalui kombinasi dari nilai korelasi antara non-destructive test dan tes uji tekan. Korelasi tersebut dilakukan antara kuat tekan pada umur 28 hari, kemudian dilakukan uji nondestructive test dengan menggunakan hammer dan UPV dan korelasi kuat tekan dengan destructive test pada benda uji diameter 6.5cm dengan tinggi 13cm. Dalam penelitian ini, hubungan antara hasil tes uji silinder dan pengambilan benda uji dari struktur eksisting dan juga hasil non-destructive test dengan menggunakan UPV dan hammer dapat ditunjukkan dalam Gambar 2.

Compressive strength Vs rebound hammer and ultrasonic pulse velocity



Gambar. 3. Korelasi antara UPV, *Hammer Test*, dan *Compression Test* untuk Benda Uji Silinder

(Sumber : Simatupang, Nuralinah and Remayanti, 2016)

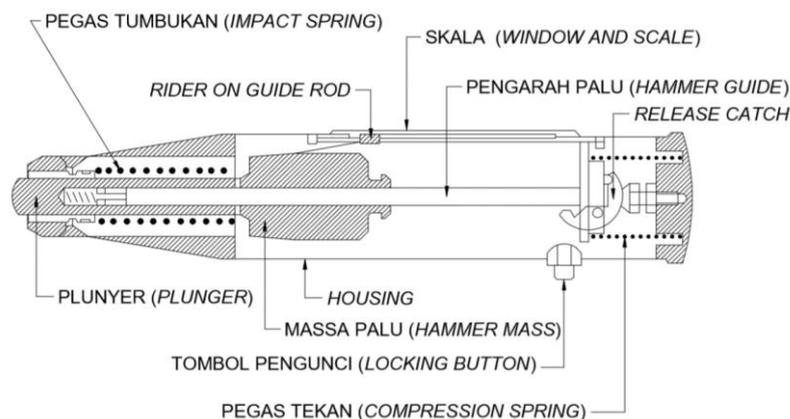
Kekuatan suatu struktur bangunan ditentukan oleh salah satunya adalah kuat tekan beton. Didalam mengevaluasi kekuatan beton, compression test menjadi standar untuk mengetahui kualitas suatu struktur secara keseluruhan (Setjo R., 2012). Kualitas beton dapat dilakukan dengan dua metode pengujian yaitu metode *Destructive Test* (DT) dan metode *Non-Destructive Test* (NDT). Metode DT yaitu dengan cara merusak benda uji. Pengujian DT biasanya dilakukan pada saat proses konstruksi suatu bangunan dengan cara mengukur kuat tekan beton melalui suatu sampel hasil pengecoran yang berbentuk kubus atau silinder dengan memberikan beban tekan (*compressive strength*) sampai batas nilai tertentu dimana sampel (benda uji) tidak mampu menahan beban dan hancur. Namun untuk kebutuhan yang tidak memperkenankan kerusakan pada beton terpasang dibutuhkan metode *Non-Destructive Test* (NDT). Metode NDT sangatlah bervariasi di dalam sistem kerja maupun alat yang digunakan untuk uji kekuatan beton. Metode NDT yang digunakan adalah Rebound Hammer atau biasa disebut *Hammer Test*, dan *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) dalam mengevaluasi keandalan struktur

2.4. Schmidt Hammer Test

Alat palu pantul adalah palu baja yang digerakkan oleh gaya pegas yang apabila dilepaskan akan memukul peluncur baja ke permukaan beton (SNI 03-4430, 1997)

Metode ini dapat digunakan untuk menilai keseragaman beton di lapangan, menggambarkan bagian dari struktur yang mempunyai kualitas jelek atau beton yang mengalami kerusakan, serta memperkirakan perkembangan kekuatan beton di lapangan (SNI ASTM C597, 2012).

Insinyur Swiss Ernst Schmidt, pertama kali mengembangkan uji rebound yang praktis pada akhir 1940-an, AMD versi modern didasarkan pada hal ini. Dari jenis palu N, yang beratnya kurang dari 2 kg, dan memiliki energi dampak sekitar 2,2 Nm. Yang dikendalikan pegas massa slide pada plunger dalam perumahan tubular. Pegas menarik plunger ketika alat ditekan terhadap permukaan beton dan pegas ini secara otomatis dilepaskan ketika sepenuhnya berversi, menyebabkan massa palu berdampak terhadap beton melalui plunger. Ketika rebound massa yang dikendalikan pegas, dapat terlihat indikator yang meluncur di sepanjang skala dan terlihat melalui jendela kecil di sisi casing. Indikator dapat ditahan dalam posisi pada skala dengan menekan tombol penguncian. Peralatan ini sangat mudah digunakan, dan dapat dioperasikan baik horizontal atau vertikal baik ke atas atau ke bawah seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar. 4. Sketsa Alat *Schmidt Hammer Test* (RSNI 4803, 2012)

Tes ini didasarkan pada prinsip bahwa rebound massa elastis tergantung pada kekerasan permukaan atas, dan dalam hal ini akan memberikan informasi tentang lapisan permukaan beton didefinisikan sebagai tidak lebih dari 30 mm. Hasilnya memberikan ukuran kekerasan relatif dari zona ini, dan ini tidak dapat langsung berhubungan dengan properti lainnya dari beton. Energi hilang pada dampak karena menghancurkan lokal dari gesekan beton dan internal dalam tubuh beton, dan itu adalah yang terakhir, yang merupakan fungsi dari sifat elastis konstituen beton, yang membuat evaluasi teoritis hasil tes sangat sulit. Banyak faktor yang mempengaruhi hasil tetapi semua harus dipertimbangkan jika jumlah rebound menjadi acuan secara empiris terkait dengan kekuatan.

Pengujian ini bertujuan untuk memperkirakan nilai kuat tekan beton terpasang yang didasarkan pada kekerasan permukaan beton pada seluruh bagian komponen struktur. *Hammer Test* merupakan alat yang ringan dan praktis dalam penggunaannya. Prinsip kerjanya adalah dengan memberikan beban intact (tumbukan) pada permukaan beton dengan menggunakan suatu massa yang diaktifkan dengan menggunakan energi yang besarnya tertentu. Karena timbul tumbukan antara massa tersebut dengan permukaan beton, massa tersebut akan dipantulkan kembali. Jarak pantulan massa yang terukur memberikan indikasi kekerasan permukaan beton. Kekerasan beton dapat memberikan indikasi kuat tekannya. Alat ini sangat berguna untuk mengetahui keseragaman material beton pada struktur. Karena kesederhanaannya, pengujian dengan menggunakan alat ini sangat cepat, sehingga dapat mencakup area pengujian yang luas dalam waktu yang singkat. Alat ini sangat peka terhadap variasi yang ada pada permukaan beton, misalnya keberadaan partikel batu pada bagian-bagian tertentu dekat permukaan.

Prinsip kerja *Hammer Test* adalah dengan pantulan massa di ujung alat (jadi semacam memukulkan "palu") pada permukaan beton yang rata. Pada sisi luar alat terdapat bagian yang akan menunjukkan nilai pantulan /

rebound tersebut. Pengujian biasanya dapat dilakukan pada struktur kolom dan balok serta slab sebagai penyangga konstruksi. Adapun standar acuan yang digunakan pada pelaksanaan pengujian ini adalah :

- a. ASTM C 805 (*North American Standard*)
- b. EN12504-2 (*European Standard*)
- c. JGJ/T 23-2001 (*Chinese Standard*)
- d. BS 1881, part 202 (*British Standard*)
- e. DIN 1048 Part 2 (*German Standard*)

2.4.1. Faktor yang Mempengaruhi Nilai Rebound

Faktor yang mempengaruhi hasil tes secara signifikan sebagai berikut:

1. karakteristik campuran seperti jenis semen, kandungan semen, dan jenis agregat kasar
2. karakteristik fisik yaitu massa; pemadatan; jenis permukaan; usia, tingkat pengerasan dan perawatan; karbonasi permukaan; kondisi kelembaban; tegangan dan suhu.

Karena masing-masing faktor ini dapat mempengaruhi pembacaan yang diperoleh, setiap upaya untuk membandingkan atau memperkirakan kekuatan beton akan berlaku hanya jika mereka semua memenuhi standar beton uji dan untuk spesimen kalibrasi. Pengaruh ini memiliki besaran yang berbeda. Palu orientasi juga akan mempengaruhi nilai yang diukur meskipun faktor koreksi dapat digunakan untuk memungkinkan efek ini.

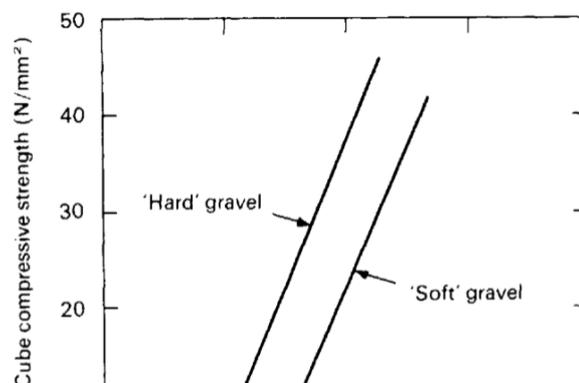
Tiga Karakteristik campuran yang mempengaruhi hasil Hammer tes akan diuraikan lebih terperinci.

(i) **Jenis semen.** Variasi dalam kehalusan semen Portland tidak mungkin signifikan-pengaruh mereka pada korelasi kekuatan kurang dari 10%. Semen Super-sulfat, bagaimanapun, dapat diharapkan untuk menghasilkan kekuatan 50% lebih rendah dari yang disarankan oleh kalibrasi semen Portland, sedangkan semen alumina tinggi beton mungkin sampai 100% lebih kuat.

(ii) **Konten semen.** Perubahan dalam konten semen tidak menghasilkan

perubahan yang sesuai dalam kekerasan permukaan. Pengaruh gabungan kekuatan, kemampuan kerja dan proporsi agregat/semen mengarah pada pengurangan kekerasan relatif terhadap kekuatan sebagai konten semen meningkat (48). Kesalahan dalam perkiraan kekuatan, bagaimanapun, tidak mungkin melebihi 10% dari penyebab ini untuk sebagian besar campuran.

(III) **Agregat kasar.** Pengaruh agregat jenis dan proporsi dapat cukup besar, karena kekuatan diatur oleh kedua pasta dan agregat karakteristik. Nilai Rebound akan lebih dipengaruhi oleh pasta mengeras. Sebagai contoh, batu kapur hancur dapat menghasilkan angka rebound secara signifikan lebih rendah daripada untuk beton kerikil kekuatan yang sama yang biasanya mungkin setara dengan perbedaan kekuatan 6 – 7 N/mm². Jenis agregat tertentu juga dapat menghasilkan jumlah rebound yang berbeda/korelasi kekuatan tergantung pada sumber dan alam, dan Gambar 4. membandingkan kurva khas untuk *Gravels* tinggi dan berkualitas rendah.



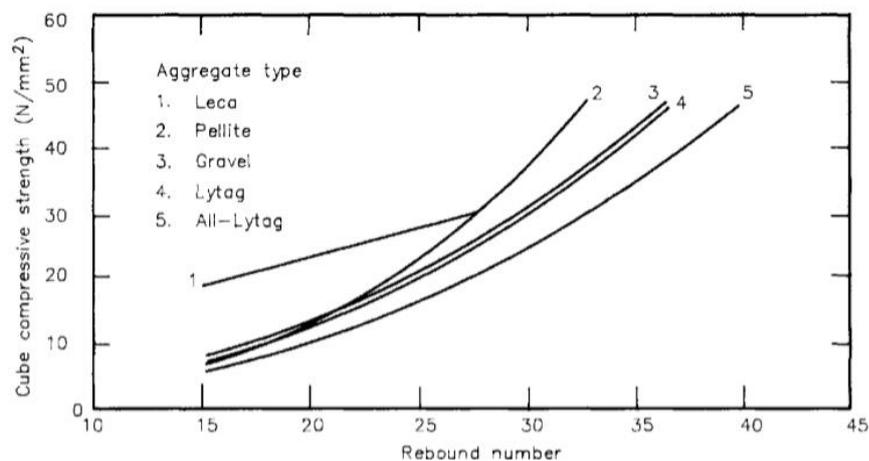
Gambar. 5. Perbandingan Kuat Tekan dan Nilai *Rebound* terhadap Kualitas Agregat

(Sumber : Bungey and Millard, 1996)

Karakteristik fisik yang mempengaruhi hasil Hammer tes akan diuraikan lebih terperinci.

(i) **Massa** efektif spesimen beton atau anggota yang diuji harus cukup besar untuk mencegah getaran atau gerakan yang disebabkan oleh dampak

palu. Setiap gerakan tersebut akan mengakibatkan penurunan rebound nomor. Untuk beberapa anggota struktural yang slenderness atau massa mungkin sedemikian rupa sehingga kriteria ini tidak sepenuhnya puas, dan dalam kasus seperti prediksi kekuatan mutlak mungkin sulit. Kekuatan perbandingan antara atau dalam anggota individu juga harus memperhitungkan faktor ini.



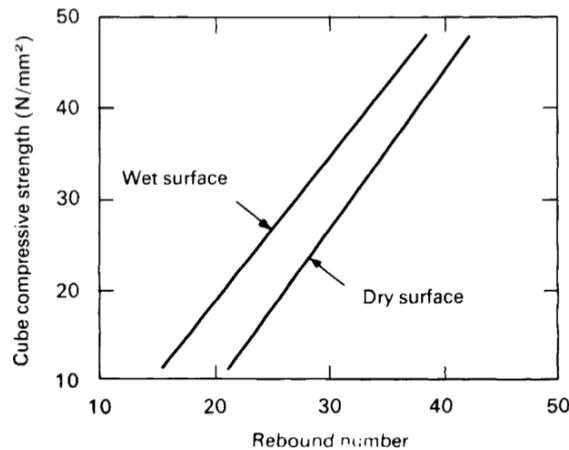
Gambar. 6. Korelasi Kuat Tekan dengan Tipe Agregat
(Sumber : Bungey and Millard, 1996)

- (ii) **Pemadatan.** Karena permukaan yang mulus dan baik dipadatkan diperlukan untuk pengujian, variasi kekuatan karena perbedaan pemadatan internal tidak dapat dideteksi dengan keandalan apa pun. Semua kalibrasi harus mengasumsikan pemadatan penuh.
- (III) **Jenis permukaan.** Metode kekerasan tidak sesuai untuk permukaan agregat yang bertekstur terbuka atau terpapar. *Trowelled* atau plaster beton mungkin lebih sulit daripada permukaan cetakan, dan pasti akan lebih tidak teratur. Meskipun mereka mungkin merapikan oleh grinding, yang terbaik adalah untuk menghindari permukaan *trowelled* dalam pandangan kemungkinan overestimasi kekuatan dari pembacaan kekerasan. Penyerapan dan kelancaran permukaan cetakan juga akan memiliki efek yang cukup besar. Kalibrasi spesimen biasanya akan dilemparkan dalam cetakan baja yang halus dan non-penyerap.

Meskipun permukaan cetakan lebih disukai untuk pengujian di tempat, perawatan harus diambil untuk memastikan bahwa kalibrasi kekuatan didasarkan pada permukaan yang sama, karena kesalahan yang cukup besar dapat diakibatkan oleh penyebabnya.

- (IV) **Usia, tingkat pengerasan dan perawatan.** Hubungan antara kekerasan dan kekuatan telah terbukti bervariasi sebagai fungsi waktu (48), dan variasi tingkat awal pengerasan, perawatan berikutnya, dan kondisi paparan akan lebih mempengaruhi hubungan ini. Di mana perlakuan panas atau beberapa bentuk lain dari penyembuhan dipercepat telah digunakan, kalibrasi tertentu akan diperlukan. Kondisi kelembaban juga dapat dipengaruhi oleh metode *curing*.
- (v) **Karbonasi permukaan.** Beton terpapar atmosfer biasanya akan membentuk kulit berkarbonasi keras, yang ketebalannya akan tergantung pada kondisi eksposur dan usia. Hal ini dapat melebihi 20 mm untuk beton tua meskipun tidak mungkin signifikan pada usia kurang dari tiga bulan. Kedalaman karbonasi dapat dengan mudah ditentukan. Pemeriksaan spesimen beton kerikil yang telah terpapar atmosfer selama enam bulan menunjukkan kedalaman karbonasi hanya 4 mm. Hal ini tidak cukup untuk mempengaruhi jumlah rebound/kekuatan hubungan dibandingkan dengan spesimen serupa yang disimpan dalam atmosfer laboratorium, meskipun untuk spesimen ini tidak ada kulit terukur terdeteksi. Dalam kasus ekstrim, overestimasi kekuatan dari penyebab ini mungkin sampai 50%, dan dengan demikian sangat penting. Ketika nilai karbonasi yang signifikan didapatkan, lapisan permukaan tidak dapat mewakili dari beton dalam suatu elemen.
- (VI) **Kondisi kelembaban.** Kekerasan permukaan beton lebih rendah ketika basah daripada ketika kering, dan rebound/kekuatan beton akan terpengaruh. Permukaan basah dapat menyebabkan kekurangan kekuatan hingga 20%. Uji lapangan dan kalibrasi kekuatan biasanya harus didasarkan pada kondisi permukaan kering, tetapi efek kelembaban internal pada kekuatan spesimen kontrol tidak boleh

diabaikan.



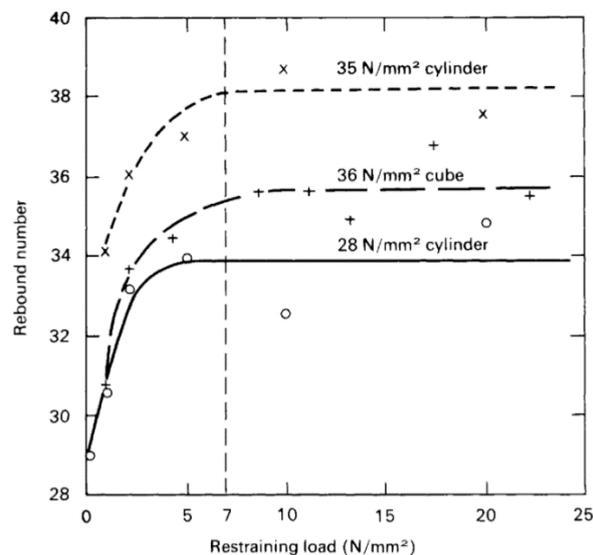
Gambar. 7. Korelasi Kuat Tekan Dengan Kelembaban
(Sumber : Bungey and Millard, 1996)

(VII) **Tegangan dan suhu.** Kedua faktor ini dapat mempengaruhi pembacaan kekerasan, meskipun dalam situasi praktis yang normal ini mungkin kecil dibandingkan dengan banyak variabel lain. Perhatian khusus harus, bagaimanapun, harus dibayar untuk fungsi dari palu uji jika digunakan di bawah suhu ekstrem.

2.4.2. Kalibrasi

Pengaruh variabel yang dijelaskan di atas begitu besar sehingga sangat tidak mungkin bahwa kurva kalibrasi umum yang berkaitan dengan nilai rebound ke kekuatan, seperti yang disediakan oleh produsen peralatan, secara praktis dapat digunakan. Hal yang sama berlaku untuk penggunaan pengolahan data komputer untuk memberikan kekuatan prediksi berdasarkan hasil dari rebound elektronik palu. Kecuali konversi didasarkan pada kasus-data spesifik. Kalibrasi kekuatan harus didasarkan pada campuran tertentu dalam penyelidikan, permukaan cetakan, perawatan dan usia spesimen laboratorium harus sesuai sedekat mungkin dengan beton di tempat. Hal ini penting bahwa fungsi yang benar dari rebound palu diperiksa secara teratur menggunakan dasar baja standar

massa diketahui. Hal ini diperlukan karena keausan dapat mengubah karakteristik gesekan dan internal peralatan. Kalibrasi disiapkan untuk satu Palu juga tidak akan selalu berlaku untuk yang lain. Contoh kubus atau silinder minimal 150 mm digunakan, dan beban minimum yang ditahan dari 15% kekuatan spesimen telah diusulkan untuk silinder (50), dan BS 1881 merekomendasikan tidak kurang dari 7 N/mm² untuk kubus diuji dengan jenis N palu. Beberapa tipikal hubungan antara jumlah rebound dan beban penahan diberikan dalam Gambar 7, yang menunjukkan bahwa setelah beban yang cukup telah mencapai angka rebound tetap cukup konstan. Hal ini juga terlihat bahwa kekuatan menghancurkan kubus diuji basah kemungkinan akan sekitar 10% lebih rendah daripada kekuatan kubus yang sesuai diuji kering. Karena pengukuran rebound harus diambil pada permukaan kering, dianjurkan bahwa batu basah akan dikeringkan selama 24 jam sebelum tes, dan oleh karena itu diharapkan bahwa beton akan menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi daripada jika diuji basah dalam cara standar.



Gambar. 8. Efek Pembebanan Setelah Kalibrasi
(Sumber : Bungey and Millard, 1996)

2.5. Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) Test

Teknik kecepatan pulsa ultrasonik pertama kali diperkenalkan oleh Long, Kurtz dan Sandenaw (1945) untuk mengevaluasi metode non destruktif pengujian untuk kualitas beton dengan mentransmisikan pulsa irasional untuk perjalanan jarak yang diketahui melalui beton. Beberapa karya dalam literatur sebelumnya memanfaatkan kecepatan pulsa ultrasonik (UPV) dari beton untuk memprediksi kekuatan tekan dan menjadi dasar dalam pekerjaan penelitian tersebut untuk mempelajari hubungan antara UPV dan kekuatan tekan (Sturup et al. 1984 dan Lin et al. 2003). Kecepatan pulsa dipengaruhi oleh banyak variabel seperti proporsi campuran, jenis agregat, usia beton, kadar air, dan lain-lain (Popovics et al. 1990). Faktor yang secara signifikan mempengaruhi kekuatan beton mungkin memiliki sedikit pengaruh pada UPV. Akibatnya, perkiraan kekuatan yang dibuat dengan metode kecepatan pulsa bukanlah teknik spektrum yang luas. Oleh karena itu, relasi turunan dapat digunakan untuk struktur yang dibuat dengan bahan yang sama setiap saat selama periode layanannya.

Metode tes ini mencakup penentuan kecepatan propagasi rambat gelombang tegangan longitudinal melalui beton. Metode tes ini tidak berlaku untuk propagasi jenis lain dari gelombang tegangan melalui beton. Denyut gelombang tegangan longitudinal dihasilkan oleh transduser elektro-akustik yang diadakan dalam kontak dengan satu permukaan beton di bawah uji. Setelah melintasi beton, pulsa yang diterima dan dikonversi menjadi energi listrik oleh transduser kedua, yang terletak jarak L dari transduser transmisi. Waktu transit T diukur secara elektronik. Kecepatan pulsa V dihitung dengan membagi L oleh T .

Kecepatan pulsa, V , gelombang stres longitudinal dalam massa beton berkaitan dengan sifat elastis dan kepadatan sesuai dengan hubungan berikut:

$$V = \sqrt{\frac{E(1 - \mu)}{\rho(1 + \mu)(1 - 2\mu)}} \quad (\text{Pers. 2})$$

Dimana :

E = dinamis modulus elastisitas,

μ = Poisson rasio dinamis, dan

r = kepadatan

Metode uji ini dapat digunakan untuk menilai atau mengetahui keseragaman dan mutu relatif beton, mendeteksi adanya rongga dan retak, dan untuk mengevaluasi efektivitas perbaikan retak. Pengujian ini juga dapat digunakan untuk mengetahui adanya perubahan sifat – sifat beton, dan pada pemeriksaan suatu struktur, untuk memperkirakan tingkat kerusakan atau retakan pada beton. Apabila digunakan untuk mengamati perubahan – perubahan kondisi pada periode tertentu, lokasi uji harus diberi tanda pada struktur untuk memastikan pengujian dapat diulang pada posisi yang sama.

Tingkat kejenuhan beton mempengaruhi kecepatan rambat gelombang, dan faktor ini harus dipertimbangkan jika mengevaluasi hasil uji. Sebagai tambahan, kecepatan rambat gelombang pada beton yang jenuh air kurang sensitif terhadap perubahan - perubahan mutu beton relatif. Kecepatan rambat gelombang pada beton yang jenuh air dapat mencapai 5 % lebih tinggi daripada beton yang kering. Kecepatan rambat gelombang tidak tergantung pada ukuran obyek pengujian, pantulan gelombang dari sisi benda uji tidak berpengaruh pada waktu tiba dari kecepatan rambat gelombang yang dipancarkan langsung. Dimensi terkecil dari objek pengujian harus lebih besar dari panjang gelombang getaran ultrasonik.

Panjang gelombang getaran sama dengan kecepatan rambat gelombang dibagi dengan frekuensi getaran. Sebagai contoh, untuk frekuensi 54 kHz dan kecepatan rambat gelombang 3500 m/s, panjang

gelombang adalah $3500/54000 = 0,065$ m. Ketelitian pengukuran bergantung dari kemampuan operator dalam menentukan jarak yang tepat antara transduser pengirim dan transduser penerima dan kemampuan peralatan untuk mengukur dengan tepat waktu tempuh kecepatan rambat gelombang. Kuat sinyal yang diterima dan waktu tempuh yang terukur dipengaruhi oleh penempatan pasangan transduser pada permukaan beton. Bahan perantara (coupling agent) dan tekanan yang cukup harus diaplikasikan pada transduser untuk menjamin waktu tempuh yang stabil. Kuat sinyal yang diterima juga dipengaruhi oleh jarak tempuh serta tingkat keretakan atau penurunan mutu beton yang diuji. Pemasangan pasangan transduser yang tepat dapat diverifikasi dengan melihat bentuk dan besarnya gelombang yang diterima. Bentuk gelombang harus memiliki bentuk sinusoidal yang amplitudonya makin mengecil. Bentuk gelombang dapat dilihat dari tampilan osiloskop atau layar digital yang ada pada perangkat.

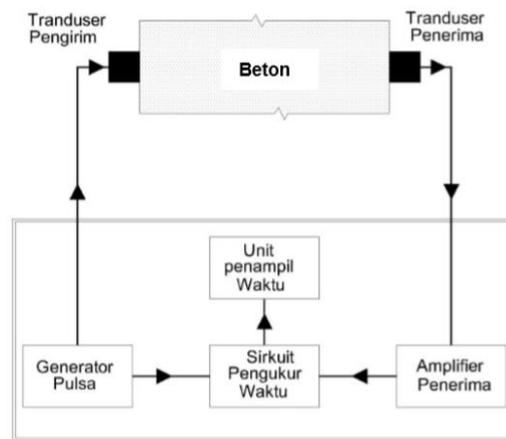
Hasil yang diperoleh dengan menggunakan metode uji ini tidak boleh dianggap sebagai pengukur kekuatan beton ataupun pengujian yang memadai untuk menentukan kesesuaian modulus elastisitas beton di lapangan dengan yang diasumsikan dalam perancangan. Metode resonan longitudinal pada Uji Method ASTM C 215 dianjurkan untuk menentukan modulus elastisitas dinamis benda uji yang diperoleh dari beton di lapangan karena rasio Poisson tidak perlu diketahui. Bila keadaan mengizinkan, hubungan kekuatan-kecepatan (atau modulus-kecepatan) dapat ditetapkan dengan penentuan kecepatan rambat gelombang dan kekuatan tekan (atau modulus elastisitas) pada sejumlah contoh uji beton. Hubungan ini dapat digunakan sebagai dasar untuk memperkirakan kekuatan (atau modulus elastisitas) melalui pengujian lanjutan kecepatan rambat gelombang pada beton tersebut. Panduan merujuk ke ACI 228.1R5 mengenai prosedur untuk pengembangan dan penggunaan hubungan seperti ini.

Metode tes ini berlaku untuk menilai keseragaman dan kualitas relatif beton, untuk menunjukkan adanya void dan retak, dan untuk mengevaluasi efektivitas perbaikan retak. Hal ini juga berlaku untuk menunjukkan

perubahan dalam sifat beton, dan dalam survei struktur, untuk memperkirakan tingkat keparahan kerusakan atau retak. Ketika digunakan untuk memantau perubahan kondisi dari waktu ke waktu, lokasi uji harus ditandai pada struktur untuk memastikan bahwa tes diulang pada posisi yang sama.

Prosedur pengujian dapat digunakan baik di lapangan maupun di laboratorium, tanpa memperhatikan ukuran atau bentuk dari benda uji dalam batasan sumber kecepatan rambat gelombang yang tersedia. Alat uji yang tersedia saat ini membatasi panjang lintasan sekitar minimum 50 mm dan maksimum 15 m, tergantung pada frekuensi dan intensitas dari sinyal yang dihasilkan. Preamplifier pada transduser penerima dapat digunakan untuk meningkatkan panjang lintasan maksimum yang dapat diuji. Panjang lintasan maksimum diperoleh dengan menggunakan transduser dari frekuensi resonansi relatif rendah (20 kHz sampai dengan 30 kHz) untuk meminimalkan perlemahan dari sinyal pada beton.

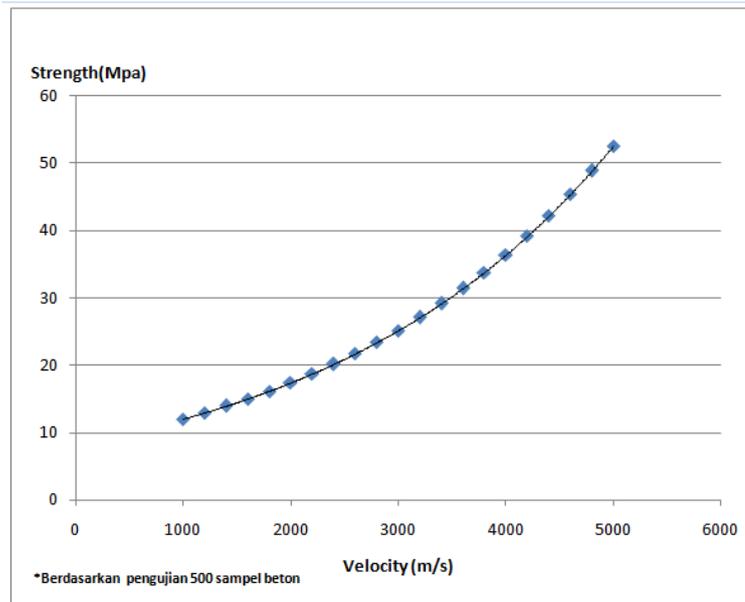
Frekuensi resonansi dari susunan transduser menentukan frekuensi getaran dalam beton. Untuk panjang lintasan yang lebih pendek dimana kehilangan sinyal bukan merupakan faktor dominan, adalah lebih baik untuk menggunakan frekuensi resonansi 50 kHz atau yang lebih tinggi untuk mencapai pengukuran yang lebih akurat dan lebih sensitif. Peralatan untuk pengujian, ditunjukkan secara skematik pada Gambar 8 terdiri dari generator kecepatan rambat gelombang, sepasang alat transduser (pengirim dan penerima), amplifier, sirkuit pengukur waktu, unit untuk menampilkan waktu, dan kabel penghubung.



Gambar. 9. Skematik Peralatan untuk Pengujian

(Sumber : SNI ASTM C 597-02, 2012)

Kecepatan rambat gelombang melalui baja dapat mencapai dua kali pada beton, kecepatan rambat gelombang yang diukur di sekitar baja tulangan akan lebih tinggi daripada beton tanpa tulangan dengan komposisi yang sama. Oleh karena itu apabila memungkinkan, hindari pengukuran di dekat baja yang sejajar dengan arah perambatan pulsa. Dikarenakan belum adanya standar persamaan UPVT di Indonesia dan tidak sesuai jika menggunakan persamaan hasil negara luar Indonesia yang memiliki karakteristik bahan berbeda dengan di Indonesia, maka penelitian ini persamaan yang digunakan adalah persamaan hasil penelitian sebelumnya yang menggunakan 500 sampel beton dengan mengacu pada British standard mengenai pengujian sampel.



Gambar. 10. Kurva Konversi Mutu UPVT

(Sumber: Ridho, F. & Khoeri, H. 2015)

Berdasarkan grafik pada Gambar 10, didapatkan persamaan konversi nilai cepat rambat UPV (m/s) terhadap nilai kuat tekan Beton (MPa) yang dapat dilihat pada persamaan dibawah.

$$y = 8,31346e^{0,000369x} \quad \text{(Pers. 3)}$$

Keterangan:

y = Mutu Kuat Tekan (MPa)

x = Kecepatan Gelombang (m/s)

2.6. Penelitian Terdahulu

Ridho, F. & Khoeri, H., April 2015. “Perbandingan Hasil Mutu Beton UPVT Metode Indirect Terhadap Mutu Beton Hasil Hammer Test Dan Core Drill” Jurnal Konstruksia

Pengujian mutu kuat tekan beton saat ini diperlukan dalam upaya penyeragaman mutu slab beton landasan udara sebelum dilakukan perbaikan mutu kuat tekan betonnya. Pengujian mutu kuat tekan beton eksisting secara umum terbagi atas pengujian destructive (merusak) dan non destructive (tidak merusak). Umumnya metode pengujian kuat tekan beton yang bersifat non destructive digunakan metode Hammer Test dan Ultrasonic Pulse Velocity Test. Sedangkan pengujian mutu kuat tekan beton yang bersifat merusak (destructive) digunakan metode Core Drill. Pada penelitian ini dilihat perbandingan mutu dari ketiga metode pengujian mutu kuat tekan beton tersebut dan didapatkan faktor atau nilai koefisien pengali untuk persamaan mutu hasil uji ketiga metode uji. Perbandingan nilai mutu ini diambil dari sampel-sampel beton yang telah lulus uji kurva t dimana terdapat ketentuan-ketentuannya.

Didapatkan mutu hasil hammer test dan ultrasonic pulse velocity memiliki mutu yang hampir sama karena pengujiannya terletak pada permukaan slab beton dan terlihat perbedaan mutu dengan metode Core Drill yang menguji sampel beton bagian intinya dimana kondisi beton bagian inti terlihat dari tampilan visualnya dalam kondisi baik (tidak terdapat rongga). Dari hasil pengujian didapatkan mutu uji hasil ultrasonic pulse velocity memiliki mutu uji paling rendah sedangkan mutu hasil uji Core Drill memiliki mutu paling besar. Berikut adalah nilai korelasi dari ketiga metode uji: $UPVT = 0,93 HT$; $UPVT = 0,6 CD$; $HT = 0,64 CD$.