TUGAS AKHIR

PENGARUH PENGGUNAAN AIR HUJAN DENGAN VARIASI KARAKTERISTIK PH SEBAGAI AIR PENCAMPURAN TERHADAP KUAT TEKAN BETON

(Studi Penelitian)

Diajukan untuk Memenuhi Syarat-Syarat untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Sipil pada Fakultak Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Disusun Oleh:

Rahmat Humala Putra Hasibuan

2207210074

UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
2026

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama	: Rahmat Humala Putra Hasibuan
NPM	: 2207210074
Program Studi	: Teknik Sipil
Judul Tugas Akhir	: Pengaruh Penggunaan Air Hujan Dengan Variasi Karakteristik PH Sebagai Air Pencampur Terhadap Kuat Tekan Beton
Bidang Ilmu	: Struktur

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA
PANITIAN UJIAN SKRIPSI

Medan, 2026

Dosen Pembimbing

Josef Hadipramana, S.T., M.Sc., Ph.D

Dipindai dengan CamScanner

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir diajukan oleh:

Nama	: Rahmat Humala Putra Hasibuan
NPM	: 2207210074
Program Studi	: Teknik Sipil
Judul Tugas Akhir	: Pengaruh Penggunaan Air Hujan Dengan Variasi Karakteristik PH Sebagai Air Pencampur Terhadap Kuat Tekan Beton
Bidang Ilmu	: Struktur

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 2026

Mengetahui dan Menyutujui

Dosen Pembimbing

Josef Hadipramana, S.T., M.Sc., Ph.D

Dosen Penguji I	Dosen Penguji II
Rizki Efrida ST., M.T.	Ir. Tondi Amirsyah Putera,ST, MT

Ketua Prodi Teknik Sipil

Josef Hadipramana, S.T., M.Sc., Ph.D

Dipindai dengan CamScanner

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama	: Rahmat Humala Putra Hasibuan
Tempat, tanggal lahir	: Pasar Sayur Matinggi, 22 Februari 2003
NPM	: 2207210074
Fakultas	: Teknik
Program Studi	: Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir berjudul "Pengaruh penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik PH sebagai air pencampur terhadap kuat tekan beton ".

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non material serta segala kemungkinan lain, yang pada hakikatnya bukan merupakan karya tulis tugas akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila diduga kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi dengan sanksi terberat dengan pembatalan kelulusan atau keserjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan atau paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 21 September 2026

Saya Menyatakan,



Rahmat Humala Putra Hasibuan

Dipindai dengan CamScanner

PENGARUH PENGGUNAAN AIR HUJAN DENGAN VARIASI KARAKTERISTIK pH SEBAGAI AIR PENCAMPUR TERHADAP KUAT TEKAN BETON

Rahmat Humala Putra Hasibuan

2207210074

ABSTRAK

Air merupakan komponen krusial dalam pembuatan beton yang memicu reaksi hidrasi semen. Keterbatasan sumber air bersih mendorong pemanfaatan sumber air alternatif seperti air hujan. Namun, air hujan di berbagai lokasi memiliki karakteristik derajat keasaman (pH) yang bervariasi akibat polusi lingkungan. Penelitian eksperimental ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan air hujan dengan variasi pH dari tiga lokasi berbeda sebagai air pencampur terhadap nilai slump dan kuat tekan beton mutu rencana f'c 20 MPa berdasarkan SNI 03-2834-2000. Sampel air hujan yang digunakan berasal dari kawasan industri (BH-1, pH ±5,5), kawasan perkotaan (BH-2, pH ±6,3), dan kawasan pedesaan (BH-3, pH ±7,0). Pengujian material penyusun menunjukkan Modulus Kehalusan (FM) agregat halus sebesar 3,12 dan agregat kasar 2,40, serta memenuhi seluruh persyaratan teknis SNI. Benda uji berupa silinder beton berukuran 150 mm x 300 mm diuji kuat tekan pada umur 7, 14, dan 28 hari menggunakan Compression Testing Machine (CTM). Hasil pengujian menunjukkan bahwa keasaman air hujan memengaruhi workability dan perkembangan kuat tekan beton. Nilai slump beton mengalami penurunan seiring bertambahnya tingkat keasaman air hujan. Pada pengujian kuat tekan umur 28 hari, beton dengan air hujan kawasan pedesaan (BH-3, pH ±7,0) menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 22,01 MPa (memenuhi mutu rencana), diikuti air hujan perkotaan (BH-2, pH ±6,3) sebesar 20,87 MPa, sedangkan air hujan kawasan industri yang bersifat asam (BH-1, pH ±5,5) menghasilkan kuat tekan terendah yaitu 20,32 MPa. Secara keseluruhan, penggunaan air hujan dengan pH rendah (asam) terbukti menghambat proses hidrasi semen, melarutkan senyawa kalsium, serta menurunkan kuat tekan beton hingga 7,68% dibandingkan beton normal/netral. Penelitian ini merekomendasikan netralisasi pH air hujan sebelum digunakan sebagai air pencampur beton konstruksi.

Kata Kunci: *Air Hujan, Karakteristik pH, Kuat Tekan Beton, Hidrasi Semen, Mix Design SNI.*

THE EFFECT OF USING RAINWATER WITH VARYING PH CHARACTERISTICS AS MIXING WATER ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE

Rahmat Humala Putra Hasibuan

2207210074

ABSTRACT

Water is a crucial component in concrete production that triggers the cement hydration reaction. The limitation of clean water supplies encourages the utilization of alternative water sources such as rainwater. However, rainwater from different locations exhibits varying acidity levels (pH) due to environmental pollution. This experimental research aims to analyze the effect of using rainwater with variations in pH characteristics from three different locations as mixing water on the slump value and compressive strength of concrete with a target strength of f'c 20 MPa based on SNI 03-2834-2000. The rainwater samples were collected from industrial areas (BH-1, pH ±5.5), urban areas (BH-2, pH ±6.3), and rural areas (BH-3, pH ±7.0). Material testing showed a Fineness Modulus (FM) of 3.12 for fine aggregate and 2.40 for coarse aggregate, both meeting technical standard requirements. Cylindrical concrete specimens measuring 150 mm x 300 mm were tested for compressive strength at the ages of 7, 14, and 28 days using a Compression Testing Machine (CTM). The results indicated that rainwater acidity affects concrete workability and strength development. The slump value decreased as rainwater acidity increased. At 28 days, concrete made with rural rainwater (BH-3, pH ±7.0) achieved the highest compressive strength of 22.01 MPa (meeting design target), followed by urban rainwater (BH-2, pH ±6.3) at 20.87 MPa, while acidic industrial rainwater (BH-1, pH ±5.5) produced the lowest compressive strength of 20.32 MPa. Overall, the use of low-pH (acidic) rainwater hinders cement hydration, dissolves calcium compounds, and reduces concrete compressive strength by up to 7.68% compared to neutral concrete. This study recommends neutralizing rainwater pH before using it as concrete mixing water.

Keywords: *Rainwater, pH Characteristics, Concrete Compressive Strength, Cement Hydration, SNI Mix Design.*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul Studi Eksperimental Beton Dengan Campuran Limbah Keramik Sebagai Agregat Halus Ditinjau Dari Kuat Tekan Dan Workability Sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini banyak pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah memberikan dukungan, bimbingan dan bantuan, sehingga dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar – besarnya kepada:

1. Bapak Josef Hadipramana, S.T, M.Sc, Ph.D, selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan memberikan arahan kepada penulis dalam proses menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Rizki Efrida ST., M.T., selaku Dosen Pembanding I yang telah banyak membantu dan memberikan saran demi kelancaran penulis dalam proses menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. Tondi Amirsyah Putera, ST, MT, selaku Dosen Pembanding II yang telah banyak membantu dan memberikan saran serta masukan demi kelancaran penulis dalam proses menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Assoc. Prof. Ir. Ade Faisal, S.T, M.Sc, Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.

6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Teruntuk Almarhum Ayah dan Almarhumah Ibu penulis, yang telah lebih dahulu berpulang sebelum sempat menyaksikan penulis menyelesaikan perjalanan ini. Ada rasa kehilangan yang tidak pernah benar-benar selesai, terlebih ketika sampai pada titik yang begitu ingin penulis rayakan bersama kalian. Andai waktu mengizinkan, penulis tentu ingin kalian ada disini, menyaksikan satu per satu perjuangan yang akhirnya berhasil dilewati. Ada banyak cerita yang ingin penulis sampaikan dan ada satu kalimat sederhana yang rasanya ingin sekali penulis dengar, yaitu "Kami bangga padamu". Namun, ketika pertemuan tidak lagi memungkinkan, doa menjadi satu-satunya cara penulis menyampaikan bahwa pencapaian ini juga menjadi bagian dari cinta dan kenangan yang kalian tinggalkan.
8. Kepada ketiga kakak penulis tercinta, Lenny Wati Hasibuan, Elvi Zahara Hasibuan, dan Wiwik Wildayani Hasibuan. Yang telah menjadi sosok pengganti peran orang tua dalam kehidupan penulis. Terimkasih atas segala kasih sayang, perhatian, doa, dukungan, serta pengorbanan yang telah diberikan kepada penulis sejak awal menempuh Pendidikan hingga akhirnya dapat menyelesaikan studi dan tugas akhir ini. Terimakasih telah berjuang dan selalu mengusahakan yang terbaik untuk penulis, baik dalam bentuk dukungan moril maupun materil. Tanpa perjuangan, kesabaran, dan dukungan dari ketiganya, penulis mungkin tidak akan mampu sampai pada tahap ini. Semoga segala kebaikan dan pengorbanan yang telah diberikan kepada penulis mendapatkan balasan terbaik dari Allah SWT dan semoga penulis dapat membalas segala jasa dan perjuangan tersebut dengan keberhasilan yang membanggakan.
9. Kepada sahabat penulis, Ega Agousta, terimakasih atas setiap bantuan, obrolan, candaan, dan dukungan yang telah diberikan seelama proses perkuliahaan hingga penyelesaian tugas akhir ini. Terimkasih telah memberikan support dalam berbagai bentuk, baik materi, tenaga, maupun pikiran, terutama di saat penulis sedang menghadapi tekanan dan kesulitan. Kehadiran dan bantuanmu

sangat berarti dalamm perjalanan ini. Terimakasih telah menjadi sahabat yang selalu bisa diandalkan dan menjadi bagian dari cerita serta perjuangan penulis selama masa perkuliahaan.

10. Kepada Teman Teman Penulis, Riskha Mawaddah Nst, Alya Shafira Ardi, Suci Nuzulyani Br Manurung, Asmar Soleh, Ayu Wulandari Abdi, M Riza, Aditya Permana, Maura Fryschylla, Ahmad Fauzi Febrian, Azra Sabili Sinaga, Nurul Maulana Fadilla, Muhammad Azkha, yang telah menjadi bagian penting dalam perjalanan penulis selama kurang lebih empat tahun perkuliahan. Terima kasih atas segala bantuan, dukungan, canda tawa, suka dan duka, serta berbagai cerita dan pengalaman yang telah kita lewati Bersama, dari awal perkuliahaan hingga akhirnya tugas akhir ini dapat diselesaikan. Banyak hal yang telah kita lalui dan mungkin tidak akan terulang Kembali, namun semua kenangan selama empat tahun ini akan selalu menjadi bagian yang berharga dalam perjalanan hidup penulis. Terimakasih telah menjadi bagian dari cerita ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan pengetahuan dan kemampuan penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritikan dan saran yang membangun demi kesempurnaan penulisan Tugas Akhir ini.

Akhir kata penulis mengucapkan terimakasih dan rasa hormat yang sebesar besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini memberikan manfaat bagi kita semua terutama bagi penulis dan juga bagi teman – teman Mahasiswa Teknik Sipil khususnya. Aamiin.

Medan, 23 April 2026

Saya yang menyatakan,



Rahmat Humala Putra Hasibuan

Dipindai dengan CamScanner

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING i
LEMBAR PENGESAHAN ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR iii
ABSTRAK iv
ABSTRACT v
KATA PENGANTAR vi
DAFTAR ISI ix
BAB 1 PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Urgensi Penelitian 2
1.3 Rumusan Masalah 3
1.4 Tujuan Penelitian 3
1.5 Manfaat Penelitian 3
1.5.1 Manfaat Teoritis 3
1.5.2 Manfaat Praktis 3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA 4
2.1 Beton 4
2.2 Semen 5
2.3 Agregat 7
2.3.1 Agregat Halus 8
2.3.2 Agregat Kasar 9
2.4 Air 9
2.5 Air Hujan dan Karakteristik pH-nya 11
2.6 Kuat Tekan Beton 11
2.7 Penelitian Terdahulu 12
BAB 3 METODE PENELITIAN 14
3.1 Metode Penelitian 14
3.2 Teknik Pengumpulan Data 15

3.2.1 Data Primer 16
3.2.2 Data Sekunder 16
3.3 Bahan Baku dan Peralatan 17
3.3.1 Bahan Baku 18
3.3.2 Peralatan 19
3.4 Tempat dan Waktu Penelitian 20
3.5 Persiapan Skripsi 23
3.6 Pemeriksaan Material 24
3.6.1 Pemeriksaan Agregat Halus 25
3.6.2 Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus 26
3.6.3 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus 29
3.6.4 Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus 32
3.6.5 Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Halus 33
3.6.6 Pemeriksaan Agregat Kasar 36
3.6.7 Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar 38
3.6.8 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar 39
3.6.9 Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity) 40
3.6.10 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar 40
3.6.11 Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar 42
3.6.12 Perancangan Campuran Beton (*Mix design*) 46
3.6.13 Persiapan Air Hujan sebagai Air Pencampur Beton 48
3.7 Pembuatan Benda Uji Beton 49
3.7.1 Penimbangan Material 49
3.7.2 Pencampuran Beton 50
3.7.3 Pengujian Slump 50
3.7.4 Pencetakan dan Pemadatan Benda Uji 51
3.7.5 Perawatan (*curing)* Benda Uji 52
3.8 Pengujian Benda Uji 53
3.8.1 Pengujian Kuat Tekan Beton 53
3.9 Teknik Analis Data 54

BAB 4 HASIL PEMBAHASAN 56
4.1 Perhitunngan Hasil Perencanaan Campuran Pembuatan Beton 56
4.2 Variasi Air Hujan sebagai Air Pencampur 61
4.3 Metode Pengerjaan Mix Design 62
4.4 Hasil Pengujian Slump 69
4.5 Hasil dan Pembahasan Pengujian Kuat Tekan Beton 73
4.5.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 73
4.5.2 Pembahasan Hasil Pengujian Kuat Beton 76
BAB 5 PENUTUP 80
5.1 Kesimpulan 80
5.2 Saran 80
DAFTAR PUSTAKA 82
LAMPIRAN 84

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian 22
Gambar 4.1 Grafik untuk Menentukan Faktor Air Semen (FAS) berdasarkan Kuat Tekan Rata-Rata 64
Gambar 4.2 Grafik Persen Agregat Halus terhadap Kadar Total Agregat 66
Gambar 4.3 Berat Isi Beton pada FAS 0,41 (SNI 03-2834-2000) 69
Gambar 4.4 Pengujian *Slump* Beton Menggunakan Kerucut Abrams 70
Gambar 4.5 Grafik Hasil Pengujian *Slump* Beton 72
Gambar 4.6 Kuat Tekan Beton 76

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus 27
Tabel 3.2 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus 29
Tabel 3.3 Uraian Pengujian 31
Tabel 3.4 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Halus 33
Tabel 3.5 Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Halus 35
Tabel 3.6 Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar 37
Tabel 3.7 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar 39
Tabel 3.8 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan 41
Tabel 3.9 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Kasar 43
Tabel 3.10 Hasil Analisis Saringan Agregat 45
Tabel 3.11 Rincian Material Kebutuhan 46
Tabel 3.12 Variasi Campuran Beton Yang Digunakan Dalam Penelitian 47
Tabel 3.13 Variasi Campuran Beton 48
Tabel 4.1 Data – Data Analisis yang Diperoleh Saat Penelitian 56
Tabel 4.2 Data Perencanaan Pembuatan Beton 57
Tabel 4.3 Proporsi campuran beton per adukan 58
Tabel 4.4 Perbandingan Campuran Beton untuk 1 m^3 58
Tabel 4.5 Perbandingan Bahan Beton untuk Satu Benda Uji 60
Tabel 4.6 Kebutuhan Agregat Kasar Berdasarkan Hasil Analisis Saringan 60
Tabel 4.7 Kebutuhan Agregat Halus Berdasarkan Hasil Analisis Saringan 61
Tabel 4.8 Variasi Air Hujan sebagai Air Pencampur 62
Tabel 4.9 Hasil Pengujian *Slump* Beton 71
Tabel 4.10 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton 74
Tabel 4.11 Hubungan Pengaruh Penggunaan Air Hujan dengan Variasi Karakteristik pH Terhadap Kuat Tekan Beton 78

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan material konstruksi yang paling banyak digunakan di dunia karena memiliki kekuatan tekan yang tinggi, tahan terhadap cuaca, mudah dibentuk, serta relatif ekonomis. Beton tersusun atas campuran semen, agregat halus, agregat kasar, air, dan bahan tambahan lain dalam proporsi tertentu. Di antara semua bahan penyusun tersebut, air memiliki peran yang sangat penting karena berfungsi untuk memicu reaksi hidrasi pada semen yang membentuk senyawa pengikat (C-S-H) yang menentukan kekuatan beton.

Namun, dalam praktik lapangan, terutama pada proyek berskala besar, pemilihan air pencampur sering diabaikan. Banyak pelaksana konstruksi menggunakan air apa pun yang tersedia tanpa memperhatikan kualitas kimianya, termasuk nilai pH (derajat keasaman). Padahal, pH air dapat mempengaruhi proses hidrasi semen dan mutu beton yang dihasilkan.

Secara ideal, air yang digunakan untuk campuran beton sebaiknya bersifat netral dengan nilai pH sekitar 7, seperti air bersih pada umumnya. Akan tetapi, air hujan yang menjadi salah satu sumber air alami sering kali memiliki pH di bawah 7 (bersifat asam). (Meidiani & Septa Hartawan, 2018). Kondisi ini terjadi karena air hujan bereaksi dengan gas-gas di atmosfer seperti karbon dioksida (CO_2), sulfur dioksida (SO_2), dan nitrogen dioksida (NO_2), membentuk asam karbonat (H_2CO_3), asam sulfat (H_2SO_4), dan asam nitrat (HNO_3).(Rita Mukhtar & Puji Lestari, Ricky Nelson, Bambang Hindratmo, Muharam Syam Nugraha, 2022) Akibatnya, air hujan di daerah perkotaan atau kawasan industri cenderung lebih asam dibandingkan air hujan di daerah pedesaan.

Air hujan dengan pH rendah dapat menghambat proses hidrasi semen karena meningkatnya konsentrasi ion hydrogen (H^+) yang menyebabkan pelarutan kalsium

(Ca^{2+}) dari senyawa semen, sehingga kekuatan beton menurun.(Raymond et al., 2025) Selain itu, kondisi air yang terlalu asam dapat menurunkan alkalinitas beton dan meningkatkan risiko korosi pada tulangan. Untuk menetralkan air hujan yang terlalu asam, dapat digunakan bahan bersifat basa ringan seperti kapur ($Ca(OH)_2$) atau natrium bikarbonat (NaHC3) agar pH mendekati netral sebelum digunakan.

Berdasarkan fenomena tersebut, penting dilakukan penelitian mengenaki pengaruh penggunaan air hujan dari berbagai lokasi dengan variasi karakteristik pH terhadap kuat tekan beton, agar dapat diketahui seberapa besar pengaruhnya terhadap kualitas beton dan apakah air hujan dapat dijadikan alternatif sumber air pencampur yang layak secara teknis dan ekonomis.

1.2 Urgensi Penelitian

Penelitian ini memiliki urgensi yang tinggi dalam konteks pembangunan berkelanjutan dan efisiensi sumber daya air di sector konstruksi. Beberapa alasan pentingnya penelitian ini antara lain:

1. Keterbatasan air bersih di berbagai wilayah menuntut adanya alternatif sumber air yang dapat dimanfaatkan tanpa mengurangi kualitas beton.
2. Kurangnya penelitian mendalam mengenai dampak variasi pH air hujan dari berbagai lokasi terhadap kuat tekan beton, khususnya di wilayah Indonesia dengan tingkat keasaman udara yang berbeda-beda.
3. Dampak lingkungan dan polusi udara berpotensi mengubah karakteristik kimia air hujan, sehingga perlu dipahami sejauh mana hal tersebut memengaruhi kualitas material konstruksi.
4. Kebutuhan praktis di lapangan, di mana air hujan sering digunakan secara langsung sebagai air pencampur tanpa pengujian pH terlebih dahulu, sehingga perlu kajian ilmiah untuk penilaian kelayakannya.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah dan rekomendasi teknis mengenai pemanfaatan air hujan sebagai bahan pencampur beton, terutama dalam upaya efesiensi sumber daya air dan penerapan konstruksi ramah lingkungan.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan urgensi di atas, maka rumusan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakterisitik pH air hujan yang berasal dari berbagai lokasi penelitian sebagai pencampuran beton?
2. Bagaimana perbandingan kuat tekan beton yang menggunakan air hujan dengan variasi pH berbeda terhadap beton yang menggunakan air normal (kontrol)?

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik pH air hujan dari berbagai lokasi penelitian
2. Membandingkan kuat tekan beton yang menggunakan air hujan dengan variasi pH berbeda terhadap beton yang menggunakan air normal

1.5 Manfaat Penelitian

1.5.1 Manfaat Teoritis

Adapun manfaat teoritis dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Menambah wawasan ilmiah mengenai hubungan antara karakteristik air (terutama pH) dengan fisik mekanik beton
2. Memberikan konstribusi terhadap pengembangan ilmu teknologi beton, khususnya dalam pemanfaatan sumber air alternatif

1.5.2 Manfaat Praktis

Adapun manfaat praktis dari penelitian ini sebagai berikut

1. Memberikan panduan bagi praktisi dan pelaksanaan proyek dalam memanfaatkan air hujan secara aman sebagai bahan pencampur beton
2. Memberikan dasar pertimbangan dalam pengujian dan pengendalian kualitas air di lapangan

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton adalah material konstruksi yang terbentuk dari campuran ssemen, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil atau batu pecah) serta air dengan proporsi tertentu setelah dicetak sesuai bentuk dan ukuran yang diinginkan, campuran ini akan mengeras dan air yang berfungsi mengikat butiran agregat menjadi satu kesatuan massa padat. Mutu dan kekuatan beton yang dihasilkan sangat bergantung pada komposisi bahan penyusunya, termasuk kualitas air yang digunakan. Oleh karena itu penelitian mengenai pengaruh air hujan dengan variasi pH sebagai air pencampur menjadi penting, karena dapat memberikan gambaran seberapa besar peran kualitas air terhadap kuat tekan beton.

Beton banyak dipilih dalam pekerjaan konstruksi karena memiliki sejumlah keunggulan. pada kondisi plastis beton relatif mudah dikerjakan dituangkan,serta dibentuk sesuai cetakan atau bekisting yang diinginkan,selain itu,beton memiliki ketahanan yang baik terhadap cuaca dan api, sehingga memberikan umur layanan yang Panjang. kekuatan tekan yang tinggi juga menjadikan beton sangat sesuai digunakan pada elemen stuktur yang dominan menerima beban tekan. keunggulan lain yang tidak kalah penting adalah ketersediaan bahan bakunya. hampir seluruh material penyusun beton, kecuali semen, umumnya dapat diperoleh dengan mudah di sekitar Lokasi proyek denga harga yang relatif terjangkau.

Di samping berbagai kelebihannya, beton juga memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Material ini tergolong mudah mengalami retak, terutama ketika menerima beban tarik atau letur, sebab kekuatan tarik beton jauh lebih rendah dibandingkan dengan kekuatan tekannya. selain itu, beton memiliki bobot yang relatif besar, sehingga dapat menambah beban struktur secara lanjut terkait material

penyusunnya, termasuk kualitas air pencampur, agar dapat menghasilkan beton dengan mutu yang lebih baik dan sesuai kebutuhan konstruksi.

2.2 Semen

Semen merupakan salah satu bahan utama dalam pembuatan beton yang berfungsi sebagai perekat antara partikel agregat bahan ini dihasilkan melalui proses industry dengan memanfaatkan batu kapur (gamping) sebagai bahan pokok dan lempung atau tanah liat sebagai bahan tambahan batu kapur mengandung senyawa kalsium oksida (CaO) sedangkan lempung umumnya mengandung silika oksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3), serta magnesium oksida (MgO). Campuran bahan baku tersebut dibakar pada suhu tinggi hingga membentuk clinker, yang kemudian digiling halus dan dicampur dengan sejumlah kecil gypsum untuk mengendalikan waktu ikatan.

Semen yang dihasilkan umumnya berbentuk bubuk halus dan dikemas dalam kantong dengan berat sekitar 40-50 kg dalam pencampuran beton, semen akan bereaksi dengan air melalui proses hidrasi, sehingga membentuk pasta semen yang berfungsi mengikat agregat halus dan kasar menjadi massa padat. kualitas semen serta menentukan kekuatan tekan beton yang dihasilkan. oleh karena itu, pemahaman mengenai peran semen menjadi penting dalam penelitian ini, terutama untuk melihat sejauh mana variasi pH air pencampur dapat memengaruhi proses hidrasi dan mutu beton secara keseluruhan.

Kualitas beton sangat dipengaruhi oleh jumlah semen yang digunakan dalam campuran. Dalam perancangan campuran (mix design) proporsi semen harus ditentukan secara tepat karena penggunan semen yang terlalu sedikit dapat menyebabkan beton tidak mencapai kekuatan yang diharapkan, sedangkan jumlah yang berlebihan justru dapat menimbulkan retak dan mengurangi keawetan beton. oleh sebab itu, keseimbangan antara jumlah semen dan bahan lain, termasuk air pencampur, menjadi faktor penting yang harus diperhatikan. Hal ini relevan dengan penelitian mengenai penggunaan air hujan dengan variasi pH, karena interaksi antara air dan semen akan sangat menentukan proses hidrasi serta kuat tekan beton yang terbentuk.

Mutu semen sangat memengaruhi proses pengerasan beton. semakin baik kualitas semen, proses hidrasi akan berjalan lebih optimal dan menghasilkan ikatan yang lebih kuat. Variasi pH sir hujan yang digunakan sebagai bahan pencampur juga berperan dalam mempercpat atau memperlambat reaksi hidrasi, sehingga berdampak pada kuat tekan beton. Semakin baik mutu semen maka semakin lama mengeras atau membatunya jika dicampur dengan air, dengan angka-angka hidrolitas yang dapat dihitung dengan rumus:

$$\frac{SiO2 + Al2O3 + Fe2O3}{CaO + MgO} \tag{2.1}$$

Angka hidrolitas ini berkisar antara 112 (keras sekali). Namun demikian dalam industri semen angka hidrolitas ini harus dijaga secara teliti untuk mendapatkan mutu yang baik dan tetap, yaitu antara 111,9 dan 112,15. Semen dibagi dalam dua kelompok besar yaitu:

Semen hidrolis, yaitu semen yang mempunyai kemampuan mengikat dan mengeras di dalam air. Semen non hidrolis yaitu semen yang tidak dapat mengikat dan menegeras di dalam air. Semen non hidrolis yaitu semen yang tidak dapat mengikat dan mengeras di dalam air.

Semen portland adalah semen hydrolis yang dhasilk:an dengan jalan menghaluskan klinker yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hydrolis. Senyawa-senyawa yang terdapat pada semen portlan adalah:

Tricalsium Silicate (3CaO. SiO_2) Dicalsium Silicate (2CaO. SiO_2) Tricalsium Alumina (3CaO. Al_2O_3) Tetracalsium Alumino (4CaO. Al_2O_3. Fe_2O_3)

Sedang menurut sifat kimia dan fungsi penggunaan semen Portland dapat dibagi atas:

1. Tipe I, adalah semen yang digunakan tanpa persyaratan khusus
2. Tipe II, adalah semen yang memiliki sifat ketahanan yang sedang terhadap garam-garam di air, biasanya dipilih untuk bangunan yang berhubungan langsung dengan air.

3. Tipe III, adalah semen portland yang cepat mengeras dalam arti memilki kuat tekan yang cukup tinggi pada umur muda, semen jenis ini digunakan pada daerah dengan suhu rendah.
4. Tipe IV, adalah semen dengan panas hidrasi rendah, umumnya digunakan untuk bangunan-bangunan dengan dimensi beton besar seperti pondasi jembatan, bendungan dll.
5. Tipe V, adalah jenis semen yang memiliki ketahanan terhadap sulfat, sangat baik digunakan pada bangunan yang berhubungan dengan air laut, limbah imdustri, uap kimia dll.

Dalam penelitian ini digunakan semen Portland tipe I, yaitu jenis semen yang umum dipakai untuk beton normal pada konstruksi yang tidak bersinggungan langsung dengan kadar sulfat tinggi di tanah. Tingkat kehalusan butiran semen berpengaruh pada proses pengerasan, di mana semakin halus butirannya maka semakin luas permukaan yang dapat bereaksi dengan air.hal ini mempercepat terbentuknya gel semen pada umur muda sehingga kekuatan awal beton dapat tercapai lebih baik.

Namun, semen juga memiliki sifat pengembangan volume yang perlu diperhatikan. Pengembangan ini umumnya ditoleransi hingga 0,8% dan biasanya dipicu oleh sisa caO tersebut akan membentuk $Ca(OH)_2$ dengan volume lebih besar, yang dapat menimbulkan retak-retak pada beton.

Oleh karena itu selain mempertimbangkan mutu semen, kualitas air pencampur termasuk nilai pH air hujan yang digunakan juga penting untuk memastikan reaksi hidrasi berjalan optimal dan tidak menurunkan kekuatan beton.

2.3 Agregat

Agregat merupakan salah satu bahan utama dalam campuran beton yang berfungsi sebagai pengisi sekaligus memberikan kestabilan volume pada beton. Karakteristik agregat, baik dari segi fisik maupun mekaniknya, sangat memengaruhi mutu beton, seperti kuat tekan, ketahanan terhadap beban, hingga daya tahan (durabilitas).

Agregat alami biasanya berasal dari hasil pelapukan, abrasi, atau pemecahan batuan induk yang lebih besar untuk menghasilkan beton dengan mutu yang baik, agregat yang digunakan sebaiknya berbentuk mendekati kubus atau bulat, keras, bersih, bergradasi abik, dan tidak mudah bereaksi secara kimia berdasarkan ukurannya, agregat yang digunakan dalam pembuatan beton dibagi dua kelompok, yaitu:

1. Agregat halus
2. Agregat kasar

Agregat dalam campuran beton secara umum dibedakan menjadi dua, yaitu agregat halus dan agregat kasar. Agregat halus biasanya berupa pasir atau butiran mineral kecil yang mampu lolos saringan berukuran 4,75 mm, sedangkan agregat kasar adalah butiran yang tertahan pada saringan tersebut, penentuan ukuran maksimun agregat kasar dalam campuran beton disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi, misalnya agar butiran agregat dapat masuk dengan baik di antara tulangan maupun bekisting.

Untuk menghasilkan beton dengan kuat tekan yang optimal, agregat harus memiliki massa yang padat keras dan bergradasi baik, sebab gradasi butir yang tepat akan memengaruhi kepadatan campuran dan secara tidak langsung mendukung reaksi hidrasi semen ketika dipadukan dengan air pencampur, termasuk air hujan dengan variasi pH.

2.3.1 Agregat Halus

Agregat halus merupakan butiran mineral berukuran kecil yang umumnya dapat melewati ayakan persegi, baik pasir alami maupun pasir hasil pemecahan batuan. Fungsinya dalam campuran beton adalah mengisi rongga-rongga kosong di anatara butiran agregat kasar, sehingga beton yang dihasilkan menjadi rongga-rongga kosong di antara butiran agregat kasar, sehingga beton yang dihasilkan menjadi lebih padat dan kompak.

Dengan berkurangnya rongga, kebutuhan semen dapat ditekan serta risiko penyusutan beton berkurang. Dalam penelitian ini, pemilihan agregat halus tetap memperhatikan zona gradasi yang berlaku (zona I-IV), karena distribusi ukuran butir

sangat memengaruhi kepadatan beton. Kondisi tersebut berhubngan dengan reaksi hidrasi seen ketika bercampur dengan air hujan yang memiliki variasi pH, sehingga secara langsung dapat memengaruhi kuat tekan beton yang dihasilkan.

2.3.2 Agregat Kasar

Agregat kasar adalah komponen utama dalam campuran beton yang berfungsi untuk memberikan kekuatan dan kestabilan pada stuktur beton. Agregat jenis ini umumnya berasal dari batu pecah, kerikil alami, atau hasil pemecahan batuan yang keras dan padat. Ukuran agregat kasar biasanya sekitar antara 5 mm hingga 40 mm, tergantung pada kebutuhan desain beton dan jenis stuktur yang akan dibangun.

Dalam praktik di lapangan, pemilihan ukuran maksimun agregat kasar perlu disesuaikan dengan jarak antar tulangan atau ketebalan elemen struktur, agar beton dapat terisi sempurna tanpa meninggalkan rongga. Bentuk butiran agregat kasar juga berpengaruh terhadap workability (kemudahan pengerjaan) beton. Butiran yang berbentuk bulat cenderung lebih mudah diaduk dan dicetak, sedangkan butiran yang bersudut memberikan ikatan mekanis yang lebih baik antara pasta semen dan agregat.

Selain itu, kebersihan agregat kasar harus diperhatikan. Agregat yang mengandung lumpur, tanah liat, atau bahan organik dapat menganggu ikatan antara pasta semen dan agregat sehingga menurunkan kekuatan tekan beton, dalam konteks penelitian ini, agregat kasar menjadi salah satu faktor yang dijaga kualitasnya agar pengaruh variasi pH air hujan terhadap kuat tekan beton dapat terlihat secara jelas tanpa dipengaruhi oleh faktor lain.

2.4 Air

Air merupakan salah satu bahan penting dalam campuran beton yang berfungsi untuk memicu reaksi hidrasi semen dan membanntu proses pencampuran serta pengerjaan beton. Air yang digunakan untuk campuran beton harus memenuhi persyaratan tertentu agar tidak mempengaruhi mutu beon. Umumnya, air yang layak digunakan adalah air yang memenuhi standar air bersih, yaitu tidak berbau, tidak mengandung minyak, bahan organic, atau garam dalam jumlah berlebihan.

Secara umum, air yang digunakan sebagai bahan pencampur beton adalah air yang dapat diminum. Namun, dalam kondisi tertentu seperti di lapangan proyek atau daerah yang sulit mendapatkan air bersih, kadang digunakan sumber air lain seperti air sungai, air tanah, bahkan air hujan. Penggunaan sumber air alternatif ini perlu diuji terlebih dahulu, terutama dalam hal nilai pH, karena air yang terlalu asam atau terlalu basa dapat mengganggu proses hidrasi semen.

Nilai pH ideal untuk air pencampur beton berada pada kisaran 6-8. Apabila air memiliki pH di bawah 6, reaksi hidrasi akan terganggu akibat tingginya kadar ion hidrogen (H^+), yang dapat melarutkan senyawa kalsium dan mengurangi pembentukan senyawa pengikat (C-S-H). kondisi tersebut bisa berdampak langsung terhadap penurunan kuat tekan beton.

Selain digunakan sebagai bahan pencampur, air juga memiliki peran penting dalam proses curing atau perawatan beton, Proses hidrasi semen tidak berhenti setelah beton mengeras secara awal, tetapi berlangsung terus menerus selama kelembaban internal beton tetaap terjaga.apabila beton kehilangan air terlalu cepat akibat suhu tinggi, angin, atau paparan sinar matahari langsung, maka akan terjadi penguapan berlebih yang menyebabkan retak susut plastis, penurunan kuat tekan, dan terbentuknya pori-pori kapiler yang tidak diinginkan. Oleh karena itu, ketersediaan air baik dalam tahap pencampuran maupun tahap perawatan berperan besar terhadap durabilitas beton jangka panjang.

Dengan demikian, penggunaan sumber air alternatif termasuk air hujan mendorong tercapainya penghematan air bersih dan peningkatan keberlanjutan konstruksi, namun pemanfaatanya harus tetap memenuhi batasan yang ditetapkan standar agar perfoma beton tidak menurun.

Analisis karakteristik air menjadi salah satu bagian penting dalam penelitian ini untuk memastikan bahwa air alternatif yang digunakan tidak menurunkan kualitas beton dan tetap memenuhi ketahanan stuktural.

2.5 Air Hujan dan Karakteristik pH-nya

Air hujan merupakan salah satu air alami yang banyak tersedia, terutama di daerah beriklim tropis seperti Indonesia. Namun, karakteristik air hujan dapat berbeda-beda tergantung pada lokasi dan kondisi lingkungannya. Air hujan yang turun di daerah pedesaan umumnya lebih bersih dan memiliki pH mendekati netral, di daerah pedesaan umumnya lebih bersih dan memiliki pH mendekati netral, sedangkan di daerah industri atau perkotaan atau industri, air hujan cenderung bersifat asam akibat pencemaran udara.

Ketika air hujan turun melewati atmosfer, gas-gas seperti karbon dioksida (CO_2), sulfur dioksida (SO_2), dan nitrogen dioksida (NO_2) dapat larut di dalamnya dan membuat senyawa asam seperti asam karbonat (H_2CO_3), asam sulfat (H_2SO_4), serta asam nitrat (HNO_3). Reaksi inilah yang menyebabkan air hujan memiliki pH di bawah 7.(Cisleanu et al., 2021)

Air hujan yang bersifat asam berpotensi mempengaruhi reaksi kimia antara semen dan air. pH yang rendah dapat menurunkan kecepatan reaksi hidrasi dan menghambat pembentukan kalsium silikat hidrat (C-S-H), yang merupakan senyawa utama pembentuk kekuatan beton. Selain itu, air hujan asam juga bisa menyebabkan beton menjadi lebih berpori, sehingga daya tahan terhadap lingkungan berkurang.

Untuk mengurangi efek negatif air hujan yang terlalu asam, perlu dilakukan penetralan terlebih dahulu sebelum digunakan, salah satu caranya yaitu dengan menambahkan bahan bersifat basa ringan seperti kapur tohor ($Ca(OH)_2$) atau soda kue ($NaHCO_3$) dalam jumlah tertentu agar pH mendekati netral.(Ramadhanti et al., 2021) Dengan Langkah tersebut, diharapkan air hujan dapat dimanfaatkan secara optimal tanpa menurunkan mutu beton.

2.6 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton merupakan salah satu parameter utama dalam menilai mutu beton. Nilai kuat tekan menggambarkan kemampuan beton dalam menahan gaya tekan per satuan luas tanpa mengalami kerusakan. Pengujian kuat tekan beton biasanya

dilakukan pada umur 7, 14, dan 28 hari menggunakam mesin uji tekan (*compression testing machine*).(Kristiyanto, Hery, 2026).

Kekuatan tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: kualitas bahan penyusun (semen, agregat, dan air), perbandingan campuran, tingkat kepadatan, proses curing, serta umur beton. Air dengan pH tidak netral dapat mengganggu reaksi hidrasi semen, yang pada akhirnya menyebabkan kekuatan beton tidak maksimal.

Proses hidrasi yang terganggu oleh air asam mengakibatkan terbentuknya senyawa pengikat yang lebih sedikit dan berpori, sehingga daya rekat antar partikel agregat menurun. Hal ini menyebabkan beton menjadi rapuh dan tidak mencapai kuat tekan yang diharapkan. Oleh karena itu, penelitian terhadap pengaruh variasi pH air hujan terhadap kuat tekan beton sangat penting untuk mengetahui batas aman penggunaan air hujan sebagai bahan campuran beton.

2.7 Penelitian Terdahulu

Bebrapa penelitian sebelumnya telah membahas pengaruh kualitas air terhadap mutu beton, khususnyaair hujan dengan karakteristik pH yang berbeda.

1. (Meidiani & Septa Hartawan, 2018b). Menyatakan bahwa penggunaan air dengan variasi pH asam sebagai air pencampur beton dapat menurunkan kuat tekan beton. Semakin rendah nilai pH air yang digunakan, semakin rendah pula kuat tekan beton yang dihasilkan. Pada umur 28 hari, beton dengan air pH 4 menghasilkan kuat tekan sebesar 20,32 Mpa, pH 5 sebesar 20,87 Mpa, dan pH 6 sebesar 22,01 Mpa.
2. (Raymond et al., 2025) melakukan penelitian mengenai penggunaan air asam dari daerah gambut sebagai air pencampur beton. Penelitian ini menggunakan air dengan pH 5,51 pada campuran beton dengan mutu rencana 23 Mpa untuk mengetahui pengaruh air dengan pH rendah terhadap kuat tekan beton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karaktersistik pH air pencampur perlu diperhatikan karena penggunaan air dengan pH rendah dapat memengaruhi kuat tekan beton yang dihasilkan.

3. (Wahyudi et al., 2017) Menjelaskan bahwa air merupakan komponen penting dalam campuran beton karena diperlukan untuk memicu proses kimiawi semen atau hidrasi. Jumlah air dalam campuran harus diperhatikan karena penggunaan air yang berlebihan dapat menghasilkan pori-pori setelah proses hidrasi, sedangkan jumlah air yang terlalu sedikit dapat menyebabkan proses hidrasi tidak berlangsung secara sempurna sehingga berpengaruh terhadap kekuatan beton.
4. (Satriawan, 2018) Melakukan analisis terhadap tingkat keasaman air hujan di 15 titik wilayah kabupaten cilacap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa air hujan memiliki pH yang bervariasi, yaitu antara 4,5-7,6, Beberapa lokasi menunjukkan nilai pH di bawah 5 yang mengindikasikan adanya hujan dengan tingkat keasaman tinggi. Variasi nilai pH tersebut menunjukkan bahwa karakteristik kimia air hujan dapat berbeda berdasarkan kondisi lingkungan dan tingkat pencemaran di suatu wilayah

.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang dilaksanakan di laboratorium untuk mengkaji pengaruh penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur terhadap kuat tekan beton. Pendekatan eksperimen digunakan karena memungkinkan setiap variabel penelitian dapat dikendalikan selama proses pelaksanaan, sehingga pengaruh penggunaan air hujan dengan nilai pH yang berbeda terhadap mutu beton dapat diamati secara langsung dan objektif. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah karakteristik pH air hujan yang digunakan sebagai air pencampur sedangkan variabel terikat adalah kuat tekan beton.

Campuran beton dirancang menggunakan mutu rencana sebesar 20 Mpa dengan mengacu pada metode perancangan campuran (*mix design*) sesuai dengan SNI 03-2834-2000. Air hujan yang digunakan sebagai pencampur berasal dari tiga lokasi yang memiliki karakteristik pH berbeda, yaitu kawasan industri dengan pH sekitar 5,5, kawasan perkotaan dengan pH sekitar 6,3, dan kawasan pedesaan dengan pH sekitar 7,0.

Seluruh benda uji dibuat menggunakan jenis material, proporsi campuran, serta metode pengerjaan yang sama. Perbedaan pada setiap variasi campuran hanya terletak pada penggunaan air hujan dengan karakteristik pH yang berbeda, sehingga pengaruh nilai pH air hujan dengan karakteristik pH yang berbeda, sehingga pengaruh nilai pH air hujan terhadap kuat tekan beton dapat diamati secara lebih objektif.

Tahapan penelitian meliputi pemeriksaan sifat-sifat material penyusun beton, pengujian karakteristik air hujan melalui pengukuran nilai pH, perancangan campuran beton, pembuatan benda uji, proses perawatan (*curing*), serta pengujian kuat tekan beton. Sebelum digunakan sebagai air pencampur, sampel air hujan dari masing-masing lokasi diuji nilai pH-nya menggunakan alat ukur pH meter untuk memastikan tingkat keasaman sesuai dengan karakteristik lokasi pengambilan sampel.

Pengujian beton segar dilakukan melalui uji *slump* untuk mengetahui tingkat kelecakan campuran, sedangkaan pengujian beton keras dilakukan dengan pengujian kuat tekan pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari sesuai dengan standar pengujian beton yang berlaku. Seluruh proses pengujian dilaksanakan berdasarkan standar nasional indonesia (SNI) agar data yang diperoleh memiliki tingkat keandalan dan akurasi yang baik.

Data hasil pengujian kemudian diolah dan dianalisis secara deskriptif serta kuantitatif untuk mengetahui pengaruh penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH terhadap kuat tekan beton. Hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik, kemudian dianalisis dengan membandingkan nilai kuat tekan beton yang menggunakan air hujan dari masing-masing lokasi berdasarkan perbedaan karakteristik pH.

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui dia sumber, yaitu data primer dan data sekunder, data primer diperoleh dari hasil pengujian secara langsung terhadap material, air hujan, dan benda uji beton yang dilaksanakan di laboratorium. Pengumpulan data primer meliputi pemeriksaan karakteristik material penyusun beton, pengukuran nilai pH air hujan dari tiga lokasi yang berbeda, pengujian beton segar melalui *uji slump,* serta pengujian kuat tekan beton pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Seluruh data hasil pengujian dicatat secara sistematis sebagai dasar untuk menganalisis pengaruh penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH terhadap kuat tekan beton.

Sementara itu, data sekunder diperoleh melalui studi literatur dari berbagai sumber yang berkaitan dengan penelitian. Sumber tersebut meliputi Standar Nasional Indonesia (SNI), buku referensi, jurnal ilmiah nasional maupun internasional, serta hasil penelitian terdahulu yang membahas penggunaan air sebagai bahan pencampur beton, karakteristik air hujan, pengaruh nilai pH terhadap proses hidrasi semen, dan kuat tekan beton. Data sekunder digunakan sebagai landasan teori, acuan dalam pelaksanaan

pengujian, serta sebagai pembanding dalam menganalisis dan membahas hasil penelitian sehingga diperoleh kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian.

3.2.1 Data Primer

Data primer dalam penelitian ini diperoleh melalui serangkaian pengujian yang dilakukan secara langsung di laboratorium. Pengumpulan data dimulai dari pemeriksaan karakteristik material penyusun beton dan pengujian karakteristik air hujan dari tiga lokasi yang berbeda, kemudian di lanjutkan dengan proses perancangan campuran beton, pembuatan benda uji, perawatan (*curing*), serta pengujian beton segar dan beton keras sesuai dengan tahapan penelitian. Seluruh data yang diperoleh merupakan hasil pengamatan dan pengujian langsung selama pelaksanaan penelitian. Data primer yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Hasil pemeriksaan karakteristik material penyusun beton yang terdiri atas semen, agregat halus, agregat kasar, dan air hujan dari tiga lokasi penelitian.
2. Hasil pengukuran karakteristik air hujan yang meliputi nilai pH dari masing-masing lokasi pengambilan sampel.
3. Hasil perancangan campuran beton (*mix design*) dengan mutu rencana 20 Mpa berdasarkan SNI 03-2834-2000.
4. Hasil pengujian nilai *slump* pada setiap campuran beton yang menggunakan air hujan dengan karakteristik pH yang berbeda.
5. Hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari untuk setiap variasi karakteristik pH air hujan.
6. Data hasil pengamatan dan dokumentasi selama proses pembuatan benda uji, perawatan (*curing*), dan pelaksanaan pengujian beton sebagai data pendukung dalam analisis hasil penelitian.

3.2.2 Data Sekunder

Data sekunder digunakan sebagai informasi pendukung dalam penyusunan landasan teori, pelaksanaan penelitian, serta pembahasan hasil pengujian. Data tersebut diperoleh melalui studi literatur dari berbagai sumber yang berkaitan dengan

penggunaan air hujan sebagai air pencampur beton, karaketristik pH air, serta pengaruhnya terhadap kuat tekan beton. Data sekunder ini menjadi acuan dalam penyusunan metode penelitian, pelaksanaan pengujian, serta analisis hasil yang diperoleh di laboratorium. Adapun data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Standar Nasional Indonesia (SNI) yang berkaitan dengan persyaratan material penyusun beton, perancangan campuran beton (*mix design*), serta prosedur pengujian beton segar dan beton keras.
2. Buku referensi yang membahas teknologi beton, sifat fisik dan mekanis beton, yang membahas teknologi beton, sifat fisik dan mekanis beton, proses hidrasi semen, serta pengaruh kualitas air pencampur terhadap mutu beton,
3. Jurnal ilmiah nasional maupun internasional yang membahas pemanfaatan air hujan sebagai air pencampur beton, pengaruh kaarakteristik pH air terhadap proses hidrasi semen, serta pengaruhnya terhadap kuat tekan beton.
4. Hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penggunaan air hujan atau sumber air alternatif sebagai air pencampur beton, sehingga dapat dijadikan referensi dan pembanding dalam pembahasan hasil penelitian.
5. Literatur lain yang relevan, seperti skripsi, tesis, disertai, dan publikasi ilmiah yang membahas karakteristik air hujan, kualitas air untuk campuran beton, serta faktor-faktor yang memengaruhi kuat tekan beton.

3.3 Bahan Baku dan Peralatan

Penelitian ini menggunakan bahan penyusun beton berupa semen, agregat halus, agregat kasar, dan air pencampur yang brerasal dari tiga lokasi dengan karakteristik pH yang berbeda. Seluruh kegiatan penelitian dilaksanakan di laboratorium beton fakultas teknik universitas muhammadiyah sumatera utara.

Sebelum digunakan sebagai air pencampur, sampel air hujan dari masing-masing lokasi diuji terlebih dahulu untuk mengetahui nilai pH-nya sehingga dapat dikelompokkan berdasarkan karakteristik tingkat keasamannya.

Seluruh material penyusun beton yang digunakan telah memenuhi persyaratan sesuai standar nasional indonesia (SNI), sedangkan seluruh peralatan laboratorium digunakan untuk mendukung proses pemeriksaan karakteristik material, pengujian pH air hujan, perancangan campuran beton (*mix design*), pembuatan benda uji, proses perawatan (*curing*), hingga pelaksanaan pengujian beton segar dan beton keras. Uraian mengenai bahan penyusun beton serta peralatan yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan pada subbab berikutnya.

3.3.1 Bahan Baku

Bahan penyusun beton pada penelitian ini terdiri atas semen, agregat halus, agregat kasar, dan air hujan sebagai air pencampur. Air hujan yang digunakan berasal dari tiga lokasi yang memiliki karakteristik pH berbeda, yaitu kawasan industri, kawasan perkotaan, dan kawasan pedesaan. Masing-masing bahan dijelaskan sebagai berikut.

1. Semen

   Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen portland tipe I yang memenuhi persyaratan standar nasional indonesia (SNI). Semen berfungsi sebagai bahan pengikat yang akan bereaksi dengan air melalui proses hidrasi sehingga membentuk pasta semen yang mengikat agregat halus dan agregat kasar menjadi suatu massa beton yang padat dan memiliki kekuatan.

2. Agregat Halus

   Agregat halus yang digunakan berupa pasir alam yang memenuhi persyaratan sebagai bahan penyusun beton. Sebelum digunakan, agregat halus terlebih dahulu diperiksa karakteristiknya yang meliputi kadar air, kadar lumpur, berat jenis, daya serap air, berat isi, serta gradasi agregat sesuai dengan ketentuan standar nasional indonesia (SNI) untuk memastikan kualitas material memenuhi syarat.

3. Agregat Kasar

   Agregat kasar yang digunakan berupa batu pecah (*crushed stone*) dengan ukuran maksimum 40 mm. Sebelum digunakan, agregat kasar dilakukan pemeriksaan karakteristik yang meliputi kadar air, berat jenis, penyerapan air, berat isi, serta

gradasi agregat. Pemeriksaan ini bertujuan untuk memastikan bahwa agregat kasar memenuhi persyaratan sebagai material penyusun beton sesuai standar yang berlaku.

4. Air Hujan

   Air yang digunakan sebagai bahan pencampur beton adalah air hujan yang diperoleh dari tiga lokasi berbeda, yaitu kawasan industri, kawasan perkotaan, dan kawasan pedesaan. Sebelum digunakan, setiap sampel air hujan diuji karakteristiknya, terutama nilai pH, menggunakan alat ukur *pH* meter.

Perbedaan nilai pH pada masing-masing sampel air hujan menjadi variabel penelitian untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kuat tekan beton. Air hujan digunakan secara langsung sebagai air pencampur pada masing-masing variasi campuran beton tanpa penambahan bahan lain.

Seluruh bahan penyusun beton digunakan sesuai dengan proporsi hasil perancangan campuran beton (*mix design*) berdasarkan SNI 03-2834-2000 sehingga setiap variasi campuran hanya dibedakan oleh karakteristik pH air hujan yang digunakan sebagai air pencampur.

3.3.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan selama penelitian meliputi alat untuk pemeriksaan karakteristik material, pengukuran nilai pH air hujan, pembuatan benda uji, serta pengujian beton segar dan keras. Seluruh peralatan yang digunakan tersedia di laboratorium beton fakultas teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas: Timbangan digital untuk meninmbang material penyusun beton sesuai dengan hasil perancangan campuran (*mix design*).

1. Satu set ayakan (*sieve analyis*) untuk pemeriksaan gradasi agregat halus dan agregat kasar.
2. Oven untuk mengerikan material pada pengujian kadar air agregat.
3. *pH* meter untuk mengukur nilai pH air hujan yang berasal dari tiga lokasi penelitian.

4. *Concrete mixer* sebagai alat pencampur material beton hingga diperoleh campuran yang homogen.
5. Kerucut Abrams (*slump cone*) beserta batang pemadat untuk pengujian nilai *slump* beton segar.
6. Cetakan silinder beton berdiameter 150 mm dan tinggi 300 mm sebagai cetakan benda uji kuat tekan.
7. Batang pemadat atau meja getar untuk memadatkan campuran beton di dalam cetakan agar tidak terjadi rongga pada benda uji.
8. Bak perawatan (*curing tank*) sebagai tempat perawatan benda uji beton hingga mencapai umur pengujian.
9. *Compression Testing Machine* (CTM) untuk menguji kuat tekan beton pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari.

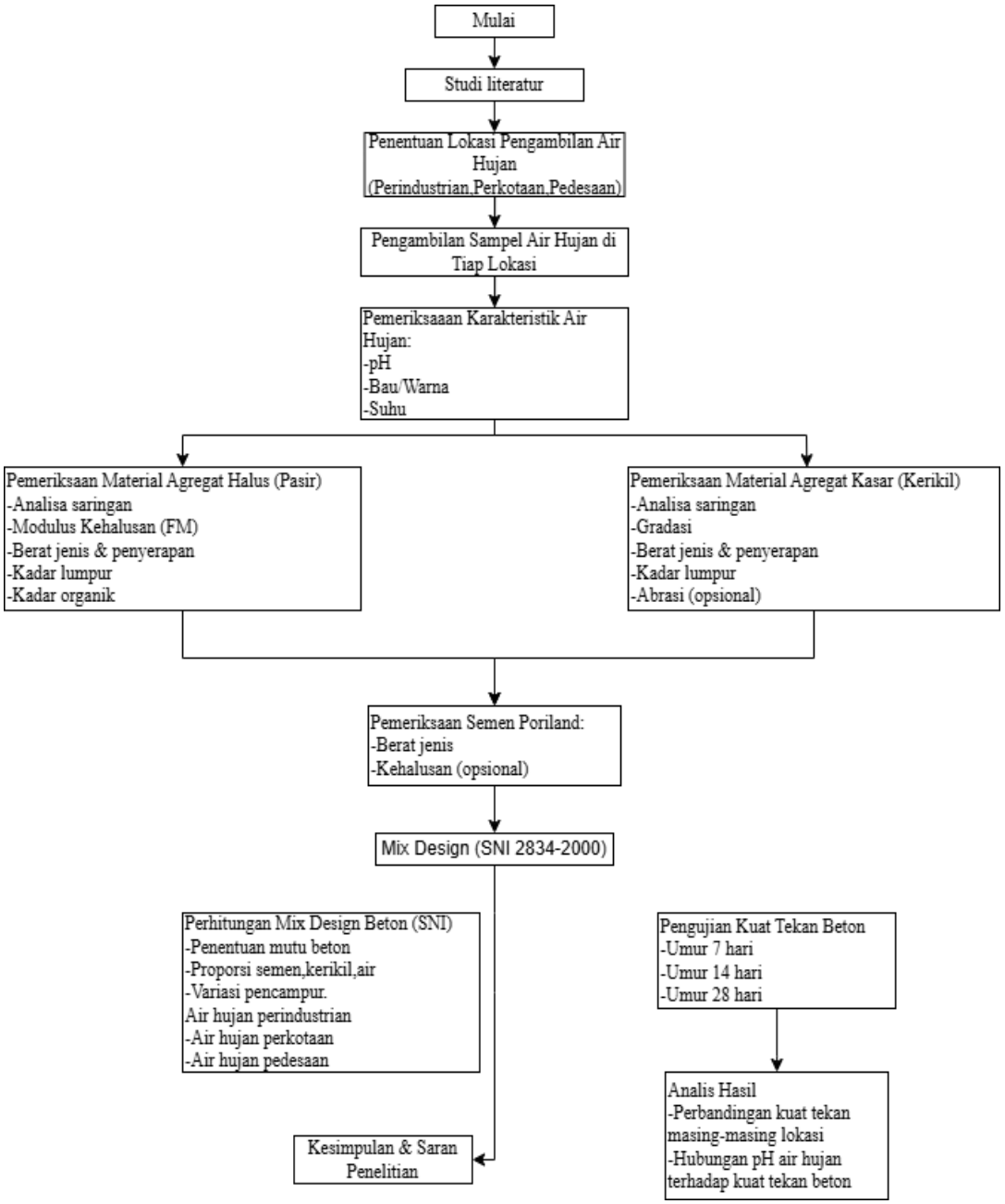
Peralatan pendukung lainnya, seperti sekop, ember, cetok, gelas ukur, wadah pencampur, alat tulis, serta perlengkapan laboratorium lainnya yang diperlukan selama proses penelitian.

3.4 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Beton Program Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Seluruh rangkaian penelitian, mulai dari pengambilan sampel air hujan darei tiga lokasi yang memiliki karakteristik pH berbeda, pemeriksaan sifat material penyusun beton, pengujian nilai pH air hujan, perancangan campuran beton (*mix design*), pembuatan benda uji, pengujian beton segar, proses perawatan (*curing*), hingga pengujian kuat tekan beton dilaksanakan sesuai dengan prosedur penelitian yang telah ditetapkan. Laboratorium ini dipilih karena memiliki fasilitas dan peralatan yang memadai untuk mendukung seluruh tahapan penelitian sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI).

Pelaksanaaan penelitian dilakukan secra bertahap agar setiap proses dapat dilaksanakan secara sistematis dan menghasilkan data yang akurat. Tahapan penelitian diawali dengan studi literatur, pengambilan sampel air hujan dari tiga lokasi yang berbeda, pemeriksaan karakteristik material penyusun beton, serta pengukuran nilai pH

air hujan. Selanjutnya dilakukan perancangan campuran beton (*mix design*), pembuatan benda uji silinder, pengujian *slump* pada beton segra, prosoes perawatan (*curing*), dan pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui pengaruh penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur terhadap kuat tekan beton. Seluruh hasil penelitian selanjutnya disusun dalam bentuk laporan tugas akhir, Alur pelaksanaan penelitian ditunjukkan pada diagram alir penelitian pada subbab berikutnya.



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

Gambar 3.1 memperlihatkan tahapan penelitian yang dimulai dari studi literatur sebagai landasan dalam penyusunan penelitian. Tahap selanjutnya adalah penentuan lokasi pengambilan sampel air hujan yang meliputi kawasan industri, kawasan perkotaan, dan kawasan peedesaan. Setelah lokasi ditentukan, dilakukan pengambilan

sampel air hujan dari masing-masing lokasi, kemudian di lakukan pemeriksaan karakteristik air hujan yang meliputi pengukuran nilai pH, bau, warna, dan suhu.

Selanjutnya dilakukan pemeriksaan karakteristik material penyusun beton yang terdiri atas agregat halus, agergat kasar, dan semen portland sesuai dengan standar nasional indonesia (SNI). Pemeriksaan agregat halus meliputi analisis saringan, modulus kehalusan (FM), berat jenis, penyerapan air, kadar lumpur, dan kadar organik. Pemeriksaan agregat kasar meliputi analisis saringan, gradasi, berat jenis, penyerapan air, kadar lumpur, serta pengujian abrasi apabila diperlukan. Sementara itu, pemeriksaan semen meliputi berat jenis dan kehalusan semen sebagai data pendukung dalam perancangan campuran beton.

Tahap berikutnya adalah penyusunan rancangan campuran beton (*mix design*) berdasarkan SNI 03-2834-2000 dengan mutu rencana 20 MPa.(Adinata et al., 2025) Cmpuran beton dibuat menggunakan air hujan dari tiga lokasi yang memiliki karakteristik pH berbeda sebagai air pencampur, yaitu air hujan kawasan industri, kawasan perkotaan, dan kawasan pedesaan.

Setelah benda uji selesai dibuat, dilakukan proses perawatan (*curing*) hingga umur pengujian. Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari menggunakan Compression Testing Machine (CTM). Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui pengaruh variasi karakteristik pH air hujan terhadap kuat tekan beton. Hasil analisis selanjutnya digunakan sebagai dasaar dalam pembahasan, penarikan kesimpulan, dan penyusunan laporan skripsi.

3.5 Persiapan Skripsi

Sebelum pelaksanaan penelitian di laboratorium, dilakukan beberapa taahapan persiapan untuk mendukung kelancaran proses penelitian. Kegiatan persiapan meliputi studi literatur, penentuan lokasi pengambilan sampel air hujan, penyediaan bahan dan peralatan penelitian, pemeriksaan karakteristik material penyusun beton, pemeriksaan karakteristik air hujan, serta penyusunan rancangan campuran beton (*mix design*). Tahap persiapan ini di lakukan agar seluruh kebutuhan penelitian telah tersedia sebelum proses pembuatan benda uji dimulai.

Material yang digunakan dalam penelitian terdiri atas semen Portland Tipe I, agregat halus, agregat kasar, serta air hujan sebagai air pencampur yang berasal dari tiga lokasi berbeda, yaitu kawasan industri, lkawasan perkotaan, dan kawasan pedesaan. Sebelum digunakan, seluruh maaterial diperiksa karakteristiknya sesuai dengan ketentuan Standar Nasional Indonesia (SNI). Selain itu, setiap sampel air hujan di uji karakteristiknya yang meliputi nilai pH, suhu, warna, dan bau untuk mengetahui kualitas air yang akan digunakan sebagai air pencampur beton.

Selain material, seluruh peralatan laboratorium juga dipersiapkan sebelum penelitian dilaksanakan. Peralatan yang digunakan meliputi timbangan digital, satu set ayakan (*sieve analysis*), oven, pH meter, concrete mixer, kerucut abrams (*slump cone*), cetakan silinder beton, bak perawatan (*curing tank*), Compression Testing Machine (CTM), serta berbagai peralatan pendukung serta berbagai peralatan pendukung lainnya. Seluruh peralatan diperiksa terlebih dahulu untuk memastikan bahwa kondisinya layak digunakan selama proses penelitian.

Tahap berikutnya adalah menyusun rancangan campuran beton (*mix design*) dengan mutu rencana 20 Mpa berdasarkan SNI 03-2834-2000.(Adinata et al., 2025) Setelah komposisi campuran ditetapkan, campuran beton dibuat menggunakan tiga jenis air hujan yang memiliki karakteristik pH berbeda sebagai air pencampur, yaitu air hujan dari kawasan industri, kawasan perkotaan, dan kawasan pedesaan. Selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji silinder beton, pengujian *slump* untuk mengetahui tingkat kelecakan beton segar, proses *curing*, serta pengujian kuat tekan beton pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari untuk mengetahui pengaruh variasi karakteristik pH air hujan terhadap kuat tekan beton.

3.6 Pemeriksaan Material

Sebelum proses pembuatan benda uji dilakukan, seluruh material penyusun beton serta air hujan yang akan digunakan sebagai air pencampur terlebih dahulu diperiksa karakteristiknya. Pemeriksaan ini bertujuan untuk memastikan bahwa material dan air hujan yang digunakan memenuhi persyaratan sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI), sehingga layak digunakan dalam penelitian. Selain itu, hasil

pemeriksaan karakteristik material dan air hujan menjadi dasar dalam penyusunan rancangan campuran beton beton (*mix design*).

Pemeriksaan laboratorium dilakukan terhadap agregat halus, agregat kasar, semen, dan air hujan. Pemeriksaan agregat halus meliputi kadar air, kadar lumpur, berat jenis, penyerapan air, berat isi, dan gradasi agregat. Pemeriksaan agregat kasar meliputi kadar air, berat jenis, penyerapan air, berat isi, gradasi agregat, serta kadar lumpur sesuai dengan metode pengujian yang mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI). Semen Portland I yang digunakan diperiksa berdasarkan spesifikasi yang dipersyaratkan, sedangkan air hujan dari tiga lokasi penelitian diperiksa karakteristiknya yang meliputi nilai Ph, suhu, warna, dan bau untuk mengetahui kualitas air sebelum digunakan sebagai air pencampur beton.

Seluruh hasil pemeriksaan material dan karakteristik air hujan selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam penyusunan rancangan campuran beton (*mix design*) serta sebagai dasar untuk menganalisis pengaruh variasi karakteristik pH air hujan terhadap kuat tekan beton pada setiap benda uji.

3.6.1 Pemeriksaan Agregat Halus

Pemeriksaan agregat halus dilakukan sebelum proses pembuatan untuk memperoleh data karakteristik pasir yang digunakan dalam penelitian. Pemeriksaan ini bertujuan untuk memastikan bahwa agregat halus memenuhi persyaratan sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) sehingga layak digunakan sebagai material penyusunan rancangan campuran beton (*mix design*) pada penelitian yang menggunakan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur.

Parameter yang diperiksa meliputi kadar air, kadar lumpur, berat jenis, penyerapan air, berat isi, serta analisis saringan (*sieve analysis*). Hasil analisis saringan digunakan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran agregat halus dan menentukan nilai modulus kehalusan (*fineness modulus*) sebagai salah satu parameter dalam perancangan campuran beton. Data karakteristik agregat halus tersebut selanjutnya digunakan dalam penyusunan *mix design* sehingga setiap variasi campuran beton hanya dibedakan berdasarkan penggunaan air hujan dengan karakteristik pH yang berbeda.

3.6.2 Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus

Kadar air agregat halus perlu diketahui sebelum pasir digunakan sebagai material penyusun beton karena kandungan air yang terdapat pada agregat akan memengaruhi jumlah air pencampur dalam perancangan campuran beton (*mix design*). Pada penelitian ini, air pencampur yang digunakan berupa air hujan dari tiga lokasi dengan karakteristik pH yang berbeda, sehingga jumlah air yang ditambahkan ke dalam campuran harus di sesuaikan dengan kadar air agregat agar faktor air semen (*water cement ratio*) tetap sesuai dengan perencanaan. Oleh karena itu, pengujian kadarr air dilakukan sebelum proses pembuatan benda uji. Metode pengujian mengacu pada SNI 197:2011 tentang *Cara Uji Kadar Air Total Agregat dengan Pengeringan.*(Badan Standardisasi Nasional, 2011).

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini meliputi oven, timbangan digital, saringan No 4, pan, sekop tangan, scrub, masker, kain lap, dan sarung tangan. Adapun bahan yang digunakan berupa contoh agregat halus yang lolos saringan No. 4 sesuai dengan kondisi saat pengambilan sampel.

Tahapan pengujian dia awali dengan menyiapkan contoh agregat halus sebanyak kurang lebih 500 gram, kemudian menimbang berat wadah kosong yang akan digunakan. Setelah itu, contoh sangat agregat dimasukkan ke dalam wadah dan di timbang untuk memperoleh berat awal.

Sampel selanjutnya dikeringkan di dalam oven pada suhu 105 ± 5°C hingga mencapai berat tetap. Setelah proses pengeringan selesai, sampel didinginkan pada suhu ruang, kemudian ditimbang kembali bersama wadahnya. Selisih berat sebelum dan sesudah pengeringan digunakan untuk menentukan kadar air agregat halus sesuai persamaan. Persamaan kadar air agregat halus dinyatakan sebagai berikut:

$$\boldsymbol{KA = \frac{W1 - W2}{W3} \times 100\%} \tag{3.1}$$

Keterangan:

KA = Kadar air agregat (%)

W_1 = Berat contoh pengeringan + berat wadah (gram)

W_2 = Berat contoh setelah pengeringan + berat wadah (gram)

W_3 = Berat wadah (gram)

Hasil pemeriksaan kadar air agregat halus disajikan pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Halus

Uraian	**Sampel 1**	**Sampel 2**	**Rata-rata**
Berat contoh sebelum pengeringan + berat wadah, W_1 (gram)	3020	3070	3045
Berat contoh setelah pengeringan + berat wadah, W_2 (gram)	2960	2940	2950
Berat wadah, W_3 (gram)	515	540	527,5
Berat air (gram)	60	130	95
Berat contoh kering (gram)	2445	2400	2422,5
Kadar air (%)	2,45	5,42	3,94

Berdasarkan hasil pemeriksaan pada Tabel 3.1, diperoleh kadar air agregat halus rata-rata sebesar 3,94%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa agregat halus masih mengandung air sehingga perlu diperhitungkan dalam penyusunan rancangan campuran beton (*mix design*). Penyesuaian jumlah air hujan sebagai air pencampur dilakukan berdasarkan hasil pengujian kadar air agregat agar nilai faktor air semen (*water cement ratio*) tetap sesuai dengan mutu rencana.

Dengan demikian, variasi kuat tekan beton yang diperoleh dalam penelitian ini diharpkan dipengaruhi oleh perbedaan karakteristik pH air hujan yang digunakan sebagai air pencampur, bukan oleh perbedaan kadar air agregat halus. Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus

Pengujian kadar lumpur pada agregat halus dilakukan untuk mengetahui jumlah material berukuran sangat halus yang terdapat di dalam pasir. Keberadaan lumpur

dalam jumlah yang melebihi batas yang diizinkan dapat mengurangi daya lekat antara pasta semen dan permukaan agregat, sehingga berpotensi menurunkan mutu serta kuat tekan beton.

Oleh karena itu, kadar lumpur agregat halus perlu diperiksa sebelum digunakan sebagai material penyusun beton agar memenuhi persyaratan sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI). Pengujian ini mengacu pada SNI 03-4142-1996 tentang Metode Pengujian JumlaH Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan no. 200 (0,075 mm*).*(Rita Mukhtar & Puji Lestari, Ricky Nelson, Bambang Hindratmo, Muharam Syam Nugraha, 2022). Besarnya kadar lumpur agregat halus dihitung menggunakan persamaan (3.2).

$$KL = \frac{C}{A} \times 100\% \qquad (3.2)$$

Keterangan:

KL = Kadar lumpur agregat halus (%)

C = Berat material yang lolos saringan No. 200 setelah proses pencucian (gram)

A = Berat contoh agregat kering (gram)

Hasil pemeriksaan kadar lumpur agregat halus disajikan pada tabel 3.2, data hasil pengujian ini digunakan sebagai acuan dalam penyusunan rancangan campuran beton (*mix design*), seluruh campuran beton yang menggunakan air hujan dengan karakteristik pH berbeda memiliki kualitas agregat halus.

Dengan demikian, pengaruh terhadap kuat tekan beton diharapkan berasal dari perbedaan karakteristik pH air hujan sebagai air pencampur, bukan dari kualitas agregat halus yang digunakan.

Tabel 3.2 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus

Pengujian	**Sampel 1 (gr)**	**Sampel 2 (gr)**	**Rata-rata**
Berat contoh kering, (A) (gr)	500	500	500
Berat contoh setelah dicuci, (B) (gr)	487	483	485
Berat material yang lolos saringan No. 200, (C) (gr)	13	17	15
Kadar lumpur (%)	2,6	3,4	3,0

Berdasarkan hasil pemeriksaan pada Tabel 3.2, diperoleh kadar lumpur agregat halus rata-rata sebesar 3,0%. Nilai tersebut masih memenuhi persyaratan agregat halus untuk campuran beton sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI), sehingga agregat halus layak digunakan sebagai material penyusun beton. Hasil pemeriksaan ini digunakan sebagai dasar dalam penyusunan rancangan campuran beton (*mix design*), sehingga seluruh benda uji menggunakan agregat halus dengan karakteristik yang sama.

Dengan demikian, perbedaan nilai kuat tekan beton yang diperoleh pada penelitian ini diharapkan disebabkan oleh penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur, bukan oleh perbeedaan kualitas agregat halus.

3.6.3 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dilakukan untuk memperoleh data karakteristik fisik pasir yang digunakan sebagai material penyusun beton. Nilai berat jenis diperlukan sebagai dasar dalam penyusunan rancangan campuran beton (*mix design*), sedangkan nilai penyerapan air digunakan untuk mengetahui kemampuan agregat halus dalam menyerap air selama proses campuran beton.

Pada penelitian ini, data hasil pengujian digunakan sebagai acuan dalam perancangan campuran beton yang menggunakan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur, sehingga faktor air semen (*water cement ratio*) dapat dipertahankan sesuai dengan mutu rencana. Pengujian ini mengacu pada SNI

1970:2008 tentang Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.(Putrianti & Setiawan, 2012)

Nilai berat jenis dan penyerapan air agregat halus dihitung menggunakan persamaan (3.3) sampai dengan persamaan (3,6).

Berat Jenis Curah (Bulk Spesific Gravity)

$$BJ_{bulk} = \frac{E}{B + D - C} \tag{3.3}$$

Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (*SSD Spesific Gravity*)

$$BJ_{SSD} = \frac{B}{B + D - C} \tag{3.4}$$

Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)

$$BJ_{APP} = \frac{E}{B + D - C} \tag{3.5}$$

Penyerapan Air (*Absorption*)

$$PA = \frac{B - E}{E} \times 100\% \tag{3.6}$$

Keterangan:

B = Berat benda uji pada kondisi *Saturated Surface Dry* (SSD) (gram)

C = Berat piknometer yang berisi benda uji dan air (gram)

D = Berat piknometer yang berisi air (gram)

E = Berat benda uji setelah dikeringkan dalam oven (gram)

Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerpan air agregat halus disajikan pada Tabel 3.3. Data hasil pengujiaan tersebut digunakan sebagai dasar dalam penyusunan rancangan campuran beton (*mix design*) sehingga seluruh benda uji memiliki karakteristik agregat halus yang sama.

Dengan demikian, perbedaan kuat tekan beton yang diperoleh dalam penelitian ini diharapkan dipengaruhi oleh penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur, bukan oleh perbedaan sifat fisik agregat halus.

Tabel 3.3 Uraian Pengujian

Uraian Pengujian	**Sampel 1**	**Sampel 2**	**Rata-rata**
Berat contoh SSD, B (gram)	500	500	500
Berat contoh kering oven, E (gram)	490	488	489
Berat piknometer berisi air, D (gram)	685	675	680
Berat piknometer berisi contoh SSD dan air, C (gram)	975	985	980
Berat jenis curah (*Bul Specific Gravity*)	2,33	2,57	2,45
Berat jenis SSD (*SSD Specific Gravity*)	2,38	2,63	2,51
Berat jenis semu (Apparent Specific Gravity)	2,45	2,74	2,60
Penyerapan air (%)	2,04	2,46	2,25

Berdasarkan hasil pengujian agregat halus, diperoleh niai rata-rata berat jenis curah sebesar 2,45, berat jenis SSD sebesar 2,51, berat jenis semu sebesar 2,60, serta nilai penyerapan air sebesar 2,25%. Hasil tersebut menumjukkan bahwa agregat halus yang digunakan telah memenuhi karakteristik fisik yang sesuai sebagai material penyusun beton.

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa kualitas agregat tetap konstan pada seluruh variasi campuran beton, sehingga perubahan nilai kuat tekan yang diperoleh dalam penelitian dapat dikaitkan dengan penggunaan air hujan yang memiliki variasi karakteristik pH sebagai air pencampur, bukan dipengaruhi oleh perbedaan sifat fisik agregat halus. Dengan demikian, data hasil pengujian agregat halus digunakan sebagai dasar dalam penyusanan *mix design* agar proporsi campuran beton sesuai dengan karakteristik material yang digunakan.

3.6.4 Pemeriksaan Berat Isi Agregat Halus

Pengujian berat isi agregat halus dilakukan untuk mengetahui besarnya massa agregat yang mengisi suatu volume tertentu. Nilai berat isi ini menjadi salah satu parameter yang diperlukan dalam proses perencanaan campuran beton (*mix design*), karena digunakan untuk menentukan kebutuhan agregat berdasarkan volume campuran. Dalam penelitian ini, data berat isi agregat digunakan sebagai data pendukung agar komposisi campuran beton pada setiap variasi penggunaan air hujan dengan karakteristik pH yang berbeda tetap memiliki proporsi material yang sama. Dengan demikian, perbedaan kuat tekan beton yang diperoleh diharapkan hanya dipengaruhi oleh variasi pH air hujan sebagai air pencampur, bukan oleh perubahan karakteristik agregat halus.

Pengujian berat isi agregat halus mengacu pada SNI 03-4804-1998 tentang Metode Pengujian Bobot Isi dan Rongga Udara dalam Agregat. Nilai berat isi dihitung menggunakan persamaan.(Lumenta et al., 2021)

$$BI = \frac{W}{V} \tag{3.7}$$

Keterangan:

BI = Berat isi agregat (g/cm³)

W = Berat agregat dalam wadah (g)

V = Volume wadah (cm³)

Hasil pengujian berat isi agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada tabel 3.4.

Tabel 3.4 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Halus

No.	Uraian Pengujian	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rata rata
1.	Berat wadah dan agregat (g)	18.873	20.523	20.603	19.999,7
2.	Berat wadah (g)	5.400	5.400	5.400	5.400
3.	Berat agregat (g)	13.473	15.123	15.203	14.599,7
4.	Volume wadah (cm^3)	10.861,71	10.861,71	10.861,71	10.861,71
5.	Berat isi agregat halus (g/cm^3)	1,24	1,39	1,40	1,34

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai rata-rata berat isi agregat halus sebesar 1,34 gr/cm^3. Nilai tersebut menunjukkan tingkat kepadatan agregat halus yang digunakan sebagai salah satu material penyusun beton dalam peneletian ini. Data berat isi agregat halus selanjutnya dimanfaatkan sebagai acuan dalam perhitungan komposisi campuran beton (*mix design*) sehingga proporsi setiap material dapat dietentukan secara tepat.

Penggunaan agregat halus dengan karakteristik yang sama pada seluruh variasi campuran bertujuan untuk menjaga konsistensi mutu material, sehingga perbedaan nilai kuat tekan beton yang dihasilkan lebih mencerminkan pengaruh penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur, bukan akibat perubahan sifat fisik agregat halus.

3.6.5 Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Halus

Analisis saringan agregat halus dilakukan untuk mengetahui sebaran ukuran butiran pasir yang digunakan sebagai material penyusun beton pada penelitian ini. Pengujian ini bertujuan untuk memastikaan bahwa agregat halus memiliki gradasi yang memenuhi persyaratan sehingga dapat digunakan dalam penyusunan campuran beton.

Keseragaman gradasi agregat sangat penting untuk menjaga kualitas campuran beton pada setiap variasi penggunaan air hujan dengan karakteristik pH yang berbeda, sehingga perubahan kuat tekan yang terjadi lebih dipengaruhi oleh variasi pH air hujan sebagai air pencampur, bukan oleh perbedaan karakteristik agregat halus.

Pelaksanaan analisa saringan memicu pada SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal serta ASTM C136/C136M-19 mengenai metode pengujian analisis saringan agregat halus dan agregat kasar. Dari hasil pengujian tersebut diperoleh nilai Modulus Kehalusan (Fineness Modulus/FM) yang digunakan sebagai salah satu dasar dalam menentukan proporsi agregat halus pada perencanaan campuran beton (*mix design*). Nilai modulus kehalusan (FM) dihitung menggunkan persamaan (3.8)

$$FM = \frac{\sum Persentase\ Kumulatif\ Berat\ Tertahan}{100} \tag{3.8}$$

Keterangan:

FM = Modulus Kehalusan (*Fineness Modulus*)

Σ Persentase Kumulatif Berat Tertahan = Jumlah persentase kumulatif berat agregat yang tertahan pada setiap ukuran saringan (%)

Tabel 3.5 Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Halus

Ukuran Saringan	**Berat Tertahan Sampel 2 (g)**	**Berat Tertahan Sampel (g)**	**Total Berat (g)**	**Berat Tertahan (%)**	**Persentase Kumulatif Tertahan (%)**	**Persentase Lolos (%)**
No. 4	0	0	0	0,00	0,00	100,00
No. 8	145	135	280	5,66	5,66	94,34
No. 16	110	100	210	4,25	9,91	90,09
No. 30	505	455	960	19,41	29,32	70,68
No. 50	970	1.000	1.970	39,84	69,16	30,84
No. 100	710	705	1,415	28,61	97,78	2,22
Pan	55	55	110	2,22	100,00	0,00
Total	2,495	2.450	4.945	100,00	100,00	-

Perhitungannya dapat ditulis sebagai berikut.

$$FM = \frac{\sum Persentase\ Kumulatif\ Berat\ Tertahan}{100} \quad (3.8)$$

$$FM = \frac{5{,}66 + 9{,}91 + 29{,}32 + 69{,}16 + 97{,}78 + 100{,}00}{100} \quad (3.8)$$

$$FM = \frac{311{,}83}{100} \quad (3.8)$$

$$FM = 3{,}12$$

Berdasarkan hasil analaisis saringan, agregat halus yang digunakan memiliki Modulus Kehalusan (FM) sebesar 3,12. Nilai tersebut menunjukkan bahwa gradasi pasir berada pada kisaran yang dapat digunakan sebagai bahan penyusun beton sesuai dengan kebutuhan perencanaan campuran, data gradasi agregat halus digunakan untuk sebagai acuan dalam penyusun *mix design* agar komposisi material pada setiap variasi campuran tetap seragam.

Dengan kondisi agregat yang sama seluruh benda uji, perbedaan kuat tekan beton yang diperoleh dalam penelitian ini diharapkan berasal dari penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur, sehingga pengaruh variabel penelitian dapat di analisis secara lebih objektif.

3.6.6 Pemeriksaan Agregat Kasar

Pemeriksaan agregat kasar dilakukan untuk memastikan bahwa material yang digunakan sebagai penyusun beton memiliki karakteristik fisik yang memenuhi persyaratan. Pengujian ini merupakan bagian dari pengendalian mutu material sebelum proses pembuatan benda uji dilaksanakan. Dalam penelitian ini, agregat kasar yang digunakan dibuat tetap sama pada seluruh variasi campuran beton sehingga tidak memengaruhi hasil pengujian kuat tekan. Dengan demikian, perubahan kuat tekan beton yang terjadi diharapkan berasal dari penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur.

Pengujian agregat kasar meliputi pemeriksaan kadar air, berat jenis dan penyerapan air, berat isi, serta analaisis saringan. Data hasil pengujian tersebut digunakan sebagai dasar dalam penyusunan *mix design* sehingga komposisi campuran beton pada setiap variasi pH air hujan tetap sesuai dengan mutu rencana yang ditetapkan. Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar

Pengujian kadar air agregat kasar dilakukan untuk mengetahui jumlah kandungan air yang terdapat pada batu pecah sebelum digunakan sebagai material penyusun beton. Data kadar air diperlukan agar jumlah air yang ditambahkan ke dalam campuran beton dapat disesuaikan dengan komdisi agrregat. Sehingga nilai faktor air semen (FAS) yang telah direncanakan tetap terjaga.

Dalam penelitian ini, peneysuaian kadar air dilakukan untuk memastikan bahwa setiap variasi campuran beton memiliki proporsi material yang sama, sehingga perbedaan nilai kuat tekan yang diperoleh dapat dikaitkan dengan penggunaan air hujan yang memiliki variasi karakteristik pH sebagai air pencampur, bukan akibat perbedaan kadar air agregat kasar.

Pengujian kadar air agregat kasar mengacu pada SNI 1971:2011 tentang Cara Uji Kadar Air Total Agregat dengan Pengeringan.(Badan Standardisasi Nasional, 2011) Nilai kadar air agregat dihitung menggunakan persamaan (3.9)

$$FM = \frac{W1 - W2}{W2 - W3} \times 100\% \tag{3.9}$$

Keterangan:

KA = Kadar air agregat (%)

W_1 = Berat contoh agregat beserta wadah sebelum proses pengeringan (gram)

W_2 = Berat contoh agregat beserta wadah setelah dikeringkan dalam oven (gram)

W_3 = Berat wadah (gram)

Hasil pengujian kadar air agregat di sajikan pada tabel 3.6

Tabel 3.6 Hasil Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar

Uraian Pengujian	**Sampel 1**	**Sampel 2**	**Rata-rata**
Berat contoh SSD + berat wadah, W_1	2.490	2.505	2.497,5
Berat contoh setelah oven + berat wadah, W_2 (g)	2.475	2.495	2.485,0
Berat wadah, W_3 (g)	545	545	545
Berat air (g)	15	10	12,5
Berat agregat kering (g)	1.930	1.950	1.940
Kadar air (%)	0,78	0,51	0,65

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh kadar air agregat kasar rata-rata sebesar 0,65%. Nilai tersebut menunjukan bahwa agregat kasar masih mengandung air dalam jumlah yang relatif kecil sebelum digunakan sebagai material penyusun beton. Data kadar air ini digunakan sebagai dasar untuk melakukan penyesuaian terhadap kebutuhan air pada proses pencampuran beton sehingga nilai faktor air semen (FAS) yang telah direncanakan tetap terjaga.

Dalam penelitian ini, kondisi agregat kasar dibuat sama pada seluruh variasi campuran beton. Oleh karena itu, hasil pengujian kadar air berfungsi sebagai data pendukung dalam penyusunan *mix design* dan pengendalian kualitas campuran.

Dengan komdisi material yang seragam, perbedaan kuat tekan beton yang diperoleh dapat di analisis sebagai pengaruh penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur, bukan akibat perubahan kadar air agregat kasar.

3.6.7 Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar

Pengujian kadar lumpur agregat kasar dilakukan untuk mengetahui jumlah partikel halus yang masih menempel pada permukaan agregat sebelum digunakan sebagai bahan penyusun beton. Kandungan lumpur yang terlalu tinggi dapat menghambat ikatan antara pasta semen dan agregat sehingga berpotensi menurunkan kualitas beton yang dihasilkan. Oleh karena itu, pengujian ini dilakukan sebagai bagian dari pengendalian mutu agar agregat kasar yang digunakan memenuhi persyaratan teknis.

Dalam penelitian ini, hasil pengujian kadar lumpur digunakan untuk memastikan bahwa kualitas agregat kasar tetap seragam pada seluruh variasi campuran beton. Dengan karakteristik agregat yang sama, pengaruh terhadap nilai kuat tekan beton diharapkan berasal dari penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur, bukan dari perbedaan kondisi agregat kasar.

Pengujian kadar bahan yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm) dilakukan untuk mengetahui kandungan material halus atau lumpur dalam agregat. Pengujian dilakukan dengan metode pencucian dan mengacu pada SNI 03-4142-1996.(Teknika, 2026) Persentase kadar lumpur dihitung menggunakan Persamaan (3.10).

$$Kadar\ Lumpur = \frac{A - B}{A} \times 100\% \qquad (3.10)$$

Keterangan:

A = Berat contoh agregat kering sebelum proses pencucian (gram)

B = Berat contoh agregat kering setelah proses pencucian (gram) Hasil pengujian kadar lumpur agregat kasar disajikan pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Hasil Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar

Uraian Pengujian	**Sampel 1**	**Sampel 2**	**Rata-rata**
Berat contoh kering, A (g)	1.000	1.000	1.000
Berat contoh setelah pencucian, B (g)	992	994	993
Berat material halus yang hilang (g)	8	6	7
Kadar lumpur (%)	0,80	0,60	0,70

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh kadar lumpur agregat kasar rata-rata sebesar 0,70 %. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kandungan material halus yang menempel pada permukaan agregat masih berada dalam batas yang diperkenankan untuk digunakan sebagai material penyusun beton. Kandungan lumpur yang rendah diharapkan tidak menganggu ikatan antara pasta semen dan agregat sehingga mutu beton yang dihasilkan tetap terjaga.

Dalam penelitian ini, hasil pengujian kadar lumpur digunakan sebagai salah satu parameter pengendalian kualitas material sebelum proses pembuatan benda uji dilakukan. Agregat kasar dengan karakteristik yang sama digunakan pada seluruh variasi campuran beton sehingga kondisi material tetap seragam. Dengan demikian, perubahan nilai kuat tekan beton yang diperoleh pada setiap benda uji dapat dianalisis sebagai pengaruh penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur, bukan akibat adanya perbedaan kadar lumpur agregat kasar

3.6.8 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dilakukan untuk megetahui karakteristik fisik batu pecah yang digunakan sebagai salah satu material penyusun beton. Data hasil pengujian ini diperlukan sebagai dasar dalam penyusunan *mix design*, karena nilai berat jenis berpengaruh terhadap perhitungan proporsi campuran, sedangkan nilai penyerapan air digunakan untuk menentukan kemampuan agregat dalam menyerap air. Informasi tersebut diperlukan agar jumlah air pencampur yang digunakan pada setiap variasi campuran dapat disesuaikan sehingga nilai faktor air semen (FAS) tetap sesuai dengan perencanaan.

Pada penelitian ini, agregat kasar yang digunakan berasal dari sumber dan karakteristik yang sama untuk seluruh benda uji. Dengan demikian, perbeedaan nilai kuat tekan beton yang diperoleh diharapkan dipengaruhi oleh penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur, bukan oleh perubahan sifat fisik agregat kasar.

Pelaksanaan pengujian mengacu pada SNI 1969:2008 tentang Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. Perhitungan berat jenis dan penyerapan air dilakukan menggunakan persamaan (3.11) sampai dengan persamaan (3.14).

3.6.9 Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh kadar lumpur agregat kasar rata-rata sebesar 0,70 %. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kandungan material halus yang menempel pada permukaan agregat masih berada dalam batas yang diperkenankan untuk digunakan sebagai material penyusun beton. Kandungan lumpur yang rendah diharapkan tidak menganggu ikatan antara pasta semen dan agregat sehingga mutu beton yang dihasilkan tetap terjaga.

Dalam penelitian ini, hasil pengujian kadar lumpur digunakan sebagai salah satu parameter pengendalian kualitas material sebelum proses pembuatan benda uji dilakukan. Agregat kasar dengan karakteristik yang sama digunakan pada seluruh variasi campuran beton sehingga kondisi material tetap seragam. Dengan demikian, perubahan nilai kuat tekan beton yang diperoleh pada setiap benda uji dapat dianalisis sebagai pengaruh penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur, bukan akibat adanya perbedaan kadar lumpur agregat kasar.

3.6.10 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dilakukan untuk megetahui karakteristik fisik batu pecah yang digunakan sebagai salah satu material penyusun beton. Data hasil pengujian ini diperlukan sebagai dasar dalam penyusunan *mix design.*

Berat Jenis SSD (Saturated Surface Dry Specific Gravity)

$$G_{bulk} = \frac{E}{B - C} \tag{3.11}$$

Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (*SSD Spesific Gravity*)

$$G_{SSD} = \frac{B}{B - C} \tag{3.12}$$

Berat Jenis Semu (Apparent Specific Gravity)

$$G_{APP} = \frac{E}{B\ C} \tag{3.13}$$

Penyerapan Air (*Absorption*)

$$PA = \frac{B - E}{E} \times 100\% \tag{3.14}$$

Keterangan:

B = Berat benda uji pada pada kondisi Saturated Surface Dry (SSD) (gram)

C = Berat benda uji di dalam air (gram)

E = Berat benda uji setelah dikeringkan dalam oven (gram)

Tabel 3.8 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan

AGREGAT KASAR	**Sampel 1**	**Sampel 2**	**Rata rata**
Berat contoh ssd kering permukaan jenuh (B)	2500	2500	2500
Berat contoh SSD kering oven 100 C sampai Konstan (E) gr	2483	2485	2484
Berat contoh jenuh	1555	1560	1557.5
Berat jenis contoh kering	2.63	2.64	2.635
Berat jenis contoh SSD	2.65	2.66	2.655
Berat jenis contoh semu	2.68	2.69	2.685
Penyerapan	0.68	0.60	0.64

Data berat jenis dan penyerapan air digunakan sebagai salah satu dasar dalam penyusunan *mix design*, terutama untuk menentukan proporsi agregat dan melakukan

penyesuaian terhadap kebutuhan air pencampur agar nilai faktor air semen (FAS) tetap sesuai dengan perencanaan. Pada penelitian ini, agregat kasar yang sama digunakan pada seluruh benda uji sehingga karakteristik material tetap terkendali.

Dengan kondisi tersebut, perbedaan nilai kuat tekan beton yang diperoleh dapat di analisis sebagai akibat dari penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur, bukan dipengaruhi oleh perbedaan sifat fisik agregat kasar.

3.6.11 Pemeriksaan Berat Isi Agregat Kasar

Pengujian berat isi agregat kasar dilakukan untuk mengetahui massa agregat yang menempati suatu volume tertentu. Nilai berat isi merupakan salah satu parameter yang diperlukan dalam penyusunan *mix design*, karena digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan agregat berdasarkan volume campuran beton. Hasil pengujian ini membantu memastikan bahwa komposisi material pada setiap variasi campuran tetap sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan.

Pada penelitian ini, pengujian berat isi agregat kasar dilakukan sebagai bagian dari pengendalian mutu material sebelum pembuatan benda uji. Agregat kasar yang digunakan memiliki karakteristik yang sama pada seluruh variasi campuran, sehingga perbeedaan nilai kuat tekan beton yang diperoleh dapat di analisis sebagai pengaruh penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur, bukan akibat adanya perbeedaan sifat fisik agregat kasar.

Pelaksanaan pengujian mengacu pada SNI 03 -4804-1998 tentang Metode Pengujian Bobot isi dan Rongga Udara dalam Agregat. Nilai berat isi agregat kasar dihitung menggunakan persamaan (3.15).

$$BI = \frac{W}{V} \tag{3.15}$$

Keterangan:

BI = Berat isi agregat (g/cm³)

W = Berat agregat di dalam wadah (g) V = Volume wadah (cm³)

Hasil pengujian berat isi agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada tabel 3.9.

Tabel 3.9 Hasil Pengujian Berat Isi Agregat Kasar

No.	Uraian Pengujian	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	Rata-rata
1.	Berat wadah dan agregat (g)	31.050	31.989	30.630	31.223
2.	Berat wadah (g)	6.500	6.500	6.500	6.500
3.	Berat agregat (g)	24.550	25.489	24.130	24.723
4.	Volume wadah (cm^3)	15.465,21	15.465,21	15.465,21	15.465,21
5.	Berat isi agregat kasar (g/cm^3)	1,59	1,65	1,56	11,60

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai rata-rata berat isi agregat kasar sebesar 1,60 g/cm^3. Nilai tersebut menunjukkan kepadatan agregat kasar yang digunakan sebagai salah satu material penyusun beton dalam penelitian ini. Data berat isi agregat kasar selanjutnya dimanfaatkan sebagai dasar dalam penyusunan *mix design* untuk menentukan kebutuhan agregat berdasarkan volume campuran sehingga komposisi material pada setiap variasi campuran tetap sesuai dengan rancangan.

Pada penelitian ini, agregat bkasar yang digunakan berasal dari sumber dan karakteristik yang sama pada seluruh benda uji. Kondisi tersebut bertujuan untuk menjaga keseragaman material sehingga variasi kuat tekan yang diperoleh dapat dianalisis sebagai akibat dari penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur, bukan dipengaruhi oleh perbedaan berat isi agregat kasar Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Kasar

Analasis saringan agregat kasar dilakukan untuk megetahui distribusi ukuran butiran batu pecah yang digunakan sebagai salah satu material penyusun beton. Penguhhian ini bertujuan untuk memastikan bahwa gradasi agregat kasar telah memenuhi persyaratan sehingga dapat digunakan dalam penyusunan campuran beton

sesuai mutu rencana. Gradasi agregat yang baik akan menghasilkan susunan butiran yang lebih padat sehingga dapat mendukung kualitas beton yang dihasilkan. Dalam penelitian ini, hasil analisis saringan digunakan sebagai data pendukung dalam penyusunan *mix design*. Agregat kasar dengan gradasi yang sama digunakan pada seluruh benda uji agar komposisi campuran tetap seragam. Dengan demikian, perubahan milai kuat tekan beton yang diperoleh pada setiap variasi campuran diharapkan berasal dari penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai pencampur, bukan akibat adanya perbedaan distribusi ukuran butiran agregat kasar.

Pengujian analaisis saringan mengacu pada SNI ASTM C136:2012 tentang Metode Uji Analisis Saringan Agregat Kasar. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, nilai modulus kehalusan (Fineness Modulus / FM) dihitung menggunakan persamaan (3.8).

$$FM = \frac{\sum Persentase\ Kumulatif\ Berat\ Tertahan}{100} \tag{3.8}$$

Keterangan:

FM = Modulus Kehalusan (*Fineness Modulus*)

Σ Persentase Kumulatif Berat Tertahan = Jumlah persentase kumulatif agregat yang tertahan pada setiap ukuran saringan (%)

Hasil analisis saringan agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada tabel 3.10.

Tabel 3.10 Hasil Analisis Saringan Agregat

Ukuran Saringan	**Berat Tertahan Sampel 1 (g)**	**Berat Tertahan Smpel 2 (g)**	**Total Berat (g)**	**Berat Tertahan (%)**	**Persentase Kumulatif Tertahan (%)**	**Persentase Lolos (5)**
1½"	0	0	0	0,00	0,00	100,00
¾"	1.100	900	2.000	50,97	50,97	49,03
3/8"	850	650	1.500	38,23	89,19	10,81
No. 4	220	204	424	10,81	100,00	0,00
Total	2.170	1.754	3.924	100,00	100,00	-

Modulus Kehalusan (Fineness Modulus/FM) = 2,40

Perhitungan Modulus Kehalusan (FM)

$$FM = \frac{\sum Persentase\ Kumulatif\ Berat\ Tertahan}{100} \quad (3.8)$$

$$FM = \frac{50{,}97 + 89{,}19 + 100}{100}$$

$$FM = \frac{240{,}16}{100}$$

$$FM = 2{,}40$$

Berdasarkan hasil analisis saringan, agregat kasar yang digunakan memiliki nilai modulus kehalusan (Fineness Modulus/FM) sebesar 2,40. Nilai tersebut menunjukkan bahwa distribusi ukuran butiran agregat kasar telah memenuhi kebutuhan sebagai material penyusun beton. Gradasi agregat yang baik berperan dalam menghasilkan susunan butiran yang lebih padat sehingga dapat mendukung mutu campuran beton.

Data hasil analaisis saringan selanjutnya digunakan sebagai salah satu acuan dalam penyusunan *mix design* agar komposisi agregat pada setiap variasi campuran tetap seragam. Dalam penelitian ini, agregat kasar pada setiap variasi campuran tetap seragam. Dalam peneletian ini, agregat kasar yang digunakan memiliki karakteristik yang sama pada seluruh benda uji sehingga perbedaan nilai kuat tekan beton yang

diperoleh dapat dikaitkan dengan penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai pH air pencampur, bukan akibat adanya perbedaan gradasi agregat kasar.

3.6.12 Perancangan Campuran Beton (*Mix design*)

Perancangan campuran beton (*mix design)* dilakukan untuk menentukan proporsi setiap material penyusun beton sehingga diperoleh campuran yang memenuhi mutu rencana. Pada penelitian ini, perancangan campuran Beton Normal dengan kuat tekan rencana (f'c) sebesar 20 Mpa.

Komposisi campuran beton ditentukan berdasrkan hasil pengujian karakteristik material yang telah dilakukan sebelumnya. Parameter yang digunakan meliputi kadar air, berat jenis, penyerapan air, berat isi, serta gradasi agregat halus dan agregat kasar. Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam menghitung kebutuhan semen, air pencampur, agregat halus, dan agregat kasar sehingga diperoleh komposisi campuraan yang sesuai dengan mutu beton yang direncanakan.

Hasil perhitungan *mix design* menunjukkan bahwa proporsi campuran beton yang digunakan terdiri atas 1 : 0,38 : 1,60 : 2,74, yang merupakan perbandingan antara semen, air, agregat halus, agregat kasar. Selanjutnya, proporsi tersebut dikonversi menjadi kebutuhan material untuk satu kali pembuatan adukan sesuai dengan volume benda uji silinder yang digunakan dalam penelitian. Rincian kebutuhan material disajikan pada tabel.

Tabel 3.11 Rincian Material Kebutuhan

Material	**Perbandingan Campuran**	**Kebutuhan Material per Adukan**
Semen	1,00	2,20 kg
Air Pencampur	0,38	0,901L
Agregat Halus	1,60	3,52 kg
Agregat Kasar	2,74	6,02 kg

Pada penelitian ini digunakan tiga variasi campuran beton berdasarkan karakteristik pH air hujan yang digunakan sebagai air pencampur. Seluruh komposisi

material, meliputi semen, agregat halus, agregat kasar, dan faktor air semen (FAS), dibuat tetap pada setiap campuran. Perbedaan yang diterapkan hanya terletak pada karakteristik pH air hujan, sehingga perubahan nilai kuat tekan beton yang diperolehdapat dianalisis sebagai pengaruh dari variasi pH air hujan sebagai air pencampur. Rincian variasi campuran beton yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada tabel.

Tabel 3.12 Variasi Campuran Beton Yang Digunakan Dalam Penelitian

Kode Benda Uji	**Air Pencampur**	**Karakteristik pH**	**Keterangan**
BH-1	Air Hujan Lokasi 1	±5,5	Campuran Beton 1
BH-2	Air Hujan Lokasi 2	±6,3	Campuran Beton 2
BH-3	Air Hujan Lokasi 3	±7,0	Campuran Beton 3

Pada penelitian ini, variasi campuran beton tidak ditentukan berdasarkan penambahan bahan tambah, melainkan berdasarkan penggunaan air hujan dari tiga lokasi yang memiliki karakteristik pH berbeda sebagai air pencampur. Jumlah air yang digunakan pada setiap campuran dibuat sama sesuai hasil perhitungan *mix design*, yaitu sebesar 0,901 liter untuk setiap satu kali adukan. Perbedaan antar variasi hanya terletak pada nilai pH air hujan yang digunakan, sedangkan jumlah semen, agregat halus, agregat kasar, dan faktor air semen (FAS) dipertahankan tetap agar tidak memengaruhi hasil penelitian.

Sebagai contoh, kebutuhan air pencampur untuk satu kali adukan dihitung berdasarkan hasil *mix design* sebagai berikut.

Kebutuhan air pencampur = 0,901 liter per adukan

Air tersebut kemudian disiapkan dari tiga sumber air hujan yang memiliki karakteristik pH berbeda, yaitu:

BH-1 Air hujan dengan pH ±5,

BH-2 Air hujan dengan pH ±6,3

BH-3 Air hujan dengan pH ±7,0

Seluruh variasi campuran menggunakan komposisi material yang sama sesuai hasil *mix design*, sehingga perbedaan karakteristik beton yang diperoleh dapat dianalisis sebagai pengaruh penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur. Benda uji yang telah dibuat selanjutnya dirawat (*curing*) sesuai umur pengujian dan digunakan untuk pengujian kuat tekan beton pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari.

Tabel 3.13 Variasi Campuran Beton

Kode Campuran	**Air Pencampur**	**Karakteristik pH**	**Semen (kg)**	**Air (L)**	**Agregat Halus (kg)**	**Agregat Kasar (kg)**
BH-1	Air hujan Lokasi 1	±5,5	2,20	0,901	3,52	6,02
BH-2	Air hujan Lokasi 2	±6,3	2,20	0,901	3,52	6,02
BH-3	Air hujan Lokasi 3	±7,0	2,20	0,901	3,52	6,02

3.6.13 Persiapan Air Hujan sebagai Air Pencampur Beton

Pada penelitian ini, air hujan digunakan sebagai air pencampur beton untuk mengetahui pengaruh variasi karakteristik pH terhadap kuat tekan beton. Air hujan dikumpulkan dari tiga lokasi yang memiliki karakteristik pH berbeda sehingga dapat digunakan sebagai variasi dalam penelitian. Sebelum digunakan, setiap sampel air hujan diperiksa nilai pH-nya untuk memastikan bahwa karakteristik air sesuai dengan variasi yang telah direncanakan.

Tahap pertama dilakukan dengan menampung air hujan menggunakan wadah yang bersih dan tertutup agar terhindar dari kontaminasi oleh material asing. Setelah proses pengambilan sampel selesai, masing-masing air hujan diberi kode berdasarkan lokasi pengambilan untuk memudahkan identifikasi selama proses penelitian.

3.7 Pembuatan Benda Uji Beton

Pembuatan benda uji beton dilakukan setelah seluruh material penyusun memenuhi persyaratan berdasarkan hasil pengujian karakteristik material dan perhitungan *mix design*. Pada penelitian ini digunakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Seluruh proses pembuatan benda uji dilaksanakan di Laboratorium Beton Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Benda uji dibuat menggunakan komposisi campuran yang sama untuk setiap perlakuan, sedangkan perbedaan hanya terletak pada penggunaan air hujan dengan karakteristik pH yang berbeda sebagai air pencampur. Pengaturan tersebut dilakukan agar pengaruh variasi pH air hujan terhadap kuat tekan beton dapat diamati tanpa dipengaruhi oleh perubahan komposisi material lainnya.

Tahapan pembuatan benda uji meliputi penimbangan material sesuai hasil *mix design*, pencampuran beton menggunakan concrete mixer, pengujian nilai slump untuk mengetahui tingkat kelecakan campuran, pencetakan ke dalam cetakan silinder, pemadatan menggunakan batang penumbuk atau alat pemadat sesuai prosedur, serta proses curing hingga mencapai umur pengujian yang telah ditentukan. Seluruh tahapan dilakukan dengan prosedur yang sama pada setiap variasi campuran untuk menjaga konsistensi hasil penelitian.

3.7.1 Penimbangan Material

Tahap pertama dalam pembuatan benda uji adalah menimbang seluruh material penyusun beton berdasarkan komposisi yang telah diperoleh dari hasil *mix design*. Material yang ditimbang meliputi semen, agregat halus, agregat kasar, serta air hujan yang akan digunakan sebagai air pencampur pada masing-masing variasi pH. Penimbangan dilakukan menggunakan timbangan digital untuk memastikan setiap material memiliki jumlah yang sesuai dengan perencanaan campuran.

Pada penelitian ini, jumlah semen, agregat halus, agregat kasar, dan air pencampur dibuat sama pada setiap adukan. Perbedaan perlakuan hanya terletak pada karakteristik pH air hujan yang digunakan sebagai air pencampur beton. Pengendalian

komposisi material tersebut bertujuan agar perubahan nilai kuat tekan beton yang diperoleh dapat dianalisis sebagai pengaruh variasi pH air hujan, tanpa dipengaruhi oleh perbedaan proporsi campuran.

3.7.2 Pencampuran Beton

Proses pencampuran beton dilakukan menggunakan concrete mixer agar seluruh material penyusun tercampur secara merata. Pada tahap awal, agregat kasar, agregat halus, dan semen dimasukkan ke dalam concrete mixer untuk diaduk dalam keadaan kering hingga menghasilkan campuran yang homogen. Tahap pencampuran kering ini bertujuan agar semen dapat terdistribusi secara merata pada permukaan agregat sebelum penambahan air.

Selanjutnya, air hujan yang telah diukur nilai pH-nya sesuai dengan variasi penelitian ditambahkan secara bertahap ke dalam campuran sambil proses pengadukan tetap berlangsung. Jumlah air yang digunakan pada setiap adukan disesuaikan dengan hasil *mix design*, sedangkan perbedaan antar campuran hanya terletak pada karakteristik pH air hujan sebagai air pencampur

Pengadukan dilanjutkan hingga seluruh material membentuk campuran beton yang homogen, ditandai dengan tidak adanya gumpalan semen dan seluruh permukaan agregat telah terlapisi pasta semen secara merata. Prosedur pencampuran yang sama diterapkan pada setiap variasi campuran untuk menjaga konsistensi proses, sehingga perbedaan kuat tekan beton yang diperoleh dapat dianalisis sebagai pengaruh penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH.

3.7.3 Pengujian *Slump*

Setelah proses pencampuran selesai, beton segar terlebih dahulu diuji nilai slump untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) campuran beton sebelum dilakukan pencetakan benda uji. Pengujian slump dilaksanakan mengacu pada SNI 1972:2008 tentang Cara Uji Slump Beton, sehingga hasil yang diperoleh dapat dijadikan acuan dalam menilai konsistensi campuran pada setiap variasi penelitian.

Pengujian dilakukan menggunakan kerucut Abrams yang diisi dengan beton segar dalam tiga lapisan dengan ketebalan yang relatif sama. Setiap lapisan dipadatkan sebanyak 25 kali tumbukan menggunakan batang pemadat agar beton terdistribusi secara merata di dalam cetakan. Setelah cetakan terisi penuh dan permukaannya diratakan, kerucut diangkat secara perlahan ke arah vertikal tanpa memberikan gangguan pada campuran beton.

Selisih antara tinggi kerucut Abrams dengan tinggi beton setelah cetakan diangkat dinyatakan sebagai nilai slump. Pada penelitian ini, pengujian slump dilakukan pada setiap variasi campuran yang menggunakan air hujan dengan karakteristik pH yang berbeda sebagai air pencampur. Nilai slump digunakan untuk memastikan bahwa tingkat kelecakan campuran masih berada pada kisaran yang direncanakan sehingga seluruh benda uji memiliki kondisi pengerjaan yang relatif sama. Dengan demikian, variasi nilai kuat tekan beton yang diperoleh diharapkan dipengaruhi oleh perbedaan karakteristik pH air hujan, bukan oleh perbedaan tingkat kelecakan campuran beton.

3.7.4 Pencetakan dan Pemadatan Benda Uji

Setelah campuran beton memenuhi nilai slump yang telah direncanakan, beton segar segera dituangkan ke dalam cetakan silinder berukuran 150 mm × 300 mm. Proses pencetakan dilakukan secara bertahap sebanyak tiga lapisan dengan ketebalan yang relatif sama untuk memperoleh kepadatan beton yang seragam pada setiap benda uji.

Setiap lapisan dipadatkan menggunakan batang pemadat sebanyak 25 kali tumbukan sesuai prosedur standar. Proses pemadatan ini bertujuan untuk mengurangi rongga udara yang terperangkap di dalam campuran beton sehingga diperoleh benda uji dengan kepadatan yang baik dan mutu beton yang sesuai dengan perencanaan.

Setelah seluruh lapisan selesai dipadatkan, permukaan beton diratakan menggunakan trowel hingga menghasilkan permukaan yang rata dan halus. Selanjutnya, setiap cetakan diberi kode identitas yang menunjukkan variasi pH air hujan sebagai air pencampur serta umur pengujian beton. Pemberian kode dilakukan

untuk mempermudah proses identifikasi selama perawatan (*curing*) dan pelaksanaan pengujian kuat tekan pada setiap umur pengujian.

Pada penelitian ini, seluruh tahapan pencetakan dan pemadatan dilakukan dengan prosedur yang sama untuk setiap variasi campuran. Dengan demikian, kondisi pembuatan benda uji tetap seragam sehingga perbedaan nilai kuat tekan beton yang diperoleh dapat dianalisis sebagai pengaruh penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur, bukan akibat perbedaan proses pencetakan maupun pemadatan.

3.7.5 Perawatan (*curing)* Benda Uji

Benda uji beton yang telah selesai dicetak dibiarkan terlebih dahulu di dalam cetakan selama kurang lebih 24 jam pada suhu ruang hingga mencapai pengerasan awal. Setelah beton cukup mengeras, cetakan dilepas (demoulding) dengan hati-hati agar tidak terjadi kerusakan pada permukaan benda uji. Selanjutnya, benda uji dipindahkan ke dalam bak perendaman yang berisi air bersih untuk dilakukan proses perawatan (*curing*).

Perawatan dilakukan secara terus-menerus hingga benda uji mencapai umur pengujian yang telah ditetapkan, yaitu 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Selama proses perendaman, kondisi beton dijaga tetap lembap agar proses hidrasi semen dapat berlangsung dengan baik sehingga perkembangan kekuatan beton dapat terjadi secara optimal.

Setelah mencapai umur pengujian, benda uji dikeluarkan dari bak perendaman, dibersihkan dari sisa air yang menempel pada permukaan, kemudian diberi pemeriksaan identitas sesuai kode variasi pH air hujan yang digunakan sebagai air pencampur. Benda uji selanjutnya dipersiapkan untuk dilakukan pengujian kuat tekan beton sesuai dengan tahapan penelitian.

Pada penelitian ini, prosedur curing yang sama diterapkan pada seluruh benda uji agar kondisi perawatan tetap seragam. Dengan demikian, perbedaan nilai kuat tekan beton yang diperoleh dapat dianalisis sebagai pengaruh penggunaan air hujan dengan

variasi karakteristik pH sebagai air pencampur, bukan akibat adanya perbedaan proses perawatan beton.

3.8 Pengujian Benda Uji

Setelah proses curing selesai dan benda uji mencapai umur pengujian yang telah ditentukan, selanjutnya dilakukan pengujian untuk mengetahui pengaruh penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur terhadap kuat tekan beton. Pengujian dilakukan terhadap benda uji berbentuk silinder pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari sehingga perkembangan kuat tekan beton pada setiap variasi pH dapat diamati.

Pengujian kuat tekan dilaksanakan menggunakan Compression Testing Machine (CTM) di Laboratorium Beton Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Sebelum pengujian dilakukan, setiap benda uji diperiksa kembali kondisi fisiknya dan dicocokkan dengan kode identitas untuk memastikan kesesuaian antara variasi pH air hujan dan umur pengujian.

Pada saat pengujian, benda uji ditempatkan pada posisi yang tepat di tengah mesin uji, kemudian diberikan beban secara bertahap hingga beton mengalami keruntuhan. Beban maksimum yang mampu ditahan oleh setiap benda uji dicatat sebagai dasar untuk menghitung nilai kuat tekan beton. Seluruh prosedur pengujian dilaksanakan sesuai dengan standar yang berlaku sehingga hasil pengujian dapat digunakan untuk menganalisis pengaruh variasi karakteristik pH air hujan terhadap kuat tekan beton.

Data hasil pengujian kemudian diolah dan dibandingkan untuk mengetahui perbedaan kuat tekan pada setiap variasi penggunaan air hujan sebagai air pencampur beton.

3.8.1 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan setelah benda uji mencapai umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari sesuai dengan tahapan penelitian. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air

pencampur terhadap perkembangan kuat tekan beton pada setiap umur pengujian. Prosedur pengujian mengacu pada SNI 1974:2011 tentang Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder.(Slat et al., 2022)

Sebelum pengujian dilaksanakan, setiap benda uji diperiksa kondisi fisiknya dan dibersihkan dari sisa air maupun kotoran yang menempel pada permukaan beton. Selanjutnya, benda uji ditempatkan tepat di tengah pelat Compression Testing Machine (CTM) agar beban yang diberikan bekerja secara merata dan sentris pada seluruh penampang benda uji.

Pembebanan dilakukan secara bertahap dan terus-menerus hingga benda uji mengalami keruntuhan. Besarnya beban maksimum yang tercatat pada mesin uji digunakan sebagai dasar untuk menghitung nilai kuat tekan beton dengan menggunakan Persamaan (3.16).

$$F'C = \frac{P}{A} \tag{3.8}$$

Keterangan:

$f'c$ = Kuat tekan beton (MPa)

P = Gaya yang bekerja (N)

A = Luas penampang benda uji (mm^2)

Nilai kuat tekan dari setiap benda uji kemudian dihitung dan dirata-ratakan berdasarkan variasi pH air hujan serta umur pengujian. Hasil perhitungan tersebut selanjutnya dianalisis untuk mengetahui pengaruh penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur terhadap kuat tekan beton serta membandingkan perkembangan kuat tekan pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari.

3.9 Teknik Analis Data

Data yang diperoleh dari hasil pengujian kuat tekan beton diolah untuk mengetahui pengaruh penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur terhadap mutu beton. Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif, dengan menyajikan hasil pengujian dalam bentuk tabel, grafik, dan uraian sehingga perbedaan nilai kuat tekan pada setiap variasi campuran dapat diamati dengan jelas.

Nilai kuat tekan setiap benda uji dihitung berdasarkan beban maksimum yang diterima selama proses pengujian menggunakan Compression Testing Machine (CTM). Selanjutnya, nilai kuat tekan dari setiap benda uji pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari dirata-ratakan untuk masing-masing variasi pH air hujan yang digunakan sebagai air pencampur.

Hasil rata-rata kuat tekan kemudian dibandingkan antar variasi campuran yang menggunakan air hujan dengan karakteristik pH berbeda. Perbandingan tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan karakteristik pH air hujan terhadap perkembangan kuat tekan beton pada setiap umur pengujian serta menentukan variasi pH yang menghasilkan kuat tekan paling baik.

Data yang telah diolah selanjutnya diinterpretasikan dengan mengacu pada teori yang relevan, ketentuan dalam SNI 1974:2011 mengenai pengujian kuat tekan beton,(Slat et al., 2022) serta hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penggunaan air sebagai bahan pencampur beton. Berdasarkan hasil analisis tersebut, kemudian ditarik kesimpulan mengenai pengaruh penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur terhadap kuat tekan beton, sehingga tujuan penelitian dapat tercapai sesuai dengan yang telah dirumuskan.

BAB 4

HASIL PEMBAHASAN

4.1 Perhitunngan Hasil Perencanaan Campuran Pembuatan Beton

Data hasil penelitian yang diperoleh selama proses pengujian dianalisis secara deskriptif berdasarkan masing-masing parameter penelitian. Penyajian data dilakukan dalam bentuk table untuk mempermudah proses analisis dan pembahasan.

Tabel 4.1 Data – Data Analisis yang Diperoleh Saat Penelitian

No.	Parameter Pengujian	Satuan	Hasil
1.	Berat jenis agregat kasar (SSD)	gr/cm³	2,655
2.	Berat jenis agregat halus (SSD)	gr/cm³	2,510
3.	Kadar lumpur agregat kasar	%	0,70
4.	Kadar lumpur agregat halus	%	1,60
5.	Berat isi agregat kasar	gr/cm³	1,60
6.	Berat isi agregat halus	gr/cm³	1,34
7.	Kadar air agregat kasar	%	0,65
8.	Kadar air agregat halus	%	3,94
9.	Modulus Kehalusan (FM) agregat kasar	-	2,40
10.	Modulus Kehalusan (FM) agregat halus	-	3,12
11.	Penyerapan air agregat halus	%	2,25
12.	Penyerapan air agregat kasar	%	0,64
13.	Nilai slump rencana	mm	60–180
14.	Ukuran maksimum agregat kasar	mm	40

Berdasarkan hasil pemeriksaan karakteristik material, seluruh bahan penyusun beton telah memenuhi persyaratan untuk digunakan dalam penelitian. Parameter yang meliputi berat jenis, kadar air, kadar lumpur, berat isi, gradasi agregat, dan penyerapan air digunakan sebagai dasar dalam penyusunan mix design sehingga komposisi campuran beton dapat dirancang sesuai mutu rencana sebesar 20 MPa. Seluruh karakteristik agregat dibuat tetap pada setiap variasi campuran agar tidak memengaruhi

hasil pengujian. Dengan demikian, perbedaan nilai kuat tekan beton yang diperoleh pada penelitian ini diharapkan berasal dari penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur, bukan akibat adanya perbedaan sifat fisik material penyusun beton.

Tabel 4.2 Data Perencanaan Pembuatan Beton

No.	Uraian	Dasar Perhitungan	Nilai
1.	Kuat tekan yang disyaratkan (benda uji silinder)	Ditetapkan	20 MPa
2.	Deviasi standar	SNI 03-2834-2000	12 MPa
3.	Nilai tambah (Margin)	Perhitungan	5,7 MPa
4.	Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan	1 + 3	25,7 MPa
5.	Jenis semen	Ditetapkan	Semen Portland Tipe I
6.	Jenis agregat kasar	Ditetapkan	Batu pecah
7.	Jenis agregat halus	Ditetapkan	Pasir alam
8.	Faktor air semen (FAS)	Ditetapkan	0,41
9.	Slump rencana	Ditetapkan	60–180 mm
10.	Ukuran maksimum agregat	Ditetapkan	40 mm
11.	Kebutuhan air bebas	Tabel SNI	185 kg/m³
12.	Kebutuhan semen	Perhitungan	451,22 kg/m³
13.	Kebutuhan semen minimum	SNI	275 kg/m³
14.	Persentase agregat halus	Grafik SNI	36,5 %
15.	Berat jenis agregat (SSD)	Hasil Pengujian	2,60
16.	Berat isi beton	Perhitungan	2.375 kg/m³
17.	Kebutuhan agregat gabungan	Perhitungan	1.738,78 kg/m³
18.	Kebutuhan agregat halus	Perhitungan	634,66 kg/m³
19.	Kebutuhan agregat kasar	Perhitungan	1.104,12 kg/m³
20.	Faktor air semen yang digunakan	Perhitungan	0,41

Tabel 4.3 Proporsi campuran beton per adukan

Material	Perbandingan Campuran	Kebutuhan Material per Adukan
Semen	1,00	2,20 Kg
Air hujan	0,41	0,90 L
Agregat halus	1,60	3,52 Kg
Agregat kasar	2,74	6,02 Kg

Perencanaan campuran beton (*mix design*) pada penelitian ini mengacu oada SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal dengan mutu beton rencana (fc) sebesar 20 MPa. Seluruh komposisi material penyusunan beton ditentukan berdasarkan hasil pemeriksaan karakteristik agregat yang meliputi berat jenis, kadar air, kadar lumpur, berasi isi, penyerapan air, dan gradasi agregrat.

Pada penelitian ini, komposisi campuran beton dibuat sama untuk seluruh variasi benda uji. Variabel yang dibedakan hanya air pencampuran, yaitu air hujan yang berasal dari tiga lokasi dengan karakteristik pH yang berbeda. Dengan demikian, perubahan kuat tekan beton yang diperoleh diharapkan berasar dari pengaruh variasi pH air hujan, sedangkan faktor-faktor lainnya dibuat tetap agar hasil penelitan lebih objektif.

Berdasarkan hasil perhitungan *mix design*, diperoleh proporsi campuran beton untuk setiap 1 m^3 sebagaimana disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.4 Perbandingan Campuran Beton untuk 1 m^3

Material	Berat (kg/m^3)	Perbandingan
Semen	451,22	1,00
Agregat Halus	645,38	1,43
Agregat Kasar	1.104,24	2,45
Air Hujan	174,16	0,39

Kebutuhan material untuk satu benda uji

Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. volume benda uji dihitung menggunakan persamaan:

$V = \pi r^2 h$

$V = \frac{22}{7} \times (7{,}5)^2 \times 30$

$V = 5.303{,}7\ cm^3$

$V = 0{,}0053\ m^3$

Berdasarkan volume tersebut, kebutuhan material untuk asatu benda uji dihitung berdasarkan hasil *mix design* sebagai berikut.

Kebutuhan semen

= 451,22 kg/m^3 × 0,0053 m^3

= 2,39 kg

Kebutuhan agregat halus

= 645,38 kg/m^3 × 0,0053 m^3

= 3,42 kg

Kebutuhan agregat kasar

= 1.104,24 kg/m^3 × 0,0053 m^3

= 5,85 kg

Kebutuhan air hujan sebagai air pencampur

= 451,22 = 174,16 kg/m^3 x 0,0053 m^3

= 0,92 kg ≈ 0,92 L

Seluruh kebutuhan material tersebut digunakan pada setiap benda uji dengan komposisi yang sama. Perbedaan antar campuran hanya terletak pada air hujan yang digunakan sebagai air pencampur, yaitu air hujan dari tiga lokasi yang memiliki karakteristik pH berbeda.

Tabel 4.5 Perbandingan Bahan Beton untuk Satu Benda Uji

Material	Berat (kg)
Semen	2,39
Agregat Halus	3,42
Agregat Kasar	5,85
Air Hujan	0,93

Tabel 4.6 Kebutuhan Agregat Kasar Berdasarkan Hasil Analisis Saringan

Nomor Saringan	% Berat Tertahan	Berat Agregat (kg)
1½"	0,00	0,00
¾"	50,97	2,98
3/8"	38,23	2,24
No. 4	10,81	0,63
Total	100	5,85

Berdasarkan hasil analisis gradasi agregat kasar, kebutuhan agregat kasar untuk satu bendai uji adalah 5,85 kg. distribusi terbedar berada pada saringan ¾ inci, yaitu sebesar 2,98 kg, diikuti saringan 3/8 inci sebesar 2,24 kg. sedangkan fraksi yang tertahan pada saringan no. 4 sebesar 0,63 kg. kompsisi tersebut menunjukkan bahwa gradasi agregat kasar telah memenuhi hasil perencanaan campuran beton dan digunakan secara seragam pada seluruh varasi penggunaan air hujan sebagai air pencampur.

Tabel 4.7 Kebutuhan Agregat Halus Berdasarkan Hasil Analisis Saringan

Nomor Saringan	% Berat Tertahan	Berat Agregat (kg)
No. 4	0,00	0,00
No. 8	5,66	0,19
No. 16	4,25	0,15
No. 30	19,41	0,66
No. 50	39,84	1,36
No. 100	28,61	0,98
Pan	2,22	0,08
Total	100	3,42

Distribusi kebutuhan agregat halus satu benda uji berdasarkan hasil analisis saringan dengan total kebutuhan sebesar 3,42 kg. fraksi terbesar berada pada saringan no. 50 dan no. 100, yang menunjukkan bahwa pasir yang digunakan memiliki gradasi yang sesuai dengan persyaratan SNI 03-2834-2000. Seluruh agregat halus digunakan dengan proposi yang sama pada setiap campuran beton sehingga tidak memengaruhi perbedaan hasil kuat tekan antar variasi penelitian.

4.2 Variasi Air Hujan sebagai Air Pencampur

Pada penelitian ini tidak digunakan bahan tambahan (*admixture*). Variabel yang diteliti adalah penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur beton. Seluruh komposisi material penusun beton, seperti semen, agregat halus, agregat kasar, dan jumlah air pencampur dibuat tetap sesuai hasil *mix design*. Perbedaan hanya terletak pada sumber air hujan yang digunakan.

Air hujan dikumpulkan dari tiga lokasi berbeda yang memiliki karakteristik pH berbeda, kemudian digunakan sebagai air pencampur pada masing-masing variasi beton. Sebelum digunakan, setiap sampel air hujan diuji nilai pH-nya sehingga dapat dikelompokkan sesuai variasi penelitian.

Tabel 4.8 Variasi Air Hujan sebagai Air Pencampur

Kode Campuran	Sumber Air Hujan	Nilai pH	Kebutuhan Air per Adukan
BH-1	Lokasi 1	± 5,5	0,92 L
BH-2	Lokasi 2	± 6,3	0,92 L
BH-3	Lokasi 3	± 7,0	0,92 L

Seluruh campuran beton menggunakan jumlah air yang sama, yaitu 0,92 L untuk setiap benda uji. Dengan demikian, pengaruh yang diamati pada penelitian ini berasal dari perbedaan karakteristik pH air hujan sebagai air pencampur, bukan akibat perubahaan komposisi material penyusun beton.

4.3 Metode Pengerjaan Mix Design

Pelaksanaan perancangan campuran beton (*mix design*) pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-2834-2000 tentang Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Bton Normal. Perencanaan campuran dilakukan berdasarkan hasil pemeriksaan karakteristik material yang telah diperoleh sebelumnya, sehingga komposisi campuran dapat memenuhi mutu beton rencana sebesar 20 MPa.

Tahapan perencanaa campuran beton dijelaskan sebagai berikut.

1. Mutu Beton Rencana

   Mutu beton yang digunakan pada penelitian ini ditetaokan sebesar 20 MPa pada umur pengujian 28 hari.
2. Standar Deviasi

   Nilai standar deviasi yang digunakan mengacu pada ketentuan SNI 03-2834-2000, yaitu sebesar 12 MPa.
3. Nilai Tambah (*Margin*)

Nilai tambah (*margin*) yang digunakan dalam perencanaan campuran beton adalah sebesar 5,7 MPa, sebagai faktor untuk mengantisipasi variasi hasil produksi beton.

4. Kurat tekan rata-rata yang direncanakan (fcr).

   Berdasarkan mutu beton rencana nilai tambah (*margin*), kuat tekan rata-rata yang digunakan sebagai dasar perancangan campuran beton ditetapkan sebesar 25,7 MPa.

5. Jenis Semen

   Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah Semen Portlan Tipe 1, yang umum digunakan untuk pekerjaan beton normal.

6. Jenis Agregat

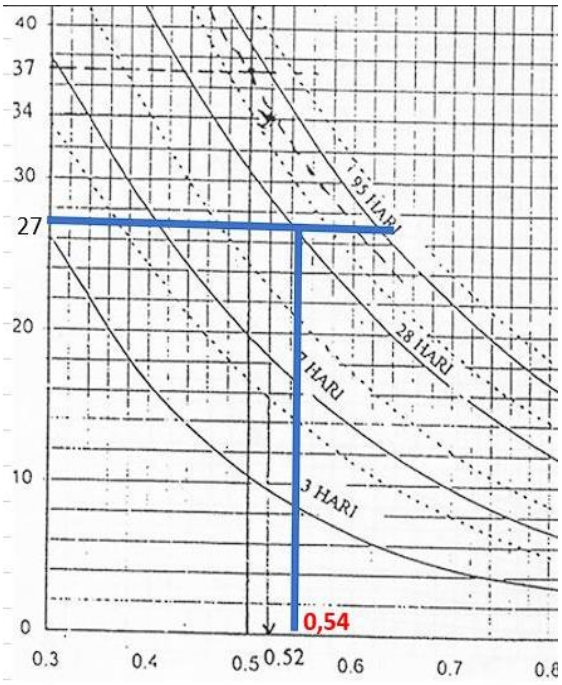
   Material agregat yang digunakan terdiri atas:

   1. Agregat halus berupa pasir alam.
   2. Agregat kasar berupa batu pecah dengan ukuran maksismum 40 mm.

7. Penentuan faktor air semen (FAS).

   Nilai faktor air semen (FAS) ditentukan berdasarkan ketentuan SNI 03-2834-2000 dengan mempertimbangkan mutu beton rencana sebesar 20 MPa, jenis material yang digunakan, serta tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) yang diinginkan. Berdasarkan hasil perencanaan campuran beton, diperoleh nilai FAS sebesar 0,41, yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan semen dan air pencampur pada setiap campuran beton.

   Pada penelitian ini, seluruh komposisi material penyusun beton dibuat tetap sesuai hasil *mix design*. Variasi yang diberikan hanya pada air pencampur, yaitu penggunaan air hujan dari tiga lokasi dengan karakteristik pH yang berbeda, sehingga perubahan kuat tekan beton yang diperoleh dapat dianalisis sebagai pengaruh variasi pH air hujan



Gambar 4.1 Grafik untuk Menentukan Faktor Air Semen (FAS) berdasarkan Kuat Tekan Rata-Rata

8. Faktor Air Semen (FAS)

   Berdasarkan hasil perhitungan perancangan campuran beton, menurut SNI 03-2834-2000, diperoleh nilai faktor air semen (FAS) sebesar 0,41. Nilai tersebut lebih kecil dari nilai faktor air semen maksimum yang disyaratkan, yaitu 0,60, sehingga dalam penelitian ini digunakan nilai FAS sebesar 0,41. Penggunaan nilai tersebut bertujuan untuk memperoleh mutu beton rencana sebesar 20 MPa pada umur 28 hari, dengan tetap memenuhi ketentuan perancangan campuran beton. Nilai FAS ini dugunakan sama pada seluruh variasi benda uji, sedangkan perbedaannya hanya terletak pada penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur.

9. Nilai *Slump*

   Nilai slump yang direncanakan pada penelitian ini berada pada kisaran 60–180 mm, sesuai dengan ketentuan SNI 03-2834-2000 untuk memperoleh tingkat kemudahan pengerjaan (workability) yang baik selama proses pencampuran, pengangkutan, dan pengecoran beton.

10. Ukuran Maksimum Agregat

    Ukuran maksimum agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini ditetapkan sebesar 40 mm, sesuai dengan persyaratan perancangan campuran beton berdasarkan SNI 03-2834-2000.

11. Jumlah Kadar Air Bebas

    Jumlah kadar air bebas ditentukan berdasarkan ukuran maksimum agregat sebesar 40 mm dan nilai slump yang direncanakan. Berdasarkan ketentuan SNI 03-2834-2000 diperoleh kebutuhan air bebas sebesar 185 kg/m³. Nilai ini digunakan sebagai dasar dalam perhitungan kebutuhan semen dan dipertahankan sama pada seluruh variasi campuran, sedangkan air yang digunakan berasal dari air hujan dengan karakteristik pH yang berbeda sesuai dengan variasi penelitian.

12. Jumlah Semen

    Jumlah kebutuhan semen dihitung berdasarkan nilai kadar air bebas dan faktor air semen (FAS) menggunakan persamaan berikut.

    Jumlah semen = Berat air bebas / FAS

    = 185/0,41

    = 451,22 kg/m^3

    Dengan demikian, jumlah semen yang digunakan dalam campuran beton adalah sebesar 451,22 kg/m^3

13. Jumlah Semen Maksimum

    Jumlah semen maksimum yang digunakan dalam penelitian ini diambil sama dengan hasil perhitungan kebutuhan semen, yaitu sebesar 451,22 kg/m^3, sehingga tetap memenuhi persyaratan mutu beton rencana sesuai SNI 03-2834-2000.

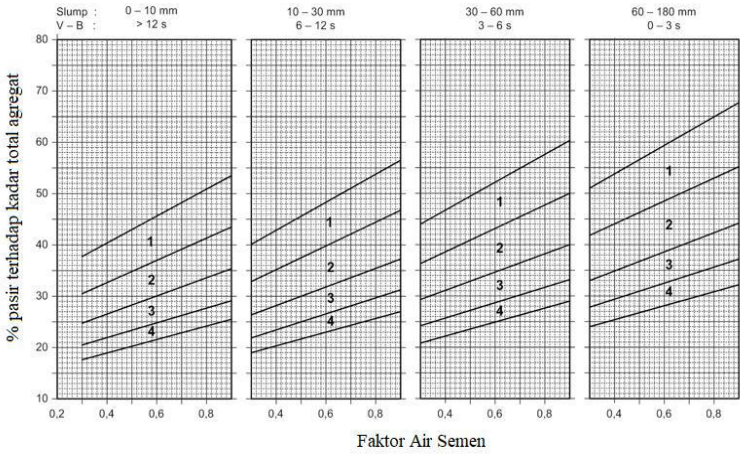
14. Susunan Besar Butir Agregat Halus

    Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini termasuk dalam gradasi pasir Zona 1, berdasarkan hasil analisis saringan yang telah dilakukan. Gradasi tersebut memenuhi persyaratan agregat halus untuk campuran beton menurut SNI yang berlaku.

15. Proporsi Agregat Halus terhadap Agregat Campuran

    Proporsi agregat halus terhadap agregat campuran ditentukan berdasarkan grafik pada SNI 03-2834-2000 dengan mempertimbangkan ukuran maksimum agregat sebesar 40 mm, nilai slump 60-180 mm, serta faktor air semen (FAS) sebesar 0,41. Berdasarkan hasil pembacaan grafik diperoleh persentase agregat halus sebesar 36,5% untuk gradasi pasir Zona 1, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.2.

    Perlu diketahui bahwa komposisi campuran beton pada seluruh benda uji dibuat sama, sedangkan variabel yang dibedakan dalam penelitian ini adalah penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur beton, sehingga pengaruh variasi pH terhadap kuat tekan beton dapat dianalisis secara objektif.



Gambar 4.2 Grafik Persen Agregat Halus terhadap Kadar Total Agregat

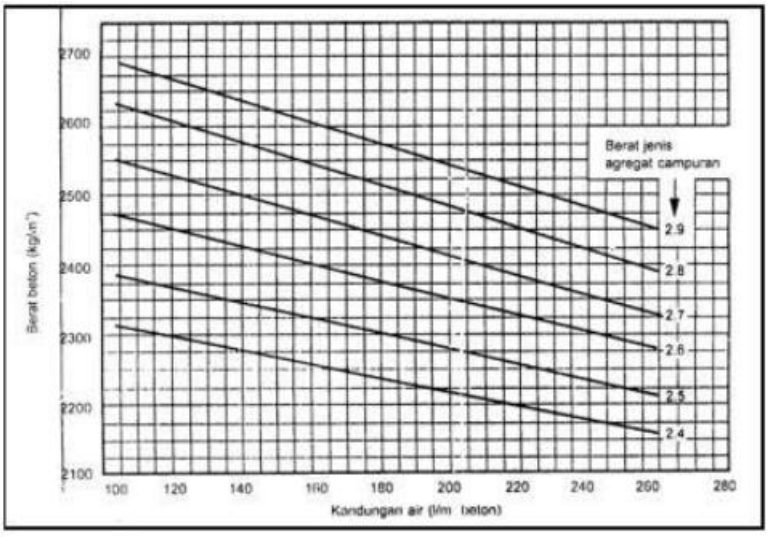
16. Berat Jenis Agregat Campuran

    Berat jenis agregat campuran diperoleh dari hasil kombinasi berat jenis agregat halus dan agregat kasar berdasarkan proporsi masing-masing dalam campuran beton. Perhitungan dilakukan menggunakan Persamaan (4.1).

17. Perkiraan Berat Isi Beton

    Perkiraan berat isi beton ditentukan berdasarkan grafik hubungan antara berat jenis agregat campuran dan faktor air semen (FAS) sesuai metode perancangan campuran beton menurut SNI 03-2834-2000. Berdasarkan hasil pembacaan grafik pada Gambar 4.3, diperoleh perkiraan berat isi beton sebagai acuan dalam menghitung kebutuhan agregat halus dan agregat kasar untuk setiap 1 m³ campuran beton.

    Nilai perkiraan berat isi beton yang diperoleh digunakan sama pada seluruh variasi campuran, karena komposisi material penyusun beton dibuat tetap. Perbedaan pada setiap variasi benda uji hanya terletak pada penggunaan air hujan dengan karakteristik pH yang berbeda sebagai air pencampur, sehingga pengaruh variasi pH terhadap kuat tekan beton dapat dianalisis secara objektif.



Gambar 4.3 Berat Isi Beton pada FAS 0,41 (SNI 03-2834-2000)

18. Menghitung Kebutuhan Berat Agregat Campuran

    Berat agregat campuran dihitung untuk menentukan jumlah total agregat yang diperlukan dalam 1 m^3 campuran beton. Nilai tersebut diperoleh dengan mengurangkan kebutuhan air pencampur dan kebutuhan semen dari perkiraan berat beton segar. Pada penelitian ini, perhitungan dilakukan berdasarkan metode SNI 03-2834-2000, sedangkan penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH tidak mengubah tahapan perhitungan mix design, melainkan digunakan sebagai variasi air pencampur pada setiap benda uji.

19. Menghitung Kebutuhan Agregat Halus

    Jumlah agregat halus ditentukan berdasarkan persentase agregat halus terhadap total agregat campuran yang telah diperoleh dari grafik SNI 03-2834-2000. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan.

20. Menghitung Kebutuhan Agregat Kasar

    Kebutuhan agregat kasar dihitung berdasarkan selisih antara total kebutuhan agregat campuran dan kebutuhan agregat halus yang telah diperoleh sebelumnya. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan.

21. Proporsi Campuran Beton pada Kondsi SSD

    Berdasarkan hasil perhitungan mix design, diperoleh proporsi campuran beton pada kondisi *Saturated Surface Dry* (SSD) yang terdiri atas semen, air pencampur, agregat halus, dan agregat kasar dalam satuan kg/m^3. Proporsi campuran tersebut digunakan sebagai acuan dalam pembuatan seluruh benda uji. Pada penelitian ini, komposisi material penyusun beton dibuat tetap, sedangkan variasi yang diberikan hanya pada penggunaan air hujan dengan karakteristik pH yang berbeda sebagai air pencampur. Dengan demikian, pengaruh variasi pH terhadap kuat tekan beton dapat dianalisis tanpa dipengaruhi oleh perubahan komposisi campuran.

22. Koreksi Proporsi Campuran Beton

    Apabila kondisi agregat yang digunakan tidak berada pada keadaan *Saturated Surface Dry* (SSD), maka proporsi campuran beton perlu dikoreksi berdasarkan

kadar air aktual dan nilai penyerapan agregat hasil pengujian laboratorium. Koreksi ini bertujuan agar jumlah air efektif dalam campuran tetap sesuai dengan nilai Faktor Air Semen (FAS) yang telah direncanakan, sehingga mutu beton tetap terjaga.

Pada penelitian ini, koreksi dilakukan terhadap kebutuhan air pencampur, agregat halus, dan agregat kasar berdasarkan hasil pemeriksaan kadar air dan daya serap agregat. Walaupun air pencampur yang digunakan berupa air hujan dengan variasi karakteristik pH, prosedur koreksi campuran tetap mengacu pada ketentuan SNI 03-2834-2000, karena koreksi tersebut dipengaruhi oleh kondisi agregat, bukan oleh jenis air pencampur.

Hasil koreksi yang diperoleh adalah sebagai berikut.

a. Koreksi kebutuhan air

   Kebutuhan air setelah koreksi diperoleh sebesar 174,163 kg/m^3**.**

b. Koreksi agregat halus

   Kebutuhan agregat halus setelah koreksi diperoleh sebesar 645,38 kg/m^3.

c. Koreksi agregat kasar

   Kebutuhan agregat kasar setelah koreksi diperoleh sebesar 1104,235 kg/m^3.

Nilai hasil koreksi tersebut digunakan sebagai dasar dalam proses pencampuran beton di laboratorium sehingga jumlah air efektif tetap sesuai dengan nilai FAS yang direncanakan. Selanjutnya, campuran beton dibuat menggunakan air hujan dari beberapa lokasi dengan karakteristik pH yang berbeda, sehingga pengaruh variasi pH terhadap kuat tekan beton dapat dievaluasi secara akurat.

4.4 Hasil Pengujian Slump

Pengujian *slump* dilakukan untuk mengevaluasi tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) beton segar sebelum campuran dituangkan ke dalam cetakan benda uji. Pemeriksaan ini bertujuan untuk memastikan bahwa campuran beton memiliki konsistensi yang sesuai dengan nilai slump yang telah direncanakan pada tahap mix design, sehingga proses pencampuran, pengangkutan, dan pengecoran dapat berlangsung dengan baik.

Pada penelitian ini, pengujian *slump* dilakukan terhadap seluruh variasi campuran beton yang menggunakan air hujan dengan karakteristik pH yang berbeda sebagai air pencampur, yaitu air hujan pH 5,5, pH 6,3, dan pH 7,0. Meskipun jenis air pencampur berbeda pada setiap variasi, komposisi campuran beton lainnya tetap dibuat sama agar pengaruh perbedaan nilai pH terhadap sifat beton dapat diamati secara lebih akurat.

Pengujian dilakukan menggunakan Kerucut Abrams sesuai dengan ketentuan SNI 1972:2008. Nilai slump yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan nilai slump rencana untuk memastikan bahwa setiap campuran memenuhi tingkat kelecakan yang diharapkan sebelum dilakukan proses pencetakan benda uji.



Gambar 4.4 Pengujian *Slump* Beton Menggunakan Kerucut Abrams

Pada Gambar 4.4 ditunjukkan pelaksanaan pengujian slump pada campuran beton yang menggunakan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur. Pengujian dilakukan dengan menggunakan Kerucut Abrams sesuai prosedur yang tercantum dalam SNI 1972:2008. Campuran beton segar dimasukkan ke dalam cetakan secara bertahap sebanyak tiga lapisan, kemudian setiap lapisan dipadatkan menggunakan batang penusuk sesuai ketentuan standar.

Setelah proses pemadatan selesai, kerucut Abrams diangkat secara perlahan dan tegak lurus sehingga campuran beton mengalami penurunan. Selanjutnya, selisih antara

tinggi cetakan dengan tinggi beton setelah mengalami penurunan diukur untuk memperoleh nilai slump. Pengujian ini dilakukan pada setiap variasi campuran yang menggunakan air hujan dengan pH 5,5, pH 6,3, dan pH 7,0, sehingga dapat diketahui apakah perbedaan karakteristik pH air hujan memengaruhi tingkat kelecakan (workability) beton segar sebelum proses pencetakan benda uji. Hasil pengujian slump disajikan pada Tabel 4.9.

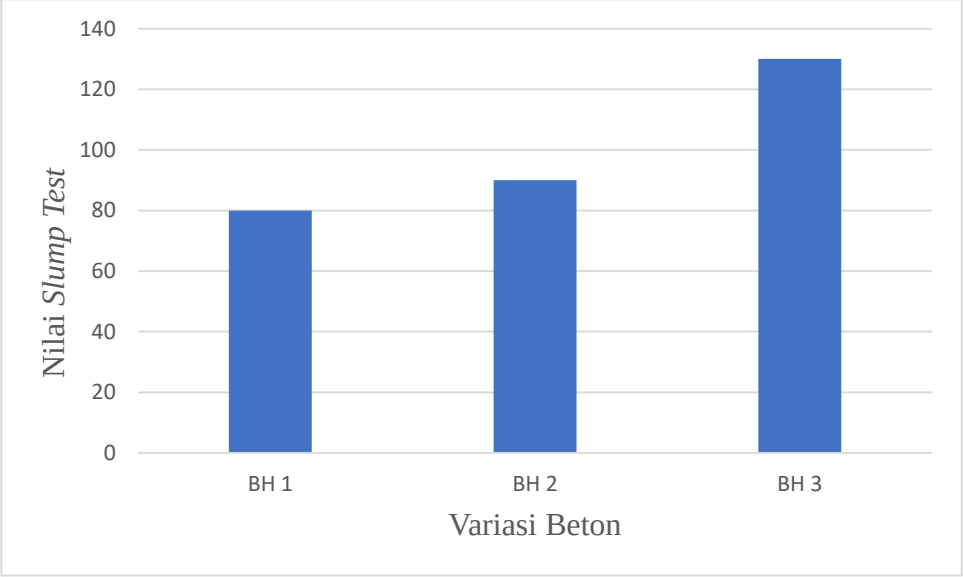
Tabel 4.9 Hasil Pengujian *Slump* Beton

Variasi Air Pencampur	**Nilai Slump (cm)**	**Nilai Slump (mm)**	**Slump Rencana (mm)**	**Keterangan**
Air Hujan pH 5,5	8	80	60–180	Memenuhi
Air Hujan pH 6,3	11	110	60–180	Memenuhi
Air Hujan pH 7,0	9	90	60–180	Memenuhi

Berdasarkan Tabel 4.7, campuran beton yang menggunakan air hujan dengan pH 5,5 menghasilkan nilai slump sebesar 80 mm. Pada campuran beton yang menggunakan air hujan dengan pH 6,3, nilai slump meningkat menjadi 110 mm, sedangkan campuran yang menggunakan air hujan dengan pH 7,0 menghasilkan nilai slump sebesar 90 mm.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh variasi campuran memiliki nilai slump yang masih berada dalam rentang 60–180 mm, sesuai dengan nilai slump yang telah ditetapkan pada tahap mix design. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan air hujan dengan karakteristik pH yang berbeda tidak menyebabkan campuran beton kehilangan tingkat kemudahan pengerjaan (workability). Dengan demikian, seluruh campuran beton masih memenuhi persyaratan kelecakan sehingga proses pengadukan, pengecoran, dan pencetakan benda uji dapat dilakukan dengan baik.

Perbedaan nilai slump yang diperoleh pada setiap variasi menunjukkan bahwa karakteristik pH air hujan memberikan pengaruh terhadap konsistensi beton segar. Namun demikian, pengaruh tersebut masih berada dalam batas yang dapat diterima karena seluruh hasil pengujian tetap memenuhi nilai slump yang disyaratkan dalam perencanaan campuran beton. Oleh karena itu, variasi pH air hujan yang digunakan pada penelitian ini masih layak digunakan sebagai air pencampur beton tanpa mengurangi kemudahan pengerjaan campuran beton segar.



Gambar 4.5 Grafik Hasil Pengujian *Slump* Beton

Berdasarkan Gambar 4.5, nilai *slump* menunjukkan adanya perbedaan pada setiap variasi penggunaan air hujan dengan karakteristik pH yang berbeda sebagai air pencampur beton. Campuran beton yang menggunakan air hujan dengan pH 6,3 menghasilkan nilai slump tertinggi, yaitu 110 mm. Sementara itu, campuran beton dengan air hujan pH 5,5 memiliki nilai slump sebesar 80 mm, dan campuran beton yang menggunakan air hujan pH 7,0 menghasilkan nilai slump sebesar 90 mm.

Meskipun terdapat perbedaan nilai slump pada setiap variasi, seluruh hasil pengujian masih berada dalam rentang slump yang telah ditetapkan pada tahap *mix design*, yaitu 60–180 mm. Hal ini menunjukkan bahwa semua campuran beton

memenuhi persyaratan kelecakan (*workability*) yang diperlukan untuk proses pengadukan, pengecoran, dan pencetakan benda uji.

4.5 Hasil dan Pembahasan Pengujian Kuat Tekan Beton

4.5.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan terhadap benda uji berbentuk silinder berukuran 150 mm × 300 mm pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari menggunakan Compression Testing Machine (CTM) sesuai dengan ketentuan SNI 1974:2011. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur terhadap kuat tekan beton pada setiap umur pengujian.

Sebelum dilakukan pengujian, benda uji dikeluarkan dari bak perawatan (curing) sesuai dengan umur rencana pengujian, yaitu 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Selanjutnya, permukaan benda uji dibersihkan dari sisa air dan kotoran, kemudian ditempatkan pada Compression Testing Machine (CTM) dengan posisi tegak lurus agar beban tekan terdistribusi secara merata. Beban diberikan secara bertahap hingga benda uji mengalami keruntuhan.

Nilai kuat tekan beton dihitung berdasarkan perbandingan antara beban maksimum yang diterima benda uji dengan luas penampang silinder beton, menggunakan persamaan berikut.

$$F'C = \frac{P}{A} \tag{3.8}$$

Keterangan:

F’C = Kuat tekan bteon (MPs)

P = Beban maksimum yang diterima benda uji (N)

A = Luas penampang benda uji (mm^3)

Pada penelitian ini, pengujian dilakukan terhadap seluruh variasi campuran beton yang menggunakan air hujan dengan karakteristik pH 5,5, pH 6,3, dan pH 7,0 sebagai air pencampur. Komposisi material penyusun beton dibuat sama berdasarkan hasil mix design, sehingga perbedaan nilai kuat tekan yang diperoleh pada umur 7 hari,

14 hari, dan 28 hari dapat dianalisis sebagai pengaruh dari perbedaan karakteristik pH air hujan yang digunakan sebagai air pencampur.

Hasil pengujian kuat tekan pada setiap umur selanjutnya dibandingkan untuk mengetahui perkembangan kekuatan beton dari umur awal hingga umur 28 hari, serta untuk mengevaluasi pengaruh variasi karakteristik pH air hujan terhadap pencapaian kuat tekan beton sesuai mutu rencana.

Pengujian dilakukan terhadap benda uji silinder beton berukuran 150 mm × 300 mm pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Sebelum pengujian dimulai, benda uji ditempatkan pada posisi sentris di atas pelat mesin agar beban tekan dapat terdistribusi secara merata ke seluruh permukaan beton. Selanjutnya, pembebanan diberikan secara bertahap hingga benda uji mengalami keruntuhan.

Beban maksimum yang ditunjukkan oleh *Compression Testing Machine* (CTM) dicatat sebagai data utama untuk menghitung nilai kuat tekan beton pada setiap umur pengujian. Pengujian dilakukan pada seluruh variasi campuran beton yang menggunakan air hujan dengan karakteristik pH 5,5, pH 6,3, dan pH 7,0 sebagai air pencampur. Hasil pengujian tersebut kemudian digunakan untuk menganalisis pengaruh perbedaan karakteristik pH air hujan terhadap perkembangan kuat tekan beton pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari.

Tabel 4.10 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Umur Beton (Hari)	**Beton Normal (MPa)**	**Lokasi 1 (pH 5,5) (MPa)**	**Lokasi 2 (pH 6,3) (MPa)**	**Lokasi 3 (pH 7,0) (MPa)**
7	22	15	14	20
14	22	16	19	21
28	22	16	23	33

Data rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari untuk setiap variasi air pencampur ditampilkan pada Tabel 4.10. Pengujian

dilakukan terhadap beton yang menggunakan beton normal sebagai pembanding serta beton yang menggunakan air hujan dari tiga lokasi dengan karakteristik pH yang berbeda sebagai air pencampur.

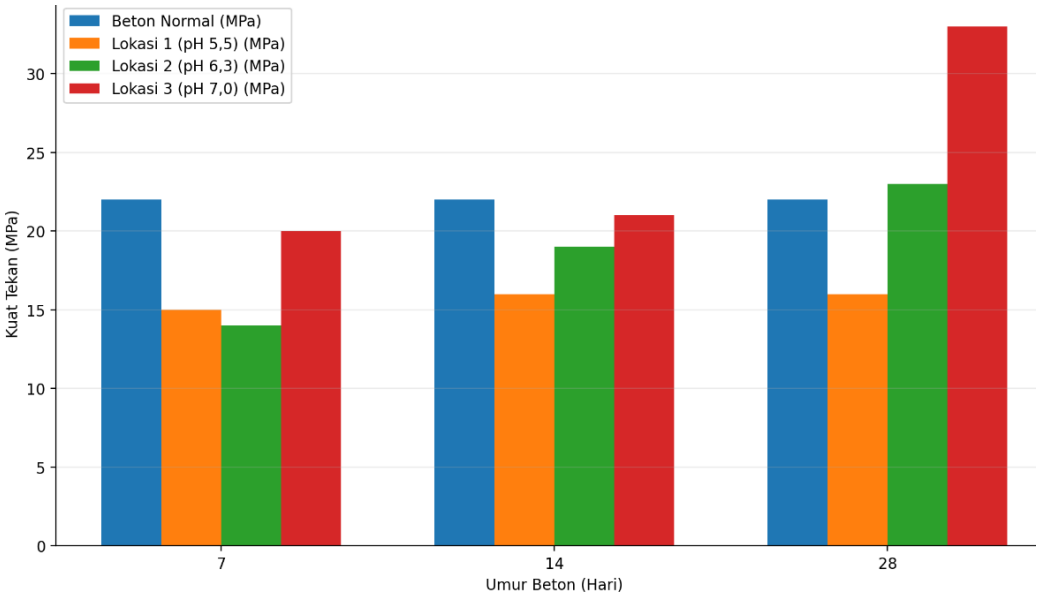
Berdasarkan hasil pengujian, beton normal memiliki kuat tekan sebesar 22 MPa. Pada beton yang menggunakan air hujan dari Lokasi 1 (pH 5,5), kuat tekan yang diperoleh berturut-turut sebesar 15 MPa pada umur 7 hari, 16 MPa pada umur 14 hari, dan tetap 16 MPa pada umur 28 hari.

Beton yang menggunakan air hujan dari Lokasi 2 (pH 6,3) menunjukkan peningkatan kuat tekan dari 14 MPa pada umur 7 hari menjadi 19 MPa pada umur 14 hari, kemudian meningkat lagi menjadi 23 MPa pada umur 28 hari.

Sementara itu, beton yang menggunakan air hujan dari Lokasi 3 (pH 7,0) menghasilkan nilai kuat tekan tertinggi dibandingkan variasi lainnya, yaitu 20 MPa pada umur 7 hari, 21 MPa pada umur 14 hari, dan meningkat signifikan menjadi 33 MPa pada umur 28 hari.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan air hujan dengan karakteristik pH yang berbeda memberikan pengaruh terhadap perkembangan kuat tekan beton. Di antara seluruh variasi yang diuji, air hujan dari Lokasi 3 (pH 7,0) menghasilkan kuat tekan paling tinggi pada umur 28 hari, bahkan melampaui kuat tekan beton normal. Sebaliknya, penggunaan air hujan dari Lokasi 1 (pH 5,5) menghasilkan kuat tekan paling rendah. Hal ini menunjukkan bahwa air hujan dengan pH yang mendekati netral memberikan kondisi yang lebih baik bagi proses hidrasi semen sehingga perkembangan kuat tekan beton menjadi lebih optimal. Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa karakteristik pH air hujan sebagai air pencampur merupakan salah satu faktor yang dapat memengaruhi mutu beton yang dihasilkan.

Selanjutnya, hubungan antara variasi campuran air hujan dari 3 lokasi berbeda di umur peguian 7, 14, 28 hari terhadap kuat tekan beton dan persentase penurunan kuat tekan ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Kuat Tekan Beton

4.5.2 Pembahasan Hasil Pengujian Kuat Beton

Berdasarkan Tabel 4.10 dan Gambar 4.6, terlihat bahwa penggunaan air hujan dengan karakteristik pH yang berbeda sebagai air pencampur memberikan pengaruh terhadap kuat tekan beton pada umur 28 hari. Beton normal sebagai campuran pembanding menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 22 MPa, sehingga telah memenuhi bahkan sedikit melampaui mutu beton rencana sebesar 20 MPa.

Beton yang menggunakan air hujan dari Lokasi 1 (pH 5,5) menghasilkan kuat tekan rata-rata sebesar 16 MPa. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan beton normal dengan persentase penurunan sebesar 27,27%. Sementara itu, beton yang menggunakan air hujan dari Lokasi 2 (pH 6,3) menghasilkan kuat tekan sebesar 23 MPa, atau meningkat sekitar 4,55% dibandingkan beton normal. Nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada beton yang menggunakan air hujan dari Lokasi 3 (pH 7,0), yaitu sebesar 33 MPa, sehingga mengalami peningkatan sebesar 50,00% dibandingkan beton normal.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa karakteristik pH air hujan berpengaruh terhadap perkembangan kuat tekan beton. Air hujan dengan pH 5,5 yang bersifat lebih asam menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah. Kondisi ini diduga disebabkan oleh

tingkat keasaman air yang dapat memengaruhi proses hidrasi semen, sehingga pembentukan senyawa Calcium Silicate Hydrate (C-S-H) sebagai komponen utama penyusun kekuatan beton berlangsung kurang optimal.

Sebaliknya, penggunaan air hujan dengan pH 6,3 menunjukkan peningkatan kuat tekan yang relatif kecil dibandingkan beton normal. Hal ini mengindikasikan bahwa air hujan dengan tingkat keasaman yang lebih rendah masih mampu mendukung proses hidrasi semen secara baik sehingga mutu beton tetap terjaga.

Kuat tekan tertinggi diperoleh pada penggunaan air hujan dari Lokasi 3 dengan pH 7,0, yang memiliki karakteristik mendekati netral. Kondisi tersebut memberikan lingkungan yang lebih baik bagi reaksi hidrasi semen sehingga pembentukan gel Calcium Silicate Hydrate (C-S-H) berlangsung lebih optimal. Akibatnya, ikatan antara pasta semen dan agregat menjadi lebih kuat sehingga beton mampu menahan beban tekan yang lebih besar dibandingkan variasi lainnya.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin mendekati kondisi netral nilai pH air hujan yang digunakan sebagai air pencampur, semakin tinggi kuat tekan beton yang dihasilkan. Sebaliknya, penggunaan air hujan dengan pH yang lebih rendah (lebih asam) cenderung menurunkan kuat tekan beton. Dengan demikian, karakteristik pH air hujan merupakan salah satu faktor yang memengaruhi mutu beton, terutama terhadap perkembangan kuat tekan pada umur 28 hari.

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa beton normal, beton dengan air hujan Lokasi 2 (pH 6,3), dan beton dengan air hujan Lokasi 3 (pH 7,0) telah memenuhi mutu rencana 20 MPa, sedangkan beton dengan air hujan Lokasi 1 (pH 5,5) belum mencapai mutu yang direncanakan. Oleh karena itu, penggunaan air hujan sebagai air pencampur beton sebaiknya mempertimbangkan karakteristik pH air yang digunakan, karena semakin mendekati kondisi netral maka mutu beton yang dihasilkan cenderung semakin baik.

Hubungan Pengaruh Penambahan Air Hujan terhadap Karakteristik Beton Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur memberikan pengaruh terhadap perkembangan kuat tekan beton pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Perbedaan nilai

kuat tekan yang diperoleh pada setiap variasi menunjukkan bahwa karakteristik pH air hujan memengaruhi proses hidrasi semen yang berpengaruh terhadap mutu beton. Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton disajikan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hubungan Pengaruh Penggunaan Air Hujan dengan Variasi Karakteristik pH Terhadap Kuat Tekan Beton

Variasi Air Pencampur	**pH Air Hujan**	**Kuat Tekan 7 Hari (MPa)**	**Kuat Tekan 14 Hari (MPa)**	**Kuat Tekan 28 Hari (MPa)**
Beton Normal	-	-	-	22
Lokasi 1	5,5	15	16	16
Lokasi 2	6,3	14	19	23
Lokasi 3	7,0	20	21	33

Berdasarkan Tabel 4.11, terlihat bahwa penggunaan air hujan dengan karakteristik pH yang berbeda memberikan pengaruh terhadap kuat tekan beton pada setiap umur pengujian. Pada umur 7 hari, beton yang menggunakan air hujan dari Lokasi 1 (pH 5,5) menghasilkan kuat tekan sebesar 15 MPa, Lokasi 2 (pH 6,3) sebesar 14 MPa, sedangkan Lokasi 3 (pH 7,0) menghasilkan kuat tekan tertinggi, yaitu 20 MPa.

Pada umur 14 hari, kuat tekan beton mengalami peningkatan pada seluruh variasi campuran. Beton dengan air hujan dari Lokasi 1 mencapai 16 MPa, Lokasi 2 sebesar 19 MPa, dan Lokasi 3 sebesar 21 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa proses hidrasi semen terus berlangsung sehingga kemampuan beton dalam menahan beban tekan semakin meningkat.

Pengujian pada umur 28 hari menunjukkan hasil yang lebih jelas. Beton normal sebagai campuran pembanding menghasilkan kuat tekan sebesar 22 MPa. Beton yang menggunakan air hujan dari Lokasi 1 (pH 5,5) hanya mencapai 16 MPa, sehingga belum memenuhi mutu rencana sebesar 20 MPa. Sebaliknya, beton yang menggunakan air hujan dari Lokasi 2 (pH 6,3) menghasilkan kuat tekan sebesar 23 MPa, sedangkan

beton dengan air hujan dari Lokasi 3 (pH 7,0) memperoleh kuat tekan tertinggi, yaitu 33 MPa.

Perbedaan hasil tersebut menunjukkan bahwa karakteristik pH air hujan berpengaruh terhadap perkembangan kuat tekan beton. Air hujan dengan pH 5,5 yang bersifat lebih asam diduga memengaruhi proses hidrasi semen sehingga pembentukan senyawa Calcium Silicate Hydrate (C-S-H) sebagai komponen utama penyusun kekuatan beton berlangsung kurang optimal. Akibatnya, perkembangan kuat tekan beton menjadi lebih rendah dibandingkan variasi lainnya.

Sebaliknya, penggunaan air hujan dengan pH 6,3 dan terutama pH 7,0 memberikan hasil kuat tekan yang lebih tinggi. Air hujan dengan pH yang mendekati netral menciptakan kondisi yang lebih baik bagi berlangsungnya reaksi hidrasi semen sehingga pembentukan gel C-S-H menjadi lebih optimal. Hal tersebut menghasilkan ikatan yang lebih kuat antara pasta semen dan agregat, sehingga beton memiliki kemampuan menahan beban tekan yang lebih besar.

Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin mendekati kondisi netral nilai pH air hujan yang digunakan sebagai air pencampur, semakin tinggi kuat tekan beton yang dihasilkan. Dari seluruh variasi yang diuji, penggunaan air hujan dari Lokasi 3 (pH 7,0) memberikan hasil terbaik dengan kuat tekan 33 MPa pada umur 28 hari, sedangkan penggunaan air hujan dari Lokasi 1 (pH 5,5) menghasilkan kuat tekan terendah. Dengan demikian, karakteristik pH air hujan merupakan salah satu faktor yang memengaruhi mutu beton dan perlu diperhatikan apabila air hujan dimanfaatkan sebagai air pencampur dalam pembuatan beton.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh penggunaan air hujan dengan variasi karakteristik pH sebagai air pencampur terhadap kuat tekan beton, maka dapat dismpulkan sebagai berikut:

1. Penggunaan air hujan dengan karakteristik pH yang berbeda sebagai air pencampur memberikan pengaruh terhadap perkembangan kuat tekan beton pada umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari. Semakin mendekati kondisi netral nilai pH air hujan yang digunakan, semakin baik perkembangan kuat tekan beton yang dihasilkan. Pada umur 7 hari, beton yang menggunakan air hujan di lokasi 1 (pH 5,5) menghasilkan kuat tekan sebesar 15 Mpa, lokasi 2 (pH 6,3) sebesar 14 Mpa, sedangkan lokasi 3(pH 7,0) menghasilkan kuat tekan sebesar 20 Mpa. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan air hujan dengan pH mendekati netral memberikan perkembangan kuat tekan awal yang lebih baik.
2. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa karakteristik pH air hujan berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Air hujan dengan pH mendekati netral (pH 7,0) memberikan hasil kuat tekan yang paling tinggi karena mampu mendukung proses hidrasi semen secara lebih optimal. Sebaliknya, pengunaan air hujan dengan pH yang lebih asam (pH 5,) menghasilkan kuat tekan yang lebih rendah sehingga kurang direkomendasikan sebagai air pencampur beton apabila digunakan tanpa perlakuan terlebih dahulu.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut.

1. Pengambikan sampel air hujan sebaiknya dilakukan dari lebih banyak lokasi dengan kondisi lingkungan yang berbeda, seperti kawasan industri, perkotaan, pesisir, dan pedesaan. Dengan demikian, pengaruh kualitas air hujan terhadap mutu beton dapat dianalisis secara lebih komprehensif.
2. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan pengujian kuat tekan pada umur beton yang lebih beragam, misalnya 3 hari, 7 hari, 14 hari, 28 hari, 56 hari, dan 90 hari, sehingga perkembangan kuat tekan beton dapat diamati secara lebih lengkap.
3. Selain pengujian kuat tekan, penelitian berikutnya juga dapat menambahkan pengujian sifat beton lainnya, seperti kuat tarik belah, kuat lentur, modulus elastisitas, porositas, daya serap air, dan uji durabilitas, sehingga pengaruh penggunaan air hujan terhadap karakteristik beton dapat diketahui secara lebih menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional. 1990. SNI 03-1972-1990: Metode Pengujian Slump Beton. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. 1990. SNI 03-1974-1990: Metode Pengujian Kuat Tekan Beton. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

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

Badan Standardisasi Nasional. 2000. SNI 03-2834-2000: Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

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

Badan Standardisasi Nasional. 2011. SNI 2493:2011: Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Hamri, Amar Ma'ruf, Erniati Bachtiar, Popy Indrayani, dan Arbain Tata. 2021. "Pengaruh Hujan Asam terhadap Kuat Tekan dan Pola Retak Beton Mutu Tinggi yang Menggunakan Fly Ash sebagai Subtitusi Pasir." Jurnal SIPILsains, 11(2), 103–112. https://doi.org/10.33387/sipilsains.v11i2.3724.

Hayani, Nur, Mustakim, dan Misbahuddin. 2024. "Pengaruh Penggunaan Air Hujan terhadap Performa Kuat Tekan Beton." Journal of Scientech Research and Development, 6(1), 1738–1753. https://doi.org/10.56670/jsrd.v6i1.478.

Kamil, Muh. Firdaus, M. Agung Hadi P., Hanafi Ashad, Arsyad Fadhil, dan Syarif M. B. 2022. "Pengaruh Penggunaan Solutan (Air Pencampur) Berbagai Sumber terhadap Sifat-Sifat Mekanik Beton." Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil, 4(1), 14–16.

Meidiani, Srikirana, dan Muhammad Farsyah Septa Hartawan. 2017. "Penggunaan Variasi pH Air (Asam) pada Kuat Tekan Beton Normal F'c 25 MPa."

BENTANG: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil, 5(2), 127–134. https://doi.org/10.33558/bentang.v5i2.157.

Mukhtar, Rita, Retno Puji Lestari, Ricky Nelson, Bambang Hindratmo, Muharam Syam Nugraha, dan Amallia Dainah. 2022. “Studi Awal Sumber Deposisi Basah di Serpong, Jakarta, dan Kotatabang Menggunakan Model PMF.” Jurnal Ecolab, 16(1), 39–50. https://doi.org/10.20886/jklh.2022.16.1.39-50.

Raymond, Alphario, Apria Brita Pandohop Gawei, Okta Meilawaty, Fransisco Happy Riadi Haputra Baru, dan Stephanus Alexsander. 2025. “Uji Kuat Tekan Beton dengan Campuran Air Asam dari Daerah Gambut.” Jurnal Serambi Engineering, 10(3), 13891–13897.

Suhardin, Safrin, Muh. Sayfullah, dan Syamsul Bahri Bahar. 2021. “Perbandingan Kekuatan Mutu Beton Biasa dan Beton Campuran Air Hujan.” SCEJ (Shell Civil Engineering Journal), 6(1). https://doi.org/10.35326/scej.v6i1.3363.

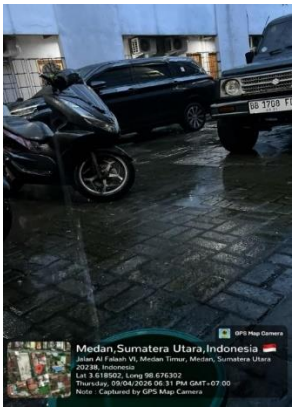
Tizia, Hagus, Monita Olivia, dan Edy Saputra. 2020. “Kuat Tekan dan Porositas Beton Menggunakan Air Gambut dan Kapur Tohor untuk Konstruksi di Lingkungan Gambut.” Jurnal Teknik, 14(1), 61–68. https://doi.org/10.31849/teknik.v14i1.3894.

LAMPIRAN

Gambar L 1. Proses Pengambilan Sampel Air Hujan dari Lokasi Penelitian



Lokasi 1 industri



Lokasi 2 Perkotaan



Lokasi 3 Pedesaan

Gambar L 2**.** Proses Pengukuran Nilai pH Air Hujan



Sampel pH Air Hujan Lokasi 1 Industri



Sampel pH Air Huja Lokasi 2 Perkotaan



Sampel pH Air Hujan Lokasi 3 Pendesaan

Gambar L 3. Material yang Digunakan dalam Pembuatan Beton



Gambar L 4. Proses Pengujian Berat Jenis



Gambar L 5. Proses Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus



Gambar L 6. Proses Pengujian Analisis Saringan Agregat Kasar



Gambar L 7. Proses Penimbangan Material Beton Sesuai Hasil *Mix Design*



Gambar L 8. Proses Pencampuran Material Beton dengan Air Hujan



Gambar L.9 Proses Pengukuran Nilai *Slump* Beton Segar



Gambar L.10 Hasil Pengujian *Slump* Beton



Gambar L 11. Proses Pencetakan Benda Uji Beton Silinder



Gambar L.12 Benda Uji Beton Silinder Setelah Pencetakan



Gambar L 13. Proses Perawatan (Curing) Benda Uji Beton



Gambar L 14. Benda Uji Beton sebelum Oengujian Kuat Tekan



Gambar L 15. Proses Penimbangan Benda Uji Beton Silinder



Gambar L 16. Proses Pengovenen untuk Pengujian Kadar Air



Gambar L 17. Proses Pengujian Kuat Tekan beton Umur 7 Hari



Gambar L 18. Proses Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 14 Hari



Gambar L 19. Proses Pengujian Kuat Tekan Beton Umur 28 Hari



Gambar L 20. Benda Uji beton Setelah Pengujian Kuat Tekan



Gambar L 21. *Compression Testing Machine* (CTM) yang digunakan dalam Pengujian


MPa

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA IDENTITAS DIRI

Nama Lengkap	: Rahmat Humala Putra Hasibuan
Tempat, Tanggal Lahir	: Pasar Sayur Matinggi, 22 Februari 2003
Jenis Kelamin	: Laki-laki
Agama	: Islam
Alamat	: Jl. Nuri, No. 17, Bakaran Batu, Rantau Selatan, Labuhan Batu, Sumatera Utara
Nomor Hp	: +62 888-0207-9229
Nama Ayah	: Lusga Warman Hasibuan
Nama Ibu	: Leha
E-mail	: rahmathumalaputrahasibuan@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

NIM	: 2207210074
Program Studi	: Teknik Sipil
Fakultas	: Teknik
Perguran Tinggi	: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi	: Jl. Kapten Muchtar Basri, No. 3, Medan, 20238

PENDIDIKAN FORMAL

Sekolah Dasar	: SDN 116874 Bakaran Batu	2009-2015
Sekolah Menengah Pertama	: SMP Negeri 1 Rantau Selatan	2015-2018
Sekolah Menengah Atas	: SMA Negeri 1 Rantau Selatan	2018-2021