



**PENGARUH METODE PERLAKUAN PERAWATAN
BETON AKIBAT SUBSTITUSI METAKAOLIN
TERHADAP KUAT TEKAN BETON**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat dalam Rangka Penyelesaian Studi
Untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Sipil

Oleh :

MIRANTI YULINANINGTYAS UTAMI

NPM. 6520600051

**FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL**

2024



**PENGARUH METODE PERLAKUAN PERAWATAN
BETON AKIBAT SUBSTITUSI METAKAOLIN
TERHADAP KUAT TEKAN BETON**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat dalam Rangka Penyelesaian Studi
Untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Sipil

Oleh :

**MIRANTI YULINANINGTYAS UTAMI
NPM. 6520600051**

**FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS PANCASAKTI TEGAL**

2024

HALAMAN PENGESAHAN UJIAN SKRIPSI

Telah dipertahankan dihadapan sidang Dewan Penguji Skripsi Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal.

Hari : Jum'at

Tanggal : 19 Juli 2024


Ketua Penguji

Teguh Haris Santoso ST., MT
NIPY. 2466451973


(.....)

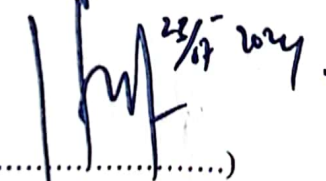
Penguji Utama

Ir. Weimintoro ST., MT
NIPY. 24561101982


(.....)

Penguji I

Okky Hendra Hermawan ST., MT
NIPY. 244561531983


(.....)

Penguji II

Nadya Shafira Salsabilla ST., MT
NIPY. 30161841998


(.....)

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer



Dr. Agus Wibowo, ST. MT h
NIDN. 0618107201

LEMBAR PERSETUJUAN NASKAH SKRIPSI

Judul : Pengaruh Metode Perlakuan Perawatan Beton Akibat
Substitusi Metakaolin Terhadap Kuat Tekan Beton

Nama Penulis : Miranti Yulinaningtyas Utami

NPM : 6520600051

Skripsi ini telah disetujui oleh dosen pembimbing untuk dipertahankan di hadapan sidang dewan penguji skripsi Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal.

Hari : Jum'at

Tanggal : 19 Juli 2024

Pembimbing I



(Okky Hendra Hermawan ST., MT)
NIPY. 244561531983

Pembimbing I



(Nadya Shafira Salsabilla ST., MT)
NIPY. 30161841998

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Miranti Yulinaningtyas Utami

NPM : 6520600051

Fakultas : Teknik dan Ilmu Komputer

Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul :

**“PENGARUH METODE PERLAKUAN PERAWATAN BETON AKIBAT
SUBSTITUSI METAKAOLIN TERHADAP KUAT TEKAN BETON”**

1. Merupakan hasil karya sendiri, dan apabila di kemudian hari ditemukan adanya bukti plagiasi, manipulasi atau pemalsuan data maupun bentuk-bentuk kecurangan yang lain, saya bersedia untuk menerima sanksi dari Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal
2. Saya mengizinkan untuk dikelola oleh Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer sesuai dengan norma hukum dan etika yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan penuh pertanggungjawaban.

Tegal, 19 Juli 2024

Yang Menyatakan



Miranti Yulinaningtyas Utami
NPM.6520600051

HALAMAN PERSEMBAHAN

MOTTO

1. Tidak ada yang sia sia untuk mempelajari ilmu, karena setiap ilmu pasti akan bermanfaat di waktu yang tepat.
2. Bagaimanapun perlakuan orang lain terhadap kita seburuk apapun itu, tetaplah berbuat baik. Karena mana tau akan ada kebaikan yang menunggu kita didepannya nantinya.
3. Hidup cuma sekali, jangan membuang waktu untuk hal yang tidak membuat diri sendiri tidak merasa bahagia.

PERSEMBAHAN

1. Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, yang telah memberikan kemudahan, kelancaran, kesempatan serta nikmat rezeki sehat sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini.
2. Skripsi ini saya dedikasikan untuk kedua orang tua saya, Bapak Drs. Slamet Raharjo dan Ibuk Sunyati yang sangat hebat dan menjadi motivasi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini hingga akhir. Terimakasih atas cinta, dukungan, dan ketulusan hatinya mendoakan penulis agar selalu berada di jalan yang di ridhoi Allah SWT, serta atas pengorbanan yang tiada hentinya untuk penulis. Tanpa kalian, perjalanan ini tidak akan menjadi mungkin. *I love u both more than anything.*

3. Kedua kakak penulis, Minanti Wisyudiningrum, dan M. Bangkit Pamuji. Terimakasih untuk segala semangat, doa, dan dukungan yang selalu diberikan kepada penulis selama penyusunan skripsi ini. Kalian adalah panutan yang selama ini penulis kagumi dan banggakan.
4. Untuk diri saya sendiri, Miranti Yulinaningtyas Utami atas segala kerja keras dan semangatnya sehingga tidak pernah menyerah dalam mengerjakan tugas akhir skripsi ini. Terimakasih untuk tetap tegar dan ikhlas menjalani semuanya. Terimakasih pada raga dan jiwa yang tetap kuat dan waras hingga sekarang. Kedepannya tumbuhlah dengan kuat dan tegar. Mari berkerjasama untuk lebih berkembang lagi menjadi pribadi yang lebih baik dari hari ke hari.
5. Untuk kekasih hati yang nantinya akan penulis tunjukkan karya tulis ini, kamu adalah sebagian alasan penulis menyelesaikan skripsi ini, meskipun saat menyusun skripsi ini penulis tidak mengetahui keberadaanmu. Karena penulis yakin bahwa sesuatu yang ditakdirkan menjadi milik kita akan menuju kepada kita kapanpun dalam versi terbaiknya.
6. Terakhir, pada seluruh teman baik penulis yang tidak bisa disebutkan satu persatu namanya, Terimakasih untuk selalu membantu dan menenangkan penulis disaat penulis mengalami *Overthinking* setiap malam. Terimakasih untuk selalu menghibur penulis dengan humor yang bermacam-macam jenisnya. Sampai bertemu di kesempatan berikutnya dengan saling membawa kabar bahagia.

ABSTRAK

Miranti Yulinaningtyas Utami, 2024. **“Pengaruh Metode Perlakuan Perawatan Beton Akibat Substitusi Metakaolin Terhadap Kuat Tekan Beton”**. Laporan Skripsi Teknik Sipil Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal.

Fenomena Suhu Panas yang melanda Indonesia baru-baru ini telah menjadi pusat pembicaraan masyarakat luas. Tujuan Penelitian ini adalah Untuk mengetahui perbandingan nilai kuat tekan beton pada umur 14 hari dan 28 hari, pada beton dengan metode perawatan beton yang berbeda dan substitusi metakaolin terhadap bahan semen pada persentase 0%, 5%, dan 10%, Untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton yang paling optimal pada beton dengan substitusi semen terhadap bahan metakaolin dan dengan metode perawatan yang berbeda pada beton.

Metode penelitian yang digunakan yaitu metode eksperimen dan olah data statistik menggunakan SPSS'22. Metode perlakuan perawatan beton yang dikaji pada penelitian ini yaitu dengan merendam benda uji beton selama 7 hari, setelah itu benda uji beton diangkat dan dibiarkan pada lapangan terbuka dan ruangan yang teduh hingga mencapai umur beton yang sudah direncanakan.

Penelitian ini mengkaji mengenai metode perlakuan perawatan pada beton di dalam suhu ruangan dan perawatan pada beton yang dibiarkan di lapangan terbuka dengan persentase substitusi metakaolin sebesar 0%, 5% dan 10% pada beton mutu F'c 16 MPa. Hasil nilai kuat tekan beton usia 14 hari yang diperoleh pada penelitian ini yaitu 16,5 MPa, 16,7 MPa, 16,4 MPa, dan 16,7 MPa, 15,7 MPa, 15,5 MPa. Sedangkan perolehan nilai kuat tekan beton di usia 28 hari adalah 16,5 MPa, 16,9 MPa, 15,9 MPa dan 17,8 MPa, 17,4 MPa, 16,5 MPa. Adapun pengaruh secara statistik menggunakan SPSS dengan pengujian regresi linier berganda menghasilkan keputusan signifikansi adanya pengaruh variabel X_1 terhadap variabel Y pada sampel beton berusia 28 Hari dapat berpengaruh sebesar 49,5%.

Kata kunci: Metakaolin, Perawatan Beton, Kuat Tekan Beton.

ABSTRACT

Miranti Yulinaningtyas Utami, 2024. *"The Effect of Concrete Treatment Methods Due to Metakaolin Substitution on the Compressive Strength of Concrete"*. Civil Engineering Thesis Report, Faculty of Engineering and Computer Science, Pancasakti University, Tegal.

The hot temperature phenomenon that has hit Indonesia recently has become the center of widespread public discussion. The aim of this research is to determine the comparison of compressive strength values for concrete at 14 days and 28 days, for concrete with different concrete curing methods and metakaolin substitution for cement at percentages of 0%, 5% and 10%, to obtain compressive strength values. The most optimal concrete is concrete with cement substitution for the metakaolin material and with different curing methods for the concrete.

The research method used is the experimental method and statistical data processing using SPSS'22. The concrete maintenance treatment method studied in this research is by soaking the concrete specimens for 7 days, after which the concrete specimens are lifted and left in an open field and shaded room until the concrete reaches the planned age.

This research examines methods of curing concrete at room temperature and curing concrete left in the open field with a metakaolin substitution percentage of 0%, 5% and 10% in concrete of F'c 16 MPa quality. The results of the compressive strength values for 14 day old concrete obtained in this research were 16.5 MPa, 16.7 MPa, 16.4 MPa, and 16.7 MPa, 15.7 MPa, 15.5 MPa. Meanwhile, the compressive strength values obtained for concrete at 28 days were 16.5 MPa, 16.9 MPa, 15.9 MPa and 17.8 MPa, 17.4 MPa, 16.5 MPa. The statistical influence using SPSS with multiple linear regression testing produces a significant decision that the influence of variable X_1 on variable Y in a 28 day old concrete sample can have an effect of 49.5%.

Keywords: *Metakaolin, Concrete Treatment, Concrete Compressive Strength.*

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Pengaruh Metode Perlakuan Perawatan Beton Akibat Substitusi Metakaolin Terhadap Kuat Tekan Beton”. Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak dapat terselesaikan tanpa bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Agus Wibowo ST., MT, Dekan Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal yang telah mengizinkan dan mendukung dalam penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Okky Hendra Hermawan ST., MT, Kepala Program Studi Teknik Sipil Universitas Pancasakti Tegal yang telah memberikan kesempatan untuk memaparkan gagasan dalam bentuk skripsi ini. Sekaligus sebagai dosen pembimbing 1 yang telah membimbing, mendukung dan menyarankan untuk kesempurnaan penyusunan skripsi ini.
3. Ibu Nadya Shafira Salsabila ST., MT, sebagai dosen Pembimbing 2 yang telah membimbing, mengarahkan, mendukung, dan menyarankan untuk menyempurnakan penyusunan skripsi ini.
4. Segenap Dosen dan Staf Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Pancasakti Tegal.

Penulis telah berusaha membuat naskah skripsi ini semaksimal mungkin sesuai dengan kemampuan penulis, namun demikian mungkin terdapat kekurangan yang tidak disadari oleh penulis. Untuk itu, mohon diberikan masukan untuk kebaikan penulis kedepannya. Besar harapan penulis skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca. Amin

Tegal, 19 Juli 2024

Penulis,

Miranti Yulinaningtyas Utami
NPM. 6520600051

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN NASKAH SKRIPSI	ii
HALAMAN PENGESAHAN UJIAN SKRIPSI	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR RUMUS	xv
DAFTAR TABEL	xvi
LAMBANG DAN SINGKATAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Batasan Masalah	4
C. Rumusan Masalah.....	5
D. Tujuan Penelitian	6
E. Manfaat Penelitian	6
F. Sistematika Penulisan	7
BAB II LANDASAN TEORI & TINJAUAN PUSTAKA	9
A. Landasan Teori	9
B. Tinjauan Pustaka.....	40

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	47
A. Metode Penelitian	47
B. Waktu dan Tempat Penelitian.....	55
C. Instrumen Penelitian	56
D. Metode Pengumpulan Data.....	66
E. Metode Analisis Data.....	68
F. Diagram Alur Penelitian	77
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	78
A. Hasil Penelitian	78
B. Pembahasan	89
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	104
A. Kesimpulan	104
B. Saran	107
DAFTAR PUSTAKA.....	108
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton.....	34
Gambar 3.1 Tabel Acuan Nilai T Tabel	54
Gambar 3.2 Laboratorium UPS Tegal	45
Gambar 3.3 Timbangan Digital	47
Gambar 3.4 Gelas Ukur Penelitian	47
Gambar 3.5 Saringan Agregat	47
Gambar 3.6 Wadah Material Agregat.....	48
Gambar 3.7 Mesin Loss Angeless	48
Gambar 3.8 Mesin Pengaduk Campuran Beton	49
Gambar 3.9 Cetakan Benda Uji.....	49
Gambar 3.10 Alat <i>Slump Test</i>	50
Gambar 3.11 Mesin Pengujian Kuat Tekan.....	50
Gambar 3.12 Agregat Halus Danawarih Tegal.....	51
Gambar 3.13 Agregat Kasar Kali Gung	51
Gambar 3.14 Semen Gresik.....	51
Gambar 3.15 Serbuk Metakaolin.....	52

Gambar 3.16 Air PDAM.....	52
Gambar 4.1 Grafik Modulus Kehalusan Pasir.....	81
Gambar 4.2 Grafik Gradasi Agregat Kasar	83
Gambar 4.3 Grafik Kuat Tekan Beton Umur 14 Hari	87
Gambar 4.4 Grafik Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari	88
Gambar 4.5 Grafik Rekapitulasi Hasil Kuat Tekan Beton	93
Gambar 4.6 Grafik Normal Q-Q Plot	98
Gambar 4.7 Grafik Kelayakan Model Regresi / Model Fit	98
Gambar 4.8 Grafik Kelayakan Model Regresi / Model Fit	103
Gambar 4.9 Grafik Kelayakan Model Regresi / Model Fit	103

DAFTAR RUMUS

Persamaan modulus elastisitas beton	13
Persamaan nilai tambah (Margin)	30
Persamaan nilai kuat tekan beton	39
Persamaan volume benda uji beton	63
Persamaan proporsi bahan material	64
Persamaan kebutuhan substitusi metakaolin	65

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Senyawa Penyusun Semen Portland.....	16
Tabel 2.2 Pengaruh Sifat Material Agregat Pada Sifat Beton	21
Tabel 2.3 Gradasi Agregat Kasar.....	22
Tabel 2.4 Gradasi Agregat Halus.....	24
Tabel 2.5 Devisiasi standar sebagai mutu pelaksanaan	30
Tabel 2.6 Nilai Slump yang dianjurkan	31
Tabel 2.7 Perkiraan kebutuhan air campuran untuk slump	32
Tabel 2.8 Hubungan antara nilai rasio air semen & kekuatan beton	32
Tabel 2.9 Volume agregat kasar per-satuan volume beton.....	33
Tabel 2.10 Acuan Nilai <i>Slump</i> Untuk Beton Segar	34
Tabel 3.1 Waktu Penelitian.....	46
Tabel 3.2 Acuan Rencana Campuran Beton.....	63
Tabel 3.3 Form Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus.....	68
Tabel 3.4 Form Pengujian Kadar Air Agregat Halus dan Kasar	69
Tabel 3.5 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus	71
Tabel 3.6 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar	72

Tabel 3.7 Form Pengujian Berat Jenis Agregat	73
Tabel 3.8 Form Pengujian Keausan Agregat Kasar.....	74
Tabel 3.9 Banyak Benda Uji.....	75
Tabel 3.10 Form Pengujian Kuat Tekan Beton	76
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Kandungan Kadar Lumpur Agregat Halus ..	79
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus	80
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat.....	80
Tabel 4.4 Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus.....	81
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar	82
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Gradasi Agregat Kasar	83
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar.....	84
Tabel 4.8 Hasil Nilai Uji Slump	85
Tabel 4.9 Hasil Kuat Tekan Beton Umur 14 Hari	87
Tabel 4.10 Hasil Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari	88
Tabel 4.11 Rekapitulasi Hasil Perolehan Kuat Tekan Beton	92
Tabel 4.12 Uji Normalitas Data Umur 14 Hari	94

Tabel 4.13 Uji Validitas Entered/Removed Umur 14 Hari	95
Tabel 4.14 Uji Koefisien Determinasi Umur 14 Hari.....	95
Tabel 4.15 Uji Signifikansi Simultan Umur 14 Hari	96
Tabel 4.16 Uji Nilai T Umur 14 Hari	96
Tabel 4.17 Uji Normalitas Data Umur 28 Hari	99
Tabel 4.18 Uji Validitas Entered/Removed Umur 28 Hari	100
Tabel 4.19 Uji Koefisien Determinasi Umur 28 Hari.....	100
Tabel 4.20 Uji Signifikansi Simultan Umur 28 Hari	101
Tabel 4.21 Uji Nilai T Umur 28 Hari	101

LAMBANG DAN SINGKATAN

F'c : Mutu Beton

PBI : Peraturan Beton Indonesia

ASTM : American Standard Tasting and Material

SNI : Standar Nasional Indonesia

Mg : Miligram

Kg : Kilogram

Gr : Gram

M³ : Meter Kubik

SK : Surat Keputusan

MPa : Mega Paskal

N : Newton

FAS : Faktor Air Semen

K : Karakteristik kg/cm³

M : Meter

L : Liter

BN : Beton Normal

BM : Beton Metakaolin

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Di dunia konstruksi, bahan beton normal umumnya digunakan untuk bahan penyusun elemen dari struktur bangunan. Seiring dengan perkembangan pembangunan terbaru ini dapat dilihat dengan berdasarkan pada lingkungan sekitar yang banyak mengalami perubahan dikarenakan adanya pembangunan yang sangat pesat. Bersamaan dengan perkembangan yang pesat didalam industri konstruksi, tentunya konstruksi beton sangat digemari secara berkala dan, mudah digunakan di masa yang akan datang. (Yuhanata et al., 2022) Beton merupakan struktur bahan bangunan yang material penyusunnya terdiri dari agregat kasar (krikil), agregat halus (Pasir), pasta semen, dan air. Beberapa pengguna bahan beton juga kerap menambahkan bahan tambah admixture guna menambah kualitas kekuatan beton dan meningkatkan sifat tahan air pada beton (Rahman, 2017)

Kualitas bahan penyusun beton yang menjadi faktor paling utama dalam mempengaruhi kekuatan pada beton. Penggunaan semen pada beton merupakan hal yang paling utama dalam pembuatan beton secara normal namun didalam beberapa penelitian sebelumnya, semen dapat disubtitusikan dengan bahan pengganti lain. Metakaolin adalah jenis pozzolan semen yang berasal dari bahan kaolin yang mengalami proses dehidroksida yaitu reaksi dekomposisi kristal kaolin menjadi suatu struktur baru oleh pemberian panas

pada suhu 500°C hingga 900°C selama 6 jam. Metakaolin memiliki bentuk berupa butiran halus berukuran 0,5 sampai 5 mikron. (Rivai et al., 2021)

Metode perawatan beton juga dapat memberikan pengaruh terhadap angka kuat tekan pada beton. Guna memenuhi nilai kuat tekan beton yang sesuai dengan mutu perencanaan awal, perlu dilakukan tahap perawatan (*Curing*) beton. Perawatan (*Curing*) beton dapat dilaksanakan setelah dipisahkan dari alat pencetak beton, hal ini dilakukan dengan tujuan agar beton tidak dapat mudah kehilangan air, atau melindungi kondisi kelembaban dan *temperature*, sehingga beton tidak mengalami retak pada permukaan akibat terlalu cepat untuk melewati proses hidrasi pada beton (Mulyati & Arkis, 2020). Beberapa metode *Curing* yang pada umumnya dilakukan di dunia konstruksi di antaranya adalah perawatan beton dengan menyirami permukaan beton menggunakan air, merendam beton didalam air (*Watering*), menutup permukaan beton dengan bahan yang dapat dibasahi air, dan menutup permukaan dengan produk *geotextile (Compound)*.

Fenomena kemarau panjang yang mengakibatkan naiknya suhu udara di permukaan bumi hingga menjadi fenomena yang mendasari penelitian ini, oleh karena itu kondisi suhu di permukaan juga memiliki kenaikan suhu yang signifikan seiring dengan panasnya permukaan bumi. Berdasarkan hasil pengamatan BMKG pada laman website resmi siaran pers BMKG, suhu tertinggi terukur selama periode tanggal 22 hingga 29 september 2023 di beberapa wilayah Indonesia terjadi kisaran suhu yang relatif tinggi yaitu antara 35-38.0°C. Pada siang hari suhu tertinggi pada periode yang serupa

mencapai 38°C data ini telah terhitung di kantor Stasiun Klimatologi Semarang serta di Stasiun Meteorologi Kertajati, Majalengka pada tanggal 28 September 2023.

Beberapa fenomena di dunia konstruksi beton seperti pengecoran plat pada jembatan, pengecoran kolom struktur Gedung, dan pembuatan benda uji laboratorium memiliki metode perawatan yang dipastikan berbeda. Berdasarkan fenomena tersebut perlakuan metode perawatan pada penelitian ini dibedakan menjadi dua cara yang berbeda, yaitu perletakan benda uji pada lapangan terbuka, perletakan benda uji di ruang teduh setelah benda uji direndam selama 7 hari pada kolam perendaman di laboratorium Universitas Pancasakti Tegal.

Meninjau dari data yang telah dibahas pada penelitian sebelumnya beserta data temperature suhu udara dari web resmi BMKG tersebut, maka penulis akan membahas lebih detail mengenai pengaruh suhu udara terhadap perlakuan perawatan beton substitusi metakaolin agar terciptanya studi *experiment* baru mengenai perawatan beton dengan substitusi Semen Metakaolin sebanyak 0%, 5%, dan 10%. Untuk itu dilakukan penelitian skripsi berjudul “Pengaruh Metode Perlakuan Perawatan Beton Akibat Substitusi Metakaolin Terhadap Kuat Tekan Beton” agar dapat menghasilkan penelitian baru seperti yang diharapkan penulis.

B. Batasan Masalah

Untuk meminimalisir perluasan pembahasan dalam penelitian ini, maka peneliti membatasi permasalahan dalam penulisan, yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan material penyusun beton yang diperoleh dari:
 - a) Agregat halus/Pasir yang digunakan berasal dari Sungai Danawarih Kab. Tegal.
 - b) Agregat kasar/Split yang digunakan adalah agregat yang berasal dari Sungai Gung.
 - c) Penggunaan semen dalam penelitian ini adalah semen *portland* dengan merek tiga roda.
 - d) Metakaolin Pabrikasi PT Arthafajar Mitrasejati.
 - e) Air (Laboratorium Teknik Sipil Universitas Pancasakti Tegal)
2. Pengujian material penyusun beton diantaranya adalah :
 - a) Pengujian kadar lumpur pada agregat.
 - b) Pengujian kadar air pada agregat .
 - c) Pengujian Analisa saringan agregat (Gradasi).
 - d) Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan
 - e) Pengujian keausan agregat.
3. Perlakuan perawatan benda uji dilakukan menggunakan 2 metode perlakuan, yaitu perletakan benda uji di lapangan terbuka dan perletakan benda uji di ruang teduh setelah melewati proses perendaman selama 7 hari.

4. Pengujian pada beton dilakukan dengan uji kuat tekan pada beton.
5. Mutu Beton yang dipakai sebagai acuan dalam penelitian ini yaitu F'_c 16MPa dengan presentase campuran sesuai dengan SNI7394:2008.
6. Persentase bahan substitusi Metakaolin sebesar 0%, 5%, dan 10%.
7. Penelitian ini tidak meneliti mengenai sifat kimia dari bahan metakaolin terhadap kuat tekan beton.
8. Pengujian Kuat Tekan beton dilakukan pada usia beton 14 hari dan 28 hari.
9. Bentuk fisik beton dicetak dengan menggunakan cetakan silinder dengan ukuran Diameter 15cm dan Tinggi 30cm.
10. Peneliti membatasi pembuatan sampel benda uji sebanyak 3 (tiga) sampel dengan total keseluruhan benda uji sebanyak 36 sampel.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan pembahasan yang ada pada latar belakang diatas, maka permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana perbandingan perolehan nilai kuat tekan beton pada umur 14 hari dan 28 hari dengan substitusi metakaolin 0%, 5%, dan 10%?
2. Berapa persentase penggunaan Metakaolin untuk memperoleh nilai kuat tekan beton yang paling optimal?
3. Bagaimana pengaruh metode perawatan di dalam ruangan dan di luar ruangan terhadap perolehan nilai kuat tekan beton paling optimal?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui perbandingan nilai kuat tekan beton pada umur 14 hari dan 28 hari, pada beton substitusi metakaolin terhadap bahan semen pada persentase 0%, 5%, dan 10%.
2. Untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton yang paling optimal pada beton dengan substitusi semen terhadap bahan metakaolin.
3. Untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton yang paling optimal dengan metode perawatan yang berbeda pada beton.

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang terdapat pada penelitian ini diantaranya yaitu:

1. Untuk penulis, hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai penerapan ilmu pengetahuan yang didapatkan pada saat perkuliahan dan memperluas pengalaman, wawasan dalam bidang penelitian.
2. Agar dapat menambah pembendaharaan perpustakaan bagi para akademis, sehingga dapat memperluas ilmu pengetahuan khususnya dibidang perawatan beton menggunakan perlakuan yang berbeda.
3. Sebagai tambahan wawasan mengenai sifat bahan Metakaolin yang digunakan sebagai pada substitusi semen pada beton.
4. Bagi pihak industri atau pelaksana proyek dalam proses perawatan beton di masa kemarau panjang baru-baru ini.
5. Sebagai bahan referensi dan acuan bagi penelitian sejenis selanjutnya.

F. Sistematika Penulisan

Sistematika aturan penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bagian ini merupakan bab pertama yang memberikan informasi dasar tentang gap permasalahan yang akan di teliti, mengapa dan untuk apa penelitian tersebut dilakukan. Oleh karena itu bab ini mencakup tentang (1) Latar Belakang Penelitian (2) Batasan Masalah (3) Rumusan Masalah (4) Tujuan Penelitian (5) Manfaat Penelitian (7) Sistematika Penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas mengenai penjelasan teori teori dan referensi yang relevan dengan masalah yang akan diteliti dalam penyusunan skripsi ini, mencantumkan tentang penelitian beton, penambahan bahan substitusi metakaolin pada beton, proses perlakuan perawatan pada beton, nilai kuat tekan beton.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas mengenai metodologi penelitian yang akan digunakan pada penelitian, penjelasan terkait waktu penelitian, tempat penelitian, bahan-bahan penelitian yang akan digunakan, alat alat yang di butuhkan dalam penelitian, perhitungan mix design beton, serta prosedur yang akan diaplikasikan dalam penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi mengenai hasil perolehan data penelitian yang meliputi data hasil pengujian fisik material, data perolehan nilai slump benda uji, data perolehan kuat tekan benda uji beton, serta data rekapitulasi kuat tekan beton secara keseluruhan pada setiap variasi berdasarkan umur benda uji.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini akan menjawab point-point apa saja yang dijadikan rumusan masalah pada penelitian ini. Kesimpulan yang ada pada penelitian ini merupakan ringkasan secara keseluruhan dari hasil data penelitian yang sudah dijelaskan pada point bab sebelumnya. Selain itu, disajikan pula saran yang dapat diberikan setelah peneliti telah memperoleh data. Saran yang disajikan merupakan hasil dari evaluasi penulis setelah melaksanakan pengambilan data di lapangan secara langsung, saran yang disajikan pada penelitian ini ditujukan kepada pembaca yang akan melakukan penelitian serupa agar mendapatkan hasil yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

LANDASAN TEORI DAN TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Definisi Beton

Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang sudah sering dimanfaatkan. Beton juga dijadikan sebagai salah satu bahan bangunan yang umum digunakan untuk membangun jalan, jembatan, bangunan, dan struktur lainnya. Beton dapat dibuat dengan menggabungkan semen *portland* atau semen hidrolis lainnya dengan air, agregat halus (pasir), dan agregat kasar (kerikil). (Miswar et al., 2023)

Beton yang memiliki kualitas dan mutu yang baik harus dirancang sesuai dengan pedoman Standar Nasional Indonesia mengenai komposisi campuran beton. Terdapat dua acuan SNI yang dijadikan sebagai pedoman perancangan campuran komposisi beton yaitu, SNI 03-2834-2000 dan SNI 7656:2012.

Kualitas kekuatan tekan beton dapat dilihat melalui kepadatan dan kekerasan agregatnya, semakin padat atau keras agregat maka kekuatan dan daya tahan beton akan semakin tinggi. Untuk mencapai beton dengan kekuatan tekan yang baik, perlu adanya susunan butiran agregat yang baik, perlu adanya susunan butiran yang baik. Hal ini disebabkan oleh nilai kuat tekan beton yang dihasilkan dari kualitas agregat yang digunakan serta

metode perawatan yang dilakukan pada beton setelah beton mengering.
(Dipohusodo, 1999)

Menurut Navy. (1985) berapa parameter yang dapat mempengaruhi kekuatan beton adalah :

- a) Kualitas bahan semen.
- b) Proporsi bahan campuran.
- c) Kebersihan dan kekuatan agregat.
- d) Interaksi atau ikatan antara pasta semen dan agregat.
- e) Penyelesaian dan pemadatan yang benar pada beton.
- f) Perawatan beton setelah dikeluarkan dari cetakan beton.

Inovasi material pembentuk beton dapat dirancang menggunakan cara mengganti Sebagian material dengan bahan pengganti (Substitusi), baik agregat atau bahan lain dengan cara memanfaatkan limbah yang ada disekitar kita. (Salsabilla, 2021). Dengan istilah lain beton hanya ditinjau melalui capaian kemampuan kuat tekannya saja.

Setelah tahap pencampuran selesai, selanjutnya campuran beton akan mengalami proses hidrasi, dimana pada proses ini beton akan mengalami pengerasan dan bertambah kekuatannya. Pada saat beton telah mengeras, diharapkan beton dapat mampu menahan beban. Kekuatan beton tergantung pada kualitas bahan, cara pengerjaan, dan perawatan beton. (Saputra Adi, 2023). Tujuan dari perawatan beton adalah untuk mengantisipasi penguapan proses hidrasi atau reaksi kimia oleh semen dengan bahan penyusun beton yang terlalu cepat. Spesimen uji yang telah

disiapkan dapat diolah basah untuk mencegah penguapan air pada beton yang belum mengeras. Tujuan dari perawatan basah adalah untuk memungkinkan air menyebar secara merata ke seluruh permukaan dan usia beton. Biasanya, perawatan basah melibatkan merendam benda uji dalam air jenuh atau menyimpannya di ruang yang telah direndam dengan air. Ketika mengalami perawatan basah, benda uji tidak boleh ditempatkan pada bocor atau mengalir. (SNI 2493, 2011)

Definisi beton berdasarkan SK SNI T-15-1990-03 adalah kombinasi dari pasta semen, air serta agregat halus dan agregat kasar dengan atau tidak menggunakan bahan tambahan yang membentuk keras. Dengan kata lain beton normal menggunakan bahan alami yang rusak atau tidak pecah dan memiliki berat isi antara 2200 dan 2500 kg / m³. Ketika beton dapat mempertahankan kekuatan tekanan yang diterapkan padanya di bawah beban, maka beton dikatakan memiliki kualitas yang baik. Kekuatan ini ditentukan oleh faktor air semen (FAS), aditif, efisiensi pengerjaan, dan bahan penyusunnya. (Putra AE, 2017) Prosedur mortaring beton segar (*fresh concrete*) harus baik dan beton keras (*hardened concrete*) yang dibuat juga harus baik dalam fase menghasilkan beton yang baik, atau beton yang memenuhi persyaratan yang lebih ketat. Beton yang kokoh dan tahan air dianggap sebagai beton yang baik.

Berdasarkan SNI (03-2847-2002, 2002) beton diklasifikasikan berdasarkan berat jenisnya terbagi menjadi 3 diantaranya yaitu :

- a) Beton Ringan = Berat Jenis $< 1900 \text{ kg/m}^3$
- b) Beton normal = 2200 kg/m^3
- c) Beton Berat $\geq 2500 \text{ kg/m}^3$

Berdasarkan SNI 03-6468-2000, ACI 318, ACI 363R-92 Beton berdasarkan kuat tekannya dibagi menjadi 3 diantaranya yaitu:

- a) Beton kualitas rendah : $f_c' < 20 \text{ MPa}$
- b) Beton kualitas sedang : $f_c' = 21 \text{ MPa}$ hingga 40 MPa
- c) Beton kualitas tinggi : $f_c' \geq 41 \text{ MPa}$

Beton berdasarkan pembuatannya juga dibedakan menjadi dua, yaitu:

a) Beton *Pre-Cast*

Beton *pre-cast* beton yang proses produksinya berada di lokasi dan pengujiannya dilakukan pada tempat pabrikasi khusus kemudian dipindahkan menuju lokasi kemudian dipasang sesuai pada jenis elemen struktur pada konstruksi bangunan.

b) Beton *Cast in-situ*

Beton *cast in-situ* ialah beton yang proses pekerjaannya dikerjakan secara langsung di lokasi pembangunan dengan menggunakan acuan atau cetakan yang sudah dipasang di lokasi.

Beton bersifat getas, yang berarti mempunyai kekuatan tekan yang tinggi tapi kekuatan tariknya lemah. Dalam kasus ini, jika kekuatan tekan beton tinggi, biasanya karakter yang lain ikut menyesuaikan. Menurut

(Tjokrodimuljo, 2012) karakter yang sering dijadikan pedoman dipergunakannya beton adalah sebagai berikut:

a) Kekuatan

Semakin besar kuat tekan lebih besar dari kekuatan tarik, semakin rapuh beton. Oleh karena itu, kuat tekan beton memiliki pengaruh yang besar terhadap kualitas beton

b) Modulus Elastisitas beton

Modulus elastisitas beton tergantung pada Modulus Elastisitas bahan yang digunakan untuk mix design beton (Agregat dan pastanya). Persamaan modulus elastisitas beton dapat dilihat berdasarkan SNI 03-2847-2002 adalah sebagai berikut:

$$E_c = 4700 \times \sqrt{f'_c} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan :

W_c = Berat Beton (kg/m^3)

f'_c = Kekuatan Tekan Beton (MPa)

E_c = Modulus Elastisitas Beton (MPa)

c) Kerapatan air

Penggunaan beton pada bangunan tertentu diwajibkan memiliki kualitas beton yang kedap terhadap air. Hal ini bertujuan agar konstruksi beton yang dibuat tidak mengalami kebocoran, contoh pekerjaan beton tersebut yaitu beton plat lantai, beton kamar mandi lantai dua, beton pada dinding, dan beton pada atap. Selain itu, untuk meminimalkan terjadinya karat pada batang penguat, beton tahan air

memainkan peran penting dalam mencegah korosi pada batang penguat internal. *Water proofing concrete* adalah beton yang dicampur untuk menciptakan komposisi yang sangat padat, yang mencegah air masuk atau menembus pori-pori beton.

d) Susutan pengeras

Setelah beton mengeras, volumenya akan berkurang dibandingkan dengan saat masih segar karena terjadi minim penyusutan akibat penguapan air. Material yang mengalami penyusutan adalah pasta beton, sedangkan agregat tidak mengubah volume. Dengan demikian, semakin tinggi kandungan pasta dalam beton, semakin besar pula penyusutan betonnya. Jika kandungan air semen dalam pasta semakin besar, maka penyusutan juga akan semakin besar. Besarnya kandungan pasta akan menyebabkan penyusutan beton menjadi lebih besar, sedangkan semakin besar penyusutan beton, maka kandungan air semen dalam pasta juga semakin besar.

2. Material Penyusun Beton

Bahan-bahan beton termasuk air, semen *portland*, agregat kasar dan halus, hingga campuran. Setiap komponen memiliki fungsi dan dampak yang berbeda. Berikut ini menjelaskan komponen spesifik yang umum digunakan :

a) Semen *Portland*

Semen adalah bahan perekat yang digunakan dalam beton untuk mengikat komponen padat menjadi struktur yang padat dan kuat. Terdapat dua jenis semen yang berbeda, yaitu semen hidrolik dan semen non-hidrolik. (Akbar AI, 2020).

Pengertian semen *Portland* berdasarkan SNI (15-2049-2004, 2002) adalah jenis semen hidrolik yang dibuat dengan menghancurkan terak semen, dan mengandung kalsium silikat, yang memiliki sifat hidrolik khusus. Bahan baku utama semen *Portland* adalah batu yang bahan penyusunnya adalah CaO dan kapur, dan bahan utamanya adalah SiO₂ (*silica*), Al₂ O₃ (aluminium oksida), Fe₂ O₃ (*oksida besi*), MgO (*magnesium*), dan SO₃ (belerang), tanah liat Na₂ +K₂ O (soda/*kalium*). Jenis dan jumlah semen dapat mempengaruhi kuat tekan beton yang dihasilkan.

Ketika semen dicampur dengan air maka pasta semen diproduksi. Ketika agregat halus (pasir) dan air ditambahkan pasta semen maka akan menjadi mortar, yang umumnya disebut mortar. Ketika agregat kasar (kerikil) ditambahkan, itu menjadi mortar dan disebut beton. Pemuaiian pasta semen yang terjadi akibat pembentukan ettringit dimulai langsung setelah air ditambahkan ke dalam campuran. Namun, hanya pemuaiian terbatas yang memberikan manfaat, dan tidak ada pengekanan yang dilakukan ketika beton dalam kondisi plastis atau ketika beton belum memiliki kekuatan cukup. Oleh karena itu, sebaiknya pencampuran yang

terlalu lama dan penundaan sebelum melakukan pengecoran beton yang mengandung semen ekspansif dapat dihindarkan. (*Contruction pers, Longman Group, London, 1983*) Pada tabel dibawah ini, akan dijelaskan mengenai perbedaan presentase senyawa kimia yang dapat menyebabkan perbedaan sifat pada semen.

Tabel 2.1 Karakteristik senyawa penyusun semen *Portland*

Nilai	Penyemaian Kecepatan	Reaksi Pelepasan	Panas Hidrasi
Trikalsium Silikat $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ atau C3S	Baik	Sedang	Sedang
Dikalsium Silikat $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ atau C2S	Baik	Lambat	Sedikit
Trikalsium Aluminat $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ atau C3A	Buruk	Cepat	Banyak
Trikalsium Aluminoferrit $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ atau C4AF	Buruk	Lambat	Sedikit

Sumber : Teknologi Beton, Ir. Tri Mulyono, MT

Berdasarkan kelompok dan penggunaannya menurut SK SNI (15-2049-2004, 2002), semen *Portland* memiliki 5 jenis yang berbeda dalam penggunaannya, yaitu:

1) Tipe satu

Umum digunakan dan tanpa memerlukan persyaratan layaknya tipe semen lainnya.

2) Tipe Dua

Digunakan ketika ketahanan sulfat moderat dan hidrasi termal diperlukan.

3) Tipe Tiga

Digunakan ketika kekuatan tinggi diperlukan setelah bergabung.

4) Tipe Empat

Digunakan ketika dibutuhkan reaksi hidrasi dengan kalor yang rendah.

5) Tipe Lima

Digunakan ketika dibutuhkan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

b) Semen Metakaolin

Kaolin adalah salah satu jenis mineral tanah liat yang mengandung sebagian lapisan *aluminium silikat*. Secara umum, kaolin terdiri dari mineral kaolinit yang menjadi komponen utamanya, sehingga masuk dalam kategori tanah liat primer. Metakaolin, di sisi lain, adalah bahan *pozzolan* berasal dari kaolin yang telah mengalami proses dehidroksilasi dengan pemberian panas pada suhu antara 500°C hingga 900°C. Setelah proses pembakaran selesai, hasilnya akan digiling dengan cermat untuk mencapai tingkat kehalusan yang diinginkan. Tujuan dari penggilingan ini adalah untuk meningkatkan beberapa parameter seperti kekuatan dan sifat-sifat mortar semen dan beton. Hasilnya berupa serbuk halus dengan ukuran sekitar 0,5 hingga 5 mikron. Proses dehidroksilasi ini menyebabkan kristal kaolin terdekomposisi menjadi struktur yang tidak menyatu sebagian. Metakaolin digunakan sebagai komponen baku dalam proses ini, dimana tanah liat kaolin menjadi komponen utamanya. Tanah liat

kaolin yang mengandung mineral kaolinit merupakan jenis tanah liat yang halus, berwarna putih, dan sering digunakan dalam produksi porselen. Tanah liat kaolinit juga dikenal dengan sebutan tanah liat cina atau kaolin.

Adapun sifat kimia dari bahan tambah metakaolin ini, dibedakan menjadi seperti berikut :

- a. Kandungan Silika (SiO_2): 51-53%
- b. Kandungan Alumina (Al_2O_3): 42-44%
- c. Kandungan Kalsium Oksida (CaO): kurang dari 20%
- d. Kandungan Fe_2O_3 : kurang dari 2,20%
- e. Kandungan Sulfat (SO_4): kurang dari 0,5%
- f. Kandungan Kalium Oksida (K_2O): kurang dari 40%

Berikut adalah sifat fisik dari Metakaolin:

- a) Bentuk Fisik: Serbuk
- b) Warna: Putih pucat, Abu-abu
- c) Gravitasi Spesifik: 2,40 hingga 2,60
- d) Kehalusan: 8000-15000 m^2/kg .

Metakaolin mengandung silika dan alumina yang aktif serta campuran mineral lainnya. Ketika bereaksi dengan kalsium hidroksida pada suhu kamar, metakaolin membentuk gel kalsium silikat hidrat (CSH). Gel ini meningkatkan kepadatan beton dan mengurangi porositas, sehingga metakaolin dapat mengurangi permeabilitas dan meningkatkan daya tahan beton. Dalam aplikasi beton, metakaolin

berfungsi sebagai bahan pengisi yang mengisi rongga antara partikel semen. Hal ini menghasilkan beton yang lebih kedap udara.

Berikut adalah beberapa keunggulan bahan metakaolin sebagai bahan substitusi semen pada beton :

- a) Metakaolin mempercepat proses pengerasan beton.
- b) Membantu pengembangan kekuatan beton pada tahap awal sehingga memungkinkan pelepasan bekisting lebih awal, meningkatkan produktivitas.
- c) Metakaolin mengonsumsi kalsium hidroksida dan mencegah reaksi alkali-silika. Ini meningkatkan ketahanan terhadap serangan sulfat, kimia, pembekuan, dan pencairan.
- d) Mengurangi penyusutan pengeringan dan pembengkakan.
- e) Meningkatkan kedap air pada beton sehingga cocok untuk struktur penahan air dan lepas pantai.
- f) Dapat meningkatkan kekuatan beton tahan api setelah pembakaran.
- g) Meningkatkan kekuatan dan daya tahan beton.

Selain terdapat kelebihan dari bahan metakaolin seperti yang dijelaskan sebelumnya, Adapun kekurangan yang terdapat pada bahan metakaolin untuk beton, diantaranya yaitu :

- a) Metakaolin memiliki kehalusan yang tinggi, sehingga dapat mengurangi kemampuan kerja beton. Untuk mengatasi hal ini,

penggunaan aditif pengurang air atau campuran pemasukan udara bisa digunakan untuk mencapai kemampuan kerja yang diinginkan.

- b) Untuk mempertahankan sifat yang diinginkan, penting untuk memiliki kontrol kualitas yang baik. Pengendalian kualitas harus konsisten agar efektif.

Pemilihan material juga penting. Kualitas yang lebih baik mungkin akan lebih mahal daripada kualitas yang lebih rendah, namun penting untuk mempertimbangkan kualitas yang diinginkan sesuai dengan kebutuhan proyek.

c) Agregat

Agregat adalah bahan yang biasanya seperti pasir, kerikil, atau pecahan batu yang digunakan dalam kombinasi dengan pengikat guna menciptakan semen hidrolik dan mortar. Agregat diperoleh dari sumber alami dan secara alami berkurang ukurannya karena pelapukan dan keausan dari waktu ke waktu.

Umumnya agregat menyumbang sekitar 70% - 75% dari total volume beton, oleh karena itu mutu agregat memiliki pengaruh besar terhadap mutu beton. Dengan menggunakan agregat yang berkualitas baik, beton dapat memiliki kelenturan yang baik (*workability*), kekuatan yang tinggi, ketahanan yang lama (*durable*), serta lebih ekonomis. Agregat juga merupakan bahan yang diperoleh dalam bentuk mineral padat dengan berbagai ukuran atau fragmen dari batu, pasir,

kerikil, atau mineral lain yang berasal dari alam atau buatan. Agregat dapat dijadikan untuk mengisi rongga dalam campuran beton dan tujuannya adalah untuk mencegah beton mudah pecah di bawah tekanan. Oleh karena itu, kualitas agregat memiliki dampak signifikan pada beton yang dibuat darinya.

Tabel 2.2 Pengaruh sifat material agregat pada sifat beton

Sifat Agregat	Pengaruh terhadap	Sifat Beton
Bentuk, tekstur, gradasi	Beton Cair	Kecelakaan pengikat dan pengerusan
Sifat fisik, Sifat Kimia, mineral	Beton Keras	Kekuatan, kekerasan, ketahanan (<i>Durability</i>)

Sumber : Nugraha, P dan Antoni, 2007

1) Agregat Kasar

Agregat kasar yaitu material yang berasal dari pecahan batu alam dengan melalui industri pemecah batu hingga membentuk batuan sedemikian rupa berukuran berkisar antara 5mm–40mm (SNI 03-2834-2000, n.d.). Agregat kasar yang baik memiliki bentuk yang memiliki sudut dan tidak berbentuk bulat/polos. Ukuran penggunaan butir maksimum yang diizinkan dapat disesuaikan dengan kebutuhan pemakaian.

Ukuran agregat bisa memiliki dampak signifikan pada kekuatan tekan beton. Penggunaan agregat kasar yang lebih besar dapat menyebabkan penurunan kekuatan beton yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh ruang antar partikel agregat yang lebih besar akibat digunakannya agregat kasar yang terlalu banyak. Hal ini dapat

meningkatkan potensi terbentuknya rongga udara yang dapat menyebabkan penurunan kekuatan tekan pada beton.

Kriteria untuk agregat kasar yang dapat dicampur ke dalam mortar beton adalah sebagai berikut:

- 1) Batu pecah wajib terdiri dari butiran keras dan tidak memiliki pori dengan kandungan agregat lemah tidak melebihi 5% saat diuji dengan menggosok dengan batang tembaga.
- 2) Agregat kasar terdiri dari butiran datar dan panjang, dan jumlah butiran datar dan panjang tidak boleh melebihi 20% dari total berat agregat.
- 3) Partikel agregat harus tahan terhadap efek cuaca seperti matahari panas dan hujan dan tidak mudah retak atau hancur.
- 4) Agregat kasar tidak boleh mengandung zat reaktif atau basa yang dapat merusak beton. Agregat dilarang memiliki kandungan lumpur $> 1\%$ dari bobot agregat kasar.

Tabel 2.3 Gradasi Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	% Berat Butir yang Lewat Ayakan		
	Ukuran Maks. 10 mm	Ukuran Maks. 20.mm	Ukuran Maks. 40 mm
76	-	-	100-100
38	-	100-100	95-100
19,6	100-100	95-100	35-70
9,6	50-85	30-60	10-40
4,8	0-10	0-10	0-5

Sumber : (SNI 03-2834-2000, n.d.)

2) Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat di mana semua partikel dapat melewati saringan 4.75 mm. Agregat halus untuk beton terdiri dari pasir alami, pecahan batuan alam, atau hasil dari batu pecah yang disebut kapur. Menurut standar ASTM C33, agregat diklasifikasikan sebagai agregat halus apabila ukuran partikelnya kurang dari 4.75 milimeter. Menurut definisi SNI 03-2834-2000, agregat halus adalah pasir alami yang terbentuk akibat proses disintegrasi alami batuan dan pasir, dengan ukuran kurang lebih 5.0 milimeter. Dengan kata lain agregat halus adalah pasir alam yang secara alami terurai dari produk dari industri penghancur batu atau batu, dengan ukuran partikel maksimum sekitar 4.8 milimeter. Menurut (Kardiyono Tjokodimulyo, 1992) pasir alam dibedakan menjadi beberapa macam diantaranya yaitu:

- a) Pasir sungai merupakan jenis pasir yang dapat diambil dari bagian paling bawah pada sungai dan biasanya berbentuk butiran halus yang bulat akibat proses gesekan. Karena bentuknya yang bulat, daya lekat antar butiran pasir sungai cenderung kurang baik.
- b) Pasir galian adalah pasir yang di dapatkan secara langsung dari permukaan tanah dengan cara digali. Pasir jenis ini umumnya memiliki sudut-sudut, berpori, dan tanpa kandungan garam.

Agregat halus dilarang terdapat kandungan lumpur > 5% dan tidak memiliki kandungan zat-zat organik yang dapat merusak beton. Menurut (SNI 03-2834-2000) Saat merencanakan campuran beton biasa, kekerasan pasir dibagi menjadi empat kategori tergantung pada gradasinya adalah: pasir halus, pasir cukup halus, pasir sedikit kasar, dan pasir kasar.

Tabel 2.4 Gradasi Agregat Halus

Ukuran Saringan	SNI 03-2834-2000			
	Pasir Kasar	Pasir Sedang	Pasir Agak Halus	Pasir Halus
	Gradasi 1	Gradasi 2	Gradasi 3	Gradasi 4
9,6	100-100	100-100	100-100	100-100
4,8	90-100	90-100	92-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : (SNI 03-2834-2000)

Agregat halus berfungsi untuk mengisi pori-pori antar agregat kasar dengan tujuan mengurangi jumlah udara dalam beton yang dapat mempengaruhi kuat tekan. Gradasi dan keseragaman agregat halus memiliki efek yang lebih besar pada kemudahan pemadatan daripada gradasi dan keseragaman agregat kasar. Hal ini dikarenakan mortar bertindak sebagai pelumas, sedangkan agregat kasar hanya mengisi rongga di dalam beton.

d) Air

Air memainkan peran besar dalam menentukan kualitas campuran beton dan karenanya merupakan bahan penting saat mencampur bahan beton. Tujuan utama menggunakan air adalah mendukung proses hidrasi, yang merupakan reaksi kimia antara semen dan air yang mengeraskan campuran.

Dalam beton, air membantu terjadinya reaksi kimia antara semen dan membentuk mortar semen. Air juga berperan sebagai bahan pendukung hidrasi yang memengaruhi kecukupan distribusi campuran dalam beton. Jika terlalu banyak air ditambahkan ke campuran, hal ini dapat mengurangi kekuatan dan kualitas yang diharapkan dari beton yang dihasilkan. (Yudianto, 2011).

Menurut (SNI 03-2834-2000) menjelaskan tentang Penggunaan air untuk membuat beton harus mengikuti aturan standar sebagai air minum tanpa memiliki rasa, aroma, dan tidak terdapat zat-zat beresiko. Kehadiran air dalam campuran beton akan mempengaruhi:

- 1) Keterampilan dalam menyesuaikan mix design.
- 2) Besaran keretakan pada beton.
- 3) Proses terjadinya reaksi kimia terhadap semen *Portland*, yang akan memengaruhi kekuatan beton.
- 4) Proses *curing* campuran beton yang mempengaruhi proses pengerasan beton.

3. Pengujian Sifat Fisik Material Beton

Penulis melakukan uji komponen material, uji campuran, dan uji kuat tekan beton dalam penelitian ini. Tujuan dari uji komponen material adalah untuk mengetahui sifat material yang digunakan dalam penelitian, sedangkan uji kuat tekan beton adalah untuk mengetahui beban yang ideal yang dapat ditahan oleh beton.

a. Pengujian Material Agregat

1) Pengujian agregat halus

a) Pengujian kadar lumpur agregat halus

Uji kandungan lumpur dilakukan untuk menilai apakah agregat cocok untuk digunakan dalam campuran beton. Menurut Persyaratan Umum Indonesia untuk Bahan Bangunan 1982 (PUBI 1982), kandungan lumpur maksimum dalam pasir halus / agregat adalah 5% dari berat agregat itu sendiri, sehingga pasir yang digunakan sebagai komponen beton harus dicuci terlebih dahulu. Ketika kandungan lumpur mencapai tingkat yang diperlukan, itu melebihi persentase.

b) Pengujian kadar air agregat halus

Dalam pembuatan beton semen atau beton aspal campuran dingin dengan aspal emulsi, massa komponen agregat diatur dengan menguji kadar air agregat halus. Cara pengujian ini menghasilkan pengaturan massa agregat yang lebih akurat dibandingkan penentuan komposisi beton berdasarkan kadar air

pada agregat dengan cara mengukur kadar air pada sampel agregat. (SNI 1971:2011) Menurut SK-SNI-15-1990-30 yang mengatur tentang pekerjaan perencanaan campuran beton, kadar air agregat halus tidak boleh melebihi 6,5%.

c) Analisis saringan agregat halus (Gradasi)

Tes analisis saringan agregat halus dimaksudkan untuk mengukur ukuran atau persentase distribusi partikel agregat halus. Persyaratan nilai yang diperoleh dari hasil perhitungan analisis saringan halus mengacu pada aturan standar (SK SNI S-04-1989-F, 1989) berada pada kisaran 1,5%-3,8%.

d) Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat

Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh data berupa berat jenis massa, berat jenis permukaan kering, berat jenis efektif, laju penyerapan agregat. Pengujian berat jenis agregat halus menggunakan acuan baku (SK SNI M -04-1989-F, 1989) dan (SNI 1970, 2008) berada pada kisaran 2,6-2,8%.

2) Pengujian agregat kasar

Pengujian dilakukan pada agregat kasar untuk menentukan sifat-sifat agregat kasar yang digunakan. Pengujian kandungan agregat juga dilakukan berupa pengujian kandungan lumpur, berat jenis dan uji penyerapan air, dan pengujian modulus kehalusan agregat. Beberapa pengujian pada agregat kasar dijelaskan di bawah ini.:

a) Pengujian kadar air agregat kasar

Nilai perbandingan berat air agregat dalam keadaan kering adalah kadar air agregat, yang ditunjukkan dalam persen. (SK SNI 03-1971-1990). Kadar air perlu diketahui untuk mengetahui berapa banyak air yang diperlukan untuk campuran beton. Berdasarkan (SNI 03-1974-2011, 2011) tentang pengerjaan perencanaan campuran beton, penggunaan nilai batas gradasi hingga disebutkan bahwa kadar air agregat kasar harus memenuhi hingga kurang dari 1,06%.

b) Pengujian analisis saringan agregat kasar (Gradasi)

Uji analisis saringan untuk agregat kasar dilakukan dengan tujuan untuk menentukan apakah ukuran partikel dibagi menjadi agregat kasar dan halus menggunakan saringan. Tes ini dilakukan sesuai dengan Standar .

c) Pengujian keausan agregat

Pengujian keausan agregat kasar dilakukan dengan mesin abrasi Loss Angeles untuk mengukur ketahanan agregat kasar terhadap keausan. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menghitung nilai keausan agregat dengan membandingkan berat bahan aus lolos saringan No. 12 (1,7 mm) dengan berat semula dalam persen. (SNI 03-2417-1991) dengan syarat perolehan rata-rata abrasi tidak lebih dari 40%.

4. Perencanaan *Mix Design* Beton

Perencanaan bahan penyusun campuran beton adalah rencana tata cara pembuatan beton normal, yang akan menghasilkan mutu beton sesuai dengan perencanaan penelitian. (BSN,2000). Tujuan dari desain campuran adalah untuk menjamin bahwa proporsi bahan penyusun beton seimbang untuk memenuhi spesifikasi kemampuan kerja, kekuatan, dan daya tahan. Secara umum, proses perencanaan campuran beton ini dimulai dengan menunjukkan rencana pengujian seperti mutu beton, jenis semen yang digunakan, dan data agregat yang digunakan.

Untuk membuat campuran beton, Standar Nasional Indonesia (SNI) digunakan sebagai perencanaan campuran. SNI menetapkan proporsi campuran dengan kondisi agregat dalam kondisi kering permukaan (SSD), jadi pengujian harus dilakukan untuk menyesuaikan kondisi di lapangan. Berdasarkan SNI 7656-2012, langkah-langkah perencanaan campuran untuk beton normal adalah sebagai berikut:

a. Menentukan Nilai Kuat Tekan Beton

Menghitung nilai kekuatan tekan beton (F_c) yang direncanakan sesuai dengan persyaratan yang telah ditetapkan. Setelah 28 hari, kekuatan tekan maksimum ditetapkan, dan kegagalan/cacat maksimum adalah 5%.

b. Menentukan Nilai Deviasi Standar

Nilai deviasi (penyimpangan) pada beton diukur untuk menentukan nilai deviasi standar, yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.5 Deviasi Standar sebagai ukuran mutu pelaksanaan

Isi Pekerjaan		Deviasi Standar		
Sebutan	Volume beton (m ³)	Baik Sekali	Baik	Dapat Diterima
Kecil	>1000	4.5<S<5.5	5.5<S<6.5	6.6<S<8.5
Sedang	1000-3000	3.5<S<4.5	4.5<S<5.5	6.5<S<7.5
Besar	>3000	2.5<S<3.5	3.5<S<4.5	4.5<S<6.5

Sumber : SNI 7656-2012

c. Menghitung Nilai Tambah (Margin)

Adapun rumus perhitungan untuk menghitung nilai tambah yaitu

$$M = 1,64 \times S \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

M : Nilai Tambah

1,64 : Ketetapan statistik yang nilainya tergantung pada persentase kegagalan uji sebesar 5%

S :Deviasi Standar Rencana

d. Menentukan Nilai *Slump/Flow*

Tabel berikut menunjukkan nilai slump yang dapat digunakan untuk berbagai jenis pekerjaan konstruksi apabila beton didapatkan dengan cara digetarkan, diantaranya adalah :

Tabel 2.6 Nilai Slump yang dianjurkan untuk berbagai jenis pekerjaan konstruksi

Tipe Konstruksi	Slump (mm)	
	Maksimum	Minimum
Pondasi beton bertulang (dinding dan pondasi telapak)	75	25
Pondasi telapak tanpa tulangan, pondasi tiang pancang, dinding bawah tanah	75	25
Ring balk, dan dinding bertulang	100	25
Kolom bangunan	100	25
Perkerasan dan pelat lantai	75	25
Beton massa	50	25

Sumber : SNI 7656-2012

e. Pemilihan Ukuran Butir Agregat Maksimum

Jumlah total ukuran tidak boleh melebihi satu perlima dari ukuran paling kecil dari dimensi antara dinding cetakan atau bekisting, satu pertiga dari tebal pelat lantai, dan satu perempat dari jarak minimum antar tulangan..

f. Perkiraan Air Pencampur dan Kandungan Udara

Jumlah air yang diperlukan untuk campuran beton diperkirakan bergantung pada berbagai faktor, termasuk ukuran nominal maksimum, jenis batuan yang digunakan, nilai slump perencanaan, dan penggunaan bahan tambah kimia. Jumlah air yang diperlukan diperkirakan dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel 2.7 Perkiraan kebutuhan air campuran untuk berbagai slump dan ukuran agregat maksimum

Ukuran Maks. Agregat	Jenis Batuan	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-80
10	Batu tak dipecah	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Batu tak dipecah	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Batu tak dipecah	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Sumber : SNI 7656-2012

g. Pemilihan Rasio Air Semen

Hubungan antara nilai rasio air-semen (w/c) dan kekuatan beton dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 2.8 Hubungan antara nilai rasio air-semen (w/c) dan kekuatan beton

Kekuatan beton umur 28 hari (Mpa)	Rasio air semen (berat)	
	Beton tanpa tambahan udara	Beton dengan tambahan udara
40	0,42	-
35	0,47	0,39
30	0,54	0,45
25	0,61	0,52
20	0,69	0,6
15	0,75	0,7

Sumber : SNI 7656-2012

h. Perkiraan Agregat Kasar

Agar agregat dengan ukuran nominal maksimum dan gradasi yang sama digunakan untuk tiap satuan volume beton, agregat dengan kondisi kering oven akan menghasilkan beton dengan sifat pengerjaan yang memuaskan. Volume perkiraan agregat kasar dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.9 Volume agregat kasar per-satuan volume beton

Ukuran Minimal Agregat Maksimum (mm)	Volume agregat kasar kering oven per satuan volume beton untuk berbagai modulus kehalusan dari agregat halus			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,5	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,6
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,8	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Sumber : SNI 7656-2012

5. Pengujian *Workability (Slump)*

Pengujian kemampuan kerja beton adalah metode empiris untuk mengevaluasi konsistensi atau kekakuan campuran beton segar. Pengujian kemerosotan dapat menentukan kekuatan, kelemahan, dan kesesuaian air yang akan digunakan dalam proses pembuatan beton. Untuk menentukan nilai turunya tinggi mortar, tingkat pengurangan mortar beton dalam kemerosotan setelah pengangkatan digunakan. Jika nilai turunya mortar melebihi nilai desain, campuran dianggap diencerkan dengan nilai kemampuan kerja yang tinggi. Namun, jika nilai kemerosotan di bawah nilai ukuran yang direncanakan, campuran dianggap kental dan memiliki nilai kemampuan kerja yang rendah. Menurut SNI 03-1972-2008 tentang Prosedur Uji Slump Beton Semen *Portland*, adalah metode pengukuran *viskositas* campuran beton, dinyatakan dalam milimeter dan diukur menggunakan alat kerucut Abrams. Kriteria acuan nilai *slump* pada pekerjaan elemen struktur beton tertentu yang dibedakan seperti berikut:

Tabel 2.10 Acuan Nilai Slump Untuk Beton Segar

No	Elemen Struktur	Slump Maks (cm)	Slump Min (cm)
1.	Plat pondasi, pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
2.	Pondasi telapak tidak bertulang, konstruksi bawah tanah	9,0	2,5
3.	Plat lantai, balok, kolom, dinding	15,0	7,5
4.	Jalan beton bertulang	7,5	5,0
5.	Pembetonan masal	7,5	2,5

(Sumber : PBI 1971 N.I-2)

Sedangkan, untuk perhitungan nilai slump dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Nilai Slump} = T. \text{ Cetakan} - T. \text{ Rata-Rata sampel} \dots\dots\dots(2.3)$$

6. Perawatan Beton

Perawatan beton, atau *curing*, merupakan suatu tahap dalam proses pengerjaan beton yang bertujuan untuk mempertahankan kelembaban dan suhu yang ideal untuk mencegah hidrasi berlebihan dan memastikan bahwa proses hidrasi berlangsung dengan lancar. *Curing* umumnya dikenal sebagai proses merawat beton yang bermaksud untuk menjaga beton tetap dalam keadaan jenuh, sehingga proses hidrasi semen dapat berjalan dengan baik, meningkatkan kekuatan beton secara normal, dan memberikan ketahanan yang optimal. (Santoso Teguh Haris, 2022). Terdapat dua kategori dalam proses perawatan beton, diantaranya adalah dengan menjaga ketersediaan air dan metode meminimalkan kehilangan air pada campuran beton dengan menutup permukaan yang terbuka (Porositas). Untuk menyediakan air untuk perawatan beton, beberapa teknik perawatan yang dikenal dalam industri konstruksi termasuk

direndam, disiram, dan penutupan beton. Beberapa faktor yang dapat menentukan pemilihan metode perawatan beton adalah ketersediaan bahan perawatan yang ada, ukuran dan bentuk struktur, ekonomi, kondisi lingkungan, pengawasan, dan dari segi estetikanya. (Mamlouk & Zaniewski, 2006) Beberapa metode pelaksanaan *curing* beton diantaranya adalah sebagai berikut :

a) Perawatan dengan uap

Prosedur merawat beton secara uap umum dilakukan dengan lokasi yang memiliki suhu rendah. Perawatan ini dilaksanakan dengan cara pembasahan setelah beton dicetak selama 24 jam, minimal 7 hari. Hal ini bertujuan untuk tercapainya nilai kuat tekan beton paling optimal dicapai pada usia 28 hari. Perawatan dengan metode uap terbagi menjadi dua, yakni penguapan tekanan tinggi dan penguapan tekanan rendah. Penguapan tekanan rendah dilaksanakan selama kurang lebih 10 hingga 12 jam dengan suhu 40°C hingga 55°C. Sedangkan pada penguapan tekanan tinggi dilaksanakan dengan kurun waktu 10 hingga 16 jam pada suhu 65 °C hingga 95 °C (Kurniawan, 2016)

b) Perawatan dengan *membrane*.

Perawatan beton dengan menggunakan membran melibatkan penggunaan penghalang fisik untuk mencegah penguapan air. Lembaran membran yang digunakan harus kering dan tidak mengandung lubang yang dapat merusak beton. Sebaiknya, proses

perawatan ini dilakukan dengan menggunakan lembaran plastik atau bahan lain yang tidak tembus air. (Pamungkas AP, 2020)

c) Perawatan dengan pembasahan

Prosedur perawatan beton dengan cara menjaga kondisi jenuh air pada beton di ruangan yang lembab memiliki roses perawatan dengan penjagaan kelembaban meliputi:

- 1) Menempatkan beton di ruang lembab.
- 2) Merendam beton dalam rendaman air.
- 3) Mengoleskan air secara bertahap ke permukaan beton.

Perawatan beton umumnya dilaksanakan dengan air bersih tanpa bahan kimia yang dapat merusak mutu beton itu sendiri. Kondisi lingkungan yang panas dan perubahan iklim yang terjadi di Indonesia dapat menyebabkan metode perawatan beton yang digunakan tidak mencapai tingkat mutu beton yang ditargetkan.

Reaksi kimia terjadi selama proses pengikatan dan pengerasan beton dapat mempengaruhi mutu beton yang dihasilkan dan ini dipengaruhi oleh jumlah udara yang digunakan. Jika terjadi kebocoran udara yang signifikan, khususnya setelah kebocoran berhenti, proses penyembuhan dapat terhambat dan mengganggu proses selanjutnya. (Hermawan, 2018).

7. Pengujian Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah beban pada satuan luas di mana sampel beton akan gagal setelah mengalami tekanan tertentu oleh mesin tekan. Menurut SNI (SNI 03-1974-2011, 2011), kuat tekan beton adalah kemampuan beton menahan tekanan per satuan luas. Nilai kuat tekan beton memberikan informasi tentang mutu struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur yang diinginkan, semakin tinggi mutu beton yang dihasilkan. Untuk menentukan nilai kuat tekan beton, pengujian yang umum dilakukan menggunakan spesimen silinder dengan tinggi 30 cm dan diameter 15 cm. Dalam pelaksanaannya secara umum, faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton adalah :

- a. Koefisien air semen yang rendah diperlukan untuk mencapai fleksibilitas beton yang dihasilkan. Koefisien air semen minimal 0.35 direkomendasikan. Menambahkan terlalu banyak air akan mengurangi kualitas beton. Sebaliknya, jika nilai koefisien semen-air melebihi 0.60, kualitas beton yang dihasilkan akan menurun.
- b. Rasio agregat semen mempengaruhi kualitas beton. Pasta semen bertindak sebagai perekat untuk agregat. Semakin tinggi rasio agregat terhadap semen, semakin rendah kualitas beton karena jumlah semen yang menutupi agregat berkurang.
- c. Usia beton mempengaruhi peningkatan kekuatan lentur. Secara umum, dalam praktiknya, bekisting dihapus setelah 14 hari

- beton, dan setelah 28 hari, kekuatan lentur beton dianggap telah mencapai 100%.
- d. Rasio agregat semen mempengaruhi mutu beton. Pasta semen berfungsi sebagai perekat agregat, sehingga semakin tinggi perbandingan agregat terhadap semen akan menyebabkan mutu beton menurun karena jumlah semen yang menutupi agregat berkurang. Umur beton umumnya berdampak pada peningkatan kekuatan lentur. Secara umum, dalam praktik lapangan, bekisting biasanya dilepas setelah beton berusia 14 hari, dan pada usia 28 hari, kekuatan lentur beton dianggap telah mencapai 100%.
 - e. Jenis semen mempengaruhi waktu reaksi beton. Semen tipe satu bereaksi lebih cepat dibandingkan semen PPC. Beton menggunakan semen tipe ini diharapkan mencapai kekuatan 100% setelah 28 hari. Beton yang menggunakan semen tipe PPC diharapkan mencapai kekuatan 100% setelah 90 hari. Jumlah semen yang digunakan juga mempengaruhi kualitas beton. Karena pasta semen berfungsi sebagai pengikat dan menutupi permukaan agregat, jumlah semen yang digunakan meningkatkan kualitas beton yang dihasilkan.
 - f. Kualitas Agregat dapat berupa :
 - 1) Gradasi & Bentuk
 - 2) Kualitas Permukaan

3) Kekuatan & Kekakuan

4) Ukuran maksimum agregat

Sampel yang digunakan sebagai uji kuat tekan dalam penelitian ini terbuat dari beton silinder dengan tinggi 30 cm dan panjang 1 meter 15 cm. Nilai kuat tekan beton dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$F'_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2.4)$$

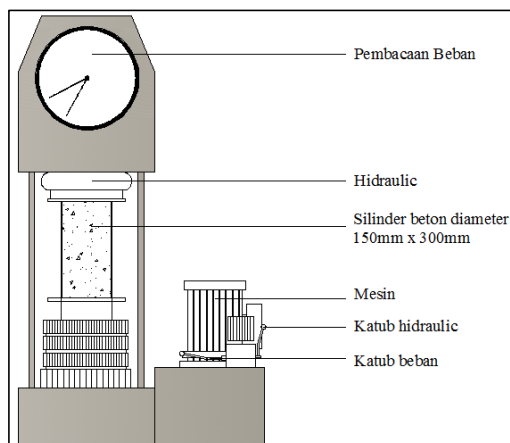
Keterangan :

F'_c = Kuat Tekan (MPa)

P = Beban Maksimum (N)

A = Luas Penampang (mm²)

Uji kuat tekan beton umumnya dilakukan pada benda uji yang telah mencapai 7 hari, 14 hari, 21 hari, atau 28 hari. Tujuannya adalah untuk memeriksa apakah beton memenuhi kualitas rencana beton dan memenuhi semua persyaratan yang ada. Umumnya, pengujian kuat tekan beton dapat dilakukan dengan menggunakan mesin uji kompresi.



Gambar 2.1 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton
(Sumber : Akbar Imam Ardian, 2020)

B. Tinjauan Pustaka

1. Penelitian Oleh Oky Hendra H. ST, MT (2018)

Judul penelitian ini adalah "Pengaruh perlakuan terhadap kuat tekan beton." Penelitian ini menjelaskan efek antara tiga metode curing beton yang berbeda, termasuk beton yang dirawat di laboratorium (teoritis), beton yang dirawat di lapangan (praktis), dan beton yang tidak diolah (praktis).

Melakukan. Hasil kuat tekan yang diperoleh dalam penelitian ini dibagi menjadi dua jenis: kuat tekan beton dianalisis menggunakan nilai rata-rata, dan kuat tekan beton dianalisis menggunakan regresi.

Hasil analisis kuat tekan beton berdasarkan nilai rata-rata menunjukkan bahwa kuat tekan beton dari perlakuan laboratorium dengan nilai $K'bL = 380.32 \text{ kg/cm}^2$ lebih dari 300 kg/cm^2 . Kuat tekan beton perlakuan in-situ $K'bF = 299.05 \text{ kg/cm}^2$ juga lebih besar dari 300 kg/cm^2 . Kuat tekan beton yang tidak diolah adalah $K'bU = 269.21 \text{ kg/cm}^2$, yaitu kurang dari 300 kg/cm^2 .

Sementara itu, hasil analisis kekuatan tekan beton menggunakan regresi menunjukkan bahwa kekuatan tekan beton dari perawatan laboratorium, dengan nilai $K'_{bL} = 379,38 \text{ kg/cm}^2$, melebihi 300 kg/cm^2 ; kekuatan tekan beton dari perawatan lapangan, dengan nilai $K'_{bF} = 296,67 \text{ kg/cm}^2$, juga melebihi 300 kg/cm^2 ; dan kekuatan tekan beton tanpa curing, dengan nilai $K'_{bU} = 277,61 \text{ kg/cm}^2$, kurang dari 300 kg/cm^2 .

2. Penelitian Oleh Okky Hendra Hermawan, Nadya Shafira, M. Fajar Shidiq, Aulia Rahman. (2021)

Judul pada penelitian ini yaitu “Analisa Kuat Tekan Beton Akibat Pengaruh Penggunaan Limbah Batu Bata”. Penelitian ini didasari dari banyaknya kebutuhan beton pada bangunan yang menyebabkan meningkatnya penggunaan agregat sebagai bahan material beton. Inovasi dengan mensubstitusikan limbah batu bata sebagai pengganti agregat halus untuk mengetahui besaran nilai kuat tekan beton umur 7 hari dan 28 hari mengakibatkan turunnya kuat tekan pada beton. Semakin tinggi presentase serbuk batu bata akan menyebabkan semakin rendahnya kuat tekan beton yang diperoleh.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan memanfaatkan limbah batu bata yang dijadikan sebagai bahan pengganti agregat halus dalam bahan campuran beton presentase limbah batu bata yang digunakan adalah 10% , 15% , dan 20% dari jumlah agregat halus yang dibutuhkan. Hasil dari penelitian ini yaitu perolehan kuat tekan paling optimum pada

beton berusia 7 hari dan 28 hari. Pada beton usia 7 hari dengan presentase 15% limbah batu bata adalah beton dengan kuat tekan paling optimal yaitu 14,33 MPa. Sedangkan pada beton usia 28 hari, perolehan kuat tekan beton paling optimal yaitu pada persentase 10% serbuk limbah batu bata dengan perolehan kuat tekan beton 18,85 MPa.

3. Penelitian oleh Rivai Masri A, RA Sri Martini, Edrin Dhimas Tri (2021)

Penelitian berjudul "Pengaruh Penambahan Metakaolin dan Peredam Air terhadap Kekuatan Tekan Beton Kelas K-400" adalah untuk menambahkan metakaolin dan peredam air ke beton kelas K-200 dengan menambahkan bahan secara proporsional. Dengan maksud adalah untuk menyelidiki efek penambahan 0%, 0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 2.5%, 3%, 3.5%. Persentase ini akan memberi pandangan optimal tentang hasil pencapaian kuat tekan beton di kemudian hari dalam proporsi tertentu.

Tujuh puluh dua spesimen berbentuk kubus berukuran 15 cm x 15 cm x 15 cm disiapkan. Pengujian beton dilakukan setelah masa pakai beton mencapai hari ke 7, 14 dan 28. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan metakaolin dan polikarboksilat berpengaruh sangat signifikan terhadap beton. Nilai kuat tekan optimum beton mencapai 257 kg/cm², 370,2 kg/cm², dan 463.9 kg/cm² pada 3, 14, dan 28 hari dengan penambahan 10% metakaolin. Selain itu, nilai kuat tekan karakteristik yang tercapai adalah 253,16 kg/cm² pada umur 3 hari, 364,15 kg/cm² pada umur 14 hari, dan 460,58 kg/cm² pada umur 28 hari.

4. Penelitian dari Ali Al Iman dan Algazt arsyad Masagala (2022)

Jurnal ini berjudul “Pengaruh Penambahan Metakaolin ($AL_2SI_2O_s(OH)_4$) dan Limbah Serat Daun Tembakau Pada Kuat Tekan Beton”. Berdasarkan abstrak pada penelitian ini, peneliti bereksperimen memanfaatkan limbah serat daun tembakau dan metakaolin untuk bahan tambah dari bahan limbah itu sendiri. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh penggantian semen dengan metakaolin ($AL_2SI_2O_s(OH)_4$) dan limbah serat daun tembakau sebagai serat pengikat agregat terhadap kuat tekan beton dan nilai slump. Sampel benda uji yang dibuat pada penelitian ini yaitu silinder berdimensi tinggi 30 cm dan diameter 15 cm sebanyak 3 benda uji di setiap variasi metakaolin 13%, 14%, 15% dan 16% dari substitusi bahan semen serta 5% serat tembakau.

Pengujian benda uji dilaksanakan pada saat beton telah mencapai umur maksimalnya yaitu 28 hari. Hasil kuat tekan beton yang diperoleh pada variasi metakaolin 13% dan serat daun tembakau 5% yaitu 30,93 Mpa, variasi metakaolin 14% dan serat daun tembakau 5% yaitu 29,04 Mpa, variasi metakaolin 15 % dan serat daun tembakau 5% yaitu 27,16 Mpa, dan variasi metakaolin 16% dengan serat daun tembakau 5% yaitu 24,52 Mpa. Dengan demikian, perolehan kuat tekan beton paling optimal pada penelitian ini terjadi pada variasi beton metakaolin 13% dan serat daun tembakau 5% sebesar 30,93 Mpa. Dengan bertambahnya persentase metakaolin, dapat menurunkan angka kuat tekan beton secara bertahap.

5. Penelitian Oleh Dahlia Patah, Amry Dasar, Poppy Indrayani (2022)

Judul dalam penelitian ini yaitu “Pengaruh Perbedaan Metode Perawatan Terhadap Kuat Tekan Beton”. Penelitian ini membahas mengenai pengaruh dari metode dan usia perawatan terhadap peningkatan kekuatan beton normal di lingkungan tropis. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki dan membandingkan cara perawatan pada beton (*Curing*) terhadap kuat tekan beton. Penelitian ini dilakukan dengan membuat benda uji sebanyak 45 buah berbentuk silinder dan dirawat dengan metode yang berbeda-beda.

Metode perawatan pada beton yang digunakan pada penelitian ini mengenai cara pelaksanaannya yang berbeda-beda yaitu melalui perendaman didalam air biasa, perendaman air laut, dibungkus karung goni basah, dibungkus dengan plastik, dan disiram dengan air biasa.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa metode perendaman dengan air biasa menghasilkan kuat tekan beton paling tinggi yaitu 42,99 N/mm² pada usia 28 hari dilanjutkan dengan perawatan dengan dibungkus dengan plastik dengan kuat tekan beton 40,94 N/mm².

6. Penelitian oleh Mathew Fernando, Anis Rakhmawati, dan Ali Murtopo tahun 2022

Penelitian ini berjudul “Pengaruh Penambahan Metakaolin Pada Beton Berpori Non Pasir Terhadap Nilai Kuat Tekan” Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh penambahan metakaolin pada beton porous terhadap kuat tekannya. ngujian kuat tekan beton silinder mengacu pada SNI 1974-2011 dengan benda uji berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Faktor air semen yang digunakan sebesar 0,45 dengan gradasi agregat kasar maksimum 40mm. Variasi pada penelitian ini yaitu terletak pada banyaknya bubuk metakaolin yang digunakan sebagai campuran pengganti semen.

Metode Penelitian yang digunakan yaitu metode eksperimen, dengan menggunakan persentase metakaolin 0%, 5%, 7,5%,10% dan 12,5%. Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan pada beton usia 28 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan bubuk metakaolin berpengaruh terhadap nilai kuat tekan beton. Hasil pengujian kuat tekan kuat tekan rata-rata metakaolin 0% sebesar 4,419 MPa, nilai kuat tekan rata-rata metakaolin 5% sebesar 7,962 MPa, nilai kuat tekan rata-rata metakaolin 7,5% sebesar 7,054 MPa, nilai kuat tekan rata-rata metakaolin 10% sebesar 12,975 MPa, nilai kuat tekan rata-rata metakaolin 12,5% sebesar 13,256 MPa. Variasi bubuk metakaolin sebanyak 12,5% memiliki kuat tekan tertinggi.

7. Penelitian Oleh Mulyati dan Ziga Arkis (2020)

Judul penelitian ini adalah "Pengaruh Metode Perawatan Beton terhadap Kuat Tekan Beton Konvensional". Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya nilai kuat tekan beton yang dihasilkan dari metode perawatan beton yang berbeda guna menemukan metode pengolahan beton yang optimal. Penelitian ini dilakukan dengan membuat beberapa spesimen, total 12 spesimen, dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, dengan rencana kuat tekan $F_c = 18.675$ MPa.

Perlakuan beton dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan tiga metode perlakuannya: perendaman dalam air, pembasahan permukaan, pembungkus dalam vinil hitam, dan pembungkus dalam kantong linen basah. Uji kuat tekan beton dilakukan secara terus menerus pada hari ke-28 setelah penempatan beton, dan hasilnya 18.95 MPa, 13.70 MPa, 18.95 MPa, dan 17.41 MPa.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode Penelitian

Salah satu bahan bangunan yang umum untuk komponen struktural primer adalah beton. Ini karena beton memiliki kualitas fleksibel yang memudahkan pencetakan dan memungkinkannya mengambil bentuk yang sesuai. Penting untuk merencanakan campuran bahan yang digunakan untuk menghasilkan beton dengan cara ini. Hal ini untuk memastikan bahwa beton yang baru diproduksi memenuhi nilai kuat tekan sesuai dengan tingkat kualitas yang direncanakan.

Metode yang digunakan yaitu metodologi penelitian eksperimental. Urutan peristiwa atau pengamatan yang direncanakan yang dimaksudkan untuk menghasilkan produk praktis dan dapat diterapkan secara luas disebut prosedur eksperimental. Sampel uji diletakkan di lapangan terbuka dan di ruang teduh setelah melalui proses perendaman selama 7 hari. Metodologi penelitian kuantitatif diterapkan dalam penelitian ini. Penelitian ilmiah yang dimulai dengan fenomena tunggal dan mencari korelasi potensial antara variabel dalam masalah dikenal sebagai penelitian kuantitatif. Ada beberapa tahapan untuk penelitian ini yaitu :

1. Tahap Persiapan

Tahap persiapan merupakan langkah menyiapkan bahan material beton dan peralatan yang akan dipakai pada saat penelitian dilaksanakan.

a. Bahan material beton :

1) Semen Portland.

Semen portland yang digunakan adalah semen Portland type 1 merek tiga roda (semen yang umum digunakan untuk konstruksi teknik sipil dan arsitektur). Semen berperan penting terhadap pembuatan campuran beton yang berperan sebagai bahan pengikat.

2) Metakaolin

Metakaolin *cement* digunakan sebagai substitusi sebagian penggunaan semen portland guna menciptakan studi eksperimen baru. Metakaolin *cement* memiliki sifat yang dapat mempercepat proses pengerasan pada beton.

3) Agregat kasar (Split)

Kerikil dari Sungai Danawarih Kabupaten Tegal yang digunakan dalam penelitian ini memiliki ukuran 1-2 cm. peran krikil pada campuran beton adalah memberikan kekuatan struktural hingga dapat mengisi ruang antar butir semen.

4) Agregat halus (Pasir)

Dalam penelitian ini, penggunaan bahan material pasir bersumber dari sungai gung di Desa Danawarih, Kecamatan Balapulang, Kabupaten Tegal.

5) Air.

Air bersih dari Laboratorium Teknik Sipil Universitas Pancasakti Tegal digunakan sebagai komponen campuran beton dalam penelitian ini.

b. Alat pembuatan Beton

- 1) Oven untuk menguji kadar air agregat dan kebersihan lumpur.
- 2) Timbangan digital dengan kapasitas 100 kg dan ketelitian 0,1 gram
- 3) Satu set saringan agregat dengan lubang persegi dan diameter 25,4 mm, 19,0 mm, 12,7 mm, 9,5 mm, 4,76 mm, dan pan.
- 4) Nampan untuk material benda uji. Saat menimbang dan menguji bahan oven, peralatan ini biasanya digunakan untuk menampung semen, agregat halus dan kasar.
- 5) Mesin Mixer Pengaduk Beton
- 6) Satu set *Slump Test* dan penusuk yang terbuat dari batang besi
- 7) Cungkup untuk mencampurkan bahan substitusi yang digunakan.
- 8) Alat pelindung diri berupa sarung tangan latex untuk menghindari bahaya bahan kimia metakaolin.
- 9) Cetakan Benda uji (Silinder)
- 10) Gelas ukur 1000 ml untuk mengukur jumlah air yang dibutuhkan untuk mencampur bahan beton.

2. Tahap Pengujian Material

Dalam penelitian ini, bahan yang akan digunakan sebagai campuran beton diuji sifat dan karakteristiknya untuk menentukan (Kelayakannya).

Pengujian material penyusun beton diantaranya adalah

- a. Pengujian kadar lumpur pada agregat.
- b. Pengujian kadar air pada agregat.
- c. Pengujian analisa saringan agregat (Gradasi).
- d. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat.
- e. Pengujian keausan agregat kasar.

3. Tahap Pembuatan Benda Uji

Pada tahap ini pekerjaan dilakukan dengan diawali dari :

- a. Pembuatan *Mix Design*.
- b. Pembuatan komposit beton.
- c. Pemeriksaan hasil slump test pada beton segar.
- d. Pencetakan benda uji berbentuk silinder dengan ukuran diameter 15cm dan tinggi 30cm.

4. Tahap Perawatan Benda Uji

Langkah perawatan beton (*Curing Concrete*) dilakukan dengan merendam benda uji di kolam perendaman selama 7 hari kemudian benda uji diangkat dan dipisahkan perletakannya, yaitu di lapangan terbuka, dan di dalam ruangan yang tertutup dan memiliki perkiraan suhu ruangan yang stabil. Hal ini menjadikan beton mendapat perlakuan perawatan yang berbeda, sehingga mendapatkan gap penelitian yang baru.

5. Tahap Pengujian Benda Uji

Pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini dilakukan pada sampel beton silinder dengan kualitas mutu $F'c$ 16 MPa yang berukuran D 15 cm dan T 30 cm. Pengujian dilakukan pada usia beton telah mencapai 14 hari dan 28 hari.

6. Tahap Analisa Data

Analisa data adalah tahap olah data yang dilakukan pada penelitian ini. Data yang dihasilkan melalui pengujian material beton dan data pengujian kuat tekan beton akan dianalisa menggunakan program excel dan dianalisis secara statistik menggunakan program *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS'22). Penulis menggunakan analisis yang melibatkan dua variabel X dan satu variabel Y. Analisis data pada penelitian ini menggunakan metode pengujian regresi linier berganda, dimana output data yang dihasilkan adalah sebagai berikut :

a.) Uji Normalitas data

Uji normalitas digunakan untuk mengetahui apakah sampel data berasal dari populasi yang memiliki distribusi normal. Uji normalitas dapat dilakukan dengan berbagai teknik, seperti uji Kolmogorov-Smirnov dengan pendekatan teori Monte Carlo. Apabila nilai Signifikansi Probabilitasnya melebihi 0,05, pengujian normalitas data dianggap normal.

b.) Uji regresi linier.

Uji regresi linier digunakan untuk menentukan apakah ada pengaruh signifikan antara satu variabel independen (X_1) dan (X_2) terhadap satu variabel dependen (Y). Terdapat beberapa langkah dalam melakukan uji regresi linier sederhana:

1. Merumuskan hipotesis nol (H_0) dan hipotesis alternatif (H_1). Dalam kasus regresi linier sederhana, hipotesis nol menyatakan bahwa tidak ada pengaruh signifikan antara X dan Y , sedangkan hipotesis alternatif menyatakan bahwa ada pengaruh antara linier variabel X dan Y .
2. Mengumpulkan data X dan Y dan membangun model regresi linier. Model regresi linier sederhana umumnya dituliskan dalam bentuk $Y = a + bX$ di mana Y adalah variabel dependen, X adalah variabel independen, a adalah intercept, b adalah koefisien regresi.
3. Keputusan pengujian ini dapat diambil apabila perolehan nilai signifikansi antar variabel memiliki nilai probabilitas ($P < 0,05$). Apabila persyaratan tersebut terpenuhi, maka dapat dikatakan terdapat pengaruh yang signifikan pada setiap variabel yang diteliti.

c.) Uji koefisien determinasi

Koefisien determinasi, atau R-squared, adalah uji yang digunakan untuk mengukur seberapa baik model regresi linier cocok dengan data yang diamati. Koefisien ini menunjukkan proporsi variabilitas variabel dependen yang dapat dijelaskan oleh variabel independen dalam model

regresi; nilai R-squared yang lebih dekat dengan satu menunjukkan bahwa model regresi linier cocok dengan data.

d.) Uji signifikansi simultan

Uji signifikansi simultan (simultaneous significance test) digunakan untuk menentukan apakah semua variabel independen secara bersama-sama berpengaruh secara signifikan terhadap variabel dependen dalam sebuah model regresi. Dalam konteks regresi linier, uji signifikansi simultan sering digunakan untuk menjawab pertanyaan apakah setidaknya salah satu dari variabel independen secara bersama-sama memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel dependen.

Uji signifikansi simultan ini dapat dilakukan dengan menggunakan uji F. Uji F digunakan untuk menguji apakah setidaknya satu variabel independen memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel dependen. Jika nilai p-value dari uji F lebih kecil dari tingkat signifikansi yang ditetapkan (0,05), maka hipotesis nol ditolak, sehingga dapat disimpulkan bahwa setidaknya satu variabel independen memiliki pengaruh yang signifikan secara bersama-sama terhadap variabel dependen.

e.) Uji T

Uji t adalah salah satu metode yang digunakan dalam analisis regresi untuk menentukan signifikansi setiap koefisien regresi (parameter) dalam model regresi linier. Uji t digunakan untuk menguji

apakah koefisien regresi untuk variabel independen tertentu signifikan secara individu terhadap variabel dependen dalam model regresi.

Uji t dilakukan dengan membandingkan nilai t hitung (t-statistic) dengan nilai t tabel (t-critical) dari distribusi t-student. Nilai t hitung dihitung dengan membagi estimasi koefisien regresi (biasanya dilambangkan sebagai b) dengan standar error (SE) dari koefisien regresi tersebut. Nilai t tabel adalah nilai kritis dari distribusi t-student pada tingkat signifikansi tertentu dan derajat kebebasan yang sesuai dengan ukuran sampel. Jika nilai t hitung lebih besar dari nilai t tabel (dengan mengacu pada tingkat signifikansi yang ditetapkan), maka hipotesis nol ditolak, sehingga koefisien regresi tersebut dianggap signifikan

Pr	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001
df	0.50	0.20	0.10	0.050	0.02	0.010	0.002
1	1.00000	3.07768	6.31375	12.70620	31.82052	63.65674	318.30884
2	0.81650	1.88562	2.91999	4.30265	6.96456	9.92484	22.32712
3	0.76489	1.63774	2.35336	3.18245	4.54070	5.84091	10.21453
4	0.74070	1.53321	2.13185	2.77645	3.74695	4.60409	7.17318
5	0.72669	1.47588	2.01505	2.57058	3.36493	4.03214	5.89343
6	0.71756	1.43976	1.94318	2.44691	3.14267	3.70743	5.20763
7	0.71114	1.41492	1.89458	2.36462	2.99795	3.49948	4.78529
8	0.70639	1.39682	1.85955	2.30600	2.89646	3.35539	4.50079
9	0.70272	1.38303	1.83311	2.26216	2.82144	3.24984	4.29681
10	0.69981	1.37218	1.81246	2.22814	2.76377	3.16927	4.14370
11	0.69745	1.36343	1.79588	2.20099	2.71808	3.10581	4.02470
12	0.69548	1.35622	1.78229	2.17881	2.68100	3.05454	3.92963
13	0.69383	1.35017	1.77093	2.16037	2.65031	3.01228	3.85198
14	0.69242	1.34503	1.76131	2.14479	2.62449	2.97684	3.78739
15	0.69120	1.34061	1.75305	2.13145	2.60248	2.94671	3.73283
16	0.69013	1.33676	1.74588	2.11991	2.58349	2.92078	3.68615
17	0.68920	1.33338	1.73961	2.10982	2.56693	2.89823	3.64577
18	0.68836	1.33039	1.73406	2.10092	2.55238	2.87844	3.61048
19	0.68762	1.32773	1.72913	2.09302	2.53948	2.86093	3.57940
20	0.68695	1.32534	1.72472	2.08596	2.52798	2.84534	3.55181
21	0.68635	1.32319	1.72074	2.07961	2.51765	2.83136	3.52715
22	0.68581	1.32124	1.71714	2.07387	2.50832	2.81876	3.50499
23	0.68531	1.31946	1.71387	2.06866	2.49987	2.80734	3.48496
24	0.68485	1.31784	1.71088	2.06390	2.49216	2.79694	3.46678
25	0.68443	1.31635	1.70814	2.05954	2.48511	2.78744	3.45019
26	0.68404	1.31497	1.70562	2.05553	2.47863	2.77871	3.43500
27	0.68368	1.31370	1.70329	2.05183	2.47266	2.77068	3.42103
28	0.68335	1.31253	1.70113	2.04841	2.46714	2.76326	3.40816
29	0.68304	1.31143	1.69913	2.04523	2.46202	2.75639	3.39624

Gambar 3.1 Tabel Acuan Nilai T Tabel

Sumber : (Titik Persentase Distribusi t ($Df = 1 - 40$), n.d.)

7. Tahap Kesimpulan dan Saran

Tahap kesimpulan dan saran merupakan tahapan terakhir yang disusun dalam penelitian ini. Tahapan ini membahas mengenai hasil keseluruhan penelitian secara singkat serta menjawab keseluruhan point yang ada pada batasan masalah penelitian. Pemberian saran atau rekomendasi dibuat agar penelitian ini lebih dikembangkan lagi menggunakan variabel yang lebih bervariasi. Sehingga diharapkan penelitian selanjutnya mendapatkan hasil yang lebih baik dari penelitian ini.

B. Waktu Dan Tempat Penelitian

1. Waktu Penelitian

Penyusunan penelitian skripsi ini dilaksanakan pada waktu bulan Januari 2024 hingga bulan Juli 2024. Sehingga, rincian kegiatan yang dilalui oleh penulis dari penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Waktu Penelitian

No	Kegiatan	Bulan									
		okt	Nov	des	jan	feb	mar	apr	mei	jun	jul
1.	Observasi Lapangan	■									
2.	Studi Literasi	■	■								
3.	Penyusunan Proposal			■							
4.	Seminar Proposal				■						
5.	Persiapan Penelitian					■					
6.	Pelaksanaan Penelitian					■	■				
7.	Pengambilan Data					■	■				
8.	Pengolahan Data							■			
9.	Penyusunan Laporan Skripsi							■	■	■	
10.	Ujian Skripsi										■

Sumber : Olah Data Excel 2024

2. Tempat Penelitian



Gambar 3.2 Laboratorium UPS Tegal
Sumber: Website Resmi Laboratorium UPS Tegal

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Pancasakti Tegal yang berlokasi di Jl. Halmahera No. KM 01, Mintaragen, Kecamatan Tegal Timur, Kota Tegal sebagai sarana tempat dan prasarana pendukung pengujian keberlangsungannya penelitian ini.

C. Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian yang ada pada penelitian ini terfokuskan hanya pada proses pembuatan benda uji yaitu beton. Dengan kata lain, penulis akan menginstrumenkan pembahasan penelitian mengenai Teknik perawatan beton dengan 2 (dua) perlakuan perawatan beton yang berbeda dengan urutan instrumen penelitian ini yang dimulai dari :

1. Alat penelitian

Peralatan yang digunakan pada proses pembuatan benda uji adalah sebagai berikut :

a. Timbangan Digital (*Weight Balance Digital*)

Timbangan digital digunakan untuk menimbang dan menentukan massa dan berat komponen campuran beton.



Gambar 3.3 Timbangan Digital
Sumber : Laboratorium UPS Tegal

b. Alat-alat gelas ukur

Gelas Ukur digunakan untuk menakar kebutuhan air dan dijadikan sebagai wadah agregat saat pengujian kadar lumpur agregat halus



Gambar 3.4 Gelas Ukur Penelitian
Sumber : Laboratorium UPS Tegal

c. Saringan agregat

Saringan agregat digunakan untuk memisahkan agregat kasar dan halus untuk menghitung perolehan modulus kehalusan agregat



Gambar 3.5 Saringan Agregat
Sumber : Laboratorium UPS Tegal

d. Wadah material beton (Cawan)

Cawan digunakan sebagai wadah pada saat melakukan pengujian bahan material.



Gambar 3.6 Wadah Material Agregat
Sumber : Laboratorium UPS Tegal

e. Mesin *Loss Angless*

Mesin *Loss Angless* adalah mesin yang dijalankan dengan tenaga Listrik untuk menguji nilai abrasi/keausan agregat kasar.



Gambar 3.7 Mesin *Loss Angless*
Sumber : Laboratorium UPS Tegal

f. Mesin pengaduk campuran beton

Mesin pengaduk beton merupakan mesin yang digunakan untuk proses pencampuran komponen beton (Semen, Metakaolin, Agregat Halus, Agregat Kasar, dan air) dengan merata.



Gambar 3.8 Mesin Pengaduk Campuran Beton
Sumber : Laboratorium UPS Tegal

g. Cetakan beton (Berbentuk silinder)

Cetakan beton berbahan dasar dari besi ini berukuran T 30 cm, dan D 15 cm. Cetakan beton digunakan dengan mengunci bagian sisi cetakan dengan menggunakan baut pengunci.



Gambar 3.9 Cetakan Benda Uji
Sumber : Laboratorium UPS Tegal

h. Satu Set Alat uji *slump test*

Slump test digunakan untuk menentukan nilai angka kemampuan kerja beton segar. Peralatan untuk uji *Slump Test* terdiri dari corong, pan alas, tusukan besi untuk meratakan ruang corong, dan meteran untuk mengukur penurunan dari hasil uji slump.



Gambar 3.10 Alat *Slump Test*
Sumber : Laboratorium UPS Tegal

i. Alat pengujian kuat tekan beton

Mesin kuat tekan beton merupakan mesin yang digunakan untuk menguji nilai kuat tekan beton dalam satuan MPa.



Gambar 3.11 Mesin pengujian Kuat Tekan
Sumber : Laboratorium UPS Tegal

2. Bahan penelitian

Bahan penelitian pada penelitian ini adalah bahan material komponen beton pada umumnya. Agregat Kasar, Semen, Metakaolin, Agregat Halus, dan air yang diperoleh dan disusun di tempat yang tidak terlalu jauh untuk didapatkan, bahan material komponen beton pada penelitian ini diantaranya adalah :

a. Agregat Halus



Gambar 3.12 Agregat Halus Danawarih Tegal
Sumber : Dokumentasi Pribadi

b. Agregat Kasar



Gambar 3.13 Agregat Kasar Kali Gung
Sumber : Dokumentasi Pribadi

c. Semen



Gambar 3.14 Semen Gresik
Sumber : Dokumentasi Pribadi

d. Serbuk Metakaolin



Gambar 3.15 Serbuk Metakaolin
Sumber : Dokumentasi Pribadi

e. Air



Gambar 3.16 Air PDAM
Sumber : Dokumentasi Pribadi

3. Rancangan Campuran Beton

Benda uji pada penelitian ini akan dirancang berdasarkan aturan SNI 7394:2008 tentang proporsi campuran dalam pembuatan beton 1m^3 dengan mutu beton rencana yaitu $F'c$ 16,9 MPa (K 205) dengan w/c 0,58. Detail proporsi campuran beton pada penelitian ini ada dalam tabel dibawah ini:

Tabel 3.2 Acuan Rencana Campuran Beton

Kode Benda Uji	Semen (Kg)	Pasir (Kg)	Kerikil (Kg)	Air (ml)
BN	352	731	1031	215
BM 5%	352	731	1031	215
BM 10%	352	731	1031	215

Sumber : (SNI 7394:2008, 2008)

a. Volume Benda Uji Beton

Benda uji perencanaan penelitian berbentuk silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm, dengan jumlah sampel 3 buah untuk masing masing variasi campuran beton. Volume dihitung dengan menggunakan rumus :

$$V = 0,25 \times \pi \times d^2 \times t \dots\dots\dots (3.1)$$

Oleh karena itu, volume satu benda uji dapat dihitung :

$$\begin{aligned} V &= 0,25 \times 3,14 \times (0,15)^2 \times 0,30 \\ &= 0,0053 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Selanjutnya, perhitungan volume benda uji sebanyak 36 sampel adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V(n) &= V \times n \\ &= 0,0053 \times 36 \\ &= 0,1908 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

b. Proporsi bahan material campuran beton

Berdasarkan hasil perhitungan volume keseluruhan benda uji,
dihitung kebutuhan material campuran beton dengan rumus:

Material = Banyak material berdasarkan SNI x V x n (3.2)

$$\begin{aligned} 1) \text{ Agregat Halus} &= 731 \text{ kg} \times 0,0053 \text{ m}^3 \times n \\ &= 3,874 \text{ kg/m}^3 \times 36 \\ &= 139,47 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ Agregat Kasar} &= 1031 \text{ kg} \times 0,0053 \text{ m}^3 \times n \\ &= 5,464 \text{ kg/m}^3 \times 36 \\ &= 196,71 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) \text{ Semen} &= 352 \text{ kg} \times 0,0053 \text{ m}^3 \times n \\ &= 1,865 \text{ kg/m}^3 \times 36 \\ &= 67,16 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4) \text{ Air} &= 215 \text{ ml} \times 0,0053 \text{ m}^3 \times n \\ &= 1,14 \text{ lt/m}^3 \times 36 \\ &= 41,04 \text{ lt/m}^3 \end{aligned}$$

5) Bahan Tambah Metakaolin

$$0\% = 0 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tanpa bahan metakaolin)}$$

$$\begin{aligned} 5\% &= 1,865 \text{ kg/ m}^3 \times 5\% \\ &= 0,0933 \text{ kg/ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 10\% &= 1,865 \text{ kg/ m}^3 \times 10\% \\ &= 0,1865 \text{ kg/ m}^3 \end{aligned}$$

Adapun perhitungan penggunaan bahan metakaolin sebagai substitusi semen untuk keseluruhan sampel benda uji adalah sebagai berikut :

$$\text{BN } 0\% = 0$$

= Tanpa bahan metakaolin

$$\text{BM } 5\% = 0,0933 \text{ kg/ m}^3 \times 12$$

$$= 1,119 \text{ kg/ m}^3$$

$$\text{BM } 10\% = 0,1865 \text{ kg/ m}^3 \times 12$$

$$= 2,238 \text{ kg/ m}^3$$

Sehingga kebutuhan semen berdasarkan perhitungan substitusi dengan bahan metakaolin adalah sebagai berikut:

$$\text{Kode Benda Uji} = V \text{ Semen} - (\% \text{ Metakaolin} \times \text{Volume Semen}) \dots\dots(3.3)$$

$$\text{BN } 0\% \quad \quad \quad = 1,865 \text{ kg/m}^3 - 0 \text{ kg/m}^3$$

$$= 1,865 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tanpa bahan metakaolin)}$$

$$\text{BM } 5\% \quad \quad \quad = 1,865 \text{ kg/m}^3 - 0,0933 \text{ kg/m}^3$$

$$= 1,772 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{BM } 10\% \quad \quad \quad = 1,865 \text{ kg/m}^3 - 0,1865 \text{ kg/m}^3$$

$$= 1,680 \text{ kg/m}^3$$

D. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada literatur atau penelitian sebelumnya yang serupa dan dilandasi dengan aturan yang ada sesuai dengan SNI atau ASTM. Pada tahap pengumpulan data penelitian, tahapan yang dilakukan oleh penulis dalam meneliti Metode perlakuan perawatan berbeda-beda terhadap beton substitusi metakaolin adalah sebagai berikut :

1. Sudi Pustaka (*library reserch*)

Metode pustaka yang diaplikasikan pada penelitian ini berupa pencarian dan pengumpulan data-data dengan melalui mempelajari teori-teori yang terdapat pada berbagai literatur yang memiliki kemiripan dengan penelitian ini. Pengumpulan data dan teori-teori tersebut menggunakan Langkah mencari sumber dari berbagai sumber terpercaya seperti buku, jurnal ilmiah, riset-riset yang sudah terlebih dahulu telah dilakukan.

2. Peraturan Standar Beton

Peraturan SNI mengenai standard metode yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini yaitu SNI 03-1972-1190 mengenai metode pengujian *Slump* beton, SNI 03-4810-1998 tentang metode pembuatan dan perawatan benda uji beton di lapangan, SNI 03-1975-1990 mengenai Uji Kuat Tekan Beton.

3. Pengujian di Laboratorium

Pengujian laboratorium merupakan cara dilapangan yang dilaksanakan pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil pengujian yang diamati dan hasil berupa data tersebut dilaksanakan sesuai dengan standard dan ketentuan yang berlaku. Langkah-langkah yang dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Pancasakti Tegal adalah sebagai berikut :

- a) Pengambilan material bahan campuran beton berupa agregat halus (Pasir), agregat kasar (Split 1-2 cm), Semen Gresik yang diperoleh dari penjual/toko material Kota Tegal.
- b) Pengujian bahan material campuran beton sebelum digunakan.
- c) Persiapan alat dan bahan yang dibutuhkan.
- d) Melaksanakan Uji *Slump* pada campuran beton segar yang telah dibuat.
- e) Membuat sampel benda uji beton berbentuk silinder.
- f) Merawat benda uji dengan metode dibiarkan di dalam ruangan dan dibiarkan di lapangan terbuka.
- g) Melakukan pengujian kuat tekan beton pada saat beton berusia 14 hari dan 28 hari.
- h) Menganalisis hasil dari penelitian secara keseluruhan.
- i) Menyimpulkan dan memberi saran pada penelitian ini.

E. Metode Analisa Data

Metode analisa data pada penelitian ini merupakan penjabaran rumus atau panduan tata cara pengujian dan rincian data yang nantinya akan di peroleh. Adapun proses analisa data disetiap pengujian sebagai berikut :

1. Pengujian Kadar Lumpur Agregat

Pengujian kandungan lumpur agregat kasar dan halus dilakukan untuk menentukan persentase kandungan lumpur yang ada dalam agregat. Langkah-langkah untuk menguji kandungan lumpur agregat halus dan kasar adalah sebagai berikut:

- 1) Timbang agregat kasar dan agregat halus yang akan digunakan sebanyak 500 gram, kemudian bersihkan dengan cara mencuci agregat dengan air menggunakan saringan No. 200 sebagai wadah agregat.
- 2) Lakukan pembersihan agregat hingga air bekas cucian berwarna jernih.
- 3) Setelah dicuci, keringkan agregat dengan menggunakan oven atau dipanaskan diatas kompor. Setelah dalam kondisi kering, diamkan agregat agar suhu pada agregat Kembali normal.
- 4) Timbang hasil timbangan tersebut dan catat pada tabel dibawah ini
- 5) Apabila kadar lumpur yang terkandung lebih dari 5% maka pasir harus dicuci sebelum digunakan sebagai bahan penyusun campuran beton.

Tabel 3.3 Form Pengujian Kadar Lumpur Pada Agregat Halus

No.	Uraian	Hasil Pengujian	
		Sampel 1 (cm)	Sampel 2 (cm)
1.	Tinggi pasir + Lumpur (H1)		
2.	Tinggi Pasir (H2)		
3.	Kadar Lumpur $(H1-H2)/H1 * 100\%$		
Rata-rata Kadar Lumpur (%)	%	

Sumber : Form Pengujian Agregat Laboratorium UPS Tegal

2. Pengujian Kadar Air Agregat

Uji kadar air untuk agregat halus dan kasar dilakukan untuk mengukur kadar air dalam agregat yang digunakan sebagai komponen beton. Langkah-langkah untuk menguji kadar air agregat adalah sebagai berikut:

- a. Siapkan agregat kasar dan agregat halus yang akan digunakan dan diuji.
- b. Timbang berat awal agregat.
- c. Keringkan agregat tersebut dengan cara dipanaskan menggunakan oven atau kompor.
- d. Setelah agregat dalam keadaan benar benar kering, timbang Kembali agregat dan catat hasil perolehan berat agregat yang ditimbang.
- e. Selesai.

Tabel 3.4 Pengujian Kadar Air Agregat Halus dan Agregat Kasar

No.	Uraian	Hasil Pengujian	
		Sampel 1 (gram)	Sampel 2 (gram)
1.	Berat kering awal (W1)		
2.	Berat Kering Oven (W2)		
3.	Kadar Air $(W1-W2)W1*100\%$		
Rata-rata Kadar Air (%)	%	

Sumber : Form Pengujian Agregat Laboratorium UPS Tegal

3. Pengujian Analisa Saringan Agregat (Gradasi)

Analisis saringan uji dilakukan pada agregat halus dan kasar (split) dengan ukuran 1-2 cm. Tes ini dilakukan untuk menentukan rentang distribusi masing-masing agregat. langkah pengujian Analisa saringan agregat yaitu :

- a. Siapkan agregat halus atau agregat kasar yang akan diuji, lalu keringkan dengan oven.
- b. Masukkan agregat dengan keadaan kering kedalam saringan ukuran terkecil (200 mm) hingga ukuran saringan yang paling besar (3/8 atau 9,5 mm).
- c. Letakan susunan saringan agregat pada mesin *Shieve Shaker* selama 15 menit.
- d. Selanjutnya ambil dan timbang masing-masing agregat yang berada di setiap ukuran saringan, serta catat hasil dari pengujian tersebut kedalam tabel dibawah ini.

Tabel 3.5 Form Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus (Gradasi)

Ukuran Saringan		Berat Tertahan saringan (gram)		Kumulatif						Rata-rata % lolos	Batas Gradasi
				Berat Tertahan (gram)		% Tertahan		% Lolos			
mm	ASTM	A	B	A	B	A	B	A	B		
9,5	#3/8"										100-100
4,75	#4										90-100
2,36	#8										75-100
1,18	#16										55-90
0,6	#30										35-59
0,3	#50										8-30
0,15	#100										0-10
PAN											0
Berat Seluruh Sampel = gram											

Sumber : SNI 03-2834-2000

Tabel 3.6 Form Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar (Gradasi)

Ukuran Saringan		Berat Tertahan saringan (gram)		Kumulatif						Rata-rata % lolos	Batas Gradasi
				Berat Tertahan (gram)		% Tertahan		% Lolos			
mm	ASTM	A	B	A	B	A	B	A	B		
38,1	1½										100-100
19	¾ “										75-100
9,5	3/8”										35-59
4,75	No. 4										8-30
PAN											
Berat Seluruh Sampel = gram											

Sumber : (SNI 03-2834-2000, n.d.)

4. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat

Tes ini bertujuan untuk mengukur berat jenis (Bulk), berat jenis sedimentasi (SSD), berat jenis semu (Apparent), dan penyerapan air dari bahan curah. Prosedur pengujian adalah sebagai berikut:

- a. Siapkan agregat halus dalam kondisi SSD dengan berat 500 gram.
- b. Selanjutnya, agregat ditempatkan ke dalam piknometer
- c. Tambahkan hingga 90% air dan putar alat sampai tidak ada gelembung udara yang terlihat secara agregat.
- d. Tambahkan air untuk mencapai batas yang ditandai dan timbang hidrometer yang diisi dengan air dan sampel uji.

- e. Keluarkan agregat dan keringkan sampel dalam oven.
- f. Selesai

Tabel 3.7 Form Pengujian Berat Jenis Agregat

Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus (Pasir)				
Uraian		Pengujian		Rata-Rata
		A	B	
Berat Benda Uji dalam Keadaan Kering Permukaan Jenuh (gr)	Bj			
Berat Piktometer Berisi Air (gr)	B			
Berat Piktometer Berisi Benda Uji dan Air (gr)	Bt			
Berat Benda Uji Kering Oven (gr)	Bk			
Berat Jenis Kering (<i>Bulk Specific Grafity</i>)	$= \frac{Bk}{B + Bj - Bt}$			
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (<i>Saturated Surface Dry</i>)	$= \frac{Bj}{B + Bj - Bt}$			
Berat Jenis Semu (<i>Apparent Specific Grafity</i>)	$= \frac{Bk}{B + Bk - Bt}$			
Penyerapan (<i>Absorption</i>)	$= \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\%$			

Sumber : Form Pengujian Agregat Laboratorium UPS Tegal

5. Pengujian Keausan Agregat Kasar

Uji keausan agregat kasar dilakukan dengan tujuan untuk memahami tingkat keausan pada agregat kasar yang digunakan sebagai bahan baku pencampuran beton. Langkah-langkah untuk menguji keausan agregat kasar adalah sebagai berikut:

- a. Siapkan agregat yang akan diuji
- b. Keringkan agregat didalam oven selama 24 jam dengan suhu 110 °C hingga memiliki berat yang tetap.
- c. Dinginkan benda uji dalam suhu ruangan, timbang dengan berat 500 gram.
- d. Nyalakan lampu power pada mesin abrasi, dan tekan tombol inching untuk memutar drum mesin abrasi. Kemudian masukan agregat yang telah disiapkan kedalam mesin abrasi

- e. Masukkan bola baja sebanyak yang telah disarankan dan tutup Kembali mesin abrasi yang sedang digunakan
- f. Atur tutup counter dengan angka 500 dan tekan tombol start sehingga mesin abrasi berputar. Jumlah putaran yang terbaca pada counter mesin abrasi menyesuaikan dengan settingan angka sebelumnya, yaitu 500 putaran.
- g. Pasang talang dibawah mesin abrasi
- h. Buka penutup mesin abrasi lalu tekan tombol inching hingga mesin abrasi berputar hingga agregat dan bola besi tertampung pada talang yang sebelumnya telah dipasang
- i. Saring agregat yang telah dikeluarkan dari mesin abrasi dengan menggunakan saringan No. 16
- j. Timbang berat kering yang tertahan pada saringan dan catat hasilnya.
- k. Hitung Keausan Agregatnya

Tabel 3.8 Form Pengujian Keausan Agregat Kasar

No.	Uraian	Hasil Pengujian
1.	Berat Awal Agregat Kasar (W1)	
2.	Berat Akhir Agregat Kasar (W2)	
3.	Kadar Agregat Kasar yang Hancur (W1-W2)	
4.	Kadar Keausan = $(W2-W1)/W1*100\%$	

Sumber : Form Pengujian Agregat Laboratorium UPS Tegal

6. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji sebanyak 36 sampel benda uji. Dimana, pembuatan benda uji disetiap variasi sebanyak 3 buah, yang dapat dijabarkan berdasarkan tabel berikut :

Tabel 3.9 Banyak Benda Uji

Komposisi Metakaloin	Metode Perawatan		Kode Benda Uji	Umur Beton (Hari)	Jumlah Benda Uji (Buah)
	Di lapangan (L)	Di dalam ruang teduh (D)			
Metakaloin 0% (Semen)	Di lapangan (L)	Di dalam ruang teduh (D)	BN 0%	14	36
Metakaloin 5% (Semen)	Di lapangan (L)	Di dalam ruang teduh (D)	BM 5%		
Metakaloin 10% (Semen)	Di lapangan (D)	Di dalam ruang teduh (D)	BM 10%	28	

Sumber : Olah Data Pribadi

7. Uji Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada saat benda uji berumur 14 dan 28 hari. Hal ini dilakukan dengan tujuan mengetahui beban maksimum yang dihasilkan oleh pembebanan tekan dengan mengacu pada aturan SNI 03-1975-1990. Dengan Langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Sterilkan benda uji dari kotoran yang menempel pada permukaan.
- b. Ukur dimensi benda uji menggunakan jangka sorong atau penggaris yang tersedia di Laboratorium dengan ketelitian 0,1mm
- c. Letakan benda uji tepat ditengah alat pengujian
- d. Nyalakan mesin dengan pemberian pembebanan pada benda uji yang terus ditingkatkan

- e. Pembebanan dilakukan hingga bacaan pada alat stabil. Sembari pembebanan dilaksanakan, catatlah beban maksimum pada bacaan alat setelah pembebanan yang terjadi.

Rumus Perhitungan yang digunakan untuk memperoleh hasil nilai kuat tekan benda uji adalah sebagai berikut :

$$\text{Kekuatan Tekan (MPa)} = \frac{P}{A} = \frac{\text{Tekanan}}{\text{Luas Permukaan}} = \frac{N}{\text{mm}^2} = \text{N/mm}^2$$

Keterangan : P = Tekanan (KN atau N) N/mm = MPa

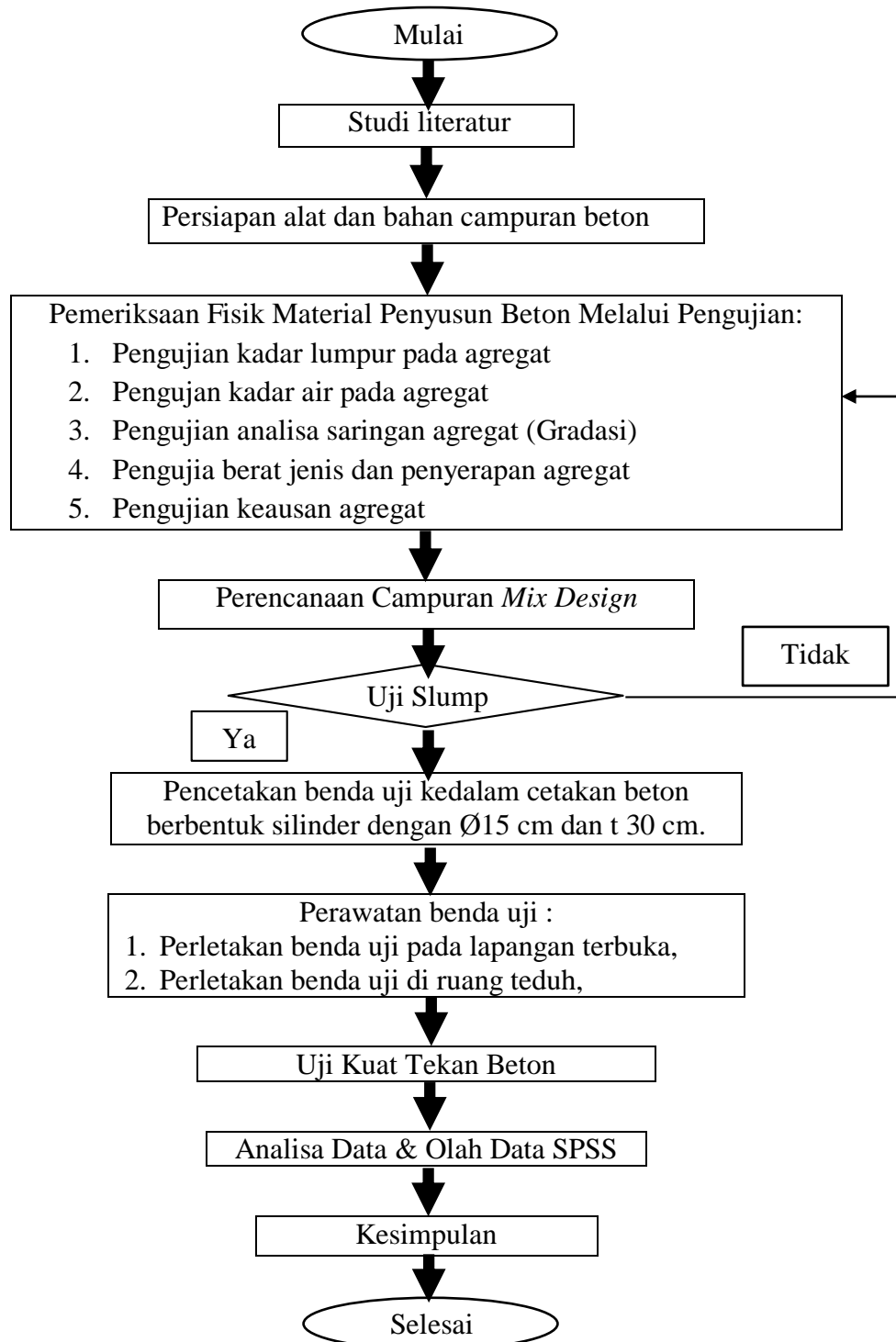
A = Luas Permukaan (mm²) 1KN = 1000N

Tabel 3.10 Form Pengujian Kuat Tekan Beton

No.	Kode Benda Uji	Tanggal Benda Uji		Usia Beton	Berat	Gaya Tekan	Kuat Tekan Langsung	Rata-Rata Kuat Tekan	Mutu K'
		Pembuatan	Test						
1	BN	I							
		II							
		III							
2	BM 5%	I							
		II							
		III							
3	BM 10%	I							
		II							
		III							

Sumber : Olah Data Pribadi

F. Diagram Alur Penelitian



Gambar 3.17 Diagram Alur Penelitian

Sumber : Olah Data Pribadi