TUGAS AKHIR

EFEK PENULANGAN TERHADAP HASIL BACAAN *HAMMER TEST* DAN *UPV TEST* PADA BETON K-250 (*THE EFFECT OF REINFORCEMENT ON THE READING RESULTS OF HAMMER TEST AND UPV TEST ON CONCRETE K-250)*

Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil

Muhammad Arif Budiman
19511224

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA

2023

TUGAS AKHIR

EFEK PENULANGAN TERHADAP HASIL BACAAN *HAMMER TEST* DAN UPV *TEST* PADA BETON K-250 (*THE EFFECT OF REINFORCEMENT ON THE READING RESULTS OF HAMMER TEST AND UPV TEST ON CONCRETE K-250*)

Disusun oleh

Muhammad Arif Budiman
19511224

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji Pada Tanggal 2 Februari 2024
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Malik Musthofa, S.T., M.Eng.	Sarwidi, Prof. Ir.,MSCE., Ph.D.	Jafar S.T., MURP., M.T.
NIK: 185111302	NIK: 845110101	NIK: 185111305

Mengesahkan
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM.
NIK: 095110101

Dipindai dengan CamScanner

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan bahwa laporan Tugas Akhir yang saya buat untuk menyelesaikan program studi Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, merupakan hasil dari upaya dan pemikiran saya sendiri. Saya dengan jelas mencantumkan referensi untuk bagian-bagian tertentu yang saya ambil dari karya orang lain, sesuai dengan norma, aturan, dan etika penulisan ilmiah. Jika pada saat berikutnya terbukti bahwa sebagian atau keseluruhan laporan Tugas Akhir ini bukan karya saya sendiri, atau terdapat tindakan plagiasi pada beberapa bagian, saya siap menerima konsekuensi yang diberlakukan, termasuk sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya peroleh.

Yogyakarta, 15 Februari 2024
Yang membuat pernyataan,



Muhammad Arif Budiman
(19511224)

Dipindai dengan CamScanner

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "Efek Penulangan Terhadap Hasil Bacaan *Hammer Test* dan UPV *Test* Pada Beton K-250". Tugas akhir ini diserahkan sebagai salah satu persyaratan akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis memperoleh banyak hambatan yang dihadapi. Namun berkat saran, kritik yang membangun, serta dukungan dari berbagai pihak, Tugas akhirini dapat diselesaikan. Berkaitan akan hal ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

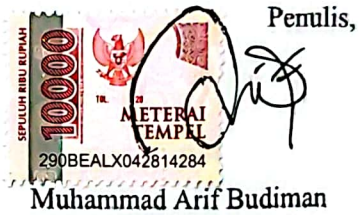
1. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, ST., MT., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Tenik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
2. Bapak Malik Musthofa, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing yang telah meberikan bimbingan, masukan dan dukungan kepada penulis selama penyusunan Tugas Akhir,
3. Dosen Penguji yang telah memberikan saran dan kritik untuk hasil penelitian yang lebih baik,
4. Bapak dan Ibu dosen pengajar, laboran, karyawan Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang telah membagikan ilmu dan memfasilitasi kegiatan pembelajaran penulis selama perkuliahan,
5. Almarhum Bapak Darwin serta Ibu Yunita selaku orang tua yang selalu mendoakan penulis, dan selalu memberikan semangat dan menjadi motivasi terbesar penulis untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Rika Yulandari, Muhammad Nur Irsan, Wini Dwi Anggraini, dan Muhammad Rizky Maulana selaku saudara penulis yang banyak mendukung baik dari segi materiil maupun non materiil. Serta, Syafiq Khan El Dameer selaku keponakan yang telah menjadi semangat dan motivasi bagi penulis,

7. Muhammad Arif Mukhsinin selaku teman sekaligus partner penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir ini yang senantiasa membantu dan bekerja sama dengan baik demi kelancaran penelitian yang dilakukan,
8. Saleh Bimantara Harahap, Muhammad Hanif Pratama, Sigit Saputra, Muhammad Hanif Salman, Rendy An Arya Putra, Dimas Iman Pramono, Rizky Wahyu Nugraha, Dandhi Aguganeza Putra, Nur Azizul Baihaqi, Hilwa Ramadhani, Desty Liyani, Masyhta Syah Rani, Tata, Bunga Zahrianti, Diffa Marissa, Fatin Nur Aini, Celviani Berty selaku orang terdekat yang telah memberikan bantuan baik tenaga, waktu, dan motivasi bagi penulis,
9. Semua pihak yang telah terlibat dalam penelitian ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak dan menjadi refrensi untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

Yogyakarta, 15 Februari 2024

Penulis,



Muhammad Arif Budiman
(19511224)

Dipindai dengan CamScanner

DAFTAR ISI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI vi
DAFTAR GAMBAR viii
DAFTAR TABEL x
ABSTRAK xii
BAB I PENDAHULUAN i
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1. Tinjauan Umum 6
2.2. Penelitian Terdahulu 7
2.3. Perbandingan Penelitian 9
2.4. Keaslian Penelitian 13
BAB III LANDASAN TEORI 14
3.1 Tinjauan Umum 14
3.2 Material Penyusun Beton 14
3.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*) 23
3.4 Kuat Tekan Beton 37
3.5 *Hammer Test* 38
3.6 *Ultrasonic Pulse Velocity Test* 40
BAB IV METODE PENELITIAN 44
4.1 Umum 44
4.2 Lokasi dan Waktu Penelitian 44
4.3 Bahan dan Peralatan Penelitian 45
4.4 Tahap Persiapan Penelitian 49

4.5 Tahap Penelitian 55
4.6 Kerangka Konsep Penelitian 59
BAB V DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN 62
5.1 Tinjauan Umum 62
5.2 Hasil Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton 62
5.3 Perhitungan Campuran Beton 71
5.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 79
5.5 Hasil Pengujian *Hammer Test* 81
5.6 Hasil Pengujian UPV *Test* 82
5.7 Analisis Pengaruh Tulangan Terhadap Hasil *Hammer Test* 85
5.8 Analisis Pengaruh Tulangan Terhadap Hasil UPV *Test* 85
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 93
6.1 Kesimpulan 93
6.2 Saran 94
DAFTAR PUSTAKA 94

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Grafik Hubungan FAS dan Kuat Tekan 23
Gambar 3.2 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan FAS 27
Gambar 3. 3 Cetakan Kerucut Abram untuk Uji Slump 31
Gambar 3.4 Persen pasir terhadap kadar total agregat yang 34
Gambar 3.5 Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm 34
Gambar 3.6 Persen pasir terhadap kadar total agregat yang 35
Gambar 3.7 Berat isi beton..... 36
Gambar 3.8 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton 37
Gambar 3.9 Alat *Hammer Test* 38
Gambar 3.10 Mekanisme Kerja *Hammer Test*..... 38
Gambar 3.11 Kurva korelasi *Hammer Test*..... 39
Gambar 3.12 Skematik Peralatan Pengujian UPV 41
Gambar 3.13 UPV *Test* Metode *Direct Transmission* 41
Gambar 3.14 UPV *Test* Metode Semi-*Direct Transmission*..... 42
Gambar 3.15 UPV *Test* Metode *In-Direct Transmission*..... 42
Gambar 3.16 UPV *Test* pada Kondisi Sumbu Tulangan..... 43
Gambar 3.17 UPV *Test* pada Kondisi Sumbu Tulangan..... 43
Gambar 4.1 Timbangan..... 46
Gambar 4.2 Gelas ukur 46
Gambar 4.3 Piknometer 47
Gambar 4.4 Ayakan *mesh* 47
Gambar 4.5 Oven 47
Gambar 4.6 Ember 48
Gambar 4.7 *Mixer* 48
Gambar 4.8 Alat uji *slump* 48
Gambar 4.9 Meteran..... 49
Gambar 4.10 Cetakan..... 49
Gambar 4. 11 Sampel Benda Uji Plat Beton Bertulang 56

Gambar 4.12 Skema Pengujian UPV *Test* pada Benda Uji Kubus 59
Gambar 4.13 Skema Pengujian UPV *Test* pada Benda..... 59
Gambar 4.14 *Flowchart* Tahapan Pengujian Benda Uji di Laboratorium..... 60
Gambar 5.1 Batas Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm …… 65
Gambar 5.2 Batas Gradasi Agregat Halus Daerah III..... 69
Gambar 5.3 Nilai Faktor Air Semen 73
Gambar 5.4 Persentase Agregat Halus Tergadap Kadar Agregat Total..... 76
Gambar 5.5 Perkiraan Berat Isi Beton Basah..... 77
Gambar 5.6 Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Beton Pada Benda Uji Kubus..... 80
Gambar 5.7 Grafik Pengaruh Tulangan Terhadap Hasil *Hammer Test*..... 85
Gambar 5.8 Sampel Benda Uji BR – X (Ø10 – 150)..... 86
Gambar 5.9 Sampel Benda Uji BR – Y (Ø10 – 100)..... 86
Gambar 5.10 UPV Test Metode Direct dengan Posisi Sejajar Tulangan 87
Gambar 5.11 Grafik Perbandingan Hasil UPV *Test* Metode *Direct* Antara Beton Tidak Bertulang dan Beton Bertulang dengan..... 87
Gambar 5.12 UPV Test Metode Direct dengan 88
Gambar 5.13 Grafik Perbandingan Hasil UPV *Test* Metode *Direct*..... 88
Gambar 5.14 UPV *Test* Metode *In – Direct* dengan Posisi 89
Gambar 5.15 Grafik Perbandingan Hasil UPV *Test* Metode *In-Direct* Antara Beton Tidak Bertulang dan Beton Bertulang dengan 90
Gambar 5.16 UPV *Test* Metode *In – Direct* dengan Posisi 90
Gambar 5.17 Grafik Perbandingan Hasil UPV *Test* Metode *In-Direct* Antara Beton Tidak Bertulang dan Beton Bertulang dengan 91
Gambar 5.18 Grafik Pengaruh Metode Pengujian Terhadap Hasil UPV *Test*. 92

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu dan Rencana Penelitian..... 10
Tabel 3.1 Faktor Pengali untuk Deviasi Standar 25
Tabel 3.2 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton 26
Tabel 3.3 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS Maksimum untuk Berbagai Macam dalam Lingkungan Khusus 28
Tabel 3.4 Ketentuan untuk Beton yang Berhubungan dengan Air Tanah yang Mengandung Sulfat 29
Tabel 3.5 Ketentuan Minimum untuk Beton Bertulang Kedap Air 30
Tabel 3.6 Nilai Slump 31
Tabel 3.7 Batas-batas ukuran butir agregat kasar 32
Tabel 3.8 Estimasi kadar air bebas (kg/mm^3) 32
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar …… 63
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar..... 64
Tabel 5.3 Batas Gradasi Agregat Kasar 65
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar 66
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar..... 66
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus..... 67
Tabel 5.7 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus 68
Tabel 5.8 Batas Gradasi Agregat Halus 69
Tabel 5.9 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus 70
Tabel 5.10 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus..... 70
Tabel 5.11 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200 71
Tabel 5.12 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton 72
Tabel 5.13 Persyaratan Jumlah Semen Maksimum dan FAS Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dan Lingkungan Khusus 74
Tabel 5.14 Perkiraan Kebutuhan Air per Meter Kubik beton..... 74
Tabel 5.15 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Pada Benda Uji Kubus 79
Tabel 5.16 Hasil Hammer Test Pada Benda Uji Kubus..... 81
Tabel 5.17 Hasil Hammer Test Pada Benda Uji Plat Beton Bertulang..... 82

Tabel 5.18 Hasil Pengujian UPV Pada Benda Uji Kubus..... 83
Tabel 5.19 Hasil Pengujian UPV Pada Benda Uji Plat Beton Bertulang..... 84
Tabel 5.20 Data Hasil Pengujian *Hammer Test* 85
Tabel 5.21 Rekapitulasi Data Hasil UPV Test Metode Direct Antara Beton Tidak Bertulang dan Beton Bertulang dengan Posisi Sejajar..... 87
Tabel 5.22 Rekapitulasi Data Hasil UPV *Test* Metode *Direct* pada Beton Tidak Bertulang dan Beton Bertulang dengan Posisi Tegak Lurus 88
Tabel 5.23 Rekapitulasi Data Hasil UPV Test Metode In-Direct Antara Beton Tidak Bertulang dan Beton Bertulang dengan Posisi Sejajar 89
Tabel 5.24 Rekapitulasi Data Hasil UPV Test Metode In-Direct Antara Beton Tidak Bertulang dan Beton Bertulang dengan Posisi Tegak Lurus 91
Tabel 5.25 Data Hasil Pengaruh Metode Pengujian 91

ABSTRAK

Tulangan baja pada beton bertulang memiliki peran untuk meningkatkan tahanan tarik elemen beton yang terpasang. Menurut IS 13311:1992 kecepatan rambat gelombang melalui baja lebih tinggi dibandingkan dengan beton tanpa tulangan. Sedangkan, berdasarkan BS 1881-203:1986 peningkatan kecepatan rambat gelombang yang terjadi merupakan pengaruh dari jarak pengukuran tulangan, diameter tulangan, dan jumlah tulangan.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh adanya tulangan terhadap hasil pembacaan pada pengujian *hammer test* dan UPV *test*, serta pengaruh perbedaan metode pengujian UPV *test* terhadap nilai cepat rambat hasil uji. Penelitian ini menggunakan benda uji kubus dan plat bertulang. Setiap benda uji dilakukan pengujian *hammer test* dan UPV *test,* kemudian hasil dari pengujian beton polos dan beton bertulang diidentifikasi perbedaan nilai hasil ujinya. Selain itu, pada pengujian UPV *test* dilakukan variasi metode pada sampel plat bertulang, dengan tujuan mengidentifikasi pengaruh perbedaan metode pengujian terhadap hasil pengujian UPV *test*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya tulangan pada beton berpengaruh terhadap hasil pengujian *hammer test* dan UPV *test.* Hasil *hammer test* menunjukkan bahwa beton bertulang memiliki angka *rebound* lebih tinggi sebesar 27,684% dan 29,668% dibandingkan beton polos. Hasil pembacaan UPV *Test* dengan metode *direct* pada beton bertulang lebih tinggi 9,267% - 14,462% dibandingkan beton polos. Hasil pembacaan UPV *Test* dengan metode *in - direct* pada beton bertulang lebih tinggi 1,666% - 9,198% dibandingkan beton polos. Perbedaan metode antara *direct* dan *in-direct* pada pengujian UPV *test* juga mempengaruhi hasil pengujian. BR X memiliki nilai cepat rambat lebih tinggi sebesar 7,419% dan BR Y memiliki nilai cepat rambat lebih tinggi 6,087%.

Kata kunci: Beton bertulang, *Hammer test*, *Ultrasonic pulse velocity test*

ABSTRACT

Steel reinforcement in reinforced concrete has a role to increase the tensile resistance of attached concrete elements. According to IS 13311:1992, the wave propagation velocity through steel is higher than that of unreinforced concrete. Meanwhile, according to BS 1881-203:1986, the increase in wave propagation velocity is influenced by the measurement distance of the reinforcement, the diameter of the reinforcement, and the number of reinforcement bars.

The purpose of this study was to determine the effect of the presence of reinforcement on the readings of the hammer test and UPV test, as well as the effect of different UPV test methods on the fast propagation value of the test results. This research used reinforced cube and plate specimens. Each test object was tested hammer test and UPV test, then the results of plain concrete and reinforced concrete testing identified the difference in the value of the test results. In addition, in the UPV test, the method variation was carried out on the reinforced plate sample, with the aim of identifying the effect of different test methods on the UPV test results.

The results show that the presence of reinforcement in concrete affects the results of the hammer test and UPV test.. The hammer test results show that reinforced concrete has a higher rebound rate of 27.684% and 29.668% than plain concrete. The UPV Test readings by direct method on reinforced concrete were 9.267% - 14.462% higher than plain concrete. The UPV Test reading results with the in - direct method on reinforced concrete were 1.666% - 9.198% higher than plain concrete. The difference in methods between direct and in-direct UPV test also affects the test results. BR X has a higher creepage rate of 7.419% and BR Y has a higher creepage rate of 6.087%.

Keywords*: Reinforced concrete, Hammer test, Ultrasonic pulse velocity test*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan campuran dari agregat kasar dan agregat halus yang dicampuri dengan semen dan air pada jumlah perbandingan tertentu (Wuryati S. & Candra R 2001). Agregat kasar dalam komposisi beton merupakan hasil dari fraksi pecahan batuan alam atau batu yang dihasilkan dari alat pemecah batu. Sedangkan, agregat halus terdiri dari partikel pasir alam atau pasir buatan yang dihasilkan melalui alat *stone crusher*. Campuran semen dan air dalam jumlah perbandingan tertentu akan membentuk suatu pasta yang berguna sebagai pengikat serta pengisi antar agregat, tidak jarang campuran beton ditambahkan (*admixture*) untuk memperbaiki kualitas beton yang bertujuan untuk mendapatkan suatu campuran yang plastis sehingga saat proses penuangan beton *ready mix* dapat sesuai dengan rencana (Asroni, 2010).

Beton bertulang merupakan beton struktural yang dikombinasikan dengan tulangan dan tidak kurang dari jumlah baja prategang atau tulangan non-prategang pada standar tertentu, termasuk elemen yang memenuhi persyaratan untuk beton prategang dan non-prategang (SNI-03-2847-2019). Penambahan baja tulangan minciptakan kekuatan tarik yang efektif pada struktur beton, sebab pada beton polos (*plain concrete*) kekuatan tekan cenderung tinggi tetapi kekuatan tariknya relatif rendah.

Menurut Simatupang et al., (2015), untuk mengetahui kekuatan beton terdapat beberapa macam bentuk metode pengujian yaitu pengujian yang bersifat merusak struktur (*destructive test*) dan pengujian yang bersifat tidak merusak struktur (*non-destructive test*). Metode *destructive test* merupakan pengujian langsung terhadap benda uji yang menyebabkan adanya kerusakan pada sampel benda uji, metode ini memiliki hasil yang paling mendekati dari nilai kuat tekan beton sebenarnya. Nilai kuat tekan beton aktual didapatkan dari hasil uji tekan. Uji

tekan dilakukan dengan menggunakan alat *compression strength machine*, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui performa benda uji pada saat diberi beban bertahap hingga maksimum.

Metode *non-destructive test* merupakan pengujian yang tidak menyebabkan kerusakan pada sampel benda uji. Terdapat berbagai jenis pengujian *non - destructive test* yang umum digunakan seperti *hammer test* dan *ultrasonic pulse velocity* (UPV) *test*. Pengujian ini dilaksanakan sebagai bentuk pemeriksaan dari suatu struktur beton. Apabila terdapat bangunan yang perlu dilakukan pemeriksaan struktur. Hasil pengujian metode *non - destructive test* dapat mengestimasi nilai dari kuat tekan beton pada beton bertulang. Hal ini dapat diketahui dengan melakukan *coring* beton melakukan pengujian kuat tekan beton untuk merepresentasikan kekuatan struktur beton aktual.

Berdasarkan SNI ASTM C805:2012, pengujian *hammer test* dapat dilakukan jika di bawah permukaan beton terdapat tulangan dengan selimut beton lebih dari 20 mm. Hal tersebut dikarenakan adanya tulangan bisa mempengaruhi respon getaran yang dihasilkan ketika terjadinya tumbukan pada permukaan beton. Menurut SNI ASTM C597:2012, pada pengujian UPV *test* kecepatan rambat gelombang yang melalui baja dapat lebih tinggi hingga mencapai hampir dua kali pada beton tanpa tulangan dengan komposisi yang sama. Sedangkan menurut IS 13311:1992, kecepatan rambat yang diukur pada beton bertulang lebih tinggi 1,2 – 1,9 dari beton polos dengan komposisi yang sama.

Berdasarkan BS 1881-203:1986, pengujian UPV memiliki beberapa metode pengujian yaitu metode *direct,* metode *semi direct,* dan metode *in-direct*. Metode yang umum digunakan dilapangan yaitu metode direct dan metode *in-direct*, metode *direct* yaitu posisi transduser pengirim dan transduser penerima saling berhadapan sehingga menghasilkan amplitudo sinyal maksimum. Sedangkan, metode *in-direct* yaitu posisi transduser pengirim dan transduser penerima bersebelahan dengan nilai amplitudo yang dihasilkan lebih rendah dari metode *direct*.

Penelitian ini dilakukan untuk menguji beton menggunakan metode *destructive test* dan *non-destructive test* pada sampel benda uji berbentuk kubus dan plat bertulang. Penggunaan benda uji kubus dan plat dikarenakan terdapat lebih banyak sisi permukaan yang rata yang bertujuan untuk memperoleh data hasil pengujian yang lebih banyak dibandingkan dengan benda uji silinder yang hanya memiliki dua sisi permukaan rata. Selain itu, penelitian ini menggunakan benda uji plat bertulang yang bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh adanya tulangan terhadap nilai angka pantul (R) hasil *hammer test,* nilai cepat rambat gelombang (Vs) hasil UPV *test,* dan kuat tekan sebenarnya hasil dari pengujian *compression test.* Pengujian diawali dengan melakukan pengujian *hammer test* yang bertujuan untuk memperoleh nilai angka pantul (R) dan dilanjutkan UPV *test* yang bertujuan untuk memperoleh nilai cepat rambat gelombang (Vs). Setelah dilakukan pengujian metode *non-destructive test* dilanjutkan *compression test* yang bertujuan untuk memperoleh nilai kuat tekan beton sebenarnya. Berdasarkan hasil pengujian akan diperoleh data dari *hammer test*, UPV *test,* dan *compression test*, data tersebut akan diolah untuk memperoleh persentase selisih nilai hasil uji antara beton bertulang dan beton polos. Serta, untuk mengetahui perbedaan metode pengujian yang dilakukan saat pengujian UPV *test* pada beton bertulang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka permasalahan yang dapat dirumuskan dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Bagaimanakah pengaruh tulangan terhadap hasil pembacaan *hammer test*?
2. Bagaimanakah pengaruh tulangan terhadap hasil pembacaan UPV *test*?
3. Bagaimanakah pengaruh metode *direct* dan metode *in - direct* terhadap hasil pembacaan UPV *test* pada beton bertulang?

1.3 Tujuan Penelitian

Dari permasalahan yang telah dirumuskan, maka tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Mengidentifiasi pengaruh adanya tulangan terhadap hasil pembacaan *hammer test*.
2. Mengidentifiasi pengaruh adanya tulangan terhadap hasil pembacaan UPV *test*.
3. Mengidentifiasi pengaruh perbedaan metode metode *direct* dan metode *in - direct* terhadap hasil pembacaan UPV *test* pada beton bertulang.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat terhadap perkembangan dalam dunia konstruksi. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut.

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh adanya tulangan terhadap hasil pembacaan *hammer test.*
2. Memberikan informasi mengenai pengaruh adanya tulangan terhadap hasil pembacaan UPV *test*
3. Memberikan informasi mengenai pengaruh metode metode *direct* dan metode *in - direct* terhadap hasil pembacaan UPV *test.*
4. Sebagai refrensi untuk penelitian-penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh adanya tulangan terhadap hasil *hammer test*, *ultrasonic pulse velocity* (UPV), dan *compression test*.

1.5 Batasan Penelitian

Pada penelitian ini, berdasarkan rumusan masalah yang dimiliki diperlukan batasan penelitian agar penelitian ini dapat terarah. Adapun batasan penelitian yang akan diteliti sebagai berikut.

1. Mutu beton yang direncanakan adalah K-250.
2. Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen *Portland Composite Cemen* (PCC) dengan merk Semen Tiga Roda.
3. Penelitian ini menggunakan benda uji berupa kubus dengan ukuran 150 mm x 150 mm x 150 mm, plat bertulang dengan ukuran panjang 500 mm, lebar 500 mm dan tinggi 120 mm.
4. Tulangan yang digunakan adalah tulangan ulir Ø10 mm.

5. Metode pengujian yang dilaksanakan adalah *ultrasonic pulse velocity, hammer test*, dan *compression test* setelah umur beton mencapai 28 hari.
6. Penelitian ini tidak melakukan analisis hubungan antara UPV *test* dan *hammer test* terhadap kuat tekan.
7. Metode perencanaan dalam membuat sampel beton plat bertulang menggunakan SNI 03-2834-2000.
8. Metode uji angka pantul beton keras menggunakan SNI ASTM C805:2012.
9. Metode uji kecepatan rambat gelombang melalui beton menggunakan SNI ASTM C597:2012.
10. Metode pengaruh penggunaan tulangan pada uji kecepatan rambat gelombang melalui beton menggunakan BS 1881-203:1986 dan IS 13311:1992.
11. Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik program studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Berdasarkan SNI-03-2847-2019, beton bertulang (*reinforced concrete)* adalah beton struktural yang ditulangi dengan tidak kurang dari jumlah baja prategang atau tulangan non-prategang yang ditetapkan dalam standar ini, termasuk elemen-elemen yang memenuhi persyaratan untuk beton prategang dan non-prategang. Secara mekanis material material beton sangat berpengaruh terhadap kuat tekan, namun lemah dalam menahan kuat tarik. Penggunaan penambahan baja tulangan akan membuat beton menjadi kuat terhadap gaya tarik.

Beton bertulang termasuk suatu struktur komposit, dimana struktur yang terdiri dari dua material yang berbeda antara beton dan baja tulangan. Komposit yang membentuk satu kesatuan dan didapatkan sifat gabungan yang saling menguntungkan. Beton bertulang mempunyai sifat sesuai dari material penyusunnya, yaitu baja tulangan yang kuat menahan gaya tarik dan beton yang kuat menahan gaya tekan pada konstruksi beton bertulang.

Pada struktur beton bertulang, baja tulangan berfungsi untuk menahan tegangan akibat kekangan dari rangkak, susut, maupun pengaruh suhu. Tulangan baja menggunakan tulangan ulir, tulangan ulir dipakai untuk tulangan memanjang atau tulangan pokok. Sedangkan untuk tulangan sengkang atau begel dapat memakai tulangan polos sebagai penopang dari adanya gaya geser.

Baja tulangan sebagai elemen struktur yang mampunyai kekuatan yang baik dalam menahan beban jenis tarik aksial, tekan aksial dan gaya lentur. Pada konstruksi beton bertulang mempunyai durabilitas tinggi, hal tersebut dikenal karena keawetan dan lebih tahan lama dibandingkan dengan material lainnya. Saat terjadi kebanjiran ataupun kebakaran konstruksi ini dapat tahan terhadap air maupun api, beton bertulang yang diselimuti oleh beton akan memiliki daya tahan yang baik sehingga tidak rentan terjadinya kerusakan.

2.2. Penelitian Terdahulu

Terdapat penelitian sebelumnya yang membahas topik serupa dengan penelitian ini dan menjadi bahan informasi serta referensi dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Berikut penelitian yang telah dilaksanakan sebelumnya.

Penelitian Alfirahman R., & Widodo, S. (2023) menemukan bahwa pengaruh penggantian sebagian semen dengan fly ash dan penambahan serat plastik PET pada Self Compacting Concrete (SCC) terhadap karakteristik beton segar, kuat tekan beton, kecepatan rambat gelombang ultrasonik (UPV), dan modulus elastisitas dinamik. Penelitian ini menggunakan beton mutu 40 MPa dengan umur benda uji 56 hari. Sampel benda uji berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, setiap variasi menggunakan 5 benda uji dengan total sebanyak 40 sampel. Variasi yang digunakan penambahan serat PET sebesar 0%; 0,25%; 0,50%; dan 0,755%. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode UPV test, dan compression test. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serat PET dengan persentase 0%; 0,25%; 0,50%; dan 0,75% serta penggantian sebagian semen dengan fly ash sebesar 0% dan 15% mempengaruhi kulitas campuran beton segar yang menyebabkan kuat tekan, kecepatan gelombang ultrasonic dan modulus elastisitas dinamik yang dihasilkan mengalami penurunan.

Penelitian Azhar et al., (2023) menemukan bahwa efek penggunaan beton sisa pengujian sebagai substitusi agregat kasar dalam campuran beton terhadap nilai kuat tekan dan kepadatan melalui uji ultrasonic pulse velocity (UPV). Penelitian ini menggunakan beton mutu K-350 dengan umur benda uji 7, 14, dan 28 hari. Penelitian ini melakukan pengujian pada benda uji berbentuk silinder ukuran 150 x 300 mm setiap variasi menggunakan 3 benda uji dengan total sebanyak 36 sampel. Variasi yang digunakan penambahan limbah sbeton sisa pengujian sebesar 0%; 0,25%; 0,35%; dan 0,50%. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa pengujian kuat tekan rata-rata beton campuran sisa pengujian mengalami peningkatan kuat tekan beton pada variasi 25% sebesar 25,3 MPa, 35% sebesar 26,7 MPa, dan 50% sebesar 28,6 MPa, akan tetapi tidak melebihi beton normal sebesar 30,6 MPa. Sedangkan, hasil pengujian UPV test mengalami peningkatan pada rata-

rata cepat rambat gelombang variasi 25% sebesar 4034,0 m/s, 35% sebesar 4413,7 MPa, 50% sebesar 4589,3 m/s, serta beton normal nya sebesar 4534,3 m/s.

Penelitian Salah et al., (2021) menemukan bahwa adanya pengaruh distribusi penguatan baja pada hasil pengukuran Kecepatan Gelombang *Ultrasonik* (UPV) dalam beton. Target kuat tekan yang diinginkan (f'cr) dalam penelitian ini adalah sebesar 41,8 MPa. Benda uji yang digunakan sebanyak dua berbentuk plat dengan ukuran 500 x 500 x 180 mm, jarak antar tulangan yaitu 90 mm dan 150 mm. Selimut beton yang digunakan 25 mm. Kedua benda uji dilakukan pengujian UPV dan hasilnya diidentifikasi selisih perbandingannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya baja secara signifikan memengaruhi hasil uji UPV dengan pembacaan hasil UPV cenderung lebih tinggi ketika transduser ditempatkan dekat permukaan penguatan baja. Selain itu, beton dengan jarak antar tulangan 90 mm tinggi sebesar 0,382 km/s dibandingkan dengan plat dengan jarak antar tulangan 150 mm.

Penelitian Novi Rahmayanti (2018) menemukan bahwa adanya pengaruh dari penggunaan limbah abu sekam padi dan *Viscocrete* 1003 terhadap kualitas beton normal dengan menggunakan UPV *test*. Mutu beton yang digunakan 25 MPa dengan umur benda uji 28 hari dan bentuk sampel benda uji silinder ukuran 150 x 300 mm. Penelitian ini menggunakan Persentase *Visco Crete* 1003 yang digunakan yaitu 0,6% terhadap berat semen dan variasi penambahan abu sekam padi sebesar 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% terhadap berat semen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton, kecepatan rambat gelombang dan modulus elastisitas terus meningkat hingga penambahan abu sekam sebesar 20 %. Modulus elastis dinamik menghasilkan nilai 39% - 45% lebih besar dibandingkan dengan modulus elastis statis disebabkan adanya perbedaan homogenitas pada variasi silinder.

Penelitian Lukas, A. Y., & Rafael. (2024) menemukan bahwa adanya pengaruh dari penggunaan batu karang sebagai pengganti kerikil terhadap kualitas beton pada variasi 5%, 25%, 50%. dan pengaruh umur beton, mutu beton dan prosentasi batu karang terhadap kecepatan rambat gelombang menggunakan UPV. Penelitian ini menggunakan beton mutu 30 MPa dengan umur benda uji 7, 14, dan 28 hari. Penelitian ini melakukan pengujian pada benda uji berbentuk silinder

ukuran 150 x 300 mm. Variasi yang digunakan adalah batu karang sebagai pengganti kerikil dengan variasi pengujian sebesar 0%; 0,25%; 0,35%; dan 0,50%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa batu karang dengan presentasi 25% dapat digunakan sebagai material alternatif pengganti kerikil dengan rata-rata gelombang UPV 4,56 km/s dengan umur beton 28 hari, kualitas beton yang dihasilkan termasuk kategori "bagus" dan koefisien variasi pada kategori "sangat bagus (excelent)". Sedangkan, variasi penambahan batu karang sebesar 5% dan 25% mengalami peningkatan kecepatan gelombang UPV, dan mengalami penurun an pada variasi 50% penggunaan batu karang.

2.3. Perbandingan Penelitian

Pada penelitian saat ini diperlukan suatu perbandingan dari penelitian terdahulu yang menjadi acuan pada proses penyelesaian Tugas Akhir. Berikut perbandingan dari penelitian terdahulu dan rencana penelitian saat ini dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu dan Rencana Penelitian

	Penelitian Terdahulu					**Rencana Penelitian**
Penelitian	Rifki Alfirahman dan Slamet Widodo (2023)	Azhar Darujati, Sartika Nusimati, dan Ghina Amalia (2023)	Muhammad Ali Salah dan Hussein M. Ashour Al.Khuzaie (2021)	Novi Rahmayanti (2018)	Alva Yuventus Lukas dan Rafael (2024)	Muhammad Arif Budiman (2024)
Judul Penelitian	Efek Penambahan Serat Limbah Botol *Polyethylene Terephthalate* (PET) dan *Fly Ash* Terhadap Hasil Uji *Ultrasonic Pulse Velocity* Pada *Self Compacting Concrete*	Analisis Kuat Tekan dan *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV *Test*) Pada Mutu Beton K-350 Menggunakan Beton Sisa Pengujian Sebagai Substitusi Agregat Kasar	*Effect of steel reinforcement distribution on ultrasonic pulse velocity measurements*	Pengaruh Penggunaan Limbah Abu Sekam Padi dan *Viscocrete* 1003 Terhadap Kualitas Beton Normal Dengan UPV Test	Uji *Ultrasonic Pulse Velocity* pada Beton Normal yang Menggunakan Batu Karang sebagai Pengganti Kerikil	Efek Penulangan terhadap Hasil *Hammer Test* dan UPV *Test* Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton K-250
Tujuan Penelitian	Mengetahui pengaruh penggantian sebagian semen dengan *fly ash* dan penambahan serat plastik PET pada *Self Compacting Concrete (SCC)* terhadap karakteristik beton segar, kuat tekan beton, kecepatan rambat gelombang ultrasonik *(UPV),* dan modulus elastisitas dinamik.	Mengetahui pengaruh penggunaan beton sisa pengujian sebagai substitusi agregat kasar dalam campuran beton terhadap nilai kuat tekan dan kepadatan melalui uji ultrasonic pulse velocity (UPV).	Mengetahui adanya pengaruh dari penambahan tulangan baja pada beton terhadap hasil uji UPV dengan mempertimbangkan tebal selimut beton yang bervariasi dan diameter tulangan baja.	Mengetahui pengaruh dari penggunaan limbah abu sekam padi dan *Viscocrete* 1003 terhadap kualitas beton normal dengan menggunakan UPV *test*	Mengetahui kualitas beton menggunakan batu karang sebagai pengganti kerikil pada variasi 5%, 25%, 50%. dan pengaruh umur beton, mutu beton dan prosentasi batu karang terhadap kecepatan rambat gelombang menggunakan UPV.	Mengetahui efek penambahan tulangan terhadap hasil pembacaan UPV *test* dan *hammer test*, serta mengetahui efek perbedaan motede pengujian terhadap hasil pembacaan UPV *test*.

Lanjutan Tabel 2.2 Penelitian Terdahulu dan Rencana Penelitian

	Penelitian Terdahulu					Rencana Penelitian
Parameter Pengujian	Kuat tekan beton dan cepat rambat ultrasonik	Kuat tekan beton dan cepat rambat ultrasonik	Cepat rambat ultrasonik	Kuat tekan beton dan cepat rambat ultrasonik	Kuat tekan beton dan cepat rambat ultrasonik	Cepat rambat ultrasonik dan Angka pantul
Mutu Beton	40 Mpa	K-350	41,8 MPa	25 MPa	30 MPa	K-250
Metode Penelitian	Penelitian ini menggunakan benda uji silinder ukuran 150 x 30 mm setiap variasi terdiri 5 benda uji dengan total sebanyak 40 sampel. Variasi yang digunakan yaitu penambahan serat PET sebesar 0%; 0,25%; 0,50%; dan 0,75%. Pengujian dilakukan saat beton mencapai umur 56 hari dengan metode UPV *test* dan *compression test*.	Penelitian ini melakukan pengujian pada benda uji berbentuk silinder ukuran 150 x 30 mm setiap variasi menggunakan 3 benda uji dengan total sebanyak 36 sampel. Variasi menggunakan penambahan limbah sbeton sisa pengujian sebesar 0%; 0,25%; 0,35%; dan 0,50%. Pengujian dilakukan saat beton umur 7, 14, dan 28 hari dengan metode UPV *test* dan *compression test.*	Penelitian ini melakukan pengujian menggunakan kuat tekan rencana (f'cr) dalam sebesar 41,8 Mpa. Benda uji yang digunakan sebanyak dua berbentuk plat dengan ukuran 500 x 500 x 180 mm, jarak antar tulangan plat 90 mm dan 150 mm, dengan selimut beton 25 mm. Kedua benda uji dilakukan pengujian UPV dan hasilnya diidentifikasikan selisih perbandingannya.	Penelitian ini menggunakan Persentase *ViscoCrete* 1003 yang digunakan yaitu 0,6% terhadap berat semen dan variasi penambahan abu sekam padi sebesar 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% terhadap berat semen dengan benda uji silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm mutu 25 MPa	Penelitian ini melakukan pengujian pada benda uji berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Batu karang sebagai pengganti kerikil diberikan sebesar variasi 0%; 5%; 25%; dan 50%. Setiap variasi terdiri 4 benda uji dengan total 48 sampel. Pengujian dilakukan saat beton umur 7, 14, dan 28 hari dengan metode UPV *test* dan *compression test.*	Penelitian ini melakukan pengujian pada benda uji kubus dengan ukuran 150 mm dan plat beton bertulang dengan dimensi panjang 500 mm, lebar 500 mm, dan tinggi 120 mm, tulangan yang dipakai adalah ulir Ø10 mm. Pengujian dilakukan setelah beton mencapai umur 28 hari dengan menggunakan metode *hammer test*, UPV, dan *compression test*.

Lanjutan Tabel 2.3 Penelitian Terdahulu dan Rencana Penelitian

	Penelitian Terdahulu					Rencana Penelitian
Hasil Penelitian	Hasil menunjukkan bahwa penambahan serat PET dengan persentase 0%; 0,25%; 0,50%; dan 0,75% serta penggantian sebagian semen dengan *fly ash* sebesar 0% dan 15% mempengaruhi kulitas campuran beton segar yang menyebabkan terjadinya penurunan kuat tekan, kecepatan gelombang ultrasonik dan modulus elastisitas dinamik.	Hasil menunjukkan bahwa pengujian kuat tekan rata-rata beton campuran sisa pengujian mengalami peningkatan kuat tekan beton pada variasi 25% sebesar 25,3 MPa, 35% sebesar 26,7 MPa, dan 50% sebesar 28,6 MPa, akan tetapi tidak melebihi beton normal sebesar 30,6 MPa. Sedangkan, hasil pengujian UPV *test* mengalami peningkatan pada rata-rata cepat rambat gelombang variasi 25% sebesar 4034,0 m/s, 35% sebesar 4413,7 MPa, 50% sebesar 4589,3 m/s, serta beton normal nya sebesar 4534,3 m/s.	Hasil menunjukkan bahwa keberadaan baja secara signifikan memengaruhi hasil uji UPV dengan pembacaan UPV cenderung lebih tinggi ketika transduser ditempatkan dekat permukaan penguatan baja. Selain itu, jarak antar tulangan 90 mm tinggi sebesar 0,382 km/s dibandingkan dengan plat dengan jarak antar tulangan 150 mm.	Hasil menunjukkan bahwa nilai kuat tekan beton, kecepatan rambat gelombang dan modulus elastisitas terus meningkat hingga penambahan abu sekam sebesar 20 %. Modulus elastis dinamik menghasilkan nilai 39% - 45% lebih besar dibandingkan dengan modulus elastis statis disebabkan adanya perbedaan homogenitas pada variasi silinder.	Hasil menunjukkan bahwa batu karang pulau timor dengan presentasi 25% dapat digunakan sebagai material alternatif pengganti kerikil dengan rata-rata gelombang UPV 4,56 km/s dengan umur beton 28 hari, kualitas beton yang dihasilkan termasuk kategori “bagus” dan koefisien variasi pada kategori “sangat bagus (excelent)”. Sedangkan, variasi penambahan batu karang sebesar 5% dan 25% mengalami peningkatan kecepatan gelombang UPV, dan mengalami penurun an pada variasi 50% penggunaan batu karang.	

2.4. Keaslian Penelitian

Pada rencana penelitian yang akan dilakukan terdapat perbedaan dengan penelitian terdahulu. Perbedaan penelitian sebelumnya, terdapat pada variasi parameter yang diuji, jenis beton yang digunakan, dan tujuan penelitian. Penelitian Alfirahman R., & Widodo, S. (2023) memfokuskan pengaruh serat limbah botol PET dan *fly ash* terhadap SCC dengan menggunakan beton mutu 40 MPa. penelitian Azhar et al., (2023) yang mempertimbangkan penggunaan beton sisa pengujian sebagai substitusi agregat kasar dalam beton K-350. Penelitian Rahmyanti (2018) meneliti pengaruh dari penggunaan limbah abu sekam padi dan *Viscocrete* 1003 terhadap kualitas beton normal dengan menggunakan UPV *test* pada beton mutu 25 MPa. Sedangkan, pada penelitian Lukas, A. Y., & Rafael. (2024) meneliti pengaruuh penggunaan batu karang sebagai pengganti kerikil pada beton normal Pada penelitian Salah et al., (2021) berfokus pada pengaruh jarak antar tulangan terhadap hasil pembacaan UPV *test*. Sementara itu, pada penelitian saat ini benda uji yang digunakan adalah sampel benda uji kubus dengan ukuran 150 mm x 150 mm x 150 mm dan plat beton dengan dimensi panjang 500 mm, lebar 500 mm, dan tinggi 120 mm. Pada sampel benda uji plat menggunakan penambahan baja tulangan dengan menggunakan tulangan ulir Ø10 mm, dan pengujian dilaksanakan saat beton berumur 28 hari dengan mutu K-250. Penelitian ini berfokus pada pengaruh adanya tulangan dan mengidentifikasi hasil pembacaan UPV *test* dan *hammer test*, serta mengetahui pengaruh perbedaan motede pengujian terhadap hasil pembacaan UPV *test* pada beton bertulang.

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Tinjauan Umum

Beton merupakan campuran yang terdiri dari agregat kasar dan agregat halus yang disatukan dengan air dan semen dalam jumlah perbandingan tertentu. Beton dapat dilakukan penambahan aditif untuk membantu mempermudah pekerjaan di lapangan. Dengan penambahan bahan aditif dapat memperoleh beton dengan karateristik tertentu, sehingga dapat mempermudah dalam proses pengerjaan (*workability*), durabilitas serta waktu pengerasan (Mc.Cormac, 2004).

Beton digunakan sebagai material yang sering ditemukan dalam dunia konstruksi, karena mempunyai kekuatan yang cukup mumpuni menahan beban dari suatu bangunan dan beton tahan terhadap temperatur yang tinggi, dengan biaya perawatan yang relatif lebih rendah, sehingga beton banyak diminati oleh masyarakat. Standarisasi karakteristik beton yang baik yaitu kepadatan yang baik sehingga dapat menahan beban bangunan konstruksi sehingga tidak mudah terjadinya keretakan.

Berdasarkan SNI 03-2847-2002, berdasarkan berat jenisnya beton dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu sebagai berikut.

1. Beton ringan merupakan beton dengan berat jenis kurang dari 1900 kg/m^3.
2. Beton normal merupakan dengan berat jenis 2200 – 2500 kg/m^3.
3. Beton berat merupakan beton dengan berat jenis lebih dari 2500 kg/m^3.

3.2 Material Penyusun Beton

Beton termasuk dalam struktur komposit yang terdiri dari bahan pengikat yang umumnya terdiri berupa semen, agregat kasar, dagregat halus, serta air. Pada material penyusun beton memiliki fungsi tertentu, semen bertindak sebagai pengikat untuk menyatukan agregat, agregat halus dan agregat kasar berfungsi untuk memberikan kekuatan dan stabilitas pada campuran beton, serta air yang

digunakan untuk menghidrasi semen dan membantu proses pencampuran semen dan agregat menjadi adonan pasta. Selain itu, untuk pembuatan beton bertulang diperlukan penambahan material penyusun yaitu tulangan baja. Berikut adalah material yang diperlukan dalam proses pembuatan beton.

3.2.1 Agregat

Agregat terdiri dari material granular seperti pasir, kerikil, dan batu pecah yang dicampur dengan semen dalam pembuatan beton ataupun mortar. Jumlah agregat yang mengisi beton berkisar 70-80% dari volume beton yang mengeras. Pada pengelompokan agregat dapat dibedakan melalui ukuran dari agregat berdasarkan saringan, agregat dengan ukuran lebih dari 4,75 mm termasuk sebagai agregat kasar, sedangkan agregat dengan ukuran kurang dari 4,75 mm termasuk sebagai agregat halus.

1. Agregat Kasar

   Agregat kasar merupakan material pada campuran beton yang diperoleh dari pecahan batuan alami atau batuan yang dihasilkan dari alat pemecah batu (*stone crusher*). Berdasarkan SNI 1970-2008, ukuran butir yang digunakan pada agregat kasar merupakan butiran antara 4,75 sampai 40 mm. Berdasarkan ASTM C33, ukuran partikel butir lebih dari 5 mm atau antara 9,5 mm hingga 37,5 mm. Ketentuan agregat kasar sebagai berikut.

   a. Agregat kasar memiliki butiran yang keras dan tidak memiliki pori.
   b. Agregat kasar tidak dapat pecah maupun hancur dari pengaruh cuaca.
   c. Kandungan lumpur tidak melampaui 1% bila lebih dari itu maka agregat kasar dapat dicuci dahulu.
   d. Agregat kasar tidak terdapat kandungan zat reaktif yang bisa merusak beton seperti alkali.
   e. Agregat kasar berbentuk pipih digunakan jika beratnya tidak melebihi dari 20% agregat seluruhnya.
   f. Ukuran maksimum agregat kasar tidak melampaui 1/5 jarak terkecil dari sisi cetakan, 1/3 ketebalan plat lantai, dan 3/4 jarak bersih minimum antar tulangan.

Untuk mengetahui sifat-sifat dari agregat kasar diperlukan beberapa pengujian yang bisa diilakukan untuk mengidentifikasi sifat agregat kasar antara lain seperti pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian berat isi padat, analisa saringan. Berikut merupakan pengujian yang dilakukan pada penelitian ini sebagai berikut.

a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat

   Pengujian berat jenis dan penyerapan air merupakan pengujian yang digunakan untuk memperoleh nilai berat jenis dan daya serap air sebelum melakukan perencanaan *mix design*.

   1) Berat jenis kering mutlak (*bulk specific gravity*)

      Berat jenis kering mutlak yaitu perbandingan dari berat agregat kering dengan berat air suling yang volumenya setara dengan volume agregat pada kondisi jenuh dengan suhu tertentu.

   2) Berat jenis kering permukaan (*saturated and surface dry*/SSD)

      Berat jenis kering permukaan yaitu perbandingan dari berat agregat kering permukaan jenuh pada air suling mempunyai volume yang setara dengan volume agregat pada kondisi jenuh dengan suhu tertentu.

   3) Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)

      Berat jenis semu yaitu perbandingan dari berat agregat kering pada berat air suling yang volumenya setara dengan volume agregat kering dengan suhu tertentu.

   4) Penyerapan air

      Penyerapan air yaitu persentase berat air yang bisa diserap pada pori terhadap berat agregat kering.

   Untuk memperoleh nilai dari pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar dapat digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{Bk}{Bj - Ba} \tag{3.1}$$

$$\text{Berat jenis (SSD)} = \frac{Bj}{Bj - Ba} \tag{3.2}$$

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

Penyerapan air $= \frac{Bj - Bk}{Bk} \, x \, 100$ (3.4)

dengan :

Bk = berat kerikil dalam keadaan mutlak (gram),

Bj = berat kerikil keadaan jenuh kering muka (gram),

Ba = berat kerikil di dalam air (gram).

b. Pengujian berat isi padat

Pengujian berat isi padat diperoleh dari nilai perbandingan berat agregat padat dengan volume benda uji yang digunakan pada pengujian. Untuk memperoleh nilai berat isi padat agregat kasar dapat digunakan persamaan berikut.

Berat isi padat $= \frac{W}{Vol}$ (3.5)

dengan :

W = berat kerikil dalam keadaan mutlak (gram),

Vol = berat kerikil keadaan jenuh kering muka (gram).

c. Pengujian analisa saringan

Pengujian ini digunakan untuk mengklasifikasikan butiran-butiran agregat berdasarkan ukuran butiran. Berdasarkan saringan ini akan diperoleh antara agregat kasar dan agregat halus yang digunakan dalam pembuatan campuran beton. Pada pengujian analisa saringan untuk memperoleh perhitungan persentase dari berat yang hilang dan modulus kehausan digunakan persamaan sebagai berikut.

Persentase berat yang hilang $= \frac{a - b}{a} x \, 100\%$ (3.6)

Modulus kehausan $= \frac{\sum(\%kum) - 100}{100}$ (3.7)

dengan :

a = berat agregat dalam keadaan mutlak sebelum diayak (gram),

b = berat agregat setelah diayak (gram),

Σ(%kum) = berat tertinggal kumulatif (%).

2. Agregat Halus

Agregat halus adalah material pada campuran beton yang diperoleh dari pasir alam atau pasir buatan yang dihasilkan dari alat *stone crusher*. Agregat halus berfungsi sebagai material pengisi celah-celah antara agregat kasar sehingga membentuk ikatan yang kuat. Berdasarkan SNI 03-6820-2002 ukuran butir tidak lebih dari 4,76 mm dan berasal dari alam atau hasil olahan seperti hasil pemecahan maupun penyaringan. Untuk persyaratan pada agregat halus yang digunakan sebagai material campuran beton sebagai berikut.

a. Butiran agregat halus terdiri dari beraneka ragam besarnya.
b. Bentuk butiran agregat halus harus kuat dan tajam, tidak pecah dan hancur dari pengaruh cuaca, serta bebas dari kandungan garam.
c. Kadar lumpur pada agregat halus tidak boleh melebihi dari 5% berat kering, apabila kadar lumpur melebihi 5% maka perlu dilakukan pencucian terhadap agregat halus.
d. Agregat halus tidak mengandung bahan organik terlalu banyak.

Pada penelitian ini material agregat halus menggunakan pasir dari progo. Untuk mengetahui kualitas dari pasir yang digunakan untuk campuran beton diperlukan beberapa pengujian yang bisa dilakukan seperti mengidentifikasi sifat agregat kasar antara lain seperti pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian berat isi padat, analisa saringan. Berikut merupakan pengujian yang dilakukan pada penelitian ini sebagai berikut.

a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat

Pengujian berat jenis dan penyerapan air merupakan pengujian yang digunakan untuk memperoleh nilai berat jenis dan daya serap air sebelum melakukan perencanaan *mix design*.

1) Berat jenis kering mutlak (*bulk specific gravity*)

Berat jenis kering mutlak yaitu perbandingan dari berat agregat kering dengan berat air suling yang volumenya setara dengan volume agregat pada kondisi jenuh dengan suhu tertentu.

2) Berat jenis kering permukaan (*saturated and surface dry*/SSD)

Berat jenis kering permukaan yaitu perbandingan dari berat agregat kering permukaan jenuh pada air suling mempunyai volume yang setara dengan volume agregat pada kondisi jenuh dengan suhu tertentu.

3) Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)

Berat jenis semu yaitu perbandingan dari berat agregat kering pada berat air suling yang volumenya setara dengan volume agregat kering dengan suhu tertentu.

4) Penyerapan air

Penyerapan air yaitu persentase berat air yang bisa diserap pada pori terhadap berat agregat kering.

Untuk memperoleh nilai dari pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus dapat digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Berat jenis curah} = \frac{Bk}{B + 500 - Bt} \tag{3.8}$$

$$\text{Berat jenis (SSD)} = \frac{500}{B + 500 - Bt} \tag{3.9}$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{Bk}{B + Bk - Bt} \tag{3.10}$$

$$\text{Penyerapan air} = \frac{500 - Bk}{Bk} \tag{3.11}$$

dengan :

Bk = berat pasir dalam keadaan mutlak (gram),

B = berat piknometer berisi air(gram),

Bt = berat piknometer berisi air dan pasir (gram).

b. Pengujian berat isi padat

Pengujian berat isi padat diperoleh dari nilai perbandingan berat agregat padat dengan volume benda uji yang digunakan pada pengujian. Untuk memperoleh nilai berat isi padat agregat halus dapat digunakan persamaan berikut.

$$\text{Berat isi padat} = \frac{W}{Vol} \tag{3.12}$$

dengan :

W = berat kerikil dalam keadaan mutlak (gram),

Vol = berat kerikil keadaan jenuh kering muka (gram).

c. Pengujian analisa saringan

Pengujian ini digunakan untuk mengelompokkan butiran-butiran agregat sesuai ukuran butiran. Berdasarkan saringan ini akan diperoleh antara agregat kasar dan agregat halus yang digunakan dalam pembuatan campuran beton. Pada pengujian analisa saringan untuk memperoleh perhitungan persentase dari berat yang hilang dan modulus kehausan digunakan persamaan sebagai berikut.

Persentase berat yang hilang $= \frac{a-b}{a} x\ 100\%$ (3.13)

Modulus kehausan $= \frac{\sum(\%kum) - 100}{100}$ (3.14)

dengan :

a = berat agregat dalam keadaan mutlak sebelum diayak (gram),

b = berat agregat setelah diayak (gram),

Σ(%kum) = berat tertinggal kumulatif (%).

d. Pengujian lolos saringan no.200

Berdasarkan SNI 03-2142-1996 uji lolos saringan no.200 merupakan pengujian dalam menentukan banyaknya jumlah material yang berhasil lolos saringan no.200 (ukuran 0,075 mm) setelah material agregat dilakukan pencucian sampai air cucian bening. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui material pada agregat yang tidak diinginkan seperti debu, lumpur, dan lain sebagainya. Agregat yang tidak bersih dapat berpengaruh pada kurangnya kemampuan ikatan antara agregat dengan semen, sehingga beton yang dihasilkan berkualitas rendah. Ukuran partikel debu halus dan lumpur yang menempel pada agregat berkisar 0,002 sampai 0,006 mm (2 sampai 6 mikron, partikel tersebut mempengaruhi jumlah penambahan air pada proses pembuatan beton dan akan berdampak pada kurangnya ikatan dari pasta semen dengan agregat. Berdasarkan SNI 03-2461-2002, kadar lumpur pada

agregat halus tidak boleh lebih dari 5% dan pada agregat kasar tidak boleh melebihi dari 1%. Maka dari itu untuk memperoleh nilai persentase daari kadar lumpur pada agregat halus dapat digunakan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Kandungan lumpur} = \frac{W1 - W2}{W1} x\ 100\% \quad (3.15)$$

dengan :

W1 = berat agregat halus kering oven (gram),

W2 = berat agregat halus kering oven setelah dicuci (gram).

3.2.2 Semen Portland (PC)

Semen adalah bahan dasar dalam pembuatan beton yang berperan sebagai perekat sehingga dapat mengikat material agregat menjadi keras dan kuat. Menurut Mulyono (2004), semen berperan sebagai pengikat antar agregat membuat suatu massa yang padat dan berfungsi sebagai pengisi celah rongga antar agregat. Semen *Portland* terdiri dari serbuk halus mineral kristalin yang bahan pokoknya yaitu aluminium silikat dan kalsium. Pencampuran air pada mineral tersebut dapat membuat menjadi pasta yang akan mengeras dan memiliki kekuatan yang besar. Berdasarkan SNI 15-2049-2004, klasifikasi semen dibedakan menjadi 5 kategori yaitu sebagai berikut.

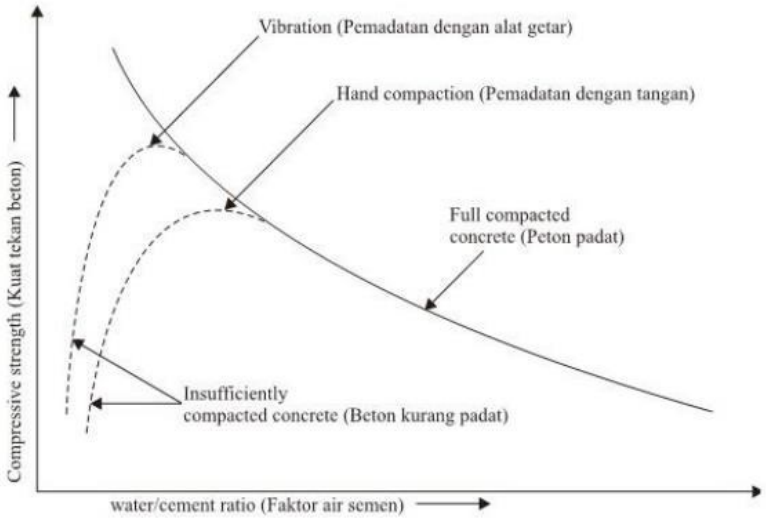
1. Semen *portland* tipe I, yaitu semen umum yang sering digunakan dalam pekerjaan konstruks dan tidak membutuhkan syarat khusus panas hidrasi, sehingga dapat digunakan pada konstruksi di kawasan luar pantai.
2. Semen *portland* tipe II, yaitu semen yang memiliki panas hidrasi lebih kecil dan bisa tahan dari senyawa sulfat 0,1-0,2%, sehingga tipe semen ini biasa dipakai untuk konstruksi seperti irigasi, bendungan, maupun konstruksi lain disekitar pantai.
3. Semen *portland* tipe III, yaitu semen yang bisa membuat kuat tekan beton awal yang besar, kuat tekan beton yang terjadi lebih tinggi dari tipe semen biasa, tetapi panas hidrasi yang terjadi juga lebih tinggi dari panas hidrasi semen *portland* tipe I.

4. Semen *portland* tipe IV, yaitu semen yang baik untuk proses pengecoran beton yang massif. Hal ini disebabkan panas hidrasi yang terjadi pada tipe semen ini cukup rendah.
5. Semen *portland* tipe V, yaitu semen yang dipakai pada struktur beton yang membutuhkan ketahanan yang besar dari pengaruh senyawa sulfat yang lebih dari 0,2%. Semen tipe ini biasa dipakai pada konstruksi pertambangan ataupun konstruksi dalam air.

3.2.3 Air

Air menjadi bahan dasar proses pembuatan beton yang mempunyai peran penting saat terjadinya proses reaksi kimia yang disebut dengan reaksi hidrasi. Air yang bercampur semen akan membentuk pasta semen dan membungkus agregat menjadi kesatuan yang kokoh. Selain itu, air juga berperan dalam proses perawatan (*curing*) yang bertujuan untuk memelihara kualitas mutu beton dengan menghindari dari terjadinya kehilangan kadar air pada beton saat proses pengerasan awal dan dapat menjaga terjadinya perbedaan suhu beton dari pengaruh cuaca

Faktor air semen sangat berpengaruh terhadap kekuatan beton. Jumlah air yang tinggi menghasilkan kuat tekan beton yang rendah dan membuat air dan butiran semen naik ke permukaan beton yang telah dituangkan (*bleeding*). Namun, jumlah air yang rendah akan memprengaruhi proses hidrasi yang tidak semuanya selesai. Maka dari itu dibutuhkan nilai faktor air semen (FAS) untuk memperoleh nilai kuat tekan dan modulus elastisitas yang baik.



Gambar 3.1 Grafik Hubungan FAS dan Kuat Tekan
(Tjokrodilmujo, 2007)

Pada pembuatan beton air yang dipakai harus memenuhi persyaratan sesuai SNI 03-6861.1-2002 yaitu sebagai berikut.

1. Air harus bersih dan tidak mengandung lumpur ataupun minyak, serta benda terapung lain yang bisa terlihat langsung,
2. Air tidak berisi zat-zat yang telah mengalami suspense lebih dari 2gram/liter,
3. Air tidak terdapat kandungan garam yang bisa merusak beton (zat asam, zat organik, dan lainnya),
4. Air tidak terdapat kandungan klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter dan tidak terdapat senyawa sulfar melebihi 1 gram/liter sebagi SO_3.

3.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton (*mix design*) merupakan pemilihan bahan yang digunakan pada proses pencampuran beton dengan memperhatikan kuantitas atau perbandingan dari seluruh material yang dipakai untuk memperoleh beton sesuai dengan persyaratan. Tujuan *mix design* adalah untuk peroleh perbandingan yang sesuai dengan kekuatan beton yang diinginkan secara efesien.

Menurut SNI 03-2843-2000 yang digunakan sebagai acuan pada penelitian ini dalam tahap proses perencanaan campuran beton (*mix design*). Adapun tahapan pada perencanaan campuran beton sebagai berikut.

1. Kuat tekan rencana

   Kuat tekan rencana (*f'c)* merupakan kuat tekan beton yang direncanakan pada usia beton tertentu yang dipakai pada perencanaan struktur.

2. Nilai standar deviasi

   Nilai standar deviasi bertujuan untuk mengetahui nilai penyimpangan dari beton. Adapun rumus dari standar deviasi adalah sebagai berikut.

$$Sr = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(xi - x)2}}{n-1} \quad (3.25)$$

$$Xrerata = \frac{\sum_{i=1}^{n} xi}{n} \quad (3.26)$$

   dengan:

   Sr = standar deviasi,

   Xi = nilai kuat tekan beton dari setiap sampel uji,

   x = nilai rata-rata kuat tekan beton,

   n = jumlah nilai hasil uji minimum diambil 30 buah (satu hasil uji adalah nilai uji rata-rata dari 2 buah benda uji).

   Dua sampel benda uji yang dipergunakan dalam penghitungan standar deviasi harus memenuhi standar berikut ini:

   1) mewakilkan material dari pengawasan kualitas mutu, dan kondisi produksi sampel benda uji yang sesuai dengan pekerjaan yang diusulakan
   2) mewakilkan nilai dari kuat tekan yang telah disyaratkan f'c
   3) minimum yang diujikan sebanyak 30 sampel benda uji, atau dua kelompok hasil pengujian yang diambil dari produksi kurang dari 45 hari
   4) jika produksi beton tidak mempunyai dua hasil benda uji yang memenuhi persyaratan standar deviasi, dan hanya mempunyai 15 – 29 hasil pengujian yang berurutan, maka nilai deviasi standar yaitu perkalian standar deviasi yang dihitung dari data hasil pengujian tersebut dengan faktor pengali yang terdapat pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3.1 Faktor Pengali untuk Deviasi Standar Jika Data Hasil Uji yang Tersedia < 30

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
< 15	Diuraikan lebih lanjut
15	1,16
20	1,08
25	1,03
≥ 30	1,00

(Sumber: SNI-03-2843-2000)

Jika data hasil pengujian kurang dari 15, maka nilai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan f'cr tidak boleh kurang dari f'c + 12 MPa

3. Nilai tambah

   Nilai tambah (margin) pada prencanaan campuran beton bisa didapatkan dengan persamaan sebagai berikut.

   M = 1,64 x *Sr* (3.27)

   dengan:

   M = nilai tambah

   Sr = standar deviasi

   1,64 = nilai ketetapan statistik yang nilainya pengaruh dari persentase kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5%.

4. Kuat tekan rata-rata rencana yang ditargetkan (*f'cr*)

   Kuat tekan rata-rata rencana beton yang ditargetkan bisa didapatkan dengan persamaan sebagai berikut

   f'cr = *f'c x* M (3.28)

   dengan:

   f'cr = kuat tekan beton rata-rata (MP

   f'c = kuat tekan beton yang direncanakan (MPa),

   M = nilai tambah atau margin (MPa).

5. Faktor air semen (FAS)

   Untuk memperoleh nilai faktor air semen (FAS) yang perlukan dalam pembuatan beton dalam memperoleh nilai kuat tekan rata-rata rencana, serta

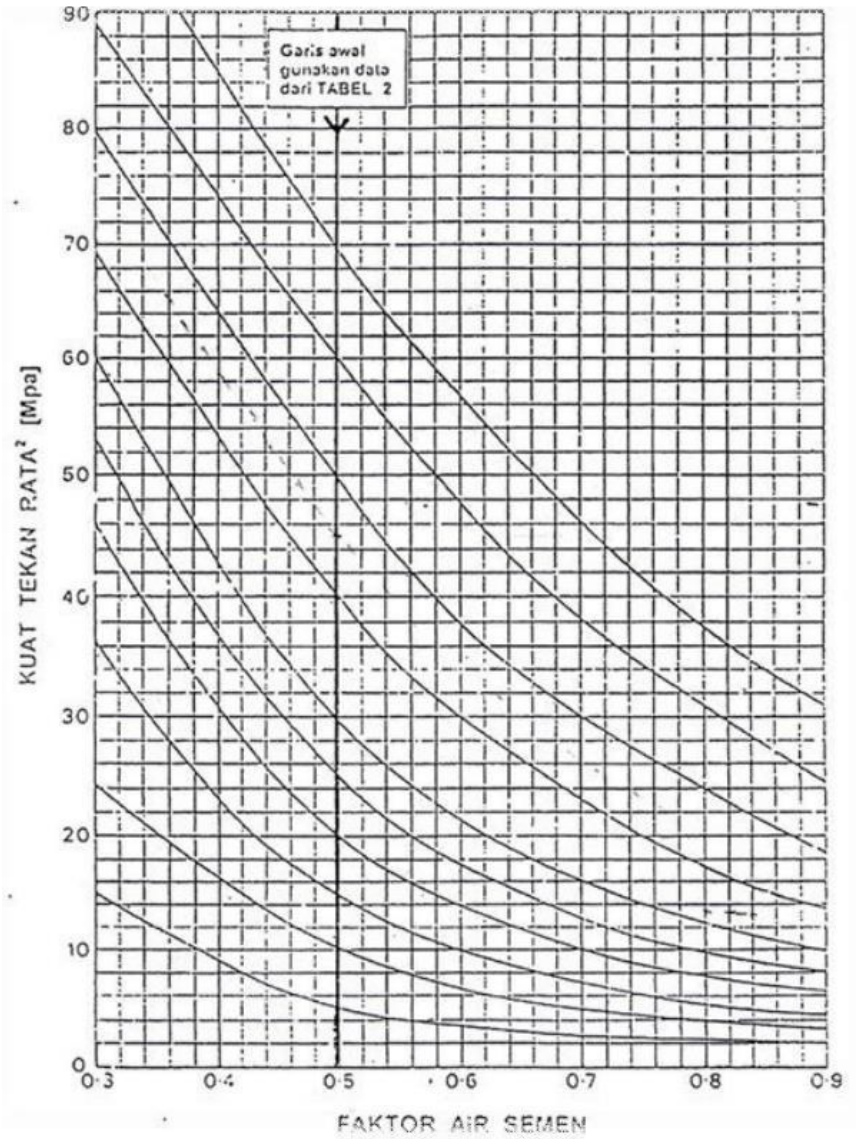
agregat kasar sebagai referensi awal untuk mencari FAS dapat diperoleh dari grafik Gambar 3.1 hubungan faktor air semen dan kuat tekan beton dan dapat mengenakan Tabel 3.2 untuk memperhitungkan kuat tekan beton dengan faktor air semen.

Tabel 3.2 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan FAS dan Agregat Kasar

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				
		Umur Beton (Hari)				Bentuk Benda Uji
		3	7	28	29	
Semen Portland Tipe I	Batu tidak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen tahan sulfat Tipe II & V	Batu tidak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	25	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tidak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tidak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

(Sumber: SNI-0302843-2000)

Setelah menentukan nilai kuat tekan baton yang ditentukan berdasarkan tabel diatas, maka untuk memperoleh nilai faktor air semen (FAS) dapat menggunakan grafik Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.2 Grafik Hubungan Kuat Tekan dan FAS
(Sumber: SNI-0302843-2000)

Setelah memperoleh nilai faktor air semen dengan menggunakan Grafik 3.2, maka untuk mendapatkan faktor air semen maksimum dapat menggunakan Tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan FAS Maksimum untuk Berbagai Macam dalam Lingkungan Khusus

Lokasi		Jumlah Semen Min Per m^3 Beton (Kg)	Nilai FAS Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan:			
a.	keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b.	keadaan keliling korosif disebabkan kondensasi/uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruang bangunan:			
a.	tidak terlindung hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b.	terlindung hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah:			
a.	mengalami keadaan basah dan kering bergantian	325	0,55
b.	terdapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	Lihat Tabel 3.4	
Beton yang kontinu berhubungan:			
a.	air tawar	Lihat Tabel 3.5	
b.	air laut		

(Sumber: SNI-0302843-2000)

Pada perencanaan campuran beton yang berhubungan dengan air tanah yang memiliki kandungan sulfat dapat menggunakan Tabel 3.4, sedangkan perencanaan campuran beton yang berada didalam air dapat menggunakan Tabel 3.5 sebagai berikut.

Tabel 3.4 Ketentuan untuk Beton yang Berhubungan dengan Air Tanah yang Mengandung Sulfat

Kadar Gangguan Sulfat	Konsentrasi Sulfat sebagai SO_3			Tipe Semen	Kandungan Semen Min Ukuran Normal Agregat Maks (Kg/m^3)			
	Dalam tanah		SO_3 dalam air tanah (g/L)		40 mm	20 mm	10 mm	FAS
	Total SO_3 (%)	SO_3 dalam campuran air : tanah =2:1(g/L)						
1	<0,2	<1,0	<0,3	Tipe I dengan atau tanpa Pozzolan (15 – 40%)	280	300	350	0.5
2	0,2-0,5	1,0–1,9	0,4-1,2	Tipe I dengan atau tanpa Pozzolan (15 – 40%)	290	330	350	0.5
				Tipe I Pozzolan (15-40%) atau Semen Portland Pozzolan	270	310	360	0.55
				Tipe II atau Tipe V	270	310	360	0.55
3	0,5-1,0	1,9-3,1	1,2-2,5	Tipe I Pozzolan (15-40%) atau Semen Portland Pozzolan	340	380	430	0.45
				Tipe II atau Tipe V	290	330	380	0.50
4	1,0-2,0	3,1-5,6	2,5-5,0	Tipe II atau Tipe V	330	370	420	0.45
5	>20	>5,6	>5,0	Tipe II atau Tipe V dan Lapisan pelindung	330	370	420	0.45

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

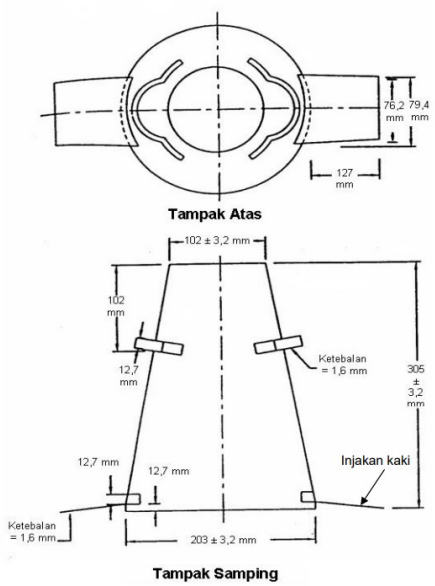
Tabel 3.5 Ketentuan Minimum untuk Beton Bertulang Kedap Air

Jenis Beton	Kondisi Lingkungan yang Berhubungan dengan	FAS Maks	Tipe Semen	Kandungan Semen Min (Kg/m^3)	
				Ukuran nominal maks agregat	
				40 mm	20 mm
Bertulang atau Pra tegang	Air tawar	0,50	Tipe-V	280	300
	Air payau	0,45	Tipe 1+ Pozolan (15-40%) atau Semen Portland Pozalen	340	380
	Air laut	0,50	Tipe II atau Tipe V		
		0,45	Tipe II atau Tipe V		

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

6. Pengujian *slump*

   Pengujian slump pada campuran beton berfungsi untuk melihat kualitas ataupun tingkat konsistensi dari campuran beton, sehingga dapat mengetahui tingkat workability dari beton yang akan dipakai. Pada penelitian ini pengujian slump mengacu pada SNI 1972-2008 memakai kerucut abram sebagai salah satu alat yang digunakan dalam pengujian ini.



Gambar 3. 3 Cetakan Kerucut Abram untuk Uji Slump

(Sumber: SNI 1972-2000)

Pada penentuan nilai slump yang digunakan berdasarkan dari peruntukan beton segar tersebut berdasarkan sesuai dengan PBI 1971. Ketentuan nilai slump dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3.6 Nilai Slump

No	Elemen Struktur	Slump Maks (Cm)	Slump Min (Cm)
1	Plat pondasi, pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
2	Podasi telapak tidak bertulang, kaison dan konstruksi bawah tanah	9,0	2,5
3	Plat lantai, balok, kolom, dan dinding	15,0	7,5
4	Jalan beton bertulang	7,5	5,0
5	Pembetonan massal	7,5	2,5

(Sumber: PBI 1971)

7. Ukuran maksimum butir agregat

   Ukuran butir agregat dapat mempengaruhi dari kemudahan dalam pengerjaan pembuatan beton (*workability)* dan juseperliga dapat mempangaruhi kekuatan pada beton. Berdasarkan SNI-03-2834-2000 besarnya butiran maksimum pada agregat tidak boleh melebihi sebagai berikut.

a. Satu perempat dari jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan beton,
b. Satu pertiga dari tebal pelatnya,
c. Tiga perempat jarak bersih minimum antara berkas-berkas tulangan atau batang-batang tulangan.

Ukuran batas-batas butiran agregat berdasarkan SNI-03-2834-2000 bisa dilihat pada tabel 3.7 bawah ini.

Tabel 3.7 Batas-batas ukuran butir agregat kasar

Ukuran Mata Ayakan (mm)	Persentase Berat yang Lewat Ayakan		
	Ukuran Maksimal Agregat (mm)		
	40	20	10
38,1	95-100	100	100
19,0	37-70	95-100	100
9,52	10-40	30-60	50-85
4,76	0-5	0-10	0-10

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

8. Kadar air bebas

Kadar air bebas merupakan proporsi air permeter kubik yang diperlukan pada saat proses pencampuran beton. Untuk mencapai nilai kadar air bebas bisa dilihat pada Tabel 3.8, dilanjutkan perhitungan dengan persamaan 3.29 sebagai berikut.

Tabel 3.8 Estimasi kadar air bebas (kg/mm^3) yang dibutuhkan berdasarkan nilai slump

Ukuran Maks Aggregat (mm)	Jenis Batuan	*Slump* (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

$$W = \frac{2}{3}W_h + \frac{1}{3}W_k \quad (3.29)$$

dengan:

W = jumlah kebutuhan air (liter/m3),

W_h = estimasi kebutuhan air untuk agregat halus,

W_k = estimasi kebutuhan air untuk agregat kasar.

9. Kebutuhan semen

Semen pada proses *mix design* menjadi peran utama sebagai perekat hidraulis yang berperan sebagai perekat dari agregat kasar dan agregat halus dan membuat suatu massa padat sekaligus sebagai pengisi celah rongga antar agregat. Maka dari itu, membutuhkan perencanaan yang sesuai dalam menentukan kebutuhan semen untuk mencapai kuat beton yang disyaratkan. Dalam menetukan kebutuhan semen sebagai berikut.

a. Menghitung kebutuhan semen

Untuk memperoleh kebutuhaan semen diperoleh berdasakan berat air dan nilai faktor air semen (FAS) dengan menggunakan persamaan berikut.

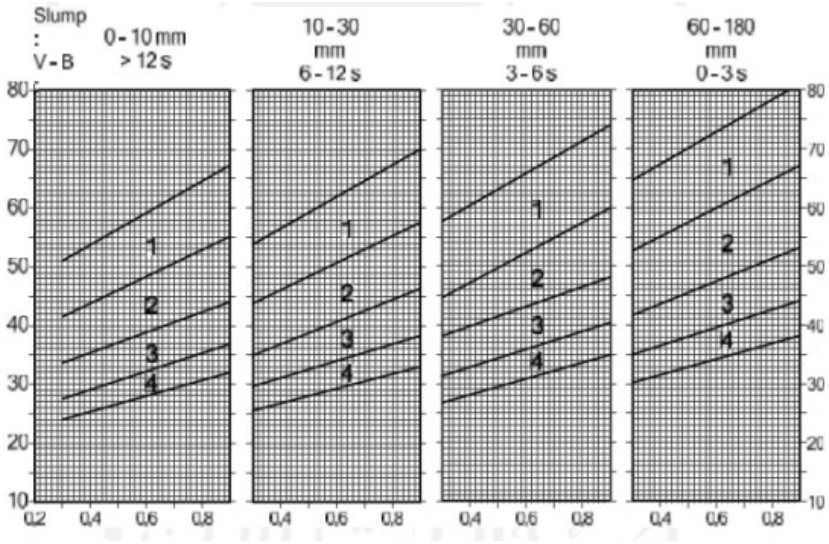
$$W_{semen} = \frac{W_{air}}{FAS} \quad (3.30)$$

b. Menentukan kebutuhan semen minimum

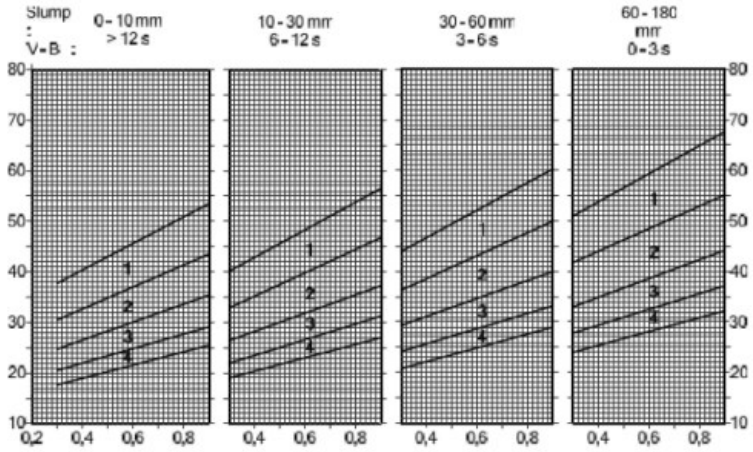
Menurut SNI-03-2834-2000 untuk memperoleh kebutuhan semen minimum dapat menggunakan Tabel 3.3, Tabel 3.4, Tabel 3.5. apabila cara pertama didapatkan kebutuhan semen lebih sedikit dibandingkan dengan kebutuhan semen minimum, maka yang dipakai untuk kebutuhan semen yaitu nilai yang terbesar dari kedua cara tersebut.

10. Menetukan presentase jumlah agregat halus

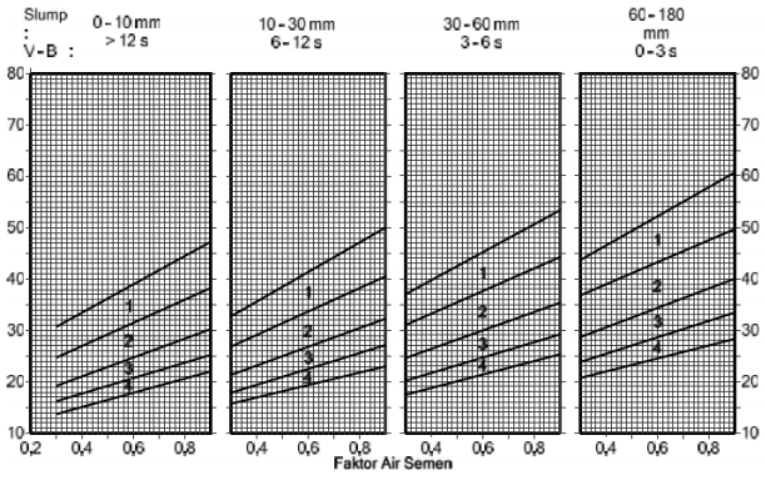
Menurut SNI-03-2834-2000 untuk memperoleh nilai presentase dari banyaknya agregat halus yaitu berdasarkan besar ukuran maksimum dari agregat kasar, faktor air semen (FAS), nilai *slump,* dan daerah gradasi agregat halus. Untuk memperoleh nilai dari presentase banyaknya agregat halus dapat melihat grafik pada gambar Gambar 3.6, Gambar 3.7, Gambar 3.8.



Gambar 3.4 Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 10 mm
(Sumber: SNI-03-2834-2000)



Gambar 3.5 Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm
(Sumber: SNI-03-2834-2000)



Gambar 3.6 Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 40 mm

(Sumber: SNI-03-2834-2000)

11. Berat jenis relatif gabungan

    Untuk menghitung berat jenis relatif gabungan antara agregat kasar dengan agreat halus dapat menggunakan persamaan berikut

    $$BJ_{gab} = \%AH \; x \; BJ_{halus} + \%AK \; x \; BJ_{kasar} \quad (3.31)$$

    dengan:

    BJ_{gab} = berat jenis dari agregat gabungan,

    BJ_{halus} = berat jenis dari agregat halus,

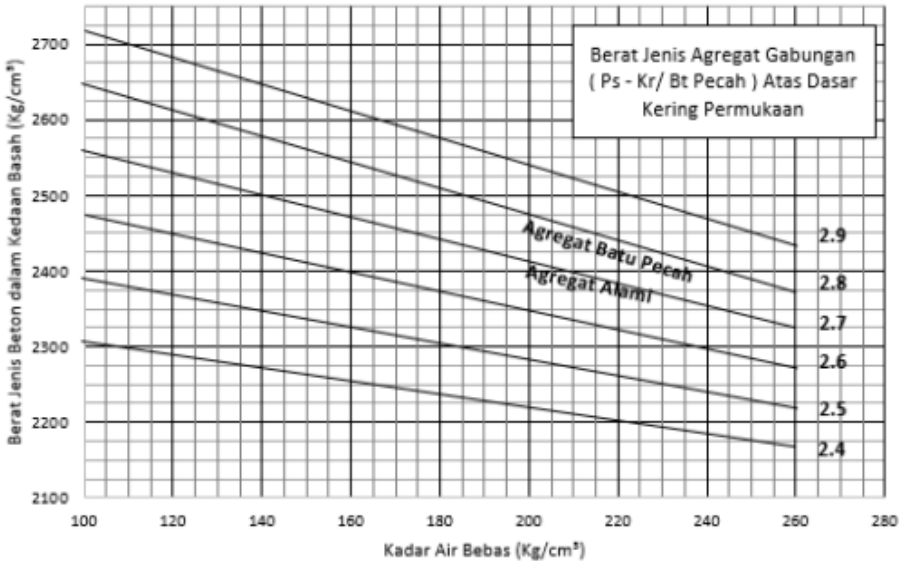
    BJ_{kasar} = berat jenis dari agregat kasar,

    %AK = persen dari agregat halus,

    %AH = persen dari kasar.

12. Menetukan berat isi beton

    Berat isi beton merupakan berat keseluruhan campuran beton yang terdiri dari semen, agregat kasar dan agregat halus, serta air dalam satuan kilogram permeter kubik (kg/m^2). Pada tahap sebelumnya diperoleh nilai kadai dari kadar air bebas dan berat jenis relative gabungan, kemudian dilanjutkan mencari berat isi beton dengan melihat grafik Gambar 3.9 dibawah ini.



Gambar 3.7 Berat isi beton
(Sumber: SNI-03-2834-2000)

13. Proporsi campuran beton

Campuran beton merupakan gabungan dari agregat halus, agregat kasar, air, dan semen. Sebelum dilakukannya pencampuran diperlukan perhitungan proporsi bahan-bahan terlebih dahulu. Untuk menghitung proporis campuran beton dapat menggunakan Persamaan 3.23 dan Persamaan 3.24.

$W_{halus} = (W_{isi\ beton} - W_{semen} - W_{air}) x\%AH$ (3.32)

$W_{kasar} = (W_{isi\ beton} - W_{semen} - W_{air}) x\%AK$ (3.33)

dengan:

W_{halus} = berat agregat halus,

W_{kasar} = berat agregat kasar,

$W_{isi\ beton}$ = berat isi beton,

W_{semen} = berat semen,

W_{air} = berat air,

%AH = persen agregat halus,

%AK = persen aggregat kasar.

3.4 Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton (*compression* test) termasuk pada jenis pengujian destruktif yaitu pengujian yang dilakukan dengan cara merusak. Pengujian ini merupakan hasil dari beban per satuan luas yang memiliki tujuan untuk mengidentifikasi nilai estimasi kuat tekan pada beton telah memenuhi persyaratan. Faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton sebagai berikut.

1. Material penyusun beton seperti semen, agregat, air (FAS), dan bahan tambah,
2. Metode *mix design* pada takaran material, pengadukan pengecoran, dan pada tahap pemadatan,
3. Dampak pengaruh cuaca yang dapat mempengaruhi suhu pada beton,
4. Pengaruh perawatan (*curing*) perendaman,
5. Zat perusak kimiawi seperti asam sulfat, air garam, alkali, dan lain sebagainya.

Berdasarkan SNI 1974-2011 untuk memperoleh nilai kuat tekan beton perlu dilakukan pengujian dengan alat uji tekan. Untuk memperoleh hasil nilai kuat tekan beton dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

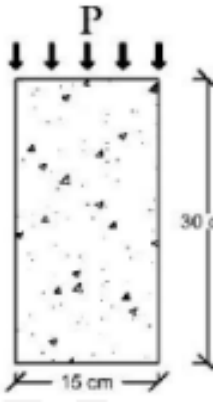
$$f'c = \frac{P}{A} \tag{3.34}$$

dengan:

$f'c$ = kuat tekan beton (MPa),

P = beban tekan (N),

A = luas penampang benda uji (mm^2).

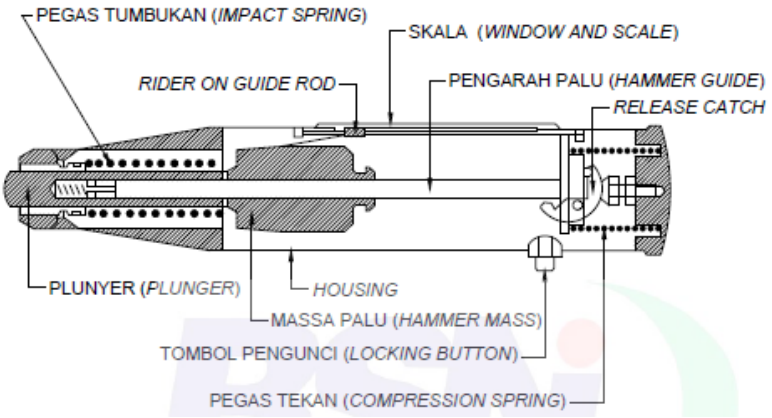


Gambar 3.8 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton

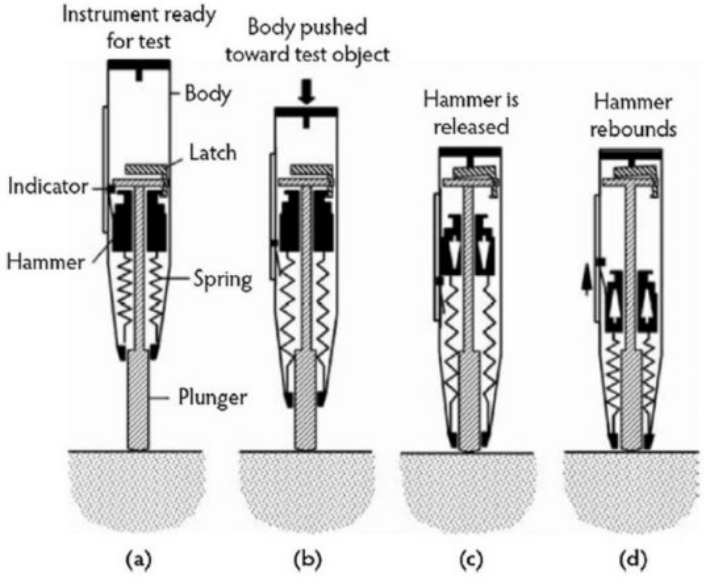
3.5 *Hammer Test*

Hammer test merupakan metode pengujian dengan metode non-destructive testing (NDT) yaitu pengujian yang dilakukan dengan tidak merusak benda uji. Alat yang digunakan pada pengujian ini menggunakan alat *hammer test* atau *rebound hammer*. Pengujian ini ditemukan pada tahun 1954 oleh insinyur sipil asal Swiss bernama Ernst O.Schmidt. teknologi ini kemudian dikembangkan secara komersial oleh Antonio Brandestini seprang pendiri perusahaan Proceq.

Menurut SNI ASTM C805:2012, metode pengujian *hammer* meliputi penetapan angka pantul beton keras dengan alat palu pantul yang dikenakan pegas.



Gambar 3.9 Alat *Hammer Test*

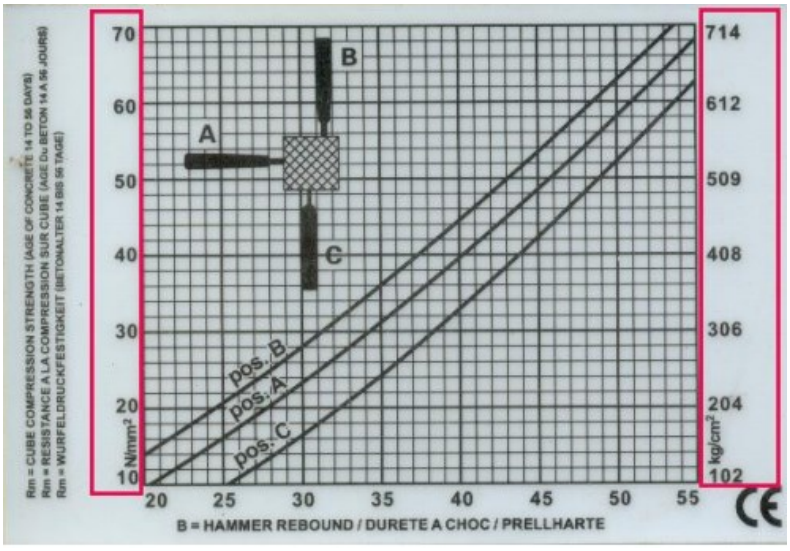


Gambar 3.10 Mekanisme Kerja *Hammer Test*

Hammer test sangat berguna untuk mengetahui kualitas dan menjaga keamaanan dari struktur konstruksi. Berdasarkan SNI ASTM C805:2012, kegunaan dari uji angka pantul sebagai berikut.

1. Metode ini berguna untuk mengetahui keseragaman beton di lapangan,
2. Digunakan untuk mengetauhi perikiraan dari kekuatan beton,
3. Pada campuran beton yang diketahui, nilai angka pantul disebabkan oleh faktor-faktor termasuk kelembapan pada permukaan bidang uji, tipe penyelesaian finishing, dan kedalaman karbonasi,
4. Pengujian untuk mengetahui perbandingan hasil dengan palu pantul yang sama,
5. Pengujian untuk mengetahui nilai besarnya perbedaan angka pantul pada sejumlah permukaan beton tipikal dengan beberapa palu pantul,
6. ketidakpastian yang implisit dalam estimasi kekuatan, metode pengujian ini tidak bisa dipakai sebagai dasar untuk menerima atau menolak beton.

Perolehan data dari tekanan pada permukaan benda uji beton menghasilkan nilai lenting (R) pada setiap titik pengujian, nilai hasil pengujian perlu dicatat dan dirata-ratakan. Jika selisih dari nilai pembacaan lebih dari 5 satuan dari nilai rata-rata, maka nilai lenting tidak diperhitungkan. Setelah itu, dilakukan perhitungan nilai rata-rata sisa untuk menentukan estimasi dari nilai kuat tekan dengan menggunakan kurva korelasi berikut.



Gambar 3.11 Kurva korelasi *Hammer Test* dan Kuat Tekan Beton

3.6 *Ultrasonic Pulse Velocity Test*

Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) termasuk metode *non-destructive testing* (NDT) untuk menentukan cepat rambat gelombang longitudinal beton. *Ultrasonic pulse velocity* dipengaruhi oleh kerapatan dan bentuk agregat beton. Pada pengujian ini kekuatan beton dapat dinilai dengan mengukur kecepatan gelombang ultrasonik (UPV) yang melewati struktur beton. Berdasarkan SNI ASTM C597:2012 kegunaan metode uji ini sebagai berikut.

1. Mengetahui keseragaman dan mutu relatif beton,
2. Mendeteksi jika terjadinya ketidaksempurnaan kedalaman retakan beton,
3. Mengetahui rongga yang mungkin terjadi akibat hidrasi semen atau kerusakan beton akibat kebakaran,
4. Dapat digunakan sebagai evaluasi efektivitas perbaikan beton, seperti terjadinya perubahan sifat-sifat beton dan untuk memperkirakan tingkat kerusakan beton.

Beberapa faktor yang mempengaruhi hasil pengujian ini yaitu panjang lintasan, bentuk dan ukuran benda uji, konten lembab beton, dan baja tulangan. Metode pengujian ini tidak bisa digunakan pada rambat gelombang jenis lain yang melewati beton. Rambatan gelombang longitudinal dipancarkan dari transduser elektro-akustik yang berhubungan dengan permukaan beton lainnya. Setelah melewati beton, rambat gelombang yang diterima akan diubah menjadi energi listrik oleh transduser kedua yang terletak pada jarak (L) dari transduser pemancar. Waktu tempuh (T) di ukur secara elektronik. Kecepatan gelombang (V) diperoleh dari pembagian jarak per waktu tempuh. Persamaan untuk mencari kecepatan rambat gelombang sebagai berikut.

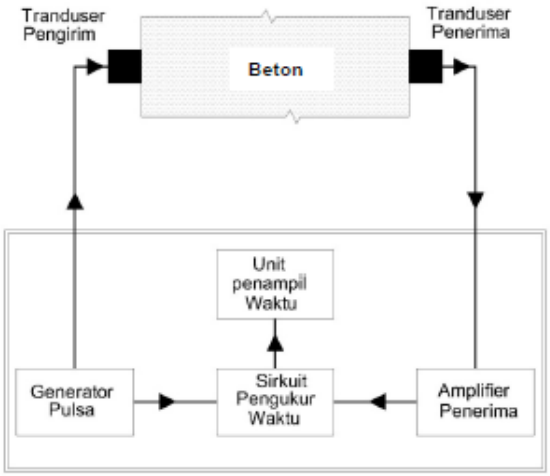
$$V = \frac{L}{T} \tag{3.35}$$

dengan:

V = kecepatan rambat gelombang (m/s),

L = jarak antara pusat permukaan transduser (m),

T = waktu tempuh (s).

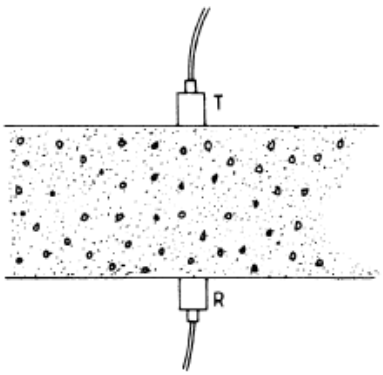


Gambar 3.12 Skematik Peralatan Pengujian UPV
(Sumber: SNI ASTM C597:2012)

Pengujian UPV *test* bekerja dengan mengubah gelombang listrik yang dibantu dengan generator pulsa *transducer* pengirim menghasilkan gelombang mekanik yang melewati rambatan pada beton. Setelah mencapai *probe reveiver*, energi gelombang ditukar menjadi energi gelombang listrik yang selanjutnya melewati penguat dan ditampilkan waktu tempuh tersebut dalam pencacah digital. Adapun jenis metode yang dapat diterapkan pada UPV *test* sebagai berikut

1. *Direct transmission*

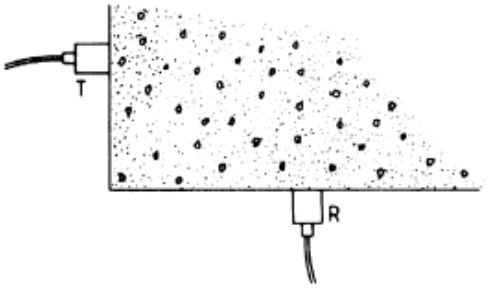
   Metode *direct transmission* yaitu meletakkan *probe* pengirim dengan *probe* penerima berhadapan. Panjang lintasan dapar diukur melalui jarak antar pusat transduser. *Direct transmission* menghasilkan konfigurasi optimal dengan amplitudo sinyal maskimum. Ilustrasi pengujian UPV dengan metode *direct transmission*



Gambar 3.13 UPV *Test* Metode *Direct Transmission*

2. *Semi-direct transmission*

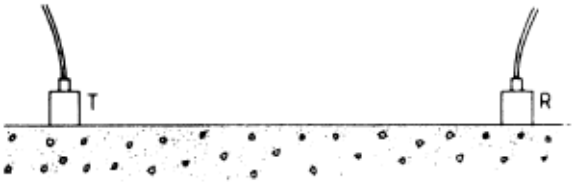
   Metode semi-*direct transmission* yaitu meletakkan *probe* pengirim dengan *probe* penerima secara tegak lurus membentuk huruf "L". Rentang panjang jarak diukur dari pusat *probe* pengirim ke pusat *probe* penerima.



Gambar 3.14 UPV *Test* Metode Semi-*Direct Transmission*

3. *In-direct transmission*

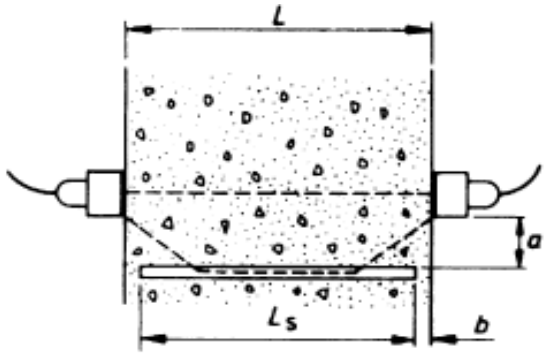
   Metode *in-direct transmission* yaitu meletakkan *probe* pengirim bersebelahan *probe* penerima dengan jarak *probe* paling dekat 150 mm. *In-direct transmission* menghasilkan amplitude sinyal yang lebih rendah dari *direct transmission*. Oleh karena itu, untuk mengukur kualitas beton menggunakan mode kecepatan permukaan pada alat untuk mengurangi ketidakpastian.



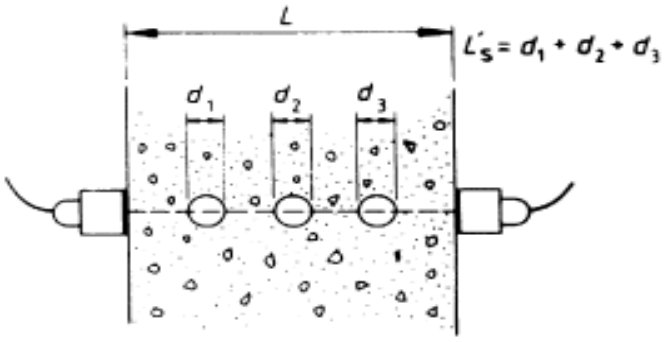
Gambar 3.15 UPV *Test* Metode *In-Direct Transmission*

Berdasarkan BS 1881-203:1986, pelaksanaan UPV *test* pada benda uji beton bertulang harus diperhatikan posisi dari sumbu tulangan dengan arah rambatan agar dapat menghindari arah rambatan sejajar dengan sumbu tulangan yang menyebabkan menurunnya keakuratan estimasi kecepatan rambat pada beton. Namun, jika pengukuran arah rambatan sejajar dengan sumbu tulangan maka nilai

yang dihasilkan perlu dilakukan koreksi. Nilai koreksi bertujuan untuk memungkinkan adanya tulangan yang akan mengurangi akurasi estimasi kecepatan rambatan pada beton. Maka dari itu saat pengukuran, baja tulangan tidak berada sejajar dengan transduser. Jika sumbu batang sejajar dengan arah perambatan, nilai kecepatan rambat gelombang terukur harus dikoreksi tergantung dari garis jalur dan tepi tulangan terdekat, diameter tulangan, dan kecepatan rambat sekitar beton. Sedangkan pada kondisi sumbu batang berada tegak lurus terhadap arah rambatan yaitu rambatan melintasi diameter penuh dari setiap tulangan, hal ini akan mempengaruhi kecepatan rambat pada baja ajan berkurang dibwah kecepatan yang diharapakan di sepanjang sumbu tulangan dengan ukuran yang sama. Ilustrasi pengujian UPV *test* pada beton bertulang dapat dilihat pada Gambar 3.16 dan Gambar 3.17.



Gambar 3.16 UPV *Test* pada Kondisi Sumbu Tulangan Sejajar dengan Arah Rambat
(Sumber: BS 1881-203:1986)



Gambar 3.17 UPV *Test* pada Kondisi Sumbu Tulangan Tegak Lurus dengan Arah Rambat
(Sumber: BS 1881-203:1986)

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Metode penelitian merupakan cara ilmiah dalam memperoleh data secara rasional, sistematis, dan empiris pada suatu penelitian, sehingga dapat memperoleh penelitian dengan validitas yang baik. Menurut Ramdhan (2021), metode penelitian merupakan cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan dan kegunaan tertentu. Pada penelitian ini, metode penelitian yang digunakan oleh peneliti menggunakan metode eksperimen yaitu melakukan percobaan langsung dan secara terstruktur. Metode ini bertujuan agar bisa mengetahui pengaruh antar variable secara terarah.

1. Tahapan persiapan terdiri dari penentuan sampel penelitian dan bahan serta peralatan pengujian.
2. Tahapan pelaksanaan terdiri dari pembuatan sampel benda uji dan pemeriksaan nilai slump dari beton segar.
3. Tahapan pengujian terdiri dari pengujian kuat tekan beton dengan metode *compression test*, *hammer test*, dan *ultrasonic pulse velocity* (UPV) *test*.
4. Tahapan pengumpulan data yang diperoleh setelah pelaksanaan pengujian.
5. Tahapan pengolahan data yang telah diperoleh setelah dilaksanakan pengujian kuat tekan beton sesuai dengan standar yang ditetapkan.

4.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Struktur Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Sampel benda uji yang digunakan peneliti pada penelitian ini berupa kubus berdiameter 150 mm, dan plat bertulang dengan panjang 500 mm, lebar 500 mm, dan tinggi 120 mm. Pengujian dilakukan pada beton berumur 28 hari dengan mutu K-250.

4.3 Bahan dan Peralatan Penelitian

4.3.1 Bahan yang Digunakan

Pada penelitian tugas akhir ini bahan-bahan yang dipergunakan yaitu sebagai berikut.

1. Semen Portland

   Semen Portland yang dipergunakan untuk pembuatan sampel benda uji beton pada penelitian ini yaitu semen Portland Composite Cemen (PCC) merk Tiga Roda.

2. Agregat

   Agregat kasar yang dipergunakan berasal langsung dari laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Struktur, Universitas Islam Indonesia, untuk agregat halus menggunakan pasir progo.

3. Baja Tulangan

   Pada tulangan pokok yang dipakai yaitu tulangan diameter 10 mm.

4. Air

   Air yang dipergunakan yaitu langsung dari laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Struktur, Universitas Islam Indonesia. Air yang dipakai harus memeuhi sesuai dengan persyaratan.

4.3.2 Peralatan yang Digunakan

Pada penelitian tugas akhir ini alat-alat yang dipergunakan yaitu sebagai berikut.

1. Timbangan

   Timbangan berguna mengetahui berat beton, dan untuk mengetahui jumlah takaran material yang akan dipergunakan dalam pembuatan sampel benda uji beton.



Gambar 4.1 Timbangan

2. Gelas Ukur

   Gelas ukur berguna mengetahui volume material cair yang dipergunakan dalam proses pencampuran pembuatan sampel benda uji beton.



Gambar 4.2 Gelas ukur

3. Piknometer

   Piknometer merupakan alat yang dipakai dalam menentukan massa jenis sebuah cairan yang sering dipakai pada pembuatan beton untuk mengetahui jumlah massa jenis dari material campuran.



Gambar 4.3 Piknometer

4. Ayakan *Mesh*

   Ayakan *mesh* bergunakan untuk memisahkan agregat kasar dan agregat halus. Sehingga dapat mengetahui gradasi partikel agregat dalam pengujian analisa lolos saringan.



Gambar 4.4 Ayakan *mesh*

5. Oven

   Oven berguna dalam proses pengeringan material benda uji agregat untuk mengetahui berat jenis air dan daya serap air.



Gambar 4.5 Oven

6. Ember

   Ember berguna sebagai media untuk menampung dan memasukkan material ke dalam *mixer*.



Gambar 4.6 Ember

7. *Mixer*

   Mixer berguna untuk mengaduk material penyusun beton *ready mix* dengan bantuan listrik.



Gambar 4.7 *Mixer*

8. Alat Uji *Slump*

   Pada uji slump diperlukan alat uji seperti kerucut abram yang berguna untuk mengetahui nilai *slump* telah sesuai dengan persyaratan.



Gambar 4.8 Alat uji *slump*

9. Meteran

   Meteran digunakan untuk mengukur seperti mengukur tinggi jatuh pada pengujian nilai *slump*.



Gambar 4.9 Meteran

10. Cetakan

    Cetakan berguna sebagai media cetak dari pembuatan sampel benda uji sesuai dengan ukuran dimensi yang direncanakan.



Gambar 4.10 Cetakan

4.4 Tahap Persiapan Penelitian

Dalam suatu penelitian diperlukan persiapan penelitian dan prosedur penelitian yang baik, sehingga penelitan dapat berjalan dengan lancar dan memenuhi persyaratan

4.4.1 Persiapan Material

Persiapan material penelitian perlu dilakukan sebelum melakukan pembuatan sampel benda uji beton. Hal ini berguna untuk mengetahui material dan peralatan

yang akan dipakai selama penelitian berkualitas baik. Persiapan material yang dilakukan berupa persiapan dan pembersihan material. Adapun penjelasan lebih lanjutnya sebagai berikut.

1. Penyediaan material

   Penyediaan material yaitu mempersiapkan bahan-bahan material dan peralatan selama penelitian. Bahan material yang dipersiapkan seperti semen, agregat, baja tulangan, serta air. Peralatan yang dipersiapkan seperti alat-alat pengujian dan peralatan pendukung yang digunakan selama penelitian. Semua bahan material dan peralatan harus sesuai dengan rencana dan persyaratan.

2. Pembersihan material

   Pembersihan material bertujuan agar material yang digunakan bersih dari kotoran maupun benda asing lainnya. Hal ini dapat mempengaruhi kualitas beton sehingga dapat menurunkan kekuatan beton. Oleh karena itu, pembersihan material penting dilakukan untuk menjaga kualitas beton.

4.4.2 Pengujian Material

Setelah dilakukan persiapan material dilanjutkan pengujian pada bahan material seperti pengujian agregat yang akan dipakai pada penelitian ini. Adapun tahapan pengujian yang dilakukan sebagai berikut

1. Pengujian Agregat Kasar
   a. Penggujian berat jenis dan penyerapan air

      Berdasarkan SNI 03-1969-1990 tahapan-tahapan pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar sebagai berikut.

      1) Benda uji dilakukan pengeringan dengan oven pada suhu (110± 5) °C hingga agregat dalam keadaan berat uji tetap. Proses ini melibatkan 3 proses penimbangan dan pemanasan oven secara berturut dengan interval 2 jam agar tidak terjadi perubahan kadar air lebih besar dari 0,1%. Selanjutnya, sampel didiamkan pada suhu ruang dan direndam dalam air selama 24 jam,
      2) Setelah proses perendaman, air rendaman harus dibuang peerlahan agar butiran agregat tidak ada yang terbuang. Tahapan selanjutnya menyebarkan agregat diatas nampan untuk pengeringan dengan cara lap

dengan kain serap sehingga material agregat dalam keadaan kering permukaan jenuh,

3) Selanjutnya benda uji ditaruh didalam keranjang, dan digoyangkan agar udara yang tertahan dapat keluar. Kemudian direndam dalam air dengan mengukur suhu air dengan standar suhu standar 25°C, maka dapat diperoleh dadta berat dalam air,
4) setelah semua tahapan selesai, maka akan diperoleh hasil data pengujian dengan menggunakan persamaan 3.1 sampai 3.4.

b. Pengujian berat isi padat

Berdasarkan SNI 03-4804-1998 tahapan-tahapan pengujian berat isi padat pada agregat halus sebagai berikut.

1) Benda uji yang akan dilakukan pengujian berat isi padat harus dalam keadaan jenuh atau kering permukaan.
2) Selanjutnya benda uji dimasukkan dalam cetakan,
3) Tahapan benda uji dimasukkan dalam cetakan dilakukan bertahap yaitu sebanyak 1/3 dari volume isi cetakan dan dilanjutkan penumbukkan sebanyak 25 kali. Ulangin proses tersebut hingga benda uji memenuhi dari cetakan,
4) Setelah benda uji telah memenuhi dari isi volume cetakan, dilakukan penimbangan cetakan dan benda uji untuk mengetahui beratnya,
5) Setelah semua tahapan selesai maka akan diperoleh data hasil pengujian menggunakan persamaan 3.5.

c. Pengujian analisa saringan

Berdasarkan SNI 03-1968 tahapan-tahapan pengujian analisa saringan pada agregat halus sebagai berikut.

1) Benda uji dilakukan pengeringan dengan oven pada suhu (110± 5) °C hingga agregat dalam keadaan berat uji tetap. Proses ini baiknya dilakukan minimal 2 kali pengujian untuk memperoleh hasil dengan ketelitian yang baik,
2) Setelah proses pengeringan oven, benda uji didinginkan di suhu ruang selama 1 sampai 3 jam,

3) Tahapan selanjutnya menimbang benda uji sebanyak 2000 gram, dilanjutkan persiapan alat ayakan dan memasukkan benda uji kedalam mesin ayakan pada mesin pengguncang. Proses pengguncangan ayakan memerlukan waktu sekitar 10 hingga15 menit,
4) Setelah proses pengguncangan, benda uji dikeluarkan dari tiap bagian saringan dan diletakkan pada cawan, tahapan ini harus dilakukan hati-hati jangan sampai ada material benda uji yang tertinngal,
5) Selanjutnya menimbang dan mencatat berat benda uji yang terdapat pada tiap saringan,
6) Setelah semua tahapan selesai dapat diperoleh data pengujian dan dapat dilakukan analisis pada persamaan 3.13 dan 3.14.

2. Pengujian Agregat Halus

a. Penggujian berat jenis dan penyerapan air

Berdasarkan SNI 03-1970-1990 tahapan-tahapan pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus sebagai berikut.

1) Benda uji dilakukan pengeringan dengan oven pada suhu (110± 5) °C hingga agregat dalam keadaan berat uji tetap. Proses ini melibatkan 3 proses penimbangan dan pemanasan oven secara berturut dengan interval 2 jam. Selanjutnya, sampel didinginkan pada suhu ruang dan direndam dalam air selama 24 jam,
2) Setelah proses perendaman, air rendaman harus dibuang perlahan agar butiran agregat tidak ada yang terbuang. Tahapan selanjutnya menyebarkan agregat diatas nampan untuk pengeringan dengan cara membalik-balik material hingga material agregat dalam keadaan kering permukaan jenuh,
3) Tahapan selanjutnya setelah agregat keadaan kering permukaan jenuh dilakukan pemeriksaan dengan memasukkan agregat kedalam kerucut terpancung dan dipadatkan dengan penumbuk 25 kali. Pemeriksaan dihentikan jika kerucut diangkat lalu benda uji runtuk, namun masih tetap keadaan bentuk cetakan,

4) Setelah agregat mencapai keadaan kering permukaan (SSD), agregat dimasukkan di dalam piknometer sebanyak 500 gram dan dimasukkan air sampai 90% dari piknometer. Dilanjutkan memutar-mutar sambal diguncang hingga gelembung udara didalam piknometer tidak terlihat.
5) Piknometer direndam dalam air dengan mengukur suhu air dengan standar suhu standar 25°C,
6) Setelah itu dilanjutkan penambahan air suling hingga batas tanda.. Piknometer yang berisi air dan benda uji ditimbang dengan ketelitian 0,1 gram,
7) Selanjutnya mengeluarkan dan mengeringkan benda uji di oven dengan suhu (110 ± 5) °C hingga berat tetap dan dilanjutkan pendinginan benda uji di desikator,
8) Setelah pendinginan dilanjutkan penimbangan ulang pada benda uji.
9) Selanjutnya menimbang berat piknometer berisi air dan mengukur suhu air sesuai ketentuan,
10) Setelah semua tahapan selesai, maka akan diperoleh hasil data pengujian dengan menggunakan persamaan 3.8 sampai 3.11.

b. Pengujian berat isi padat

Berdasarkan SNI 03-4804-1998 tahapan-tahapan pengujian berat isi padat pada agregat halus sebagai berikut.

1) Benda uji yang akan dilakukan pengujian berat isi padat harus dalam keadaan jenuh atau kering permukaan.
2) Selanjutnya memasukkan benda uji ke dalam cetakan,
3) Tahapan memasukkan material benda uji dilakukan bertahap yaitu sebanya 1/3 ddari volume isi cetakan dan dilanjutkan penumbukkan sebanyak 25 kali. Ulangin proses tersebut hingga benda uji memenuhi dari cetakan,
4) Setelah benda uji telah memenuhi dari isi volume cetakan, lakukan penimbangan cetakan silinder dan benda uji untuk mengetahui beratnya,
5) Setelahs emua tahapan selesai maka akan diperoleh data hasil pengujian menggunakan persamaan 3.12

c. Pengujian analisa saringan

Berdasarkan SNI 03-1968 tahapan-tahapan pengujian analisa saringan pada agregat halus sebagai berikut.

1) Benda uji dilakukan pengeringan dengan oven pada suhu (110± 5) °C hingga agregat dalam keadaan berat uji tetap. Proses ini baiknya dilakukan minimal 2 kali pengujian untuk memperoleh hasil dengan ketelitian yang baik,
2) Setelah proses pengeringan oven, benda uji didinginkan di suhu ruang selama 1 sampai 3 jam,
3) Tahapan selanjutnya menimbang benda uji sebanyak 2000 gram, dilanjutkan persiapan alat ayakan dan memasukkan benda uji kedalam mesin ayakan pada mesin pengguncang. Proses pengguncangan ayakan ini membutuhkan waktu sekitar 10 sampai 15 menit,
4) Setelah proses pengguncangan, benda uji dikeluarkan dari tiap bagian saringan dan diletakkan pada cawan, tahapan ini harus dilakukan hati-hati jangan sampai ada material benda uji yang tertinngal,
5) Selanjutnya menimbang dan mencatat berat benda uji yang terdapat pada tiap saringan,
6) Setelah semua tahapan selesai dapat diperoleh data pengujian dan dapat dilakukan analisis pada persamaan 3.13 dan 3.14.

d. Pengujian lolos saringan no.200 (uji kadar lumpur)

Berdasarkan SNI 03-4142-1996 tahapan-tahapan pengujian lolos saringan no.200 pada agregat halus sebagai berikut.

1) Benda uji yang akan dilakukan pengujian berat isi padat harus dalam keadaan jenuh atau kering permukaan.
2) Tahapan berikutnya benda uji ditaruh pada saringan dan di alirkan air sebukupnya sehinnga material halus dapat menembus saringan no.200 dan material kasar tetap tertinggal. Proses pengaliran air sambil menggerakan benda uji pada saringan,
3) Lakukan tahapan diatas secara berulang hingga aliran air pencucian jernih,

4) Setelah itu benda uji dikeringkan dengan oven pada suhu (110 ± 5) °C dan benda uji ditimbang dengan ketelitian 0,1 gram,
5) Lalu setelah semua tahapan selesai dapat diperoleh data pengujian dan dapat dilakukan analisis pada persamaan 3.15.

4.5 Tahap Penelitian

Pada penelitian ini diperlukan tahapan-tahapan penelitian sesuai dengan prosedur yang bai, sehingga penelitian dapat terarah dan memenuhi bersyaratan. Adapun tahapan-tahapan pada penelitian ini sebagai berikut.

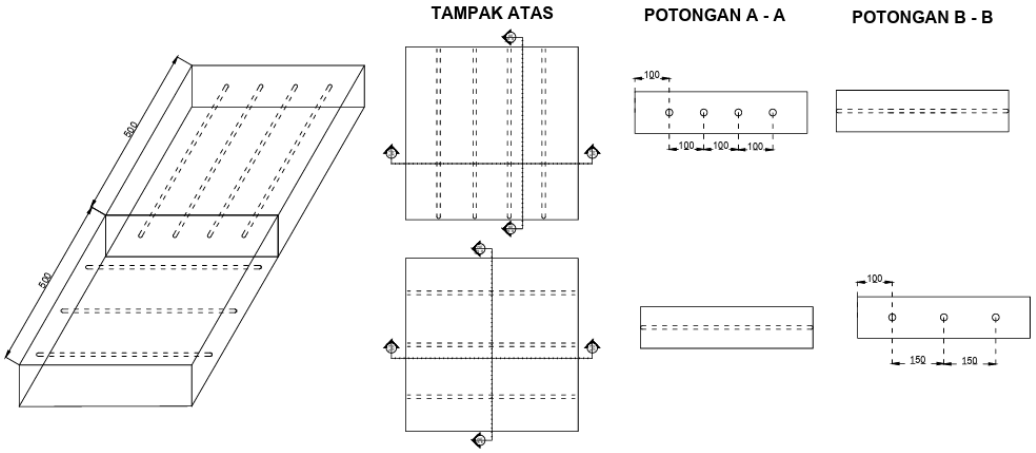
4.5.1 Pembuatan Sampel Benda Uji

Pembuatan benda uji diperlukan dalam suatu penelitian dan digunakan sebagai perolehan data dalam penelitian yang diuji dalam berbagai pengujian. Proses pembuatan campuran beton (*mix design*) mengacu pada SNI 03-2843-2000 dilakukan perencanaan dan perhitungan komposisi tiap material sehingga benda uji beton yang dihasilkan memiliki kekuatan sesuai standar, dengan usia beton yang dilakukan pengujian setelah berumur 28 hari. Pada penelitian ini peneliti melakukan pengujian terhadap benda uji kubus dan benda uji balok bertulang. Benda uji kubus berdimensi 150 mm x 150 mm, 150 mm. Sedangkan, benda uji plat bertulang dengan panjang 500 mm, lebar 500 mm, dan tinggi 120 mm. Adapun data yang disajikan dalam bentuk tabel pada benda uji plat beton bertulang sebagai berikut.

Tabel 4.1 Data Sampel Benda Uji Plat Beton Bertulang

Kode Benda Uji	Selimut Beton (mm)	Jumlah Tulangan (n)	Diameter Tulangan, Db (mm)	Jarak Antar Tulangan (mm)
BR - X	100	3	10	150
BR - Y	100	4	10	100

Berdasarkan Tabel 4.1 pembagian kode benda uji pada plat beton bertulang menjadi 2 macam bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah tulangan terhadap hasil bacaan pengujian. Ilustrasi sampel benda uji plat beton bertulang dapat dilihat pada Gambar 4.11 sebagai berikut.



Gambar 4. 11 Sampel Benda Uji Plat Beton Bertulang

Benda uji untuk plat beton bertulang terdiri dari 2 macam benda uji yaitu BR – X dengan jumlah 3 tulangan dan BR – Y dengan jumlah 4 tulangan. Benda uji BR – X mempunyai jarak antar tulangan 150 mm dengan kode Ø10 – 150. Sedangkan, benda uji BR – Y mempunyai jarak antar tulangan 100 mm dengan kode Ø10 - 100.

4.5.2 Pengujian *Workability* Campuran Beton

Tahap campuran beton harus melalui proses workability *testing* sebelum campuran tersebut dimasukkan ke dalam cetakan. Proses ini perlu dilakukan untuk mengetahui *workability* dari beton segar telah sesuai dengan persyaratan. Pengujian memakai kerucut Abraham yang diisi dengan beton segar dalam rasio campuran sesuai rencana. Nilai slump dapat ditentukan dengan mengukur ketinggian kerucut Abraham hingga titik tertinggi beton segar saat kerucut diangkat dan dilakukan penumbukkan pada tiap lapisannya.

4.5.3 Perawatan Sampel Benda Uji

Tahapan perawatan benda uji mengacu dalam prosedur pembuatan dan perawatan benda uji beton di laboratorium sesuai dengan batasan pada SNI-2493-2011. Dalam penelitian ini, sampel direndam dalam air setelah benda uji dikeluarkan dari cetakan. Masa perawatan (*curing*) beton maksimal 1 hari sebelum pengujian agar sampel benda uji kering saat dilakukan pengujian.

4.5.4 Pengujian Sampel Benda Uji

Pada penelitian ini pengujian yang dilaksanakan peneliti adalah pengujian kuat tekan beton dengan metode uji yang digunakan *compression test*, *hammer test*, dan *ultrasonic pulse velocity*. Penjelasan prosedur dari tiap metode uji yaitu sebagai berikut

1. *Compression test*

   Pengujian kuat tekan beton bertujuan untuk mengetahui kekuatan beton. Prosedur pelaksanaan pengujian kuat tekan beton berdasarkan dengan SNI -03-1974-2011 dengan umur beton telah mencapai 28 hari. Adapun tahapan pelaksanaan pengujian kuat tekan beton sebagai berikut.

   a. Sampel benda uji beton yang akan dilakukan pengujian harus dalam keadaan lembab dengan kondisi suhu ruang,
   b. Plat landasan ditempatkan pada dudukan alat uji tekan dan dipastikan permukaan plat bagian atas dan bawah, serta benda uji dalam keadaan bersih.
   c. Kemudian benda uji diletakkan pada plat landasan bawah, benda uji diletakkan berada bertepatan dengan sumbu pusat landasan,
   d. Setelah posisi benda uji sudah tepat, atur indikator beban berada diposisi nol dengan memutar skrup indikator,
   e. Selanjutnya benda uji dilakukan pembebanan sampai benda uji menjadi hancur, kemudian dilakukan pencatatan tipe kerusakan dan beban maksimum berdasarkan jarum indikator.

2. *Hammer test*

   Hammer test berguna untuk memperkirakan kekuatan beton dengan mencari korelasi antara angka pantul dan kekuatan beton. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberi beban tumbukkan pada permukaan beton dan massa tersebut dipantulkan kembali, dengan jarak pantulan yang terjadi memberikan indikasi kekerasan permukaan beton. Berdasarkan SNI ASTM C805:2012, Adapun tahapan prosedur dalam pelaksanaan pengujian yaitu sebagai berikut.

   a. Pemegangan alat harus secara kokoh dan posisi hulu palu harus tegak lurus terhadap permukaan beton,

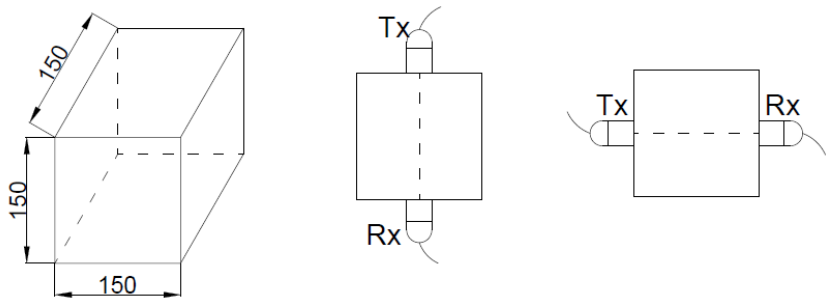
b. Selanjutnya, alat uji ditekan secara perlahan pada permukaan uji hingga palu pantul menumbuk hulu palu,
c. Kemudian tekanan pada alat ditahan dengan menekan tombol yang berada disisi alat guna mengunci hulu pantul agar tetap pada posisi,
d. Setelah itu dilakukan pembacaan dan pencatatan angka pantul pada skala untuk angka yang paling dekat, pembacaan dilakukan hingga 10 titik bacaan disetiap daerah pengujian dengan jarak antar titik bacaan lebih dari 25 mm,
e. Lakukan pemeriksaan beton setelah pengujian, jika permukaan beton pecah dan hancur sebab adanya rongga udara pembacaan dibatalkan, sehingga harus mengambil titik bacaan pada permukaan lain.

3. *Ultrasonic pulse velocity* (UPV) *test*

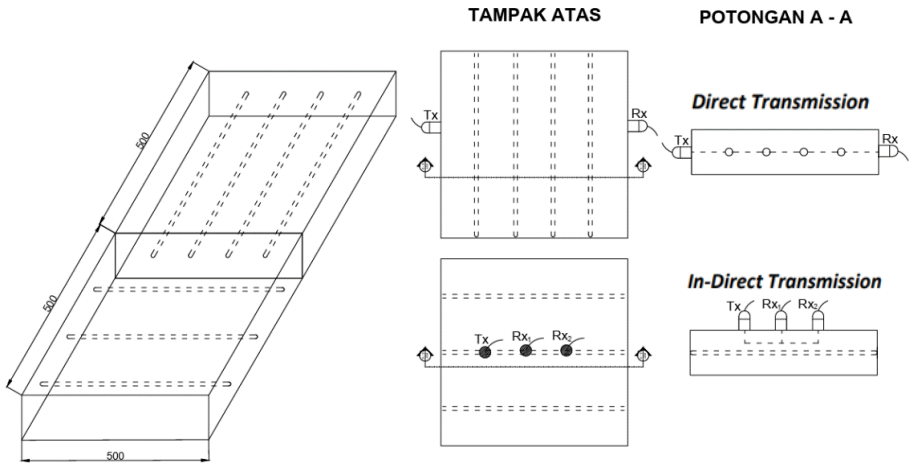
Pengujian *ultrasonic pulse velocity* bertujuan untuk mengidentifikasi mutu beton melalui pendekatan rambat dari gelombang *ultrasonic*. Berdasarkan SNI ASTM C805:2012, Adapun tahapan prosedur dalam pelaksanaan pengujian yaitu sebagai berikut.

a. Alat uji yang digunakan harus dipastikan dapat berfungsi dengan baik dan untuk permukaan beton yang akan diuji telah bersih dan rata.
b. Setelah permukaan beton telah rata dilakukan pengolesan dengan pelumas ataupun *petroleum jelly* pada permukaan benda uji,
c. *Setting* alat pada waktu nol, pelumas diaplikasikan pada tiap ujung batang kalibrasi,
d. kemudian kedua transduser ditekan pada tiap ujung batang kalibrasi hingga waktu tempuh sesuai dengan nilai yang ditandai. Pada beberapa perangkat, *setting* waktu nol dilakukan dengan cara pelumas yang diaplikasikan secara langsung dan kedua transduser ditekan secara bersamaan,
e. Pengukuran waktu tempuh dilakukan melalui batang kalibrasi untuk memastikan *setting* nol telah dilaksanakan dengan benar, pengukuran dilakukan pengulangan pada bagian sisi yang berbeda dan selalu dilakukan pencatatan dari jarak serta waktu tempuh.

Ilustrasi pengujian UPV pada benda uji kubus dan plat beton bertulangan dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13 berikut.



Gambar 4.12 Skema Pengujian UPV *Test* pada Benda Uji Kubus



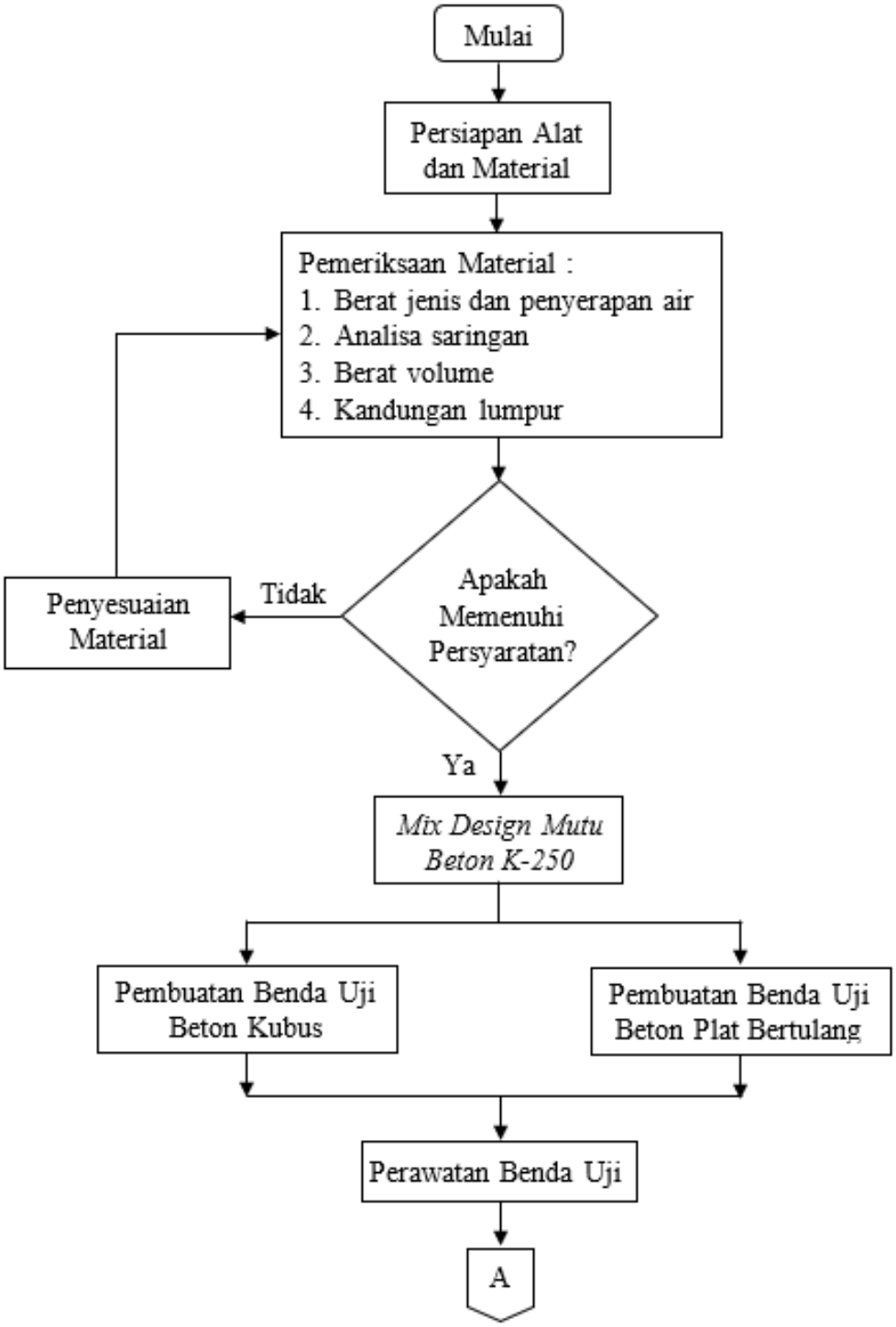
Gambar 4.13 Skema Pengujian UPV *Test* pada Benda Uji Plat Beton Bertulang

4.5.5 Analisis Pengujian Benda Uji

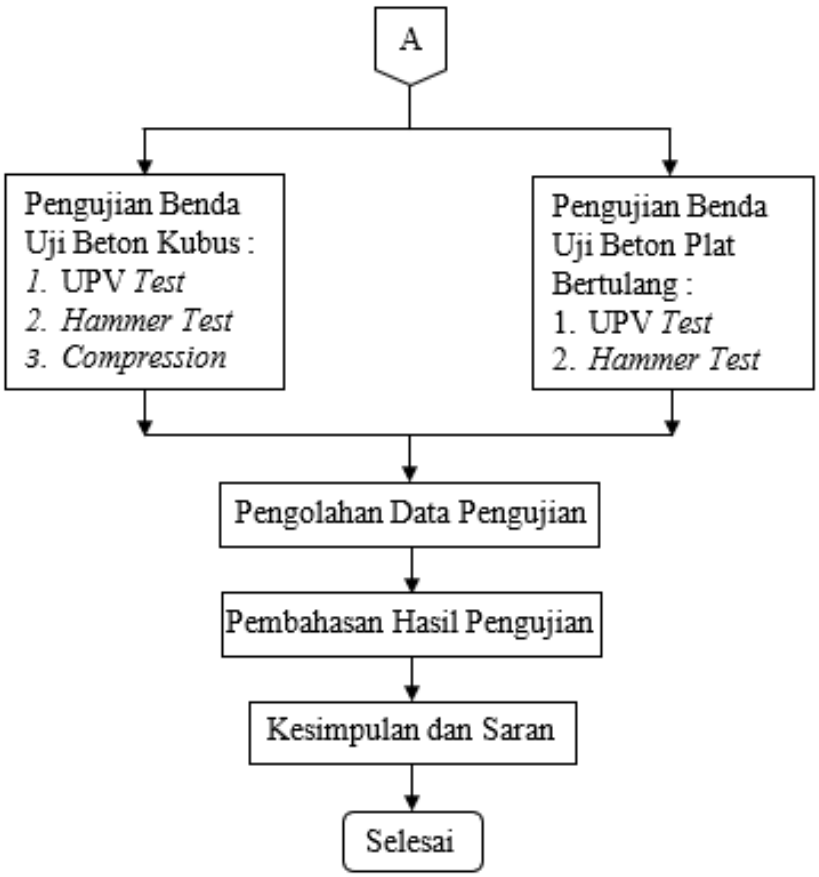
Penelitian ini akan dilakukan pengujian menggunakan *compression test*, *hammer test*, dan *ultrasonic pulse velocity* (UPV) *test*. Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh adanya tulangan terhadap hasil bacaan pengujian. Data hasil pengujian akan diolah menggunakan fitur *Bar Chart* pada *Microsoft Excel* untuk mengetahui perbandingan yang tersajikan dalam bentuk grafik batang dari hasil pengujian pada benda uji bertulang dan benda uji tidak bertulang. Selain itu, untuk pengujian UPV pada beton bertulang dilakukan analisis pengaruh perbedaan metode pengujian terhadap nilai cepat rambat yang dihasilkan.

4.6 Kerangka Konsep Penelitian

Pada penelitian ini terdapat rancangan peneliti yang digambarkan pada *flowchart* gambar 4.14 berikut.



Gambar 4.14 *Flowchart* Tahapan Pengujian Benda Uji di Laboratorium



Lanjutan Gambar 4.15 *Flowchart* Tahapan Pengujian Benda Uji di Laboratorium

BAB V
DATA, ANALISIS, DAN PEMBAHASAN

5.1 Tinjauan Umum

Penelitian ini diperoleh suatu data yang akan dilakukan sebuah analisis dan pembahasan sebagai tujuan dari penelitian ini. Penelitian yang telah dilakukan terdiri dari pemeriksaan material penyusun beton, perencanaan dan proses pencampuran bahan penyusun beton, dan pengujian beton yang telah direncanakan. Hasil penelitian akan dijabarkan pada bab ini mengenai hasil analisis dan pembahasan nilai kuat tekan beton.

5.2 Hasil Pemeriksaan Bahan Penyusun Beton

Pemeriksaan bahan penyusun dari beton diperoleh data material yaitu berat jenis dan penyerapan air, berat isi gembur, dan berat isi padat agregat. Pemeriksaan dilakukan dengan tujuan agar bahan penyusun beton sesuai dengan persyaratan. Bahan penyusun yang digunakan dalam pencampuran penyusun beton harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan, sehingga diperlukan pemeriksaan terhadap bahan penyusun beton.

5.2.1 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar

Bahan penyusun agregat kasar menggunakan kerikil dari Laboratorium FTSP UII. Pemeriksaan agregat kasar yang dilakukan meliputi pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air kasar, pengujian analisa saringan, dan pengujian berat volume padat dan berat volume gembur.

1. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

   Pada pelaksanaan pengujian ini menggunakan metode berdasarkan SNI 03-1969-1990. Perhitungan dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

   Berat jenis curah $= \frac{Bk}{Bj - Ba}$

$$= \frac{4878}{5000 - 3069}$$

$$= 2{,}470$$

Berat jenis (SSD) $$= \frac{Bj}{Bj - Ba}$$

$$= \frac{5000}{5000 - 3069}$$

$$= 2{,}589$$

Berat jenis semu $$= \frac{Bk}{Bk - Ba}$$

$$= \frac{4878}{4878 - 3069}$$

$$= 2{,}697$$

Penyerapan air $$= \frac{Bj - Bk}{Bk}\ x\ 100$$

$$= \frac{5000 - 4878}{4878}\ x\ 100$$

$$= \ 2{,}589\ \%$$

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat Kerikil Mutal (Bk)	4878
Berat Kerikil Jenuh kering muka (bj)	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3069
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,470
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2,589
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,697
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	2,50%

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan didapatkan berat jenis jenuh kering muka sebesar 2,589 gram/m^3 dan penyerapan air sebesar 2,50%. Pada umumnya nilai berat jenis normal agregat berada pada batasan antara 2,4 – 2,7 (TJokrodimuljo, 2007). Pengujian ini telah memenuhi dari batasan yang telah ditentukan yaitu 2,589 gram/m^3 nilai tersebut berada diantara batasan yang telah ditetapkan.

2. Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar

Pada pelaksanaan pengujian ini menggunakan metode berdasarkan SNI 03-1969-1990. Perhitungan dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	54	1,080	1,080	98,920
10,00	3485	69,760	70,840	29,160
4,80	1245	24,920	95,760	4,240
2,40	64	1,280	97,040	2,996
1,20	5	0,100	97	2,996
0,60	0	0	97	2,996
0,30	0	0	97	2,996
0,15	0	0	97	2,996
Sisa	143	2,862	100	0
Jumlah	4996	100	653	246,740
			MHB =	6,533

$$\text{MHB} = \frac{\Sigma\, Berat\ Tertinggal\ Kumulatif}{100}$$

$$= \frac{653{,}300}{100}$$

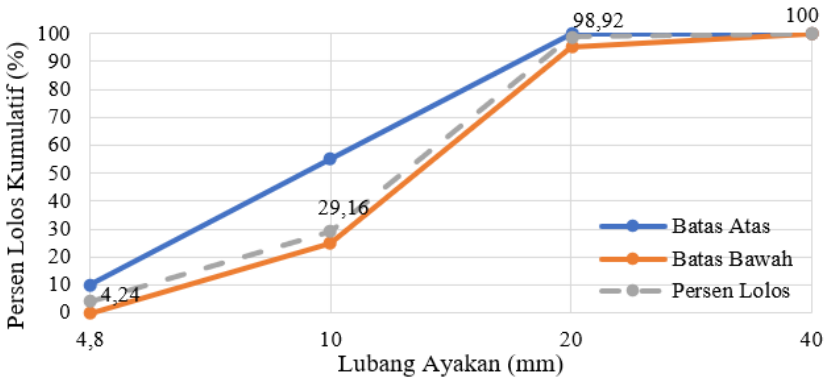
$$= 6{,}533$$

Hasil pengujian ini diperoleh nilai modulus halus butir sebesar 6,533. Pada umumnya nilai modulus halus butir agregat kasar berada diantara 6,0 - 7,0 (TJokrodimuljo, 2007). Pengujian ini telah memenuhi dari batasan yang telah ditentukan yaitu 6,533 nilai tersebut berada diantara batasan yang telah ditetapkan. Batasan gradasi ukuran butir maksimum untuk agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.3 Batas Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat Lolos Ayakan / Besar Butiran Maksimum		
	40 mm	20 mm	10 mm
40,00	95 - 100	100	-
20,00	37 - 70	95 – 100	100
10,00	10 - 40	30 – 60	50 – 85
4,80	0 - 5	0 - 10	0 - 10

Berdasarkan Tabel 5.3 batas gradasi agregat kasar memakai persyaratan gradasi agregat dengan butiran maksimum 20 mm. Grafik hubungan antara persentase butir yang lolos saringan dan persentase lolos kumulatif dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1 Batas Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm

3. Hasil pengujian berat volume gembur dan padat agregat kasar

Pada pelaksanaan pengujian ini metode yang digunakan mengacu berdasarkan SNI 03-4804-1998. Perhitungan dan hasil pengujian berat isi gembur dan berat isi padat dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5 berikut

Berat volume gembur $= \frac{W}{VOL}$

$= \frac{7635}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ 15^2\ x\ 30}$

$= 1{,}440$ gram/cm^3

Berat volume padat $= \frac{W}{VOL}$

$= \frac{8171}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ 15^2\ x\ 30}$

$= 1{,}548$ gram/cm^3

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat Tabung (W1), gram	10344
Berat Tabung + Agregrat kering tungku (W2), gram	17979
Berat Agregrat (W3), gram	7635
Volume Tabung (V), cm^3	5301,44
Berat Volume Gembur, $gram/cm^3$	1,440

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat Tabung (W1), gram	10344
Berat Tabung + Agregrat kering tungku (W2), gram	18515
Berat Agregrat (W3), gram	8171
Volume Tabung (V), cm^3	5301,438
Berat Volume Padat, $gram/cm^3$	1,541

Berdasarkan perhitungan dan hasil pengujian berat volume gembur dan volume padat pada agregat kasar diperoleh nilai sebesar 1,440 $gram/cm^3$ dan 1,548 $gram/cm^3$. Hasil nilai volume padat lebih besar dari volume gembur dikarenakan saat pengujian dilakukan penumbukan pada agregat kasar yang telah dimasukkan pada silinder setiap dan dilakukan setiap 1/3 dari tinggi silinder, penumbukan dilakukan berguna untuk mengurangi rongga udara sehingga nilai dari berat berat volume gembur.

5.2.2 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus

Pada penelitian ini pemeriksaan agregat halus menggunakan pasir progo. Pemeriksaan agregat kasar yang dilakukan meliputi pemeriksaan pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus, pengujianWS analisa saringan, pengujian berat volume padat dan berat volume gembur agregat halus, dan pengujian lolos saringan no.200 (uji kandungan lumpur pasir).

1. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus

   Pada pelaksanaan pengujian ini menggunakan metode berdasarkan SNI 03-1970-1990. Perhitungan dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Berat jenis curah $= \frac{Bk}{B + 500 - Bt}$

$= \frac{493}{659 + 500 - 969}$

$= 2{,}595$

Berat jenis (SSD) $= \frac{500}{B + 500 - Bt}$

$= \frac{500}{659 + 500 - 969}$

$= 2{,}632$

Berat jenis semu $= \frac{Bk}{B + Bk - Bt}$

$= \frac{493}{659 + 493 - 969}$

$= 2{,}694$

Penyerapan air $= \frac{500 - Bk}{Bk}\ x\ 100$

$= \frac{500 - 493}{493}\ x\ 100$

$= 1{,}42\ \%$

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat pasir kerinng mutlak, gram (Bk)	493
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	969
Berat piknometer berisi air, gram (B)	659
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,595
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) Bj/(Bj-Ba)	2,632
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,694
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	1,42%

Berdasarkan hasil dari pengujian dan analisis yang telah dilakukan didapatkan berat jenis jenuh kering muka sebesar 2,632 gram/m^3 dan penyerapan air sebesar 1,42%. Pada umumnya nilai berat jenis normal agregat berada diantara 2,4 – 2,7 (TJokrodimuljo, 2007). Pengujian ini telah memenuhi dari batasan yang telah ditentukan yaitu 2,632 gram/m^3 nilai tersebut berada diantara batasan yang telah ditetapkan.

2. Hasil pengujian analisa saringan agregat halus

Pada pelaksanaan pengujian ini menggunakan metode berdasarkan SNI 03-1968-1990. Perhitungan dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	0	0	0	100,00
2,40	6	0,30	0,30	99,70
1,20	55	2,75	3,05	96,95
0,60	556	27,77	30,82	69,18
0,30	1022	51,05	81,87	18,13
0,15	341	17,03	98,90	1,10
Sisa	22	1,099	100,000	0
Jumlah	2002	100	214,935	385,065
			MHB =	2,149

$$\text{MHB} = \frac{\Sigma\, Berat\ Tertinggal\ Kumulatif}{100}$$

$$= \frac{214{,}935}{100}$$

$$= 2{,}149$$

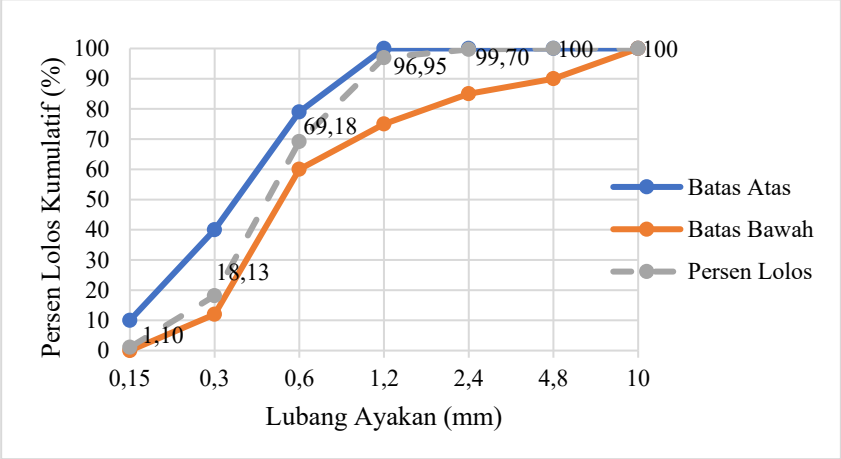
Hasil pengujian ini diperoleh nilai modulus halus butir sebesar 2,149. Secara umum nilai modulus halus butir agregat halus berada diantara 1,5 hingga 3,8 (TJokrodimuljo, 2007). Pengujian ini telah memenuhi dari batasan yang telah

ditentukan yaitu 2,149, nilai tersebut berada diantara batasan yang telah ditetapkan. Pada batasan gradasi ukuran butir maksimum untuk agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5.8 Batas Gradasi Agregat Halus

Gradasi Pasir				
Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat Lolos Ayakan (%)			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10,00	100	100	100	100
4,80	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2,40	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1,20	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0,60	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0,30	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0,15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

Berdasarkan Tabel 5.8 batas gradasi agregat halus menggunakan persyaratan gradasi agregat dengan menggunakan gradasi III. Grafik hubungan antara persentase butir yang lolos saringan dan persentase lolos kumulatif dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5.2 Batas Gradasi Agregat Halus Daerah III

3. Hasil pengujian berat volume gembur dan padat agregat kasar

   Pada pelaksanaan pengujian ini metode yang digunakan mengacu berdasarkan SNI 03-4804-1998. Perhitungan dan hasil pengujian berat isi gembur dan berat isi padat dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10 berikut

Berat volume gembur $= \frac{W}{VOL}$

$= \frac{7151}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ 15^2\ x\ 30}$

= 1,349 gram/cm^3

Berat volume padat $= \frac{W}{VOL}$

$= \frac{8474}{0{,}25\ x\ \pi\ x\ 15^2\ x\ 30}$

= 1,598 gram/cm^3

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat Tabung (W1), gram	5254
Berat Tabung + Agregrat kering tungku (W2), gram	12405
Berat Agregrat (W3), gram	7151
Volume Tabung (V), cm^3	5301,438
Berat Volume Gembur, gram/cm^3	1,349

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat Tabung (W1), gram	5254
Berat Tabung + Agregrat kering tungku (W2), gram	13728
Berat Agregrat (W3), gram	8474
Volume Tabung (V), cm^3	5301,438
Berat Volume Padat, gram/cm^3	1,598

Berdasarkan perhitungan dan hasil pengujian berat volume gembur dan volume padat pada agregat halus diperoleh nilai sebesar 1,349 gram/cm^3 dan 1,598 gram/cm^3. Hasil nilai volume padat lebih besar dari volume gembur dikarenakan saat pengujian dilakukan penumbukan pada agregat kasar yang telah dimasukkan pada silinder setiap dan dilakukan setiap 1/3 dari tinggi silinder, penumbukan dilakukan berguna untuk mengurangi rongga udara sehingga nilai dari berat volume padat yang dihasilkan lebih tinggi dari berat volume gembur.

4. Hasil pengujian lolos saringan no.200 (uji kandungan lumpur dalam pasir)

   Pada pelaksanaan pengujian ini menggunakan metode berdasarkan SNI 03-4243-1996. Perhitungan dan hasil pengujian lolos saringan no.200 dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut.

   Kandungan lumpur $= \frac{W1 - W2}{W1} \; x \; 100\%$

   $= \frac{500 - 493}{500} \; x \; 100\%$

   = 1,4%

Tabel 5.11 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500
Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci (W2), gram	493
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	1,4%

Menurut perhitungan dan hasil pengujian lolos saringan no.200 diperoleh nilai kadar lumpur sebesar 1,4%. Berdasarkan Persyaratan Umum Bahan Bangunan Indonesia (PUBI-1982), kandungan lumpur dalam agregat halus harus kurang dari 5%. Hasil pengujian ini telah memenuhi dari batasan yang telah ditentukan yaitu 1,4%, nilai tersebut sesuai dengan batasan yang telah ditetapkan. Kandungan lumpur yang tinggi akan mempengaruhi kelekatan antara agregat halus dan pasta semen, hal ini disebabkan karena kandungan lumpur akan mengisi ikatan pasta semen dengan agregat halus sehingga dapat mempengaruhi kelekatannya.

5.3 Perhitungan Campuran Beton

Pada pelaksanaan campuran beton (*mix design*) dilakukan dengan mengacu pada SNI 03-2843-2000. Tahapan ini bertujuan untuk memperoleh perbandingan dari seluruh campuran material yang dipakai untuk mendapatkan kuat tekan beton yang direncanakan. Perencanaan beton normal yang direncanakan yaitu K-250 dengan mengkonversi menjadi satuan MPa atau setara dengan *f'c* 20,75 MPa. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

1. Nilai kuat tekan rencana ($f'c$) = 20,75 MPa dan pengujian benda uji dilakukan pada umur rencana 28 hari.
2. Deviasi standar nilai sebesar 7 MPa diambil dari tingkat pengendalian mutu pekerjaan.
3. Nilai tambah (M) = 12 MPa, dengan rumus M = 1,64 x S = 11,48 atau 12 MPa.
4. Kekuatan yang direncanakan didapat $f'cr = f'c$ + M = 32,75 MPa.
5. Semen portland tipe I yaitu PCC merek Tiga Roda.
6. Agregat yang digunakan terdiri dari agregat halus dari Progo dan agregat kasar dengan ukuran maksimum 20 mm.
7. Nilai FAS diperoleh berdasarkan grafik hubungan antara kuat tekan rata-rata dan faktor air semen berdasarkan umur benda uji dan jenis semen.
   a. Perkiraan kekuatan tekan dapat diperoleh dengan memperhatikan Tabel 5.12 dengan mempertimbangkan jenis semen dan agregat, bentuk benda uji, dan umur beton saat mencapai kekuatan tekan yang diinginkan.

Tabel 5.12 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton dengan FAS dan Agregat Kasar

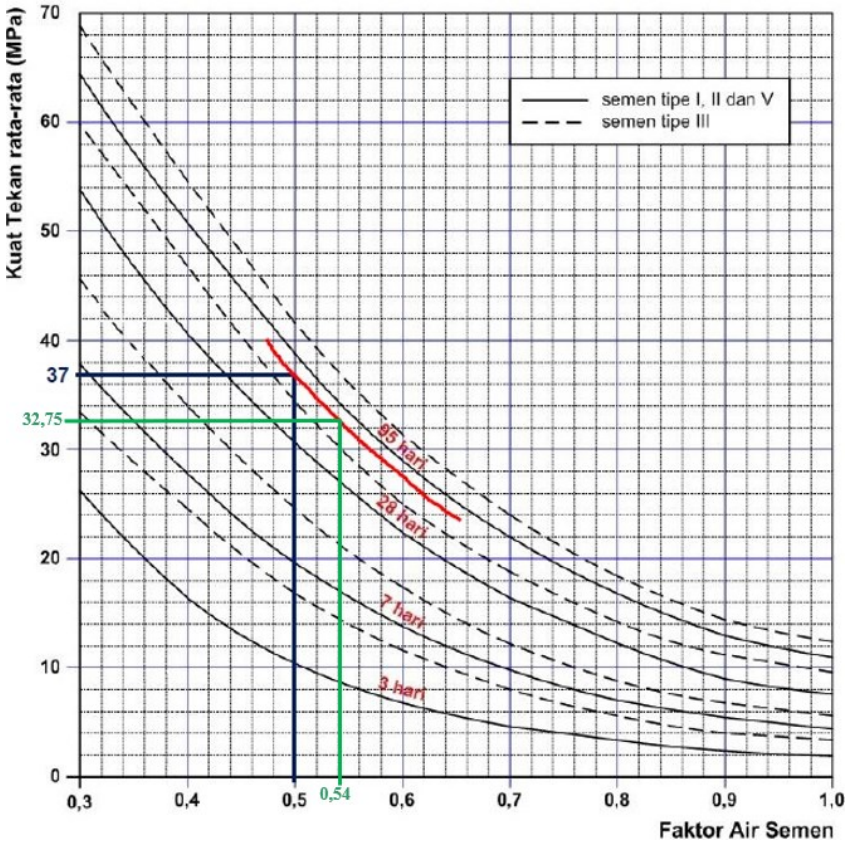
Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kekuatan Tekan (MPa)				
		Pada Umur (hari)				Bentuk Benda Uji
		3	7	28	91	
Semen Portland Tipe 1	Batu tidak dipecahkan	17	23	33	40	Silinder
	Batu pecah	19	27	37	45	
Semen Tahan Sulfat Tipe II, V	Batu tidak dipecahkan	20	28	40	48	Kubus
	Batu pecah	23	32	45	54	
Semen Portland Tipe III	Batu tidak dipecahkan	21	28	38	44	Silinder
	Batu pecah	25	33	44	48	
	Batu tidak dipecahkan	25	31	46	53	Kubus
	Batu pecah	30	40	53	60	

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Berdasarkan tabel diatas diperoleh perkiraan kuat tekan sebesar 37 MPa.

   b. Setelah menentukan nilai kuat tekan, untuk mengetahui hubungan antara kuat tekan dan nilai faktor air semen (FAS) dapat menggunakan Grafik 3.3 yang menggambarkan keterkaitan antara rata-rata kuat tekan dan faktor air semen untuk benda uji.

1) Tarik garis vertikal dari faktor air semen 0,5 hingga bertemu dengan kurva berwarna merah, kemudian lanjutkan dengan menarik garis horizontal dari angka kuat tekan 37 MPa hingga garis tersebut bersentuhan dengan kurva berwarna merah.
2) Selanjutnya, gambar garis lengkung yang melewati titik perpotongan secara proposional.
3) Kemudian, buat garis horizontal dari nilai *f'cr* 32,75 MPa hingga mencapai titik perpotongan dengan kurva yang telah dibuat sebelumnya.
4) Terakhir, buat garis vertikal ke bawah melalui titik perpotongan tersebut. Dari garis ini, diperoleh nilai fas sekitar 0,54 dan detail lebih lanjut dapat dilihat pada Grafik 3.6.



Gambar 5.3 Nilai Faktor Air Semen

Nilai faktor air semen (FAS) yang digunakan merupakan yang minimum yaitu 0,54.

8. Setelah menentukan faktor air bebas, dilanjutkan mencari faktor air semen maksimum yang diperoleh dari Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5.13 Persyaratan Jumlah Semen Maksimum dan FAS Maksimum untuk Berbagai Macam Pembetonan dan Lingkungan Khusus

Jenis Pembetonan	Jumlah Semen Minimum per m^3 beton (Kg)	Nilai fas Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan		
a. keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b.keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0,52
Beton di luar ruangan bangunan		
a.tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0,60
b.terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0,60
Beton masuk ke dalam tanah		
a.mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0,55
b.mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Tabel 3.4
Beton yang kontinu berhubungan dengan air tawar dan air laut		Tabel 3.5

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

9. Nilai slump rencana yang ditetapkan yaitu sebesar 60-180 mm.
10. Ukuran besar butir agregat maksimum yang ditetapkan yaitu sebesar 20mm.
11. Kemudian, menentukan nilai kadar air bebas dengan mengetahui data ukuran maksimum agregat, jenis batuan dan nilai *slump* yang direncanakan.

Tabel 5.14 Perkiraan Kebutuhan Air per Meter Kubik beton

Ukuran Maksimum Agregat (mm)	Jenis Batuan	*Slump* (mm)			
		0 – 10	10 – 30	30 – 60	60 – 180
10	Batu tak dipecahkan	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecahkan	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecahkan	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

(Sumber: SNI 03-2834-2000)

$$W = \frac{2}{3}Wh + \frac{1}{3}Wk$$
$$= \frac{2}{3}(195) + \frac{1}{3}(225)$$
$$= 205 \text{ kg/m}^3$$

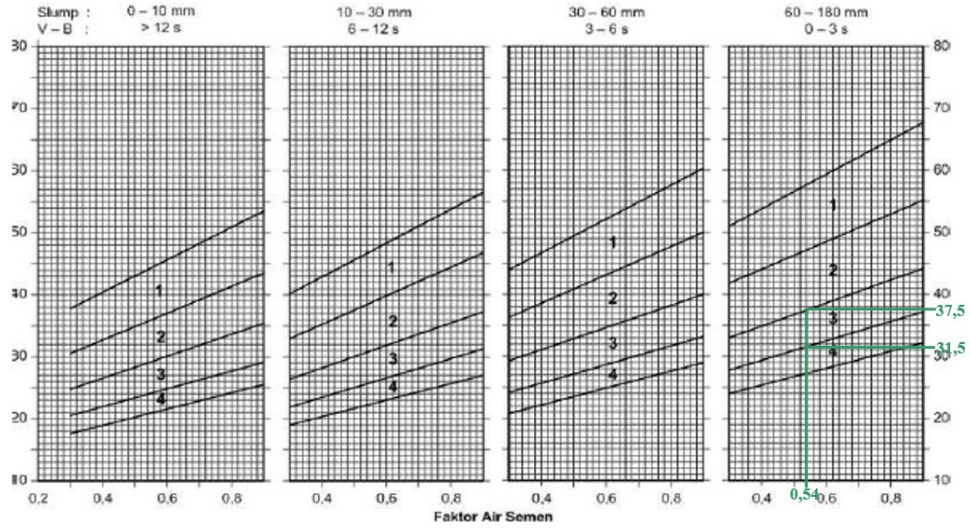
Berdasarkan Tabel 5.14 dan perhitungan diatas diperoleh nilai perkiraan kebutuhan air bebas sebesar 205 kg/m^3.

12. Menghitung jumlah kebutuhan semen dengan perhitungan sebagai berikut.

$$W_{semen} = \frac{Kadar\ Air\ Bebas}{FAS}$$
$$= \frac{205}{0{,}54}$$
$$= 379{,}63 \text{ kg/m}^3$$

Berdasarkan hasil perhitungan jumlah semen diatas dan Tabel 5.13 digunakan jumlah angka semen yang terbesar yaitu 379,63 kg/m^3

13. Selanjutnya mencari persentase agregat halus dan agregat kasar dengan mengetahui ukuran maksimum agregat kasar, faktor air semen (FAS), nilai *slump*, dan daerah gradasi pada agregat halus.
    a. Tarik garis vertikal dari faktor air semen 0,54 sampai memotong garis kurva bagian atas pada daerah gradasi 3.
    b. Selanjutnya, pada titik perpotongan ditarik garis horizontal di batas garis kurva atas dan batas garis kurva bawah.
    c. Setelah dilakukan penarikan dua garis horizontal tersebut akan diperoleh angka pada batas garis kurva bawah sebesar 37,5 dan pada batas garis kurva bawah diperoleh angka sebesar 31,5.



Gambar 5.4 Persentase Agregat Halus Tergadap Kadar Agregat Total (Sumber: SNI 03-2834-2000)

Berdasarkan Gambar 5.4 didapatkan nilai persentase agregat halus batas atas 37,5% dan batas bawah 31,5%.

$$\%AH = \frac{37,5 + 31,5}{2}$$

$$= 34,5\%$$

$$\%AK = 100\% - \%AH$$

$$= 100\% - 34,5\%$$

$$= 65,5\%$$

Berdasarkan perhitungan di atas nilai persentase agregat halus (%AH) dan agregat kasar (%AK) secara berurutan sebesar 34,5% dan 65,5%.

14. Menghitung nilai berat jenis SSD agregat gabungan dengan menggunakan hasil data dari pemeriksaan berat jenis agregat agregat kasar sebesar 2,589 gram/m^3 dan berat jenis halus sebesar 2,632 gram/m^3. Perhitungan berat jenis agregat gabungan dihitung dengan persamaan berikut.

$$BJ_{gab} = \%AH.BJ_{AH} + \%AK.BJ_{AK}$$

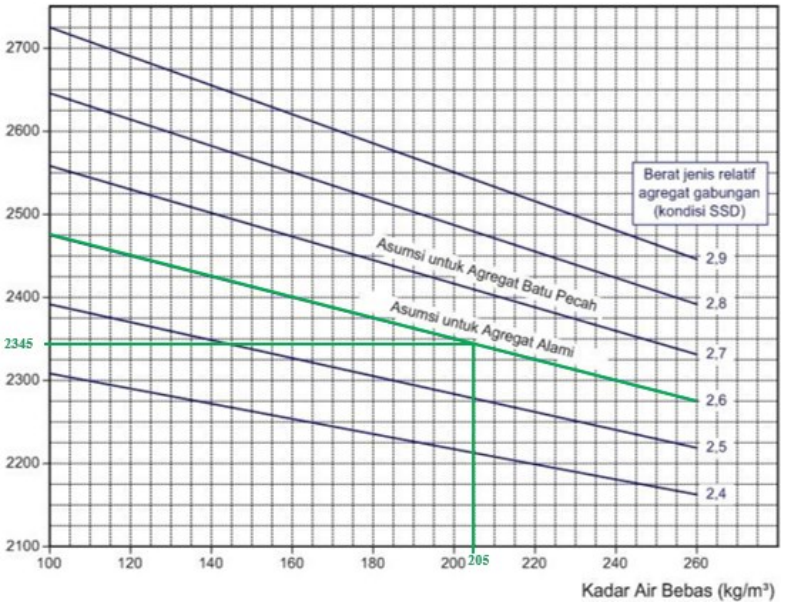
$$= (34,5\% \times 2,632) + (65,5\% \times 2,589)$$

$$= 2,604$$

Berdasarkan perhitungan di atas berat jenis agregat gabungan sebesar 2,604.

15. Menghitung berat isi beton dengan menggunakan grafik Gambar 5.5 dengan menggunakan nilai berat jenis SSD agregat gabungan dan kadar air bebas.

a. Buat kurva baru pada angka sesuai dengan nilai berat jenis agregat gabungan dengan memperhatikan kurva bagian atas dan bawah.
b. Lakukan penarikan garis vertikal sesuai dengan nilai kadar air bebas yang telah didapatkan dari perhitungan sebelumnya.
c. Selanjutnya, tarik garis horizontal kekiri hingga memotong sumbu tegak.
d. Setelah dilakukan penarikan garis horizontal tersebut akan diperoleh nilai berat isi beton sebesar 2345 kg/m^3.



Gambar 5.5 Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan
(Sumber: SNI 03-2834-2000)

Berdasarkan Gambar 5.5 didapatkan nilai berat isi beton basah sebesar 2345 kg/m^3.

16. Kadar agregat habungan diperoleh berdasarkan pengurangan berat isi beton, kadar semen, dan kadar air bebas.

Kadar agregat gabungan = berat isi beton – kadar semen – kadar air bebas
= 2345 – 379,630 – 205
= 1760,370 kg/m^3.

17. Kadar agregat halus untuk kebutuhan campuran material penyusun beton dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut.

Kadar agregat halus $= \frac{\%\ \text{agregat halus}}{100}$ x kadar agregat gabungan

$$= \frac{34,5}{100}\ x\ 1745,769$$

$$= 607,328 \text{ kg/m}^3$$

18. Kadar agregat kasar untuk kebutuhan campuran material penyusun beton dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut.

    Kadar agregat kasar $= kadar\ agregat\ gab - Kadar\ agregat\ halus$

    $= 1760,370 - 607,328$

    $= 1153,04 \text{ kg/m}^3$

19. Proporsi campuran teoritis agregat SSD pada setiap 1 m^3 beton sebagai berikut.
    a. Semen = 379,630 kg
    b. Air = 205 kg
    c. Agregat halus = 607,328 kg
    d. Agregat Kasar = 11153,04 kg
20. Proporsi campuran menggunakan angkan penyusutan sebesar 20% diperoleh nilai campuran teoritis dengan angka penyusutan setiap 1 m^3 beton berikut.
    a. Semen = 379,630 x 1,2
       = 455,556 kg
    b. Air = 205 x 1,2
       = 246 kg
    c. Agregat halus = 607,328 x 1,2
       = 728,793 kg
    d. Agregat kasar = 1153,04 x 1,2
       = 1383,651 kg
21. Proporsi campuran untuk benda uji kubus 6 buah dan plat 2 buah.

    Volume 6 Kubus (s = 0,15 m) = 6 x panjang x lebar x tinggi

    = 6 x 0,15 x 0,15 x 0,15

    = 0,020 m^3

    Volume 2 Plat (p=0,5m; l=0,5m; t=0,12m) = 2 x panjang x lebar x tinggi

    = 2 x 0,5 x 0,5 x 0,12

    = 0,060 m^3

    Volume total benda uji = volume 6 kubus + volume 2 plat

    = 0,020 + 0,060

    = 0,080 m^3

Proporsi setiap bahan material penyusun pada volume total benda uji.

a. Semen = 455,556 x 0,080
= 36,558 kg

b. Air = 246 x 0,080
= 19,742 kg

c. Agregat halus = 728,793 x 0,080
= 58,486 kg

d. Agregat kasar = 1383,651 x 0,080
= 111,038 kg

5.4 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Penelitian ini pemeriksaan benda uji dilaksanakan setelah umur beton mencapai 28 hari. Benda uji pada penelitian ini menggunakan kubus dan plat bertulang. Benda uji kubus berdimensi 150 mm x 150 mm, 150 mm. Sedangkan, benda uji plat bertulang meiliki panjang 500 mm, lebar 500 mm, dan tinggi 120 mm. Nilai kuat tekan beton diperoleh berdasarkan hasil beban tekan per satuan luas dengan contoh perhitungan sebagai berikut.

Kode benda uji BP X-1 :

P = 627,860 kN = 627860 N

A = 150 x 150 = 22500 mm^2

$$f'c = \frac{P}{A}$$

$$f'c = \frac{627860}{22500}$$

$$= 27{,}905 \text{ MPa } (\text{N/mm}^2)$$

Rekapitulasi data hasil pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 5.15 berikut.

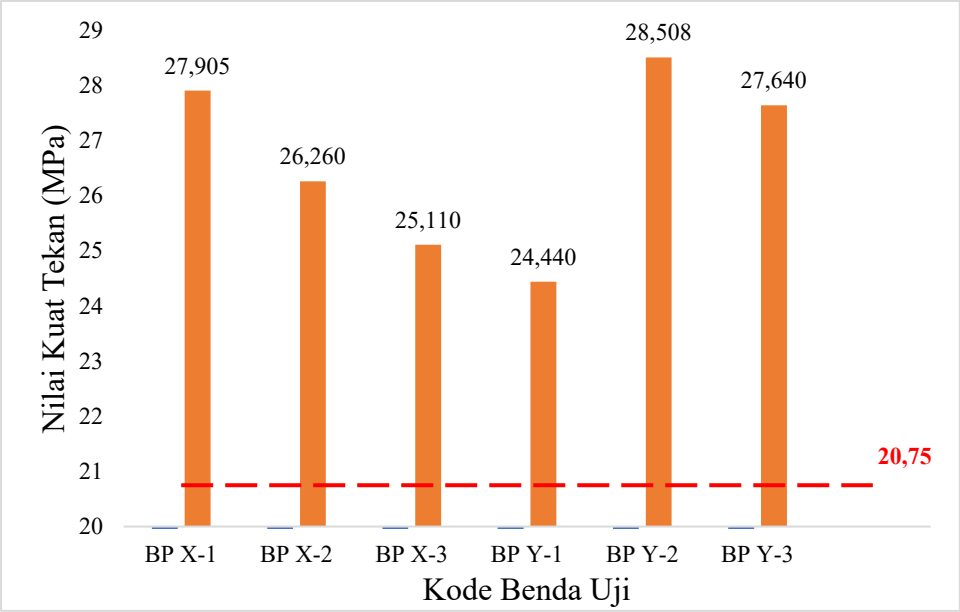
Tabel 5.15 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Pada Benda Uji Kubus

Kode Benda Uji	Nilai Kuat Tekan	
	Strength (MPa)	*Max Load* (kN)
BP X-1	27,905	627,860
BP X-2	26,260	590,850
BP X-3	25,110	565,000

Lanjutan Tabel 5.15 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Pada Benda Uji Kubus

Kode Benda Uji	Nilai Kuat Tekan	
	Strength (MPa)	*Max Load* (kN)
BP Y-1	24,440	550,000
BP Y-2	28,508	641,410
BP Y-3	27,640	622,020
Rata-rata	26,644	599,523

Kodefikasi untuk benda uji kubus diberi kode benda uji BP (benda uji *plain*) dan benda uji plat beton bertulang diberi kode benda uji BR (benda uji *reinforced*). Pengujian kuat tekan beton hanya dilakukan pada sampel benda uji kubus sebagai pemeriksaan mutu beton yang direncanakan.



Gambar 5.6 Grafik Hasil Uji Kuat Tekan Beton Pada Benda Uji Kubus

Berdasarkan data dari pengujian kuat tekan diperoleh nilai kuat tertinggi terdapat pada sampel BP Y-2 sebesar 28,508 MPa dan nilai kuat tekan terendah terdapat pada sampel BP Y-1 sebesar 24,44 MPa. Nilai kuat tekan rata-rata sebesar 26,644 dengan beban maksimum 600 kN. Hasil yang diperoleh telah memenuhi dari nilai kuat tekan yang direncanakan.

5.5 Hasil Pengujian *Hammer Test*

Penelitian ini pemeriksaan benda uji dilaksanakan setelah umur beton mencapai 28 hari. Pengujian *hammer test* dilakukan pada sampel benda uji kubus dan plat bertulang dengan jarak pengambilan antar titik yaitu 2,5 cm. Pengambilan titik pada benda uji kubus sebanyak 10 titik dengan jumlah 3 sisi setiap sampel. Sedangkan, pada benda uji plat bertulang pengambilan titik sebanyak 10 titik dengan jumlah 4 sisi setiap sampel. Hasil pengujian *hammer test* yaitu berupa nilai pantul (*Rebound*) yang bertujuan untuk mengetahui keseragaman beton dan estimasi dari kekuatan beton. Adapun hasil pengujian pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.16 dan Tabel 5.17 berikut.

Tabel 5.16 Hasil *Hammer Test* Pada Benda Uji Kubus

Kode Benda Uji	Angka Pantul (R)	Nilai Rata - rata	Rata-rata Sampel Benda Uji
BP X-1	19,8	21,233	20,056
	22,6		
	21,3		
BP X-2	19,8	19,600	
	18,6		
	20,4		
BP X-3	18,5	19,333	
	21,3		
	18,2		
BP Y-1	18,8	18,967	20,467
	17,5		
	20,6		
BP Y-2	19,5	21,400	
	23		
	21,7		
BP Y-3	21,3	21,033	
	19,2		
	22,6		

Tabel 5.16 Hasil *Hammer Test* Pada Benda Uji Plat Beton Bertulang

Kode Benda Uji	Angka Pantul (R)	Rata-rata Sampel Benda Uji
BR X	27,3	27,733
	28	
	27,9	
BR Y	29	29,100
	28,8	
	29,5	

Berdasarkan data dari pengujian *hammer test* pada Tabel 5.16 dan Tabel 5.17 diperoleh nilai pantul pada benda uji plat bertulang lebih besar dari benda uji kubus. Hasil nilai pantul pada benda uji plat bertulang lebih besar dikarenakan keberadaan tulangan yang berpangaruh terhadap hasil nilai pantul pada benda uji yang menggunakan tulangan. Selain adanya tulangan, jumlah tulangan juga dapat berpengaruh terhadap hasil nilai pantul. Hasil pengujian benda uji plat beton bertulang dapat dilihat pada Tabel 5.17 untuk benda uji BR Y memiliki jumlah tulangan yang lebih banyak yaitu 4 buah tulangan dibandingkan benda uji BR X dengan jumlah tulangan 3 buah tulangan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa benda uji BR Y menghasilkan nilai pantul yang lebih besar dari benda uji BR X.

5.6 Hasil Pengujian UPV *Test*

Pelaksanaan pemeriksaan benda uji dilakukan setelah umur beton mencapai 28 hari. Benda uji pada penelitian ini menggunakan kubus dan plat bertulang. Pengujian UPV dilakukan pada sampel benda uji kubus dan plat dengan memperhatikan ukuran benda uji, panjang lintasan, kelembaban beton, dan baja tulangan. Pada benda uji kubus dilakukan dengan menggunakan metode *direct*, sedangkan pada benda uji plat beton bertulang dilakukan dengan menggunakan metode *direct* dan metode *in-direct*. Pada benda uji plat bertulang menggunakan tulangan D10 dengan panjang 500 mm, jumlah tulangan pada sampel BR X sebanyak 3 buah dan pada sampel BR Y sebanyak 4 buah. Metode *direct* dan metode *in-direct* pada benda uji plat bertulang dilakukan dua cara pengambilan data yaitu pengujian dengan posisi tegak lurus tulangan (*lateral reinforcement*) dan

pengujian dengan posisi sejajar tulangan (*longitudinal reinforcement*), hal ini bertujuan untuk mengatahui pengaruh posisi tulangan saat dilakukan pengujian UPV. Hasil pengujian UPV untuk sampel kubus dan plat bertulang dapat dilihat pada Tabel 5.18 dan Tabel 5.19 berikut.

Tabel 5.17 Hasil Pengujian UPV Pada Benda Uji Kubus

Kode Benda Uji	*Direct Transmission* (m/s)	Nilai Rata-rata	Rata-rata Sampel Benda Uji
BP X-1	4587	4595	4503
	4630		
	4559		
	4702		
	4419		
	4673		
BP X-2	4491	4541	
	4559		
	4559		
	4630		
	4491		
	4518		
BP X-3	4442	4373	
	4358		
	4358		
	4358		
	4335		
	4386		
BP Y-1	4390	4369	4517
	4298		
	4419		
	4333		
	4355		
	4420		
BP Y-2	4601	4609	
	4630		
	4518		
	4630		
	4601		

	4673		

Lanjutan Tabel 5.18 Hasil Pengujian UPV Pada Benda Uji Kubus

Kode Benda Uji	*Direct Transmission* (m/s)	Nilai Rata-rata	Rata-rata Sampel Benda Uji
BP Y-3	4630	4572	
	4587		
	4630		
	4601		
	4425		
	4559		

Tabel 5.19 Hasil Pengujian UPV Pada Benda Uji Plat Beton Bertulang

Kode Benda Uji	*Direct Transmission* (m/s)		*In-Direct Transmission* (m/s)	
	Sejajar Tulangan	Tegak Lurus Tulangan	Sejajar Tulangan	Tegak Lurus Tulangan
BR X	5074	4874	4490	4741
	5168	5111	4743	4843
	5208	4904	4505	4766
Nilai rata-rata	5150	4963	4579	4783
BR Y	5214	5116	4878	5000
	5245	4928	4673	4858
	5382	5034	4726	4902
Nilai rata-rata	5280	5026	4759	4920

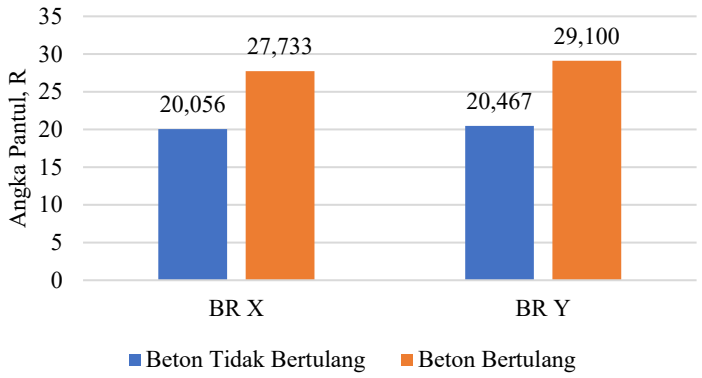
Berdasarkan Tabel 5.18 dan Tabel 5.19 data dari pengujian UPV untuk benda uji kubus dengan nilai kecepatan rambat gelombang terbesar yaitu pada kode benda uji BP Y-2 diperoleh sebesar 4609 m/s. Sedangkan, untuk benda uji plat bertulang nilai kecepatan rambat gelombang terbesar terdapat pada sampel benda uji dengan jumlah tulangan yang lebih banyak yaitu benda uji BR Y pada metode *direct* yang menggunakan pengujian sejajar dengan posisi tulangan dan diperoleh nilai rata-rata sebesar 5280 m/s. Selain pengaruh tulangan, metode yang digunakan dalam pengambilan data UPV *test* juga dapat mempengaruhi cepat rambat yang dihasilkan.

5.7 Analisis Pengaruh Tulangan Terhadap Hasil *Hammer Test*

Rekapitulasi data pengaruh tulangan terhadap hasil *hammer test* dapat dilihat pada Tabel 5.20 sebagai berikut.

Tabel 5.20 Data Hasil Pengujian *Hammer Test* Pada Beton Tidak Bertulang dan Beton Bertulang

Benda Uji	BR X	BR Y
Beton tidak bertulang	20,056	20,467
Beton bertulang	27,733	29,100



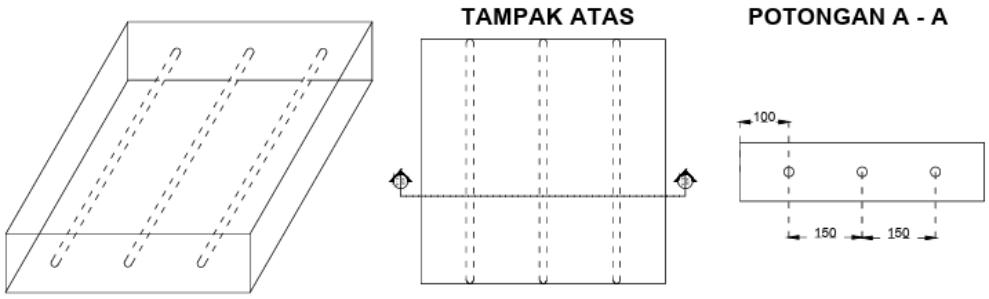
Gambar 5.7 Grafik Pengaruh Tulangan Terhadap Hasil *Hammer Test*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.7 diperoleh informasi bahwa terdapat selisih pada pengujian *hammer* antara benda uji tidak bertulang dan benda uji bertulang. Benda uji BR X terdapat selisih sebesar 7,678 atau 27,684% terhadap benda uji tidak bertulang. Sedangkan, benda uji BR Y terdapat selisih sebesar 8,633 atau 29,668% terhadap benda uji tidak bertulang.

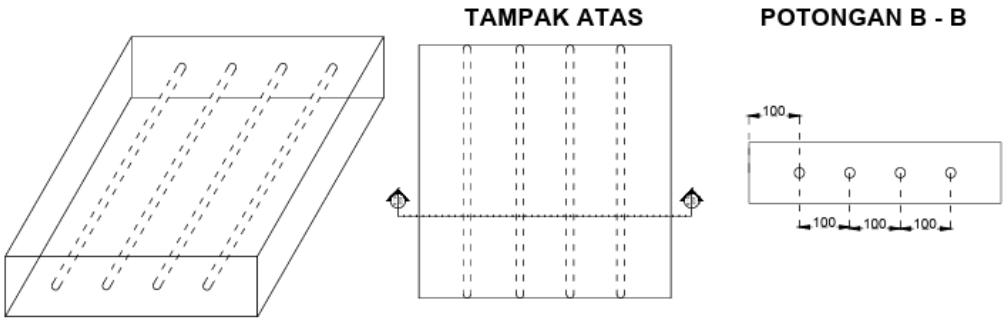
5.8 Analisis Pengaruh Tulangan Terhadap Hasil UPV *Test*

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui korelasi UPV *test* antara pengujian pada benda uji beton bertulang (*reinforced concrete*) dan benda uji tidak bertulang (*plain concrete*). Pada benda uji tidak bertulang, UPV *test* dilakukan dengan menggunakan metode *direct.* Sedangkan, benda uji bertulang dilakukan dengan menggunakan metode *direct* dan metode *in-direct*. Untuk mengetahui pengaruh adanya tulangan dan pengaruh dari jumlah tulangan, dilakukan pengambilan data dengan metode tegak lurus tulangan (*lateral reinforcement*) dan metode sejajar

tulangan (*longitudinal reinforcement*) yang mengacu pada BS 1881-203:1986. Sampel benda uji plat bertulang dapat dilihat pada Gambar 5.8 dan Gambar 5.9 berikut.



Gambar 5.8 Sampel Benda Uji BR X (Ø10 – 150)



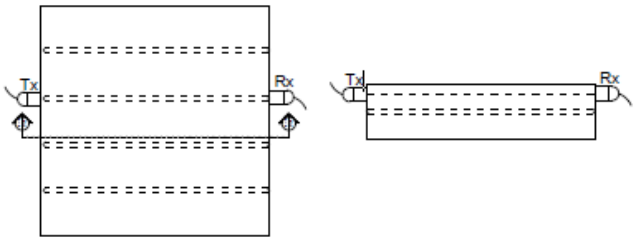
Gambar 5.9 Sampel Benda Uji BR Y (Ø10 – 100)

Berdasarkan Gambar 5.8 dan Gambar 5.9 pembagian kode benda uji pada plat beton bertulang terdiri dari 2 macam yaitu benda uji BR X dengan jumlah 3 tulangan dengan jarak antar tulangan 150 mm dan benda uji BR Y dengan jumlah 4 tulangan dengan jarak antar tulangan 100 mm.

Berikut pembahasan mengenai pengaruh tulangan terhadap hasil pembacaan UPV *test* dengan menggunakan metode *direct* dan metode *in-direct* pada beton bertulang.

5.8.1 Analisis Beton Tidak Bertulang dan Beton Bertulang dengan Metode *Direct* Terhadap Hasil UPV *Test*

1. Analisis pengaruh UPV *test* metode *direct* antara beton tidak bertulang dan beton bertulang dengan posisi sejajar tulangan

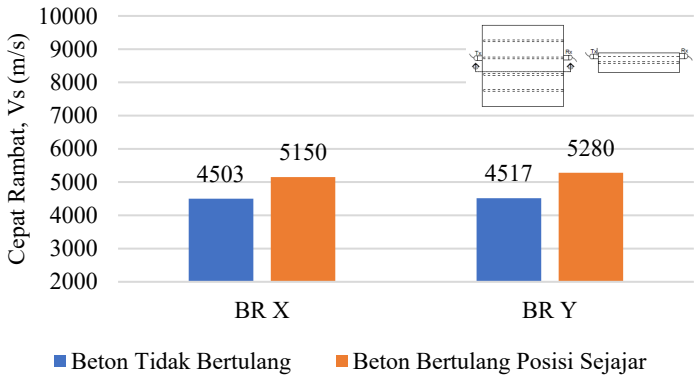


Gambar 5.10 UPV Test Metode Direct dengan Posisi Sejajar Tulangan

Rekapitulasi data hasil UPV *test* metode *direct* antara beton tidak bertulang dan beton bertulang dengan posisi sejajar tulangan dapat dilihat pada Tabel 5.21 sebagai berikut.

Tabel 5.18 Rekapitulasi Data Hasil UPV Test Metode Direct Antara Beton Tidak Bertulang dan Beton Bertulang dengan Posisi Sejajar

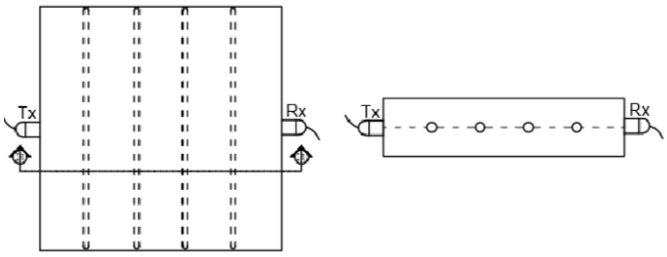
Benda Uji	BR X	BR Y
Beton tidak bertulang	4503	4517
Beton bertulang posisi sejajar	5150	5280



Gambar 5.11 Grafik Perbandingan Hasil UPV *Test* Metode *Direct* Antara Beton Tidak Bertulang dan Beton Bertulang dengan Posisi Sejajar Tulangan

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.11 diperoleh informasi bahwa pada metode *direct* terdapat selisih antara pengujian pada benda uji tidak bertulang dan benda uji bertulang dengan posisi sejajar tulangan. Benda uji BR X terdapat selisih sebesar 647 *m/s* atau 12,562% terhadap benda uji tidak bertulang. Sedangkan, benda uji BR Y terdapat selisih sebesar 764 *m/s* atau 14,462% terhadap benda uji tidak bertulang.

2. Analisis pengaruh UPV *test* metode *direct* antara beton tidak bertulang dan beton bertulang dengan posisi tegak lurus tulangan

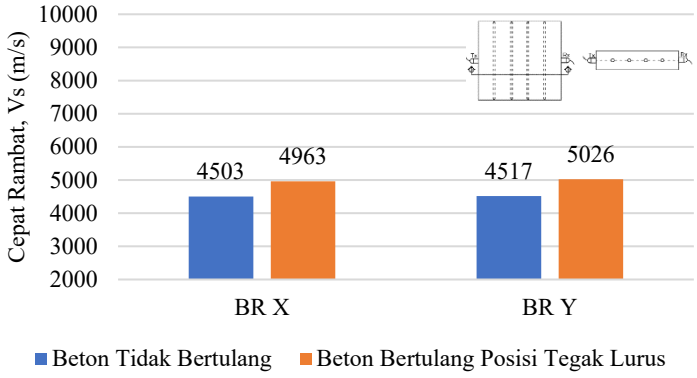


Gambar 5.12 UPV Test Metode Direct dengan Posisi Tegak Lurus Tulangan

Rekapitulasi data hasil UPV *test* metode *direct* antara beton tidak bertulang dan beton bertulang dengan posisi tegak lurus dapat dilihat pada Tabel 5.22 sebagai berikut.

Tabel 5.22 Rekapitulasi Data Hasil UPV *Test* Metode *Direct* pada Beton Tidak Bertulang dan Beton Bertulang dengan Posisi Tegak Lurus

Benda Uji	BR X	BR Y
Beton tidak bertulang	4503	4517
Beton bertulang posisi tegak lurus	4963	5026



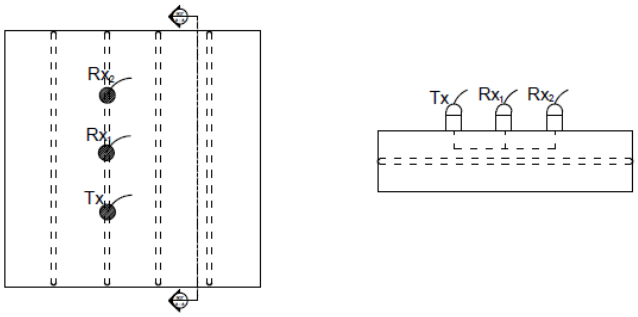
Gambar 5.13 Grafik Perbandingan Hasil UPV *Test* Metode *Direct* Antara Beton Tidak Bertulang dan Beton Bertulang dengan Posisi Tegak Lurus Tulangan

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.13 diperoleh informasi bahwa pada metode *direct* terdapat selisih antara pengujian pada benda uji tidak bertulang dan benda uji bertulang dengan posisi tegak lurus tulangan. Benda uji BR X terdapat selisih sebesar 460 *m/s* atau 9,267% terhadap benda uji tidak bertulang. Sedangkan,

benda uji BR Y terdapat selisih sebesar 509 *m/s* atau 10,134% terhadap benda uji tidak bertulang.

5.8.2 Analisis Beton Tidak Bertulang dan Beton Bertulang dengan Metode *In-Direct* Terhadap Hasil UPV *Test*

1. Analisis pengaruh UPV *test* metode *in-direct* antara beton tidak bertulang dan beton bertulang dengan posisi sejajar tulangan

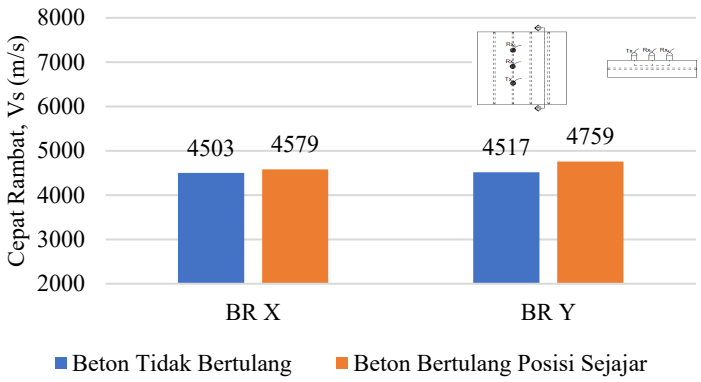


Gambar 5.14 UPV *Test* Metode *In – Direct* dengan Posisi Sejajar Tulangan

Rekapitulasi data hasil UPV *test* metode *in-direct* antara beton tidak bertulang dan beton bertulang dengan posisi sejajar tulangan dapat dilihat pada Tabel 5.23 sebagai berikut.

Tabel 5.19 Rekapitulasi Data Hasil UPV Test Metode In-Direct Antara Beton Tidak Bertulang dan Beton Bertulang dengan Posisi Sejajar

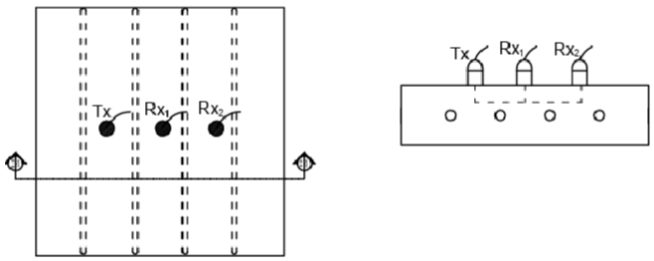
Benda Uji	BR X	BR Y
Beton tidak bertulang	4503	4517
Beton bertulang posisi sejajar	4579	4759



Gambar 5.15 Grafik Perbandingan Hasil UPV *Test* Metode *In-Direct* Antara Beton Tidak Bertulang dan Beton Bertulang dengan Posisi Sejajar Tulangan

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.15 diperoleh informasi bahwa pada metode *in-direct* terdapat selisih antara pengujian pada benda uji tidak bertulang dan benda uji bertulang dengan posisi sejajar tulangan. Benda uji BR X terdapat selisih sebesar 76 *m/s* atau 1,666% terhadap benda uji tidak bertulang. Sedangkan, benda uji BR Y terdapat selisih sebesar 242 *m/s* atau 5,092% terhadap benda uji tidak bertulang.

2. Analisis pengaruh UPV *test* metode *in-direct* antara beton tidak bertulang dan beton bertulang dengan posisi tegak lurus tulangan

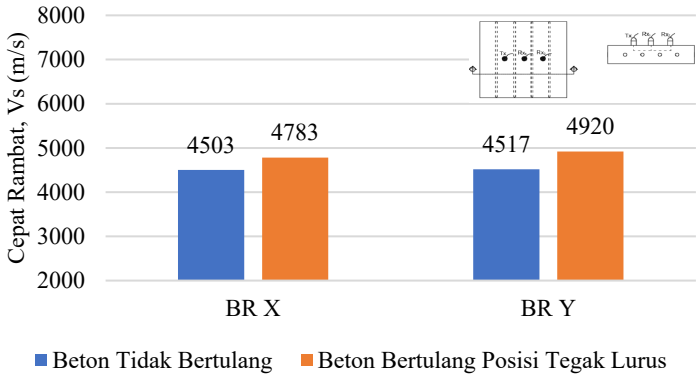


Gambar 5.16 UPV *Test* Metode *In – Direct* dengan Posisi Tegak Lurus Tulangan

Rekapitulasi data hasil UPV *test* metode *in-direct* antara beton tidak bertulang dan beton bertulang dengan posisi tegak lurus tulangan dapat dilihat pada Tabel 5.24 sebagai berikut.

Tabel 5.24 Rekapitulasi Data Hasil UPV Test Metode In-Direct Antara Beton Tidak Bertulang dan Beton Bertulang dengan Posisi Tegak Lurus

Benda Uji	BR X	BR Y
Beton tidak bertulang	4503	4517
Beton bertulang posisi tegak lurus	4783	4920



Gambar 5.17 Grafik Perbandingan Hasil UPV *Test* Metode *In-Direct* Antara Beton Tidak Bertulang dan Beton Bertulang dengan Posisi Tegak Lurus Tulangan

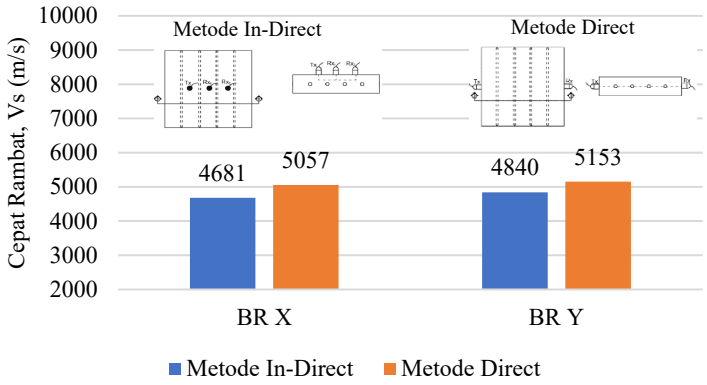
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.17 diperoleh informasi bahwa pada metode *in-direct* terdapat selisih antara pengujian pada benda uji tidak bertulang dan benda uji bertulang dengan posisi tegak lurus tulangan. Benda uji BR X bertulang terdapat selisih sebesar 280 *m/s* atau 5,859% terhadap benda uji tidak bertulang. Sedangkan, benda uji BR Y tidak bertulang terdapat selisih sebesar 403 *m/s* atau 8,198% terhadap benda uji tidak bertulang.

5.8.3 Analisis Pengaruh Metode Pengujian Terhadap Hasil UPV *Test*

Rekapitulasi data pengaruh metode *direct* dan metode *in-direct* terhadap hasil *UPV test* dapat dilihat pada Tabel 5.25 sebagai berikut.

Tabel 5.25 Data Hasil Pengaruh Metode Pengujian Terhadap Hasil UPV *Test*

Metode / Benda Uji	BR X	BR Y
Metode *In-Direct*	4681	4840
Metode *Direct*	5057	5153



Gambar 5.18 Grafik Pengaruh Metode Pengujian Terhadap Hasil UPV *Test*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.18 diperoleh informasi bahwa terdapat selisih antara UPV *test* dengan menggunakan metode *direct* dan metode *in-direct*. Benda uji BR X terdapat selisih antara metode *direct* sebesar 375 *m/s* atau 7,419% terhadap metode *in-direct*. Sedangkan, benda uji BR Y terdapat selisih antara metode *direct* sebesar 314 *m/s* atau 6,087% terhadap metode *in-direct*. Selisih yang diperoleh dalam penelitian ini telah sesuai dengan BS 1881-203:198 bahwa cepat rambat gelombang yang dihasilkan menggunakan metode *in-direct* lebih rendah berkisar 5% sampai 20% dibandingkan dengan metode *direct*.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan penelitian yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, penulis menarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Adanya tulangan berpengaruh terhadap hasil pembacaan pada pengujian *hammer test*. Hasil pembacaan yang dihasilkan menunjukkan adanya selisih perbandingan antara beton bertulang dan beton tidak bertulang, benda uji BR X memiliki angka *rebound* lebih tinggi sebesar 7,678 atau 27,684% dibandingkan benda uji BP X. Sedangkan pada benda uji BR Y memiliki angka rebound lebih tinggi sebesar 8,633 atau 29,668%. dibandingkan benda uji BP Y.
2. Adanya tulangan berpengaruh terhadap hasil pembacaan pada pengujian UPV *test*. Hasil pembacaan menunjukkan adanya selisih perbandingan antara beton bertulang dan beton tidak bertulang.
   a. Metode *Direct*

      Hasil pembacaan pengujian UPV *test* untuk metode *direct* dengan posisi tegak lurus tulangan pada benda uji BR X lebih tinggi 460 *m/s* atau 9,267% dibandingkan BP X dan benda uji BR Y lebih tinggi 509 *m/s* atau 10,134% dibandingkan BP Y. Sedangkan, pengujian UPV *test* dengan posisi sejajar tulangan pada benda uji BR X lebih tinggi 647 *m/s* atau 12,562% dibandingkan BP X dan benda uji BR Y lebih tinggi 764 *m/s* atau 14,462% dibandingkan BP Y.

   b. Metode *In-Direct*

      Hasil pembacaan pengujian UPV *test* untuk metode *in-direct* dengan posisi tegak lurus tulangan pada benda uji BR X lebih tinggi 280 *m/s* atau 5,859% dibandingkan BP X dan benda uji BR Y lebih tinggi 403 *m/s* atau 8,198% dibandingkan BP Y. Sedangkan, pengujian UPV *test* dengan posisi sejajar tulangan pada benda uji BR X lebih tinggi 76 *m/s* atau 1,666% dibandingkan

BP X dan benda uji BR Y lebih tinggi 242 *m/s* atau 5,092% dibandingkan BP Y.

3. Perbedaan metode pengujian berpengaruh terhadap hasil pembacaan pengujian UPV *test*. Hasil pembacaan yang dihasilkan menunjukkan adanya selisih perbandingan antara metode *direct* dan metode *in-direct*, benda uji BR X dengan metode *direct* menghasilkan nilai cepat rambat lebih tinggi sebesar 375 *m/s* atau 7,419% dibandingkan dengan metode *in-direct*. Sedangkan, benda uji BR Y dengan metode *direct* menghasilkan nilai cepat rambat lebih tinggi sebesar 314 *m/s* atau 6,087% dibandingkan dengan metode *in-direct*.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, penulis mengusulkan beberapa saran sebagai berikut.

1. Menambahkan jumlah sampel benda uji untuk menghindari terjadinya *human error*, sehingga menghasilkan tingkat akurasi yang lebih baik.
2. Benda uji bertulang dapat dilakukan *coring* beton untuk merepresentasikan kekuatan struktur beton.

DAFTAR PUSTAKA

Alfirahman, R., & Widodo, S. 2023. Efek Penambahan Serat Limbah Botol Polyethylene Terephthalate (PET) dan Fly Ash Terhadap Hasil Uji Ultrasonic Pulse Velocity Pada Self Compacting Concrete. *TERAS JURNAL: Jurnal Teknik Sipil*, *13*(1), 1-12.

ASTM-C33. 2003. *Standard Specification for Concrete Aggregates*. Annual Books of ASTM standards. USA.

Badan Standarisasi Nasional. 1996. *Metode Pengujian Jumlah Bahan Dalam Agregat yang Lolos Saringan No.200 (0,075 mm).* SNI 03-4142-1996. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2000. *Tata Cara Rencana Campuran Beton Normal.* SNI 03-2843-2000. SN. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2002. *Metode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton.* SNI 03-2491-2002. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2004. *Semen Portland.* SNI 03-15-2049-2004. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2008. *Cara Uji Berat Isi, Volume Produksi Campuran, dan Kadar Udara Beton.* SNI 03-1973-2008. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2008. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.* SNI 1970:2008. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2008. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar.* SNI 1969:2008. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2008. *Cara Uji Slump Beton. SNI 03-1972-2008*. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder.* SNI 1974-2011. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Metode uji angka pantul beton keras.* SNI ASTM C805:2012. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Metode uji kecepatan rambat gelombang rambat gelombang melalui beton.* SNI C597:2012. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.* SNI 2847 :2013. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2017. *Baja Tulangan Beton.* SNI 2052-2017. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2019. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.* SNI 03-2847-2019. Jakarta.

British Standard. 1986. *Recommendations for measurement of velocity of ultrasonic pulses in concrete.* BS 1881-203:1986. U.K.

Darujati, A .et al. 2023. ANALISIS KUAT TEKAN DAN ULTRASONIC PULSE VELOCITY (UPV TEST) PADA MUTU BETON K 350 MENGGUNAKAN BETON SISA PENGUJIAN SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT KASAR. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, *12*(1), 30-35.

Indian Standard. 1996. *Non-Destructive Testing of Concrete – Methods of Test.* IS 13311-Part 1-1992. India

Lukas, A. Y., & Rafael, J. W. M. 2024. UJI ULTRASONIC PULSE VELOCITY PADA BETON NORMAL YANG MENGGUNAKAN BATU KARANG SEBAGAI PENGGANTI KERIKIL. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, *19*(1), 17-27.

Manopo, H.M. 2019. *Korelasi Nilai Kuat Tekan dari Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV), Hammer Test, dan Compression Test pada Beton Mutu Sedang.* Proyek Akhir. Universitas Negeri Yogyakarta.

Martin, R .et al. 2016. *Korelasi Nilai Kuat Tekan beton antara Hammer Test, Ultrasonic Pulse Velocity dan Compression Test.* Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. Vol. 10, No.1, pp. 31-32.

McCormac, Jack C. 2004. *Desain Beton Bertulang-Edisi Kelima-jilid 2*. Penerbit Erlangga, Jakarta.

Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta.

Rahmayanti, N. 2019. Pengaruh Penggunaan Limbah Abu Sekam Padi Dan Viscocrete 1003 Terhadap Kualitas Beton Normal Dengan Upv Test. *TERAS JURNAL: Jurnal Teknik Sipil*, *8*(2), 434-443.

Ramdhan, M. 2021. *Metode penelitian*. Cipta Media Nusantara.

Riskawati, R .et al. 2018. ANALISA PERBEDAAN KEKUATAN BETON AKIBAT TSUNAMI (Studi Kasus: Pengujian Nilai Pantul Hammer Test Pada Kolom Bangunan Mesjid Paya Peunaga Kec. Meureubo Kab. Aceh Barat). *Jurnal Teknik Sipil dan Teknologi Konstruksi*, *1*(1).

Salah. et al. 2021. *Effect of steel reinforcement distribution on ultrasonic pulse velocity measurements*. Vol. 1090, pp 6.

Tjokrodimuljo. 2007. *Teknologi Beton*. Biro Penerbit Teknik Sipil Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

Wahyu, T. 2019. Perbandingan Pengujian *Hammer Test*, UPV *Test* Pada Beton Mutu Tinggi. Proyek Akhir. Universitas Negeri Yogyakarta.

LAMPIRAN 1

Data Hasil Pengujian

Tabel L-1.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

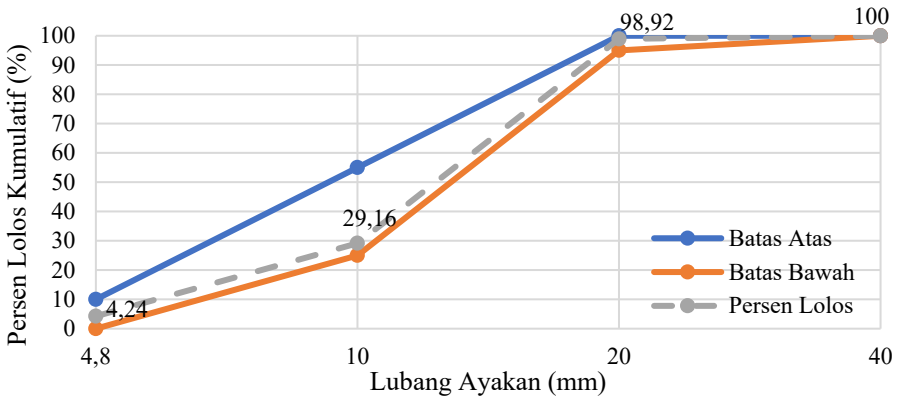
Uraian	Hasil Pengamatan
Berat Kerikil Mutal (Bk)	4878
Berat Kerikil Jenuh kering muka (bj)	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3069
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,470
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2,589
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,697
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	2,50%

Tabel L-1.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	54	1,080	1,080	98,920
10,00	3485	69,760	70,840	29,160
4,80	1245	24,920	95,760	4,240
2,40	64	1,280	97,040	2,996
1,20	5	0,100	97	2,996
0,60	0	0	97	2,996
0,30	0	0	97	2,996
0,15	0	0	97	2,996
Sisa	143	2,862	100	0
Jumlah	4996	100	653	246,740
			MHB =	6,533

Tabel L-1.3 Batas Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat Lolos Ayakan / Besar Butiran Maksimum		
	40 mm	20 mm	10 mm
40,00	95 - 100	100	-
20,00	37 - 70	95 – 100	100
10,00	10 - 40	30 – 60	50 – 85
4,80	0 - 5	0 - 10	0 - 10



Gambar L-1.1 Batas Gradasi Agregat Kasar Maksimum 20 mm

Tabel L-1.4 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat Tabung (W1), gram	10344
Berat Tabung + Agregrat kering tungku (W2), gram	17979
Berat Agregrat (W3), gram	7635
Volume Tabung (V), cm^3	5301,44
Berat Volume Gembur, $gram/cm^3$	1,440

Tabel L-1.5 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat Tabung (W1), gram	10344
Berat Tabung + Agregrat kering tungku (W2), gram	18515
Berat Agregrat (W3), gram	8171
Volume Tabung (V), cm^3	5301,438
Berat Volume Padat, $gram/cm^3$	1,541

Tabel L-1.6 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

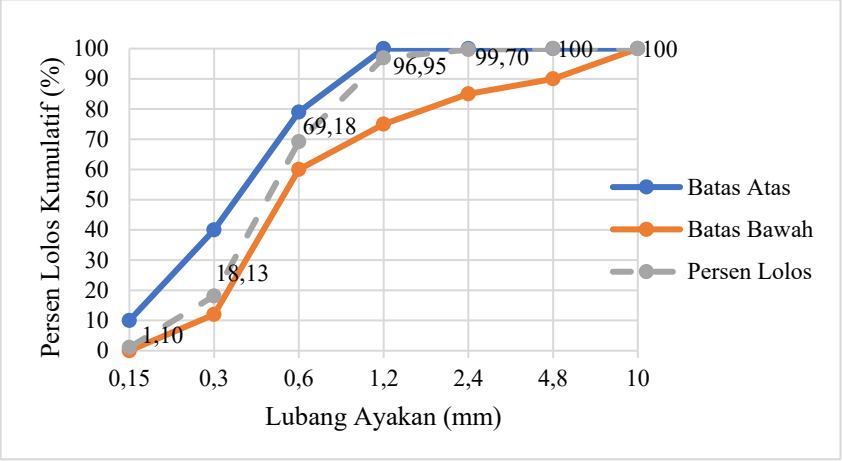
Uraian	Hasil Pengamatan
Berat pasir kerinng mutlak, gram (Bk)	493
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	969
Berat piknometer berisi air, gram (B)	659
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,595
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD) Bj/(Bj-Ba)	2,632
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,694
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	1,42%

Tabel L-1.7 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40,00	0	0	0	100
20,00	0	0	0	100
10,00	0	0	0	100
4,80	0	0	0	100,00
2,40	6	0,30	0,30	99,70
1,20	55	2,75	3,05	96,95
0,60	556	27,77	30,82	69,18
0,30	1022	51,05	81,87	18,13
0,15	341	17,03	98,90	1,10
Sisa	22	1,099	100,000	0
Jumlah	2002	100	214,935	385,065
			MHB =	2,149

Tabel L-1.8 Batas Gradasi Agregat Halus

Gradasi Pasir				
Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat Lolos Ayakan (%)			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10,00	100	100	100	100
4,80	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2,40	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1,20	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0,60	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0,30	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0,15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15



Gambar L-1.2 Batas Gradasi Agregat Halus Daerah III

Tabel L-1.9 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat Tabung (W1), gram	5254
Berat Tabung + Agregrat kering tungku (W2), gram	12405
Berat Agregrat (W3), gram	7151
Volume Tabung (V), cm^3	5301,438
Berat Volume Gembur, $gram/cm^3$	1,349

Tabel L-1.10 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat Tabung (W1), gram	5254
Berat Tabung + Agregrat kering tungku (W2), gram	13728
Berat Agregrat (W3), gram	8474
Volume Tabung (V), cm^3	5301,438
Berat Volume Padat, $gram/cm^3$	1,598

Tabel L-1.20 Hasil Pengujian Lolos Saringan No.200

Uraian	Hasil Pengamatan
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500
Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci (W2), gram	493
Berat yang Lolos Ayakan No. 200	1,4%

Tabel L-1.12 Hasil Uji Kuat Tekan Beton Pada Benda Uji Kubus

Kode Benda Uji	Nilai Kuat Tekan	
	Strength (MPa)	*Max Load* (kN)
BP X-1	27,905	628
BP X-2	26,260	591
BP X-3	25,110	565
BP Y-1	24,440	550
BP Y-2	28,508	641
BP Y-3	27,640	622
Rata-rata	26,644	600

Tabel L-1.14 Hasil *Hammer Test* Pada Benda Uji Kubus

Kode Benda Uji	Rebound	Nilai Rata - rata	Rata-rata Sampel Benda Uji
BP X-1	19,8	21,233	20,056
	22,6		
	21,3		
BP X-2	19,8	19,600	
	18,6		
	20,4		
BP X-3	18,5	19,333	
	21,3		
	18,2		
BP Y-1	18,8	18,967	20,467
	17,5		
	20,6		
BP Y-2	19,5	21,400	
	23		
	21,7		
BP Y-3	21,3	21,033	
	19,2		
	22,6		

Tabel L-1.14 Hasil *Hammer Test* Pada Benda Uji Plat Beton Bertulang

Kode Benda Uji	*Rebound*	Rata-rata Sampel Benda Uji
BR X	27,3	27,733
	28	
	27,9	
BR Y	29	29,100
	28,8	
	29,5	

Tabel L-1.15 Hasil Pengujian UPV Pada Benda Uji Kubus

Kode Benda Uji	*Direct Transmission* (m/s)	Nilai Rata-rata	Rata-rata Sampel Benda Uji
BP X-1	4587	4595	4503
	4630		
	4559		
	4702		
	4419		
	4673		
BP X-2	4491	4541	
	4559		
	4559		
	4630		
	4491		
	4518		
BP X-3	4442	4373	
	4358		
	4358		
	4358		
	4335		
	4386		
BP Y-1	4390	4369	
	4298		
	4419		
	4333		
	4355		
	4420		

Lanjutan Tabel L-1.15 Hasil Pengujian UPV Pada Benda Uji Kubus

Kode Benda Uji	*Direct Transmission* (m/s)	Nilai Rata-rata	Rata-rata Sampel Benda Uji
BP Y-2	4601	4609	4517
	4630		
	4518		
	4630		
	4601		
	4673		
BP Y-3	4630	4572	
	4587		
	4630		
	4601		
	4425		
	4559		

Tabel L-1.6 Hasil Pengujian UPV Pada Benda Uji Plat Beton Bertulang

Kode Benda Uji	*Direct Transmission*		*In-Direct Transmission*	
	Sejajar Tulangan	Tegak Lurus Tulangan	Sejajar Tulangan	Tegak Lurus Tulangan
BR X	5074	4874	4490	4741
	5168	5111	4743	4843
	5208	4904	4505	4766
Nilai rata-rata	5150	4963	4579	4783
BR Y	5214	5116	4878	5000
	5245	4928	4673	4858
	5382	5034	4726	4902
Nilai rata-rata	5280	5026	4759	4920

LAMPIRAN 2

Dokumentasi



Gambar L-2.1 Bekisting Sampel Benda Uji Plat Beton Bertulang



Gambar L-2.2 Bekisting Sampel Benda Uji Kubus



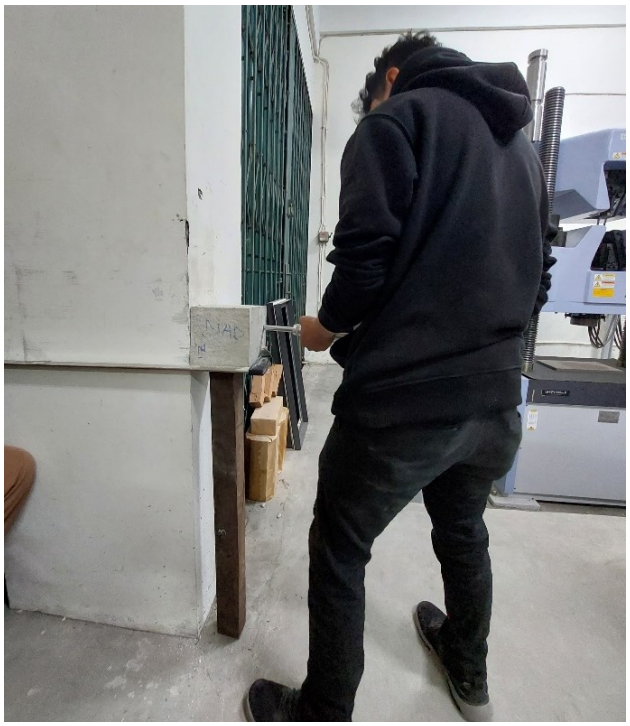
Gambar L-2.3 Proses Perendeman Agregat Kasar



Gambar L-2.4 Benda Uji Setelah *Mix Design*



Gambar L-2.5 *Compression Test* Pada Sampel Kubus



Gambar L-2.6 *Hammer Test* Pada Sampel Kubus



Gambar L-2.7 *Hammer Test* Pada Sampel Plat Beton Bertulang



Gambar L-2.8 UPV *Test* Pada Sampel Kubus



Gambar L-2.9 UPV *Test* Pada Sampel Plat Beton Bertulang