

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PASIR SILIKA SEBAGAI PENGANTI
AGREGAT HALUS TERHADAP SIFAT-SIFAT
TEKNIS BETON**

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh:

Nuril Wafa Ahmad

NIM: 30202100168

Muhammad Azri Shaputra

NIM: 30202100256

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PASIR SILIKA SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT HALUS TERHADAP SIFAT-SIFAT TEKNIS BETON



Nuril Wafa Ahmad
NIM: 30202100168



Muhammad Azri Shaputra
NIM: 30202100256

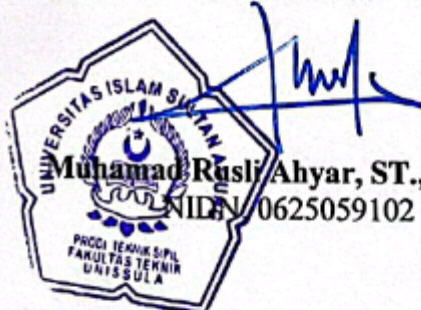
Telah disetujui dan disahkan di Semarang,

2025

Tim Penguji

1. **Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D.**
NIDN: 0611118903
2. **Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.**
NIDN: 0625059102

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 42 / A.2 / SA - T / X / 2024

Pada hari ini tanggal 07 Oktober 2024 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D.
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Nuril Wafa Ahmad
NIM: 30202100168

Muhammad Azri Shaputra
NIM: 30202100256

Judul: Pengaruh Pasir Silika Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Sifat-Sifat Teknis Beton

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	07/10/2024	ACC
2	Seminar Proposal	04/12/2024	ACC
3	Pengumpulan data	05/12/2024	ACC
4	Analisis data	11/12/2024	ACC
5	Penyusunan laporan	14/12/2024	ACC
6	Selesai laporan	14/01/2025	ACC

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan

Dosen Pembimbing Utama

Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D. ✓

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Kami yang bertanda tangan di bawah ini:

1. NAMA : Nuril Wafa Ahmad
NIM : 30202100168
2. NAMA : Muhammad Azri Shaputra
NIM : 30202100256

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul:
**PENGARUH PASIR SILIKA SEBAGAI PENGANTI AGREGAT HALUS
TERHADAP SIFAT-SIFAT TEKNIS BETON**

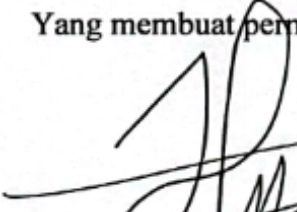
Benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka kami bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini kami buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, __/__/__

Yang membuat pernyataan 1

Yang membuat pernyataan 2


Nuril Wafa Ahmad
NIM: 30202100168




Muhammad Azri Shaputra
NIM: 30202100256

PERNYATAAN KEASLIAN

Kami yang bertanda tangan dibawah ini:

1. NAMA : Nuril Wafa Ahmad
NIM : 30202100168
2. NAMA : Muhammad Azri Shaputra
NIM : 30202100256

JUDUL TUGAS AKHIR: PENGARUH PASIR SILIKA SEBAGAI PENGANTI AGREGAT HALUS TERHADAP SIFAT-SIFAT TEKNIS BETON

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli kami sendiri. Kami tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijasah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka kami bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini kami buat.

Semarang, __/__/__

Yang membuat pernyataan 1

Yang membuat pernyataan 2

Nuril Wafa Ahmad
NIM: 30202100168



Muhammad Azri Shaputra
NIM: 30202100256

MOTTO

“Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik.” - QS. Ali 'Imran 3: Ayat 110

“Cukuplah Allah menjadi Penolong kami dan Allah adalah sebaik-baiknya Pelindung” - Q.S. Al Imran : 73

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum, sebelum mereka mengubah diri mereka sendiri” – QS Ar Rad : 11

“Barang siapa keluar untuk mencari sebuah ilmu, maka ia akan berada di jalan Allah hingga ia kembali”. - Ali bin Abi Thalib

“Menuntut ilmu adalah takwa. Menyampaikan ilmu adalah ibadah. Mengulang-ulang ilmu adalah zikir. Mencari ilmu adalah jihad” – Abu Hamid Al Ghazali

“Pengetahuan tanpa tindakan adalah sia-sia dan tindakan tanpa pengetahuan adalah kegilaan” – Abu Hamid Al Ghazali

“Angin tidak berhembus untuk menggoyangkan pepohonan, melainkan menguji kekuatan akarnya” – Ali bin Abi Thalib

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan” – QS Al Insyirah : 5

“Hatiku tenang karena mengetahui bahwa apa yang melewatkanmu tidak akan pernah menjadi takdirku. Dan apa yang ditakdirkan untukku, takkan melewatkanmu” Umar bin Khattab.

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, kita memuji-Nya dan meminta pertolongan, pengampunan serta petunjuk kepada-Nya. Saya persembahkan laporan skripsi ini kepada:

1. Kedua orang tua saya yang saya cintai, dan banggakan Bapak Busro dan Ibu Rohmah Hidayah, yang senantiasa memberikan doa, dukungan, kasih sayang, serta motivasi baik secara moril maupun materil.
2. Adikku tersayang, Binnushroti Jazila Al-Arofa, yang memberikan dukungan serta semangat agar terus menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Partner Skripsi saya sekaligus sahabat saya, Muhammad Azri Shaputra, yang selalu menemani dan memahami kondisi saya, terimakasih selalu ada dan mendukung saya.
5. Asisten Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Mas Kaisar dan juga teman-teman yang sudah membantu dalam melaksanakan penelitian ini.
6. Zahra Ridhatillah Salsabil, yang selalu menjadi tempat keluh kesah saya dan selalu memberikan dukungan, motivasi, pengingat dan menemani saya hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
7. Daffa, Hanif, Kondang, Kafid, Marchel dan Teman-teman Fakultas Teknik Sipil Unissula Angkatan 2021 yang turut memberikan semangat.
8. Terakhir, untuk diri saya sendiri, Nuril Wafa Ahmad terimakasih sudah berjuang sejauh ini dan mampu mengendalikan diri dari tekanan diluar keadaan dalam proses skripsi ini dan menyelesaikannya dengan baik.

Nuril Wafa Ahmad

30202100168

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, kita memuji-Nya dan meminta pertolongan, pengampunan serta petunjuk kepada-Nya. Saya persembahkan laporan skripsi ini kepada:

1. Orang Tua saya Bapak Kasni dan Ibu Ervina Siagian yang selalu memberikan ketenangan, kenyamanan, motivasi, doa terbaik, dan menyisihkan finansialnya, sehingga saya bisa menyelesaikan masa studi saya.
2. Adik saya, Muhammad Dhaivan Yasir dan Shafika Intan Kirani yang senantiasa memberikan dukungan, semangat, senyum dan doanya untuk keberhasilan ini.
3. Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D., sebagai pembimbing, penguji dan pengajar, yang selama ini telah tulus dan ikhlas meluangkan waktunya untuk menuntun dan mengarahkan saya, memberikan bimbingan dan pelajaran yang tiada ternilai harganya, agar saya menjadi lebih baik.
4. Partner Tugas Akhir sekaligus sahabat saya, Nuril Wafa Ahmad, yang selalu menemani dan memahami kondisi saya, terima kasih selalu ada dan mendukung saya.
5. Asisten Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Mas Kaisar dan juga teman-teman yang sudah membantu dalam melaksanakan penelitian ini.
6. Pasangan saya, Vieka Halwa Daniya yang telah menemani dan menjadi penyemangat saya serta sumber dukungan selama proses dalam penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman saya Tim SSC yang telah memberi dukungan penuh dan sebagai tempat untuk mendengarkan keluh kesah saya selama ini serta Teman-teman Fakultas Teknik Sipil Unissula Angkatan 2021 yang turut memberikan semangat.
8. Terakhir, untuk diri saya sendiri, Muhammad Azri Shaputra terima kasih sudah berjuang dan bertahan sampai titik ini sehingga dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini sampai selesai.

Muhammad Azri Shaputra

30202100256

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb,

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Pengaruh Pasir Silika Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Sifat-Sifat Teknis Beton” guna untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Prpgram Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini penulis memperoleh bantuan dari beberapa pihak, dalam kesempatan kali ini kami ucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST.,M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST.,M.Eng. selaku Ketua Program Studi Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah membantu dalam urusan akademik.
3. Bapak Ir. H. Prabowo Setiyawan, M.T., Ph.D. selaku Dosen Pendamping yang selalu memberikan waktu dalam memberikan bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Seluruh Dosen Program Studi Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan wawasan ilmu pengetahuan kepada penulis selama menempuh Program Studi S-1 Teknik Sipil.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat baik bagi penulis maupun para pembaca.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Semarang, November 2024

Penulis

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
ABSTRAK.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Sistematika Laporan.....	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 5
2.1. Beton.....	5
2.2. Bahan-Bahan Penyusun Beton.....	6
2.2.1. Semen <i>Portland</i>	6
2.2.2. Agregat.....	6
2.2.2.1. Agregat Kasar	7
2.2.2.2. Agregat Halus	7
2.2.3. Air	8

2.3.	Sifat-sifat Beton	9
2.3.1.	Beton Segar	9
2.3.2.	Beton Keras.....	10
2.4.	<i>Super Plastycizer</i>	14
2.5.	Pasir Silika	14
2.6.	Penelitian Terdahulu	15

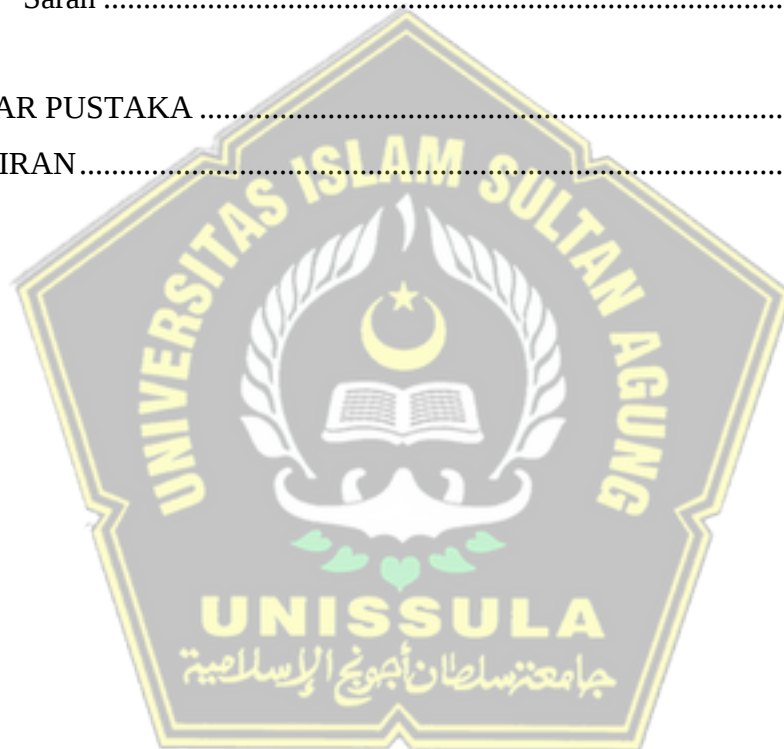
BAB III METODE PENELITIAN..... 17

3.1.	Persiapan	17
3.2.	Bahan-Bahan.....	17
3.3.	Peralatan Yang Digunakan	20
3.4.	Pemeriksaan Bahan.....	25
3.4.1.	Agregat Halus	25
3.4.2.	Agregat Kasar (Split)	28
3.5.	Rencana Campuran Beton (<i>Job Mix Design</i>).....	30
3.6.	Pembuatan Benda Uji Silinder.....	33
3.7.	<i>Slump Test</i>	34
3.8.	Perawatan Beton (<i>Curing</i>)	35
3.9.	Pengukuran Berat Volume	35
3.10.	Uji Kuat Tekan Beton	36
3.11.	Uji Kuat Tarik Belah Beton	37
3.12.	Bagan Alir.....	37

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 39

4.1.	Berat Volume Agregat	39
4.2.	Kadar Lumpur	50
4.3.	Kadar Air	60
4.4.	Analisa Saringan	65
4.5.	<i>Slump Test</i>	73

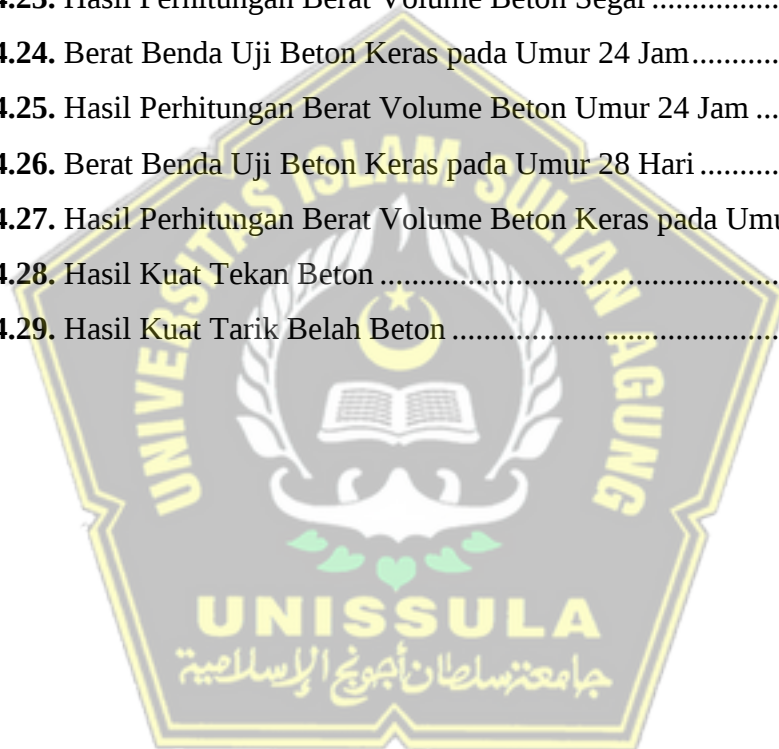
4.6.	Berat Volume Beton	74
4.6.1.	Berat Volume Beton Segar	75
4.6.2.	Berat Volume Beton Keras Umur 24 Jam	78
4.6.3.	Berat Volume Beton Keras pada Umur 28 Hari	81
4.7.	Kuat Tekan Beton	84
4.8.	Kuat Tarik Belah Beton	86
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		88
5.1.	Kesimpulan	88
5.2.	Saran	88
DAFTAR PUSTAKA		xix
LAMPIRAN.....		xixi



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Bahan Campuran Beton K-175 per m ³ berdasarkan SNI 7394-2008..	30
Tabel 3.2. Bahan Penyusun Beton dengan Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus Sebanyak 0% untuk 1 m ³	31
Tabel 3.3. Bahan Penyusun Beton dengan Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus Sebanyak 25% untuk 1 m ³	32
Tabel 3.4. Bahan Penyusun Beton dengan Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus Sebanyak 50% untuk 1 m ³	32
Tabel 3.5. Bahan Penyusun Beton dengan Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus Sebanyak 75% untuk 1 m ³	32
Tabel 3. 6. Bahan Penyusun Beton dengan Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus Sebanyak 100% untuk 1 m ³	33
Tabel 4.1. Hasil Perhitungan Nilai Berat Volume Pasir Muntilan dengan Cara Lepas (Tanpa Pemadatan).....	40
Tabel 4.2. Hasil Perhitugan Nilai Berat Volume Agregat Halus (Pasir Muntilan) dengan Cara Pemadatan.....	41
Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Nilai Berat Volume Pasir Silika dengan Cara Lepas (Tanpa Pemadatan)	43
Tabel 4.4. Hasil Perhitungan Nilai Berat Volume Pasir Silika dengan Cara Pemadatan.....	44
Tabel 4.5. Hasil Perhitungan Berat Volume Split dengan Cara Lepas (Tanpa Pemadatan)	47
Tabel 4.6. Hasil Perhitungan Berat Volume Agregat Kasar (Split) dengan Cara Pemadatan.....	48
Tabel 4. 7. Kadar Lumpur Pasir Muntilan dengan Cara Endapan	51
Tabel 4.8. Pemeriksaan Kadar Lumpur Pasir Muntilan dengan Cara Pencucian.	52
Tabel 4.9. Pemeriksaan Kadar Lumpur Pasir Silika dengan Cara Endapan	54
Tabel 4.10. Pemeriksaan Kadar Lumpur Pasir Silika dengan Cara Pencucian	56
Tabel 4.11. Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar dengan Cara Pencucian	58
Tabel 4.12. Nilai Kadar Air Pasir Muntilan	61
Tabel 4.13. Nilai Kadar Air Pasir Silika	62

Tabel 4.14. Nilai Kadar Air Split	64
Tabel 4.15. Data Analisa Saringan Pasir Muntitan	65
Tabel 4.16. Hasil Perhitungan Analisa Saringan Pasir Muntitan	67
Tabel 4.17. Data Analisa Saringan Pasir Silika.....	68
Tabel 4.18. Hasil Perhitungan Analisa Saringan Pasir Silika	69
Tabel 4.19. Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar (Split).....	70
Tabel 4.20. Hasil Perhitungan Analisa Saringan Agregat Kasar (Split)	72
Tabel 4.21. <i>Slump Test</i>	73
Tabel 4.22. Berat Benda Uji Beton Segar	75
Tabel 4.23. Hasil Perhitungan Berat Volume Beton Segar	76
Tabel 4.24. Berat Benda Uji Beton Keras pada Umur 24 Jam.....	78
Tabel 4.25. Hasil Perhitungan Berat Volume Beton Umur 24 Jam	79
Tabel 4.26. Berat Benda Uji Beton Keras pada Umur 28 Hari	81
Tabel 4.27. Hasil Perhitungan Berat Volume Beton Keras pada Umur 28 Hari..	82
Tabel 4.28. Hasil Kuat Tekan Beton	84
Tabel 4.29. Hasil Kuat Tarik Belah Beton	86



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Semen <i>Portland</i>	17
Gambar 3.2. Pasir Muntilan.....	18
Gambar 3.3. Split.....	18
Gambar 3.4. Air	19
Gambar 3.5. <i>Super Plastycizer</i>	19
Gambar 3.6. Pasir Silika	20
Gambar 3.7. Timbangan	20
Gambar 3.8. Saringan	21
Gambar 3.9. Cawan	21
Gambar 3.10. Oven.....	22
Gambar 3.11. <i>Concrete Mixer</i>	22
Gambar 3.12. Cetakan Silinder.....	23
Gambar 3.13. Bak Perendam Beton	23
Gambar 3.14. <i>Compression Testing</i>	24
Gambar 3.15. Alat Uji Kuat Tarik Belah.....	24
Gambar 3.16. <i>Slump Test</i>	34
Gambar 3.17. <i>Curing</i>	35
Gambar 3.18. Uji Kuat Tarik Belah Beton.....	37
Gambar 3.19. Bagan Alir Penelitian.....	38
Gambar 4.1. Berat Volume Agregat Halus (Pasir Muntilan)	42
Gambar 4.2. Berat Volume Pasir Silika	45
Gambar 4.3. Grafik Hasil Perhitungan Berat Volume Agregat Halus (Pasir Muntilan dan Pasir Silika).....	45
Gambar 4.4. Berat Volume Agregat Kasar (Split)	49
Gambar 4.5. Grafik Hasil Perhitungan Berat Volume Agregat Kasar (Split)	49
Gambar 4.6. Kadar Lumpur Agregat Halus Cara Endapan.....	51
Gambar 4.7. Kadar Lumpur Agregat Halus Cara Pencucian	53
Gambar 4.8. Kadar Lumpur Pasir Silika Cara Endapan.....	54
Gambar 4.9. Kadar Lumpur Pasir Silika Cara Pencucian	56
Gambar 4.10. Kadar Lumpur Agregat Kasar Cara Pencucian	58

Gambar 4.11. Grafik Nilai Kadar Lumpur Agregat	59
Gambar 4.12. Grafik Perhitungan Nilai Kadar Air Agregat.....	64
Gambar 4.13. Pemeriksaan Kadar Air Agregat.....	65
Gambar 4.14. Grafik Hasil Perhitungan Analisa Saringan Agregat Halus (Pasir Muntilan)	67
Gambar 4.15. Grafik Hasil Perhitungan Analisa Saringan Pasir Silika	70
Gambar 4.16. Grafik Hasil PerhitunganAnalisa Saringan Agregat Kasar (Split) 72	
Gambar 4.17. Analisa Saringan Agregat	73
Gambar 4.18. Grafik <i>Slump Test</i>	74
Gambar 4.19. <i>Slump Test</i>	74
Gambar 4.20. Grafik Berat Volume Beton Segar.....	77
Gambar 4.21. Penimbangan Beton Segar	78
Gambar 4.22. Grafik Berat Volume Beton Keras pada Umur 24 jam.....	80
Gambar 4.23. Penimbangan Beton Keras pada Umur 24 Jam	81
Gambar 4.24. Grafik Berat Volume Beton Keras pada Umur 28 Hari	83
Gambar 4.25. Berat Volume Beton Keras pada Umur 28 Hari.....	84
Gambar 4.26. Grafik Kuat Tekan Beton pada Umur 28 hari	85
Gambar 4.27. Pengujian Kuat Tekan Beton	86
Gambar 4.28. Grafik Kuat Tarik Belah Beton pada Umur 28 hari	87
Gambar 4.29. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	87

PENGARUH PASIR SILIKA SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT HALUS TERHADAP SIFAT-SIFAT TEKNIS BETON

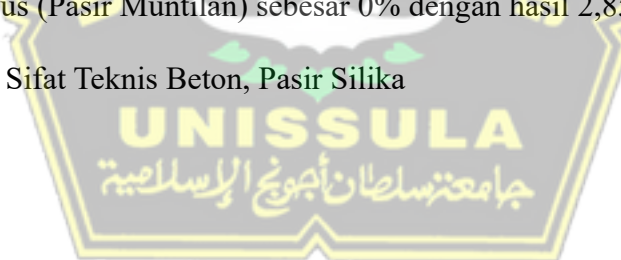
Abstrak

Di tengah gencarnya pembangunan infrastruktur di Indonesia, beton adalah bahan utama yang digunakan dalam pembangunan Struktur Utama sebuah bangunan, khususnya dalam pembangunan gedung, jembatan dan jalan raya. Munculnya inovasi dalam material beton yang terus bermunculan diiringi dengan meningkatnya kebutuhan infrastruktur berbahan dasar beton yang memiliki kekuatan yang lebih dari Beton Normal pada umumnya. Dalam penelitian ini telah menganalisis penambahan Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton.

Metode yang digunakan adalah metode eksperimen dengan variasi Campuran Pasir Silika sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dengan beberapa pengujian yang akan dilakukan yaitu Pengujian Berat Volume Agregat, Kadar Air, Kadar Lumpur, Analisa Saringan, Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton.

Pada penelitian ini menghasilkan Nilai Berat Volume Agregat Halus melalui Cara Lepas, Pasir Silika mendapatkan nilai yang lebih tinggi daripada Pasir Muntiran, sedangkan dengan Cara Pemadatan Pasir Silika mendapatkan nilai yang lebih rendah dari Pasir Muntiran hal ini dipicu karena Kadar Rongga Udara. Nilai Kuat Tekan Beton Optimal didapatkan pada Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntiran) sebesar 100% dengan hasil 26,17 MPa dan Nilai Kuat Tarik Belah Beton Optimal didapatkan pada Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntiran) sebesar 0% dengan hasil 2,85 MPa.

Kata Kunci: Sifat Teknis Beton, Pasir Silika



**EFFECT OF SILICA SAND AS A SUBSTITUTE
FINE AGGREGATE IN PROPERTIES
CONCRETE TECHNICAL**

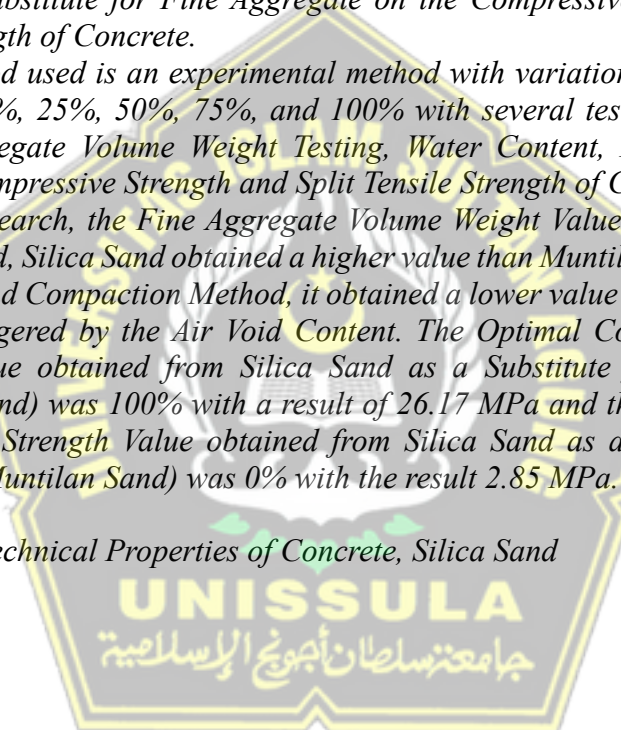
Abstract

In the midst of intensive infrastructure development in Indonesia, concrete is the main material used in the construction of the main structure of a building, especially in the construction of buildings, bridges and roads. The emergence of innovations in concrete materials that continue to emerge is accompanied by the increasing need for concrete-based infrastructure that has greater strength than normal concrete in general. In this research, we have analyzed the addition of Silica Sand as a Substitute for Fine Aggregate on the Compressive Strength and Split Tensile Strength of Concrete.

The method used is an experimental method with variations in the Silica Sand Mixture of 0%, 25%, 50%, 75%, and 100% with several tests to be carried out, namely Aggregate Volume Weight Testing, Water Content, Mud Content, Sieve Analysis, Compressive Strength and Split Tensile Strength of Concrete.

In this research, the Fine Aggregate Volume Weight Values obtained using the Loose Method, Silica Sand obtained a higher value than Muntilan Sand, while using the Silica Sand Compaction Method, it obtained a lower value than Muntilan Sand, this was triggered by the Air Void Content. The Optimal Concrete Compressive Strength Value obtained from Silica Sand as a Substitute for Fine Aggregate (Muntilan Sand) was 100% with a result of 26.17 MPa and the Optimal Concrete Split Tensile Strength Value obtained from Silica Sand as a Substitute for Fine Aggregate (Muntilan Sand) was 0% with the result 2.85 MPa.

Keywords: *Technical Properties of Concrete, Silica Sand*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Di tengah gencar-gencarnya Pembangunan Infrastruktur di Indonesia, beton menjadi Bahan Utama yang digunakan dalam Pembangunan Struktur Utama dalam sebuah bangunan, khususnya dalam pembangunan gedung, jembatan dan jalan raya. Di setiap bangunan yang menggunakan Bahan Utama Beton memiliki kebutuhan mutu yang berbeda-beda. Contohnya pada pembangunan gedung memiliki perbedaan Mutu Beton yang tergantung pada kebutuhannya masing-masing, begitu juga pada bangunan lainnya.

Mutu Beton yang tinggi berpengaruh pada Kuat Tekan Beton yang dibuat. Berdasarkan SNI 03-1974-1990, Kuat Tekan Beton merupakan besarnya beban per satuan luas yang dapat membuat Benda Uji Beton retak apabila diberikan Gaya Tekan tertentu yang berasal dari *Compression Machine*. Menurut Dipohusodo (1996), Nilai Kuat Tekan Beton didapatkan melalui Pengujian Benda Uji yang berbentuk Silinder. Dimensi dari Benda Uji pada umumnya menggunakan ukuran dengan Diameter 150 mm dan Tinggi 300 mm. Prosedur yang dipakai sesuai dengan kriteria yang tertera pada ASTM C39-86. Kuat Tekan dari setiap Benda Uji ditentukan dengan Tegangan Tekan Tertinggi (f'_c) yang dicapai Benda Uji pada Umur 28 hari. Untuk memperoleh Kuat Tekan Beton yang maksimal, ada beberapa faktor yang berpengaruh terhadap Kuat Tekan Beton antara lain Sifat dan Proporsi Campuran Beton, kualitas bahan baku, teknik pengecoran, perawatan beton dan penggunaan Bahan Aditif Kimia.

Pengujian Kuat Tarik Belah Beton dapat dilakukan dengan memposisikan Benda Uji secara Horizontal dan diberi Gaya Tekan. Nilai Kuat Tarik Belah yang didapatkan relatif lebih rendah yang berkisar 9% - 15% dari Nilai Kuat Tekan untuk Beton Normal (Istimawan Dipohusodo, 1996). Benda Uji yang digunakan untuk Pengujian Kuat Tarik Belah beton sama dengan Pengujian Kuat Tekan dengan Alat Bantu Batang atau Pelat Beban Tambahan yang bertujuan untuk menyalurkan keseluruhan Permukaan Benda Uji yang diberikan Gaya Tekan.

Komponen utama dari Beton adalah Semen *Portland*, Air, Agregat Halus dan Agregat Kasar. Semua komponen itu dicampur dan diaduk dengan takaran masing-masing. Untuk mempermudah dan mempersingkat pembuatan beton, bisa ditambahkan Zat Aditif yaitu *Super Plastycizer*. *Super Plastycizer* memiliki beberapa fungsi dalam proses pembuatan beton, diantaranya menjadikan campuran beton lebih mudah dikerjakan, mempercepat *setting time*, membuat beton menjadi Kedap Air. Meskipun *Super Plastycizer* dapat mempermudah pembuatan beton, akan tetapi *Super Plastycizer* tetap memiliki batasan atau dosis dalam penggunaannya. Penambahan *Super Plastycizer* yang berlebihan maka dapat menyebabkan penurunan ketahanan dan tidak memiliki efek pada Kuat Tekan Beton.

Munculnya inovasi dalam material beton yang terus bermunculan diiringi dengan meningkatnya kebutuhan infrastruktur berbahan dasar beton yang memiliki kekuatan yang lebih daripada Beton Normal. Saat ini, penggunaan Pasir Silika sebagai Bahan Campuran Beton telah menjadi subjek penelitian yang terus dilakukan. Silika adalah Senyawa Kimia yang berasal dari Silika Mineral, Sintesis Kristal dan Nabati dengan Rumus Molekul SiO_2 (Silikon Dioksida). Pasir Silika sangat diperlukan dalam bidang industri diantaranya produksi pembuatan Keramik, Gelas, membersihkan besi dari karat dan sebagainya. Dalam eksperimen pembuatan Beton ini diharapkan dapat meningkatkan Kekuatan Beton terutama dalam Kuat Tekan Beton dan Kuat Tarik Belah Beton tersebut.

1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai Berikut:

1. Berapa Nilai Kuat Tekan dan Nilai Kuat Tarik Belah pada Beton Normal ?
2. Bagaimana pengaruh Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus pada Kuat Tekan Beton dan Kuat Tarik Belah Beton dengan tambahan *Super Plastycizer*?
3. Berapa prosentase optimal Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus yang menghasilkan Kuat Tekan Beton dan Kuat Tarik Belah Beton Tertinggi?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui Nilai Kuat Tekan dan Nilai Kuat Tarik Belah pada Beton Normal.
2. Mengetahui Kuat Tekan Beton dan Kuat Tarik Belah Beton dari Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus dengan tambahan *Super Plastycizer* pada beton.
3. Mengetahui prosentase optimal Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus yang menghasilkan Kuat Tekan Beton dan Kuat Tarik Belah Beton maksimal.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah dari Tugas Akhir ini untuk menghindari penyimpangan atau pelebaran pokok permasalahan adalah sebagai berikut:

1. Pasir Silika yang digunakan Ukuran *Blasting* (0,15 mm sampai 0,18 mm).
2. Prosentase Pasir Silika sebagai Pengganti sebanyak 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% terhadap Agregat Halus.
3. Uji Kuat Tekan Beton dan Kuat Tarik Belah Beton dilakukan pada Umur 28 hari.
4. Semen *Portland Type I*.
5. *Super Plastycizer* yang digunakan *SikaCim Concrete 1003*.
6. Penggunaan *Super Plastycizer* Sebanyak 1% dari Volume Air.

1.5. Sistematika Laporan

Sistematika untuk menulis Laporan Tugas Akhir adalah sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika laporan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Menjabarkan tentang teknis yang berhubungan langsung dengan analisis dalam penelitian ini. Penguraian teori yang bisa digunakan pada penelitian ini sebagai unsur untuk menyelesaikan permasalahan yang ditemui dalam penelitian.

BAB III : METODE PENELITIAN

Menjelaskan mengenai metode yang digunakan dalam Penelitian Tugas Akhir dan pengumpulan data yang dimulai dengan Tahapan Penelitian, Materi Penelitian dan Proses Pengumpulan Data.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Menjelaskan hasil dan analisis data dari penelitian.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Memuat tentang kesimpulan yang didapatkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk menunjang penelitian yang dilakukan selanjutnya.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Beton

Beton berperan penting dalam dunia konstruksi, dikarenakan beton memiliki Kekuatan, Daya Tahan, serta kemampuannya dalam menahan Air. Beton merupakan material Komposit (campuran) dari perpaduan material yang terdiri dari Semen *Portland*, Agregat Halus, Agregat Kasar dan Air yang dicampur dengan proporsi tertentu.

Berdasarkan Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI) 1971, Beton diartikan sebagai material yang terbentuk melalui pencampuran Semen *Portland*, Air, Agregat Halus, Agregat Kasar dan tanpa atau dengan Bahan Tambah lain. Gabungan dari Semen *Portland*, Pasir dan Air saja disebut dengan Mortar.

Menurut Mulyono (2004), beton mempunyai Sifat Kuat Tekan yang cukup tinggi akan tetapi mempunyai Kuat Tarik yang lemah. Kuat Tekan Beton merupakan kemampuan yang dimiliki beton untuk menerima Gaya Tekan per satuan luas. Kuat Tekan Beton menentukan mutu dari sebuah struktur. Apabila semakin tinggi kekuatan struktur yang dikehendaki, maka semakin tinggi juga Mutu Beton yang disyaratkan.

Menurut PBI 1971, beton diklasifikasikan menjadi 3 yaitu:

1. Beton Kelas I, merupakan beton yang digunakan dalam Pekerjaan-Pekerjaan Non Struktural. Untuk pengerjaannya sendiri tidak dibutuhkan keahlian yang khusus. Pada Beton kelas ini pemeriksaan hanya mutu hanya dibagian bahan, pemeriksaan terhadap Kuat Tekan Beton tidak perlu dilakukan.
2. Beton Kelas II, merupakan beton yang difungsikan untuk Pekerjaan Struktural secara umum. Pengerjaannya diperlukan keterampilan tingkat tinggi serta harus diawasi oleh Tenaga Profesional. Dalam kelas ini beton terbagi dalam mutu Standar: B1, K-125, K-175 dan K-225. Pembatasan *Quality Control* B1 hanya pada pengawasan ringan terhadap Mutu Bahan tanpa adanya syarat pemeriksaan pada Kekuatan Tekan, sementara untuk Mutu K-125, K-175 dan K-225 kualitas material yang digunakan harus diawasi dengan ketat dan pengujian Kuat Tekan Beton secara berkala harus dilakukan.

3. Beton Kelas III, merupakan beton yang diterapkan pada Pekerjaan Struktural dengan Sifat Kuat Tekan yang lebih dari 225 kg/m^2 . Untuk pengerjaannya sendiri perlu adanya peralatan yang komplit di dalam Laboratorium dan dikerjakan oleh Tenaga yang memiliki keterampilan khusus dan tetap berada dalam lingkup pengontrolan Staf Ahli untuk melakukan *Quality Control* secara berkala.

2.2. Bahan-Bahan Penyusun Beton

Berdasarkan SNI 03-2834-2000 Beton merupakan gabungan antara Semen *Portland* atau Semen Hidraulik lainnya, Air, Agregat Halus, Agregat Kasar, dengan atau tanpa Bahan Tambah membentuk Massa Padat.

2.2.1. Semen Portland

Semen Hidrolis yang didapatkan dari penggilingan sampai halus Klinker, dengan Silikat sebagai Bahan Baku Utama dan Bahan Tambah menggunakan Gips biasa disebut dengan Semen *Portland*. Berdasarkan Persyaratan Umum Bahan Bangunan Di Indonesia (PUBI 1982), Semen *Portland* memiliki 5 jenis yang berbeda dengan tujuan penggunaannya adalah sebagai berikut

1. Semen *Portland* Tipe I untuk pembangunan sebuah konstruksi yang umum, dimana tidak ada syarat tertentu yang disyaratkan pada Semen *Portland* yang digunakan.
2. Semen *Portland* Tipe II untuk pembangunan sebuah konstruksi dengan persyaratan yang sedikit Ketahanan Terhadap Sulfat dan Persyaratan Panas Hidrasi Sedang.
3. Semen *Portland* Tipe III untuk pembangunan sebuah konstruksi yang memberikan persyaratan dengan Kekuatan Awal yang cukup tinggi.
4. Semen *Portland* Tipe IV untuk pembangunan sebuah konstruksi yang memberikan kewajiban persyaratan Panas Hidrasi yang tinggi.
5. Semen *Portland* Tipe V untuk pembangunan sebuah konstruksi yang memberikan persyaratan yang sangat Tahan terhadap Sulfat.

2.2.2. Agregat

Agregat merupakan material multifase yang tersusun dari sekumpulan partikel padat yang berdekatan seperti Pasir, Split, Batu Belah yang digunakan secara bersama dengan media perekat untuk menjadi adukan beton (SNI 1737-1989-F).

Agregat memiliki dua jenis yaitu Agregat Halus (Pasir) dan Agregat Kasar (Split). Agregat yang bagus yaitu agregat yang tidak merespon Zat Kimia dari Semen.

2.2.2.1. Agregat Kasar

Batuan sungai atau dari batu pegunungan atau pecahan batu industri merupakan tempat didapatkannya Agregat Kasar. Agregat Kasar ini memiliki ukuran yang tidak melebihi 40 mm dan minimal 5 mm. Berdasarkan SK SNI S-04-1989-F tentang syarat Agregat Kasar yang dipakai dalam Campuran Beton, maka syarat-syarat Agregat Kasar sebagai berikut:

1. Split harus bersih dari Lumpur dengan toleransi 1%, jika Kadar Lumpur $> 1\%$ maka wajib dicuci sampai bersih.
2. Bersifat Kekal, Split tidak mudah pecah jika terjadi perubahan cuaca yang tidak menentu.
3. Split harus tidak berpori atau berongga kecil dan harus keras.
4. Tidak boleh terdapat zat yang menyebabkan terjadinya Alkali.
5. Modulus Halus Butir (MHB) antara 6 sampai dengan 7,1 yang sesuai Standar Gradasi.

2.2.2.2. Agregat Halus

Berdasarkan SNI 03-6829-2002 (2002:171) Agregat Halus merupakan Pasir Alam yang terjadi penguraian secara alamiah atau Pasir Buatan yang didapatkan dari Pecahan Batuan dengan menggunakan bantuan alat. Agregat Halus memiliki Ukuran dari 0,15 mm sampai dengan 5 mm. Rongga yang terjadi karena Agregat Kasar dapat diisi oleh Agregat Halus, sehingga Beton akan padat dan menambah Kuat Tekan Beton.

Berdasarkan SK SNI S -04-1989-F, Agregat Halus harus memenuhi persyaratan yang ditentukan yaitu sebagai berikut:

1. Pasir yang digunakan tidak terdapat Kandungan Lumpur $< 5\%$, jika $> 5\%$ maka Pasir harus dicuci sampai bersih.
2. Butiran Pasir bersifat Kekal, kuat terhadap Perubahan Cuaca.
3. Pasir harus harus tajam dan keras.

4. Tidak terdapat Kandungan Bahan Organik karena dapat mengurangi kualitas beton yang dihasilkan yang disebabkan adanya reaksi dari Senyawa Semen.
5. Modulus Kehalusan Butiran Pasir 1,5 sampai 3,8.

2.2.3. Air

Air digunakan untuk Adukan Beton yang bereaksi dengan Semen *Portland*, dan sebagai pelumas antara butiran agregat agar pengerjaan dan pemadatan lebih mudah. Air yang diperlukan untuk bereaksi dengan Semen *Portland* kurang lebih 30% dari Jumlah Semen *Portland* yang digunakan. (Tjokrodinuljo, 1992)

Proses Hidrasi pada Beton Segar dibutuhkan Air kurang lebih 25% dari berat Semen *Portland* yang digunakan dalam Campuran Beton, tetapi pada faktanya jika Faktor Air Semen (FAS) tidak lebih dari 35%, Beton Segar tidak dapat diselesaikan dengan hasil yang terbaik sehingga setelah beton keras yang didapatkan menjadi berpori dan mendapatkan Kuat Tekan Beton yang rendah. Kebanyakan Air dari Proses Hidrasi dibutuhkan untuk syarat kepadatan supaya dapat dicapai suatu Kelelahan (*Workability*) yang bagus. Kebanyakan Air ini akan menguap atau tersisa di dalam beton sehingga munculnya Rongga Udara (*capillary poreous*) di dalam beton yang telah mengeras. (Slamet, 2008)

Air Minum bisa digunakan untuk Campuran Beton, namun Air Campuran Beton tidak harus bisa untuk diminum. Adapun persyaratan Air yang bisa digunakan untuk Adukan Beton berdasarkan Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBI 1982) adalah sebagai berikut:

1. Air wajib bersih.
2. Tidak terdapat Lumpur, Minyak dan benda terapung lainnya yang dapat dilihat oleh mata secara langsung.
3. Tidak ada Campuran Benda yang tersuspensi maksimal 2 g/liter.
4. Tidak memiliki kandungan Garam yang dapat terlarut dan dapat membuat rusak beton yang lebih dari 15 g/liter, kandungan Klorida (Cl) dan kandungan Senyawa Sulfat yang tidak terlalu banyak.

2.3. Sifat-sifat Beton

2.3.1. *Beton Segar*

Beton Segar merupakan Adukan Beton yang sudah diaduk dalam jangka waktu tertentu, memiliki karakteristik yang belum berubah atau masih plastis dan belum mengalami pengerasan (Yahya, dkk, 2019). Berikut merupakan beberapa sifat yang dimiliki oleh Beton Segar:

1. FAS (Faktor Air Semen)

Faktor Air Semen (FAS) atau *Water to Cementious Ratio (W/C)* merupakan rasio dari jumlah Air terhadap jumlah Semen pada Campuran Beton (Rosie, dkk, 2015). Semakin kecil nilai FAS yang digunakan maka Kekuatan Beton yang dihasilkan akan semakin baik. Campuran Beton yang menggunakan nilai FAS yang besar membutuhkan sedikit Semen sehingga Beton Segar mudah untuk diaduk, sedangkan Campuran Beton yang menggunakan nilai FAS yang rendah membutuhkan Semen yang lebih banyak sehingga Beton Segar lebih sulit untuk diaduk.

2. Berat Volume

Berat Volume pada beton umumnya berada pada rentang 2.200 hingga 2.500 kg/m³. Komposisi Bahan Campuran serta jenis agregat yang akan digunakan dapat mempengaruhi perubahan variasi nilai tersebut.

3. *Slump*

Slump Test dijadikan rujukan untuk melihat tingkat keenceran suatu Adukan Beton, jika nilai *Slump* tinggi maka keenceran pada adukan juga tinggi dan semakin mudah untuk dikerjakan (nilai *Workability* tinggi).

4. *Workability* (Kemampuan Kerja)

Workability adalah kemudahan pengerjaan saat beton belum mengeras. Secara umum *Workability* dibagi menjadi empat karakteristik antara lain sebagai berikut:

a. *Mobility*

Merupakan kemudahan pada Adukan Beton untuk mengalir ke dalam cetakan.

b. *Stability*

Merupakan kapasitas pada Adukan Beton agar selalu homogen, selalu terikat dan tidak terjadi pemisahan butiran atau disebut Segregasi.

c. *Compactibility*

Merupakan kemudahan Adukan Beton untuk dipadatkan sehingga rongga udara dalam beton berkurang sedikit mungkin.

d. *Finishibility*

Merupakan kemudahan Adukan Beton untuk mengeras dengan kondisi yang baik.

2.3.2. *Beton Keras*

Beton Keras merupakan Campuran Beton yang sudah mengalami pengerasan dalam kurun waktu tertentu. Beberapa sifat utama dari Beton Keras antara lain sebagai berikut:

1. Tahan Lama (*Durability*)

Tahan Lama merupakan kemampuan pada beton dalam mencapai keadaan tetap baik tanpa menimbulkan korosi selama jangka waktu yang telah direncanakan. Nilai FAS (Faktor Air Semen) maksimal dan jumlah Semen minimal harus disesuaikan dengan kondisi sekitar. Beton dapat dikatakan semakin baik apabila nilai FAS semakin rendah dan Dosis Semen semakin tinggi. Untuk menilai *Durability* memerlukan waktu penyidikan yang lama, karena apabila pengujian dalam waktu yang cepat hasilnya tidak maksimal dan tidak dapat diandalkan.

Sifat *Durability* pada beton dibedakan dalam beberapa kondisi yaitu sebagai berikut:

a. Ketahanan terhadap erosi

Beton juga bisa mengalami pengikisan yang disebabkan oleh Air Laut atau Partikel yang terbawa bersama dengan Air Laut.

b. Ketahanan lama terhadap cuaca

Merupakan pengaruh langsung dari kondisi alam berupa Panas karena terik matahari yang mengakibatkan keringnya permukaan beton, Hujan yang menjadikan permukaan Beton Basah serta pembekuan yang terjadi saat musim dingin.

c. Ketahanan terhadap Zat Kimia

Sama seperti bahan material lain, beton juga dapat rusak apabila terus menerus terkena Zat Kimia seperti Asam Sulfat dan Natrium Hidroksida (Garam). Contohnya bangunan yang berada di sekitar pantai akan mudah keropos karena terpapar Zat Kimia berupa Garam yang berasal dari Air Laut.

2. Kuat Tekan

Kuat Tekan Beton yaitu besarnya beban per satuan luas, yang mengakibatkan Benda Uji Beton retak jika diberi Gaya Tekan tertentu yang dihasilkan oleh *Compression Testing*. Salah satu cara untuk mengetahui Nilai Kuat Tekan Beton yaitu dengan menguji beton tersebut. Pengujian menggunakan standar *American Society for Testing and Material*.

3. Kuat Tarik

Perambatan dan ukuran keretakan dari sebuah struktur beton dipengaruhi oleh suatu sifat yang disebut dengan Kuat Tarik. Penentuan Kekuatan Tarik Beton pada umumnya dilakukan dengan Uji Pembebanan Silinder, di mana Silinder yang memiliki ukuran sama dengan Benda Uji dalam percobaan Kuat Tekan diletakkan secara horizontal di atas Mesin Uji. Beban Tekan diberikan secara merata sepanjang Benda Uji.

4. Modulus Elastisitas

Menurut Murdock & Brook(1991), Modulus Elastisitas mengarah pada Rasio Tekanan yang diberikan dan prosentase perubahan Panjang Beton sehubungan dengan Kuat Tekan Beton, yang pada umumnya diukur dalam Kisaran 25% - 50% dari Kuat Tekan Beton. Nilai Modulus Elastisitas pada beton berbeda-beda pada rentang 18527 MPa hingga 31119 MPa dengan Berat Volume Beton direntang 1993 Kg/m³ hingga 2092 Kg/m³.

Berdasarkan ASTM C 469-02 Modulus Elastisitas Beton dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - 0,000050)} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan:

E = Modulus Elastisitas (kg/cm^2)

S_2 = Tegangan pada 40% Tegangan Runtuh (kg/cm^2)

S_1 = Tegangan pada saat Nilai Kurva Regangan $\epsilon_1 = 0,000050$ (kg/cm^2)

ϵ_2 = Nilai Kurva Regangan yang terjadi pada saat S_2

5. Rangkak (*Creep*)

Sifat Rangkak pada beton ialah Perubahan Bentuk pada beton akibat Beban yang konsisten dalam jangka waktu yang lama. Sifat ini akan keluar dengan kekuatan yang semakin menurun dalam seiring waktu dan akan berakhir selama beberapa tahun.

Beberapa faktor yang dapat memengaruhi Deformasi Rangkak pada beton yaitu:

- a. Jenis Semen yang digunakan.
- b. Kadar Air.
- c. Nilai *Slump*.
- d. Kelembaban relatif.
- e. Suhu Beton ketika dikeringkan.
- f. Umur Beton saat pembebanan.
- g. Dimensi Struktur.

6. Susut (*Shrinkage*)

Sifat Beton pada saat Volume Beton mengecil akibat berkurangnya Kadar Air dalam beton disebut dengan Susut. Penggunaan Kadar Air yang dicampur dengan Semen harus dalam rasio yang tepat agar tidak terjadi kelebihan Air yang memberikan dampak berupa rongga pada Mortar dan menyebabkan keretakan pada beton.

Pada dasarnya Penyusutan Beton terbagi menjadi 2 yaitu Penyusutan Plastis dan Penyusutan Pengeringan. Penyusutan Plastis adalah penyusutan yang terjadi sesaat setelah adukan beton segar dicetak. Sedangkan Susut Pengeringan adalah Susut yang terjadi setelah beton sudah mengeras dan Proses Hidrasi selesai.

Nilai Susut pada beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

- a. Kadar Air agregat.
- b. FAS (Faktor Air Semen).
- c. Dimensi Struktur.
- d. Kondisi lingkungan.

7. Permeabilitas

Kemudahan beton untuk dilalui Air disebut dengan Permeabilitas. Beton dikatakan *Permeabel* jika dapat dilalui Air, beton dikatakan *Impermeabel* jika tidak dapat dilalui Air maka. maka permeabilitas yang terpenting pada beton ialah Permeabilitas terhadap Air (Nurchasanah, 2010).

Permeabilitas Beton dapat dihitung berdasarkan hukum *Darcy* sebagai berikut:

$$\frac{1}{A} \frac{dq}{dt} = k \frac{dH}{L} \dots\dots\dots (2.2.)$$

Dengan:

$\frac{dq}{dt}$: Kecepatan Aliran Air

A : Luas Penampang Sampel Beton

dH : Tinggi Air Jatuh

L : Ketebalan Sampel Beton

k : Koefisien Permeabilitas

8. Ketahanan Benturan

Ketahanan Benturan adalah keahlian beton untuk dapat menopang daya dari benturan atau beban yang ada secara tiba-tiba dengan tidak meninggalkan kerusakan yang signifikan. Hal tersebut sangatlah penting dalam dunia konstruksi karena beton akan sering terkena benturan atau gaya implusif seperti pada jembatan yang kerap dilewati oleh kendaraan berat.

Impact Test merupakan salah satu metode pengujian yang digunakan untuk mengetahui sejauh mana beton dapat menahan benturan tanpa ada retak atau rusak. Adanya sifat ketahanan benturan yang baik dalam Perancangan Beton dapat berdampak pada keselamatan serta keandalan struktur, terlebih pada kondisi dimana beban dinamis serta tingkat risiko struktur tersebut tinggi

2.4. *Super Plastycizer*

Super Plastycizer dapat meningkatkan Nilai *Slump* sehingga beton menjadi mudah untuk dikerjakan tanpa menambah Air yang dapat menyebabkan *Bleeding* atau Segregasi. Penggunaan *Super Plastycizer* yang diizinkan yaitu berkisar 1-2% dari Total Berat Semen dari Bahan Campuran.

Cara kerja *Super Plastycizer* yaitu dengan mengurangi Gaya Tarik antara Partikel-Partikel Semen di dalam Campuran Beton, sehingga partikel yang terkandung pada beton lebih mudah terpisah dan mengalir dengan lebih leluasa.

Maka dari itu penggunaan *Super Plastycizer* sangat membantu meningkatkan kemudahan dalam Pengolahan Beton, memungkinkan reduksi FAS (Faktor Air Semen) yang pada akhirnya mendapatkan beton yang lebih kuat dan tahan lama.

Beberapa keunggulan dalam menggunakan *Super Plastycizer* antara lain:

- a. Meningkatkan Daya Rekat antar Beton Baru dan Beton Lama.
- b. Mengurangi *Slump Loss*.
- c. Dapat meningkatkan Kemampuan Kerja Campuran Beton (*Workability*).
- d. Dapat mempercepat proses pengerasan.

2.5. Pasir Silika

Silika ialah Senyawa Kimia dengan Rumus Molekul SiO_2 (*Silicon Dioxide*) yang pada umumnya digunakan untuk kebutuhan konstruksi, industri, pengolahan limbah dan pengolahan Air. Mineral Silika merupakan senyawa yang sering ditemui pada Material Tambang atau Penggalian dalam bentuk mineral seperti Pasir Kuarsa, Granit dan *Fledsfar* yang terdapat kandungan Silika Kristal (SiO_2). Jika Pasir Kuarsa dipanaskan pada suhu 870°C akan menghasilkan silika dengan Struktur Kristal Tridimit, tetapi jika dipanaskan pada suhu 1470°C akan mendapatkan Silika dengan struktur *kristobalit* (Cotton dan Wilkinson, 1989).

Pasir Silika lebih kuat dari Pasir Biasa, sehingga lebih sering digunakan dalam Proyek Konstruksi. Untuk meningkatkan Kekuatan Beton, Pasir Silika juga dapat berfungsi sebagai Bahan Tambahan dalam Campuran Beton.

Karena sangat kuat, Silika juga digunakan sebagai Bahan Pengikat terutama untuk area yang akan terkena Air serta juga dapat melindungi dari kerusakan akibat Asam atau Udara.

Pasir Silika mempunyai banyak manfaat dalam Bidang Konstruksi, antara lain:

- a. Meningkatkan Kekuatan Beton.
- b. Sebagai Bahan Pengisi pada Mortar atau Batu Bata.
- c. Digunakan untuk menghilangkan karat.
- d. Sebagai Campuran Aspal.
- e. Anti Korosi pada berbagai Bahan Bangunan.

2.6. Penelitian Terdahulu

Sidiq (2016) meneliti tentang Perbandingan antara Pasir Silika dengan Pasir asal Teratak Buluh terhadap Kuat Tekan Beton. Substitusi Campuran Pasir Silika yang digunakan adalah 0%, 25%, 50% dan 100% terhadap Pasir dengan Rencana Kuat Tekan $f'c$ 25 MPa. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton pada Umur 7, 14, 21, dan 28 hari menghasilkan Kuat Tekan Tertinggi pada Substitusi Pasir Silika 0%, namun pada Umur Beton 28 hari dengan Substitusi Pasir Silika 100%. Substitusi Pasir Silika 0% mencukupi Kuat Tekan Rencana awal dengan Kuat Tekan Beton 27 MPa.

Sujatmiko, dkk (2018) meneliti tentang Penggunaan Pasir Silika Sebagai Substitusi Agregat Halus Untuk Meningkatkan *Performance* Bata Ringan dengan variasi Campuran Pasir Silika 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui prosentase substitusi Pasir Silika sehingga mendapatkan hasil Kuat Tekan Beton dan Kuat Tarik Belah Beton yang optimum. Hasil maksimal Kuat Tekan yang didapatkan pada Variasi 75% Sebesar 2,924 Mpa dan Nilai Kuat Tarik Belah maksimal didapatkan pada Variasi 50% Sebesar 0,353 Mpa.

Abdillah dan Muhabbah (2019) meneliti tentang Limbah *Sandblasting* Pasir Silika menjadi Bahan Pengganti Agregat Halus untuk Campuran Beton dengan Proporsi 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50% dan 100% terhadap Agregat Halus dengan Kuat Tekan Rencana K-250. Dengan melakukan Pengujian Kuat Tekan Beton di Umur 28 hari. Semua proporsi mendapatkan hasil yang lebih dari Kuat Tekan K-250, dengan Kuat Tekan Tertinggi didapatkan pada Proporsi 20 % Limbah *sandblasting* Pasir Silika dengan Rata-Rata Kuat Tekan 35,1 MPa. Kuat Tekan

Beton dapat meningkat karena pori-pori pada beton bisa terisi penuh oleh Limbah *Sandblasting* Pasir Silika yang memiliki Sifat Fisik yang agak halus.

Cakrawijaya, dkk (2022) meneliti untuk mengetahui Pengaruh Substitusi Pasir Silika terhadap Sifat Mekanik Beton dan Prosentase Optimum Pasir Silika yang digunakan untuk Rencana Sifat Mekanik Beton. Variasi yang digunakan yaitu 0%, 10%, 20%, 30% dan 40% terhadap Agregat Halus dengan Mutu Rencana $f'c$ 40 MPa dengan Umur Beton Rencana 28 hari. Untuk hasil tertinggi didapatkan pada Variasi 10% dengan hasil rata-rata Kuat Tekan sebesar 42,09 MPa dan Kuat Tarik Belah sebesar 4,48 MPa.

Azhari (2023) meneliti tentang Kuat Tekan Beton dengan Pasir Silika sebagai substitusi Agregat Halus, menggunakan gradasi Pasir Silika yang sejenis dengan Ukuran Butiran 0,15 mm sampai 0,18 mm. Penelitian ini menggunakan perbandingan antara Pasir dengan Pasir Silika dengan Proporsi I (100:0)%, Proporsi II (75:25)%, Proporsi III (50:50)%, Proporsi IV (25:75)% dan Proporsi V (0:100)% dengan Umur Beton Rencana 28 hari. Kuat Tekan Tertinggi didapatkan pada Proporsi V dengan 100 % Pasir Silika dengan Rata-Rata Kuat Tekan 37,02 MPa.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Persiapan

Sebelum melakukan Pelaksanaan Penelitian diperlukan persiapan, berikut persiapan yang harus dilakukan:

1. Menyiapkan Alat Tulis, Skema Kerja dan *Logbook* untuk mencatat data-data yang didapatkan selama penelitian.
2. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan saat penelitian sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan memastikan alat-alatnya bersih.
3. Memastikan Cetakan Beton sudah bersih dan siap digunakan.
4. Memastikan Timbangan Digital yang akan digunakan dengan ketelitiannya 1 gram.
5. Memastikan seluruh peralatan dapat digunakan dan sesuai dengan standar.

3.2. Bahan-Bahan

Berikut ini merupakan bahan-bahan yang digunakan pada pelaksanaan Tugas Akhir:

1. Semen *Portland*

Pada Penelitian ini menggunakan Semen *Portland* Tipe I. Merk yang digunakan adalah Semen Gresik berat 40 Kg dengan kondisi yang masih baik.



Gambar 3.1. Semen *Portland*
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

2. Agregat Halus

Agregat Halus menggunakan Pasir Alam yang berasal dari Merapi, yaitu Pasir Muntilan yang berfungsi sebagai pengisi pada Campuran. Syarat yang digunakan harus tertahan pada Nomor 200 dan lolos pada saringan Nomor 4.



Gambar 3.2. Pasir Muntilan
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

3. Agregat Kasar

Menggunakan Agregat Kasar (Split) dengan Ukuran yang tertahan pada saringan No. 4. Agregat Kasar memiliki fungsi sebagai pengisi yang akan meningkatkan kekuatan, Stabilitas dan Daya Tahan Beton.



Gambar 3.3. Split
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

4. Air

Air yang digunakan pada campuran harus Air yang bersih dan tidak memiliki kandungan Lumpur, Minyak, atau Bahan Kimia lainnya. Air untuk Bahan Campuran Beton ini didapatkan dari Saluran Fakultas Teknik.



Gambar 3.4. Air
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

5. *Super Plastycizer*

Super Plastycizer ini sebagai tambahan untuk Adonan Beton. *Super Plastycizer* yang digunakan adalah *SikaCim Concrete 1003*.



Gambar 3.5. *Super Plastycizer*
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

6. Pasir Silika

Pasir Silika digunakan sebagai Bahan Pengganti Pasir Muntitan terdapat pada Ukuran *Blasting* (0,15 mm sampai 0,18 mm). Pasir Silika dapat digunakan dalam berbagai kepentingan contohnya dalam dunia industri dan konstruksi.



Gambar 3.6. Pasir Silika
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

3.3. Peralatan Yang Digunakan

Berikut adalah alat-alat yang digunakan dalam pelaksanaan Tugas Akhir:

1. Timbangan

Fungsi Timbangan ini adalah untuk menimbang Material Campuran Beton, Cetakan Beton dan lain-lain.



Gambar 3. 7. Timbangan
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

2. Saringan

Saringan digunakan dengan cara diayak untuk mendapatkan Ukuran Agregat yang ditentukan dan sesuai dengan Standar Nasional Indonesia. Saringan yang digunakan mulai dari ukuran 1 inch sampai dengan No. 200.



Gambar 3. 8. Saringan
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

3. Cawan

Cawan digunakan untuk Tempat atau Wadah Campuran Beton. Cawan juga digunakan pada saat melakukan timbangan atau saat dilakukan peng-ovenan.



Gambar 3. 9. Cawan
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

4. Oven

Oven digunakan untuk mengetahui Nilai Kadar Air pada agregat atau digunakan untuk keperluan lainnya.



Gambar 3. 10. Oven
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

5. Concrete Mixer (Molen)

Concrete Mixer digunakan untuk mencampurkan Bahan Penyusun Beton dan Bahan Tambah (*Super Plastycizer*).



Gambar 3. 11. Concrete Mixer
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

6. Cetakan Beton Berbentuk Silinder

Digunakan untuk mencetak Beton Segar berbentuk Silinder dengan Diameter 150 mm dan Tinggi 300 mm. Selain Silinder cetakan beton untuk pengujian ada juga yang berbentuk balok yang digunakan untuk Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton.



Gambar 3.12. Cetakan Silinder
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

7. Bak Perendam Beton (untuk *Curing* Beton)

Bak Perendam Beton ini digunakan untuk merendam hasil Cetakan Beton sebagai upaya perawatan (*Curing*) beton Selama 28 hari. Dengan Cara mengisi Air hingga Benda Uji terendam sepenuhnya oleh Air.



Gambar 3.13. Bak Perendam Beton
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

8. *Compression Testing*

Compression Testing digunakan untuk menguji Kuat Tekan Beton yang telah direncanakan setelah dilakukan *Curing*.



Gambar 3.14. *Compression Testing*
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

9. Alat Uji Kuat Tarik Belah

Alat ini berfungsi untuk meletakkan Beton yang telah direncanakan setelah dilakukan *Curing*.



Gambar 3. 15. Alat Uji Kuat Tarik Belah
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

10. Alat Pendukung lainnya

Alat pendukung berupa Ember, Sekop, Gelas Ukur, Alat Tumbuk, Piknometer, Selang Air, Alat *Slump Test* dan lain-lain.

3.4. Pemeriksaan Bahan

Sebelum melakukan pencampuran Bahan Penyusun Beton harus melakukan pemeriksaan bahan terlebih dahulu, bahan yang dilakukan pemeriksaan adalah Agregat Halus dan Agregat Kasar dengan pemeriksaan Nilai Kadar Air, Nilai Kadar Lumpur dan Analisa Saringan.

3.4.1. Agregat Halus

Agregat Halus (Pasir Muntitan) dilakukan 3 pemeriksaan yaitu Pemeriksaan Nilai Kadar Lumpur, Nilai Kadar Air dan Analisa Saringan.

1. Pemeriksaan Kadar Lumpur

Berdasarkan SNI S-04-1989-F, Agregat Halus tidak boleh terdapat kandungan Lumpur lebih dari 5%, maka dari itu harus dilakukan pengecekan Nilai Kadar Lumpur yang ada di dalam Agregat Halus sebelum digunakan untuk Bahan Penyusun Beton.

Ada 2 cara untuk mengetahui Nilai Kadar Lumpur yang ada di dalam Agregat Halus yaitu dengan menggunakan Cara Endapan dan Cara Pencucian.

a. Cara Endapan

Tahapan dalam pengecekan Kadar Lumpur dengan Cara Endapan sebagai berikut:

1. Masukkan Pasir Muntitan 500 ml ke dalam Gelas Ukur,
2. Tambahkan Air Bersih untuk melarutkan Lumpur yang terdapat pada Pasir,
3. Setelah itu dikocok-kocok hingga Pasir tercampur Air dengan merata,
4. Simpan Gelas Ukur yang telah dikocok hingga merata ditempat yang datar dan endapkan hingga 24 jam.
5. Setelah 24 jam dilakukan Pengukuran Volume Pasir dan Volume Lumpur.

b. Cara Pencucian

Tahapan Pencucian Pasir untuk mengetahui Kadar Lumpur yang terkandung didalamnya sebagai berikut:

1. Timbang Cawan,
2. Timbang Berat Cawan dan Pasir dalam keadaan kering (500 gram),
3. Masukkan ke tempat yang lebih besar untuk dicuci hingga Pasir bersih,

4. Timbang Berat Cawan dan Berat Pasir yang telah dicuci hingga bersih,
5. Kemudian dilakukan pengeringan di oven Selama 24 jam,
6. Keluarkan dan Timbang.

Untuk menghitung Kadar Lumpur dalam Agregat Halus menggunakan rumus :

$$\text{Nilai Kadar Lumpur} = \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.1)$$

Dengan :

V_1 = Volume Pasir (ml)

V_2 = Volume Lumpur (ml)

2. Pemeriksaan Nilai Kadar Air

Pemeriksaan berfungsi ini untuk mengetahui prosentase dari Kandungan Air didalam agregat. Berdasarkan ASTM C70 Kandungan Kadar Air di dalam Agregat antara 0,2% sampai 4%. Di dalam Bahan Penyusun Campuran Beton Kadar Air berguna untuk membantu Reaksi Kimia dalam berlangsungnya pengerasan dan untuk pelumas Campuran Semen, Split, Pasir agar dapat dimasukkan kedalam cetakan dengan kelecakan yang sesuai rencana.

Berikut cara mengetahui jumlah Kadar Air yang terkandung di dalam agregat:

1. Timbang Cawan dan catat Berat Cawannya,
2. Masukkan Benda Uji (Pasir Muntiran) pada Cawan, lalu timbang Cawan beserta Benda Ujinya,
3. Setelah dilakukan penimbangan, masukkan Benda Uji ke dalam oven untuk dilakukan pengeringan hingga 24 jam,
4. Keluarkan Benda Uji setelah 24 jam dan diamkan hingga sesuai suhu ruangan,
5. Timbang Benda Uji dan hitung Kadar Airnya.

Untuk menghitung Kadar Air dapat menggunakan rumus berikut:

$$\text{Nilai Kadar Air} = \frac{b-c}{c-a} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.2.)$$

Dengan:

a = Berat Wadah (gram)

b = Berat Wadah + Agregat sebelum dioven (gram)

c = Berat Wadah + Agregat setelah dioven (gram)

3. Pemeriksaan Analisa Saringan

Berdasarkan ASTM C136:2012 tujuan pemeriksaan Analisa Saringan ini untuk memastikan Gradasi Agregat Halus dan untuk mengetahui prosentase Ukuran Butir Agregat. Benda Uji yang lolos dari Saringan Nomor 4 (4,76 mm) sampai Saringan 200 (0,075 mm) adalah Agregat Halus.

Berikut Cara Kerja Pemeriksaan Analisa Saringan sebagai berikut:

1. Siapkan Benda Uji dengan keadaan kering,
2. Susun Saringan dari yang terbesar hingga Saringan Terkecil dengan posisi Saringan Terbesar berada dipaling atas.
3. Masukkan Benda Uji ke saringan yang paling besar, lalu tutup saringan dan guncangkan satu set saringan Selama 15 menit,
4. Setelah 15 menit, timbang setiap agregat yang tertahan oleh saringan,
5. Hitung prosentase Berat Benda Uji yang tertahan pada setiap saringan terhadap Berat Keseluruhan Benda Uji.

Perhitungan Analisa Saringan Dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Berat Kehilangan} = \frac{b_1 - b_2}{b_1} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.3.)$$

Dengan:

b_1 = Berat Agregat Semula (gram)

b_2 = Berat Agregat setelah disaring (gram)

$$\text{MHB} = \frac{\sum \% \text{komulatif Agregat Tertahan}}{\text{jumlah berat tertahan}} \dots\dots\dots (3.4.)$$

Dimana :

MHB = Modulus Halus Butir

3.4.2. Agregat Kasar (Split)

Seperti halnya Agregat Halus, Agregat Kasar juga dilakukan 3 pemeriksaan yaitu:

1. Pemeriksaan Nilai Kadar Lumpur

Berdasarkan SK SNI S-04-1989-F, Agregat Kasar (Split) tidak boleh terdapat kandungan Lumpur lebih dari 1%, maka dari itu harus dilakukan pengecekan Nilai Kadar Lumpur yang ada di dalam Agregat Kasar sebelum digunakan untuk Bahan Penyusun Beton.

Cara mengecek Nilai Kadar Lumpur pada Agregat Kasar (Split) sebagai berikut:

1. Timbang Cawan tanpa Split,
2. Timbang Split hingga 500 gram,
3. Cuci Split dengan Air bersih sampai Split benar-benar bersih tanpa ada Lumpur yang menempel di Split,
4. Setelah bersih dilakukan pengovenan Selama 24 jam,
5. Keluarkan dan diamkan hingga tidak panas,
6. Timbang Sampel dan Hitung Prosentase Lumpurnya.

Untuk menghitung Nilai Kadar Lumpur dalam Agregat Kasar (Split) menggunakan rumus:

$$\text{Nilai Kadar Lumpur} = \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.5.)$$

Dengan :

V_1 = Volume Split (gram)

V_2 = Volume Lumpur (gram)

2. Pemeriksaan Nilai Kadar Air

Nilai Kadar Air merupakan perbandingan antara Berat Air yang terkandung didalam agregat dengan agregat dalam keadaan kering. Berdasarkan *American Society For Testing and Materials* (ASTM C70) kandungan Kadar Air di dalam Agregat antara 0,2% sampai 4%.

Berikut cara mengetahui jumlah Kadar Air yang terkandung didalam agregat:

1. Timbang Wadah dan catat Berat Wadahnya,
2. Masukkan Benda Uji (Split) ke dalam Wadah, lalu timbang Wadah beserta Benda Ujinya,

3. Setelah dilakukan penimbangan, masukkan Benda Uji ke dalam oven untuk dilakukan pengeringan hingga 24 jam,
4. Jika sudah 24 jam keluarkan Benda Uji dan diamkan hingga sesuai dengan suhu ruangan,
5. Timbang Benda Uji dan hitung Kadar Airnya.

Nilai Kadar Air dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Nilai Kadar Air} = \frac{b-c}{c-a} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.6.)$$

Dengan:

a = Berat Wadah (gram)

b = Berat Wadah + Agregat sebelum dioven (gram)

c = Berat Wadah + Agregat setelah dioven (gram)

3. Pemeriksaan Analisa Saringan

Berdasarkan SNI ASTM C136:2012 tujuan pemeriksaan Analisa Saringan ini untuk memastikan Gradasi Agregat Halus dan untuk mengetahui prosentase Ukuran Butir Agregat. Benda Uji yang tertahan pada Saringan Nomor 4 (4,74 mm) dan 40 mm (1,5 inci) adalah Agregat Kasar.

Berikut Cara Kerja Pemeriksaan Analisa Saringan sebagai berikut:

1. Siapkan Benda Uji dengan keadaan kering,
2. Susun saringan dari yang terbesar hingga Saringan Terkecil dengan posisi Saringan Terbesar berada dipaling atas,
3. Masukkan Benda Uji ke saringan yang paling besar, lalu tutup saringan dan guncangkan satu set saringan Selama 15 menit,
4. Setelah 15 menit, timbang masing-masing agregat yang tertahan oleh saringan,
5. Hitung prosentase Berat Benda Uji yang tertahan pada setiap saringan terhadap Berat Total Benda Uji.

Perhitungan Analisa Saringan Dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Berat Kehilangan} = \frac{b_1-b_2}{b_1} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.7.)$$

Dengan:

b_1 = Berat Agregat Semula (gram)

b_2 = Berat Agregat setelah disaring (gram)

$$\text{MHB} = \frac{\sum \% \text{komulatif Agregat Tertahan}}{\text{jumlah berat tertahan}} \dots\dots\dots (3.8.)$$

Dengan :

MHB = Modulus Halus Butir

3.5. Rencana Campuran Beton (*Job Mix Design*)

Berdasarkan SNI 7394-2008 jumlah bahan yang digunakan untuk mendapatkan Mutu Beton dengan Rencana Kuat Tekan K-175 ($f'c$ 14,53 MPa) per-meter kubik (m^3) adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1. Bahan Campuran Beton K-175 per m^3 berdasarkan SNI 7394-2008

Nama Bahan	Jumlah Bahan
Semen	326 Kg
Pasir	760 Kg
Split	1029 Kg
Air	215 Liter

(Sumber : SNI 7394-2008)

Pada Penelitian ini menggunakan Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus dengan Variasi 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% dari Berat Pasir Muntitan yang digunakan dengan tambahan *Super Plastycizer* sebanyak 1% dari Volume Air yang digunakan dengan Rencana Kuat Tekan K-175 ($f'c$ 14,53 MPa) dan *Curing* selama 28 hari.

- a. Jumlah kebutuhan volume Per Benda Uji Silinder

Rumus Volume Silinder sebagai berikut:

$$V = \pi r^2 h \dots\dots\dots (3.9.)$$

Dengan :

V = Volume Silinder (mm^3)

π = Phi (3,14)

r = Jari-Jari Silinder (mm)

h = Tinggi Silinder (mm)

Maka Volume Per Silinder dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.9. sebagai berikut:

Diketahui:

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$d = 150 \text{ mm}$$

$$r = \frac{1}{2} \times d$$

$$= \frac{1}{2} \times 150 = 75 \text{ mm}$$

Maka :

$$V = \pi r^2 h$$

$$= 3,14 \times (75)^2 \times 300$$

$$= 5298750 \text{ mm}^3$$

Dengan Bahan Tambah *Super Plastycizer* 1% dari Volume Air yang digunakan

$$\text{Super Plastycizer} = \frac{1}{100} \times \text{Volume Air yang digunakan} \dots \dots \dots (3.10.)$$

Tabel 3.2 sampai Tabel 3.5 adalah tabel yang menunjukkan Bahan Penyusun Beton dengan Prosentase Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus sebanyak 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% dan Bahan Tambah *Super Plastycizer* sebanyak 1% dari Volume Air untuk 1 m³.

Tabel 3.2. Bahan Penyusun Beton dengan Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus Sebanyak 0% untuk 1 m³

Nama Bahan	Jumlah Bahan
Semen	326 Kg
Pasir	760 Kg
Pasir Silika	0,00 Kg
Split	1029 Kg
Air	215 Liter
<i>Super Plastycizer</i>	2,15 Liter

Tabel 3.3. Bahan Penyusun Beton dengan Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus Sebanyak 25% untuk 1 m³

Nama Bahan	Jumlah Bahan
Semen	326 Kg
Pasir	570 Kg
Pasir Silika	190 Kg
Split	1029 Kg
Air	215 Liter
<i>Super Plastycizer</i>	2,15 Liter

Tabel 3.4. Bahan Penyusun Beton dengan Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus Sebanyak 50% untuk 1 m³

Nama Bahan	Jumlah Bahan
Semen	326 Kg
Pasir	380 Kg
Pasir Silika	380 Kg
Split	1029 Kg
Air	215 Liter
<i>Super Plastycizer</i>	2,15 Liter

Tabel 3.5. Bahan Penyusun Beton dengan Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus Sebanyak 75% untuk 1 m³

Nama Bahan	Jumlah Bahan
Semen	326 Kg
Pasir	190 Kg
Pasir Silika	570 Kg
Split	1029 Kg
Air	215 Liter
<i>Super Plastycizer</i>	2,15 Liter

Tabel 3. 6. Bahan Penyusun Beton dengan Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus Sebanyak 100% untuk 1 m³

Nama Bahan	Jumlah Bahan
Semen	326 Kg
Pasir	0,00 Kg
Pasir Silika	760 Kg
Split	1029 Kg
Air	215 Liter
<i>Super Plastycizer</i>	2,15 Liter

3.6. Pembuatan Benda Uji Silinder

Pembuatan Benda Uji Silinder dalam penelitian ini dilakukan dengan tahap-tahap sebagai berikut:

1. Pastikan semua peralatan siap digunakan,
2. Gunakan berat yang telah direncanakan untuk acuan timbangan Bahan Penyusun Beton,
3. Hidupkan Mesin *Concrete Mixer* dan masukkan Bahan Penyusun Beton satu per satu dimulai dari Split, Pasir, Semen dan Air dimasukkan secara bertahap,
4. Pasir Silika dimasukkan beriringan dengan Pasir sesuai rencana awal,
5. Tunggu beberapa saat sampai semua Bahan Penyusun Beton tercampur rata,
6. Campurkan *Super Plastycizer* dengan Air yang akan digunakan dan masukkan secara bertahap,
7. Matikan Mesin *Concrete Mixer* setelah Bahan Penyusun Beton tercampur rata,
8. Lakukan *Slump Test*,
9. Berikan olesan Oli pada Cetakan Silinder agar pada saat pelepasan cetakan mudah dilakukan,
10. Setelah itu masukkan Adonan Beton kedalam Cetakan Silinder lapis demi lapis sebanyak 3 lapis dan setiap lapisan dilakukan pemadatan menggunakan Batang Pemadat sebanyak 25 tumbukan per lapis,
11. Setelah dilakukan Pemadatan pada Lapisan Terakhir, ratakan permukaan Benda Uji,
12. Diamkan Cetakan Silinder sampai kering hingga 24 jam,
13. Setelah Benda Uji kering, lepaskan Benda Uji dari Cetakan Silinder,

14. Sebelum dilakukan *Curing*, lakukan Penimbangan Berat Volume Benda Uji,
15. Lakukan Perendaman Selama 28 hari.

3.7. *Slump Test*

Berdasarkan SNI 03-1972-2008 tujuan *Slump Test* adalah untuk mengetahui tingkat kekentalan Campuran Beton. *Slump* diartikan sebagai banyaknya penurunan beton segar dari permukaan atas yang diukur secepat mungkin setelah dilakukan pemadatan. *Slump Test* dilakukan menggunakan Kerucut Abrams.

Langkah-langkah untuk melakukan *Slump Test* adalah sebagai berikut:

- a. Basahi Kerucut Abrams dan letakkan di permukaan yang kaku dan tidak menyerap Air,
- b. Masukkan Campuran Beton ke dalam Kerucut Abrams sebanyak 3 lapisan,
- c. Padatkan setiap lapisan menggunakan Batang Pemadat sebanyak 25 tumbukan, lakukan sampai Lapisan ke 3 dengan banyak tumbukan yang sama,
- d. Setelah Lapisan ke 3 selesai, segera lepaskan Kerucut Abrams secara vertikal,
- e. Setelah dilakukan pelepasan Kerucut Abrams dan beton mengalami penurunan permukaan, ukurlah beda tinggi antara Titik Tertinggi Permukaan Atas Beton dengan Titik Tertinggi Kerucut Abrams.



Gambar 3. 16. *Slump Test*
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

3.8. Perawatan Beton (*Curing*)

Curing akan dilakukan Setelah Benda Uji dilepas dari Silinder ketika Umur 24 hari. Benda Uji direndam dalam Bak Perendam yang akan berlangsung Selama 28 hari. Tujuan dari *Curing* ini untuk menjaga Benda Uji pada kelembaban dan suhu yang baik.

Perawatan Benda Uji dilakukan berdasarkan ASTM C31-91 atau SNI 2493-2011 dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Lepaskan Benda Uji dari Cetakan Silinder Setelah 24 jam,
2. Isi Bak Perendam Beton dengan Air Bersih,
3. Masukkan Benda Uji ke dalam Bak Perendam Beton dan pastikan seluruh permukaan terendam Air,
4. Lakukan perendaman Benda Uji Selama 28 hari .



Gambar 3. 17. *Curing*
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

3.9. Pengukuran Berat Volume

Berat Volume dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\gamma = \frac{W}{V} \dots\dots\dots (3.11.)$$

Dengan :

γ = Berta Jenis Beton (gram/cm³)

W = Berat Beton (gram)

V = Volume Silinder Beton (cm³)

3.10. Uji Kuat Tekan Beton

Kuat Tekan Beton dapat melebihi 80 MPa, tergantung dari Perbandingan antara Jumlah Semen dan Jumlah Air (Faktor Air Semen /FAS) yang digunakan dan tingkat kepadatan betonnya. Selain itu, Kuat Tekan Beton juga dapat dipengaruhi oleh Kualitas Agregat, Jenis Semen, Bahan Tambah dan Umur Beton (Murdock dan K.M.Brook, 1991).

Berdasarkan SNI 1974:2011 Rumus Kuat Tekan Beton adalah sebagai berikut:

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (3.12.)$$

Dengan :

- $f'c$ = Kuat Tekan Beton (Kg/cm²)
- P = Gaya (Kg)
- A = Luas Penampang Benda Uji (cm²)

❖ Contoh Perhitungan Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder.

- Beban Maksimum (P) = 400 kN
= 40000 Kg
- Luas Benda Uji Silinder (A) = $\frac{1}{4} \times \pi \times d^2$
= $\frac{1}{4} \times 3,14 \times 15^2$
= 176,625 cm²

- Kuat Tekan Beton Benda Uji Silinder

$$\begin{aligned} f'c &= \frac{P}{A} \\ &= \frac{40000}{176,625} \\ &= 226,469 \text{ kg/cm}^2 = 22,647 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3.11. Uji Kuat Tarik Belah Beton

Umumnya Nilai Kuat Tarik Belah Beton berkisar antara 8% sampai 15% dari hasil Nilai Kuat Tekan. Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton menggunakan Benda Uji dengan ukuran Diameter 150 mm dan Tinggi 300 mm.

Berdasarkan SNI 2491:2014 Rumus Kuat Tarik Belah Beton adalah sebagai berikut:

$$T = \frac{2P}{\pi \cdot l \cdot d} \dots\dots\dots (3.13)$$

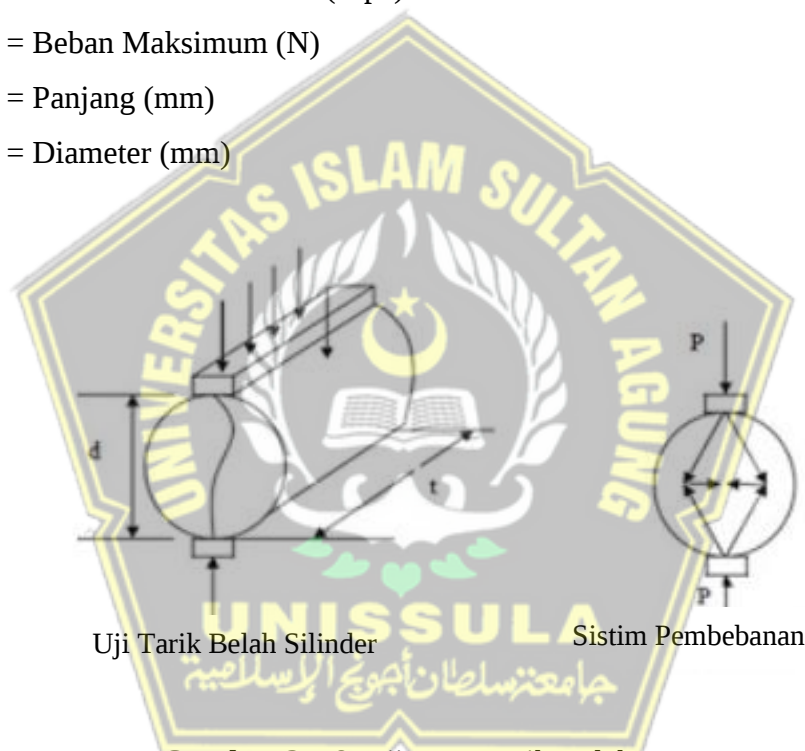
Dengan :

T = Kekuatan Tarik Beton (Mpa)

P = Beban Maksimum (N)

l = Panjang (mm)

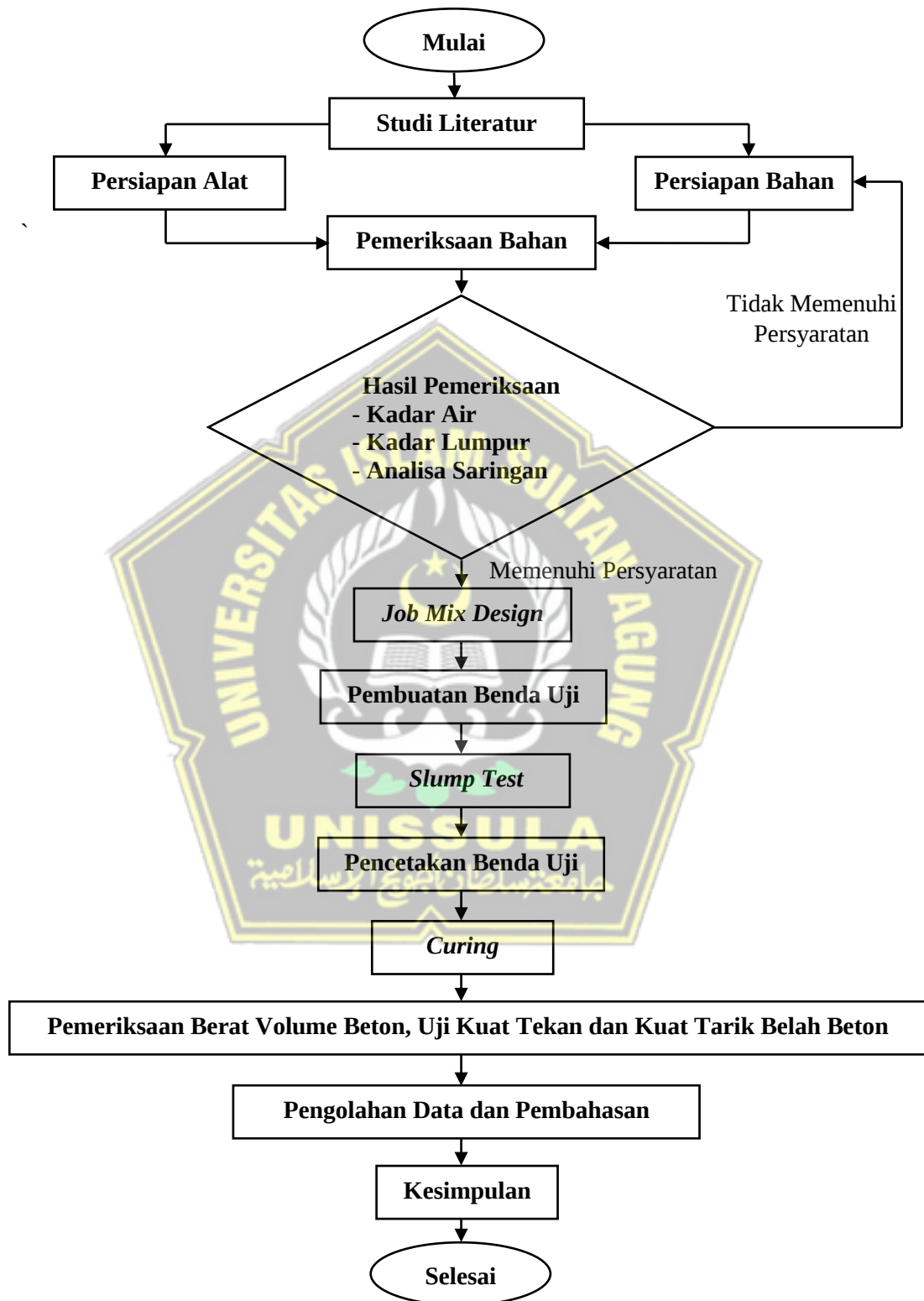
d = Diameter (mm)



Gambar 3. 18. Uji Kuat Tarik Belah Beton
(Sumber : SNI 2491-2014)

3.12. Bagan Alir

Bagan Alir ini menjelaskan secara sistematis tentang proses penelitian Tugas Akhir.



Gambar 3. 19. Bagan Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Berat Volume Agregat

Berat Volume Agregat yang di uji meliputi Agregat Halus (Pasir Muntilan, Pasir Silika) dan Split.

a. Agregat Halus

Agregat Halus meliputi Pasir Muntilan dan Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntilan).

1. Pasir Muntilan

➤ Cara Lepas

Perhitungan Nilai Berat Volume Agregat Halus (Pasir Muntilan) dengan Cara Lepas (Tanpa Pemadatan) menggunakan rumus:

$$\text{Nilai Berat Volume Agregat} = \frac{W_3}{\text{Volume Wadah}}$$

- Kode Wadah Sil. A

$$W_1 = 10,73 \text{ Kg}$$

$$W_2 = 17,36 \text{ Kg}$$

$$W_3 = W_2 - W_1$$

$$= 17,36 - 10,73$$

$$= 6,63 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{6,63 \text{ Kg}}{0,00530 \text{ m}^3} \\ &= 1251,24 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

- Kode Wadah Sil. B

$$W_1 = 10,51 \text{ Kg}$$

$$W_2 = 17,32 \text{ Kg}$$

$$W_3 = W_2 - W_1$$

$$= 17,32 - 10,51$$

$$= 6,81 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{6,81 \text{ Kg}}{0,00530 \text{ m}^3} \\ &= 1285,21 \text{ Kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rata-Rata Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{1251,24 + 1285,21}{2} \\ &= 1268,22 \text{ Kg/m}^3\end{aligned}$$

Pada Tabel 4.1 di bawah ini dapat dilihat Hasil Perhitungan Nilai Berat Volume Pasir Muntitan dengan Cara Lepas (Tanpa Pemadatan).

Tabel 4.1. Hasil Perhitungan Nilai Berat Volume Pasir Muntitan dengan Cara Lepas (Tanpa Pemadatan)

No	Kode Wadah	Berat Wadah (Kg) W_1	Berat Wadah + Agregat (Kg) W_2	Berat Agregat (Kg) $W_3 = W_2 - W_1$	Nilai Berat Volume Agregat (Kg/m ³) $W_3 / V \text{ Wadah}$	Rata-Rata (Kg/m ³)
1	Sil. A	10,73	17,36	6,63	1251,24	1268,22
2	Sil. B	10,51	17,32	6,81	1285,21	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Berdasarkan Hasil Perhitungan, mendapatkan Rata-Rata Nilai Berat Volume Pasir Muntitan dengan Cara Lepas (Tanpa Pemadatan) sebesar 1268,22 Kg/m³.

➤ Cara Pemadatan

Perhitungan Nilai Berat Volume Agregat Halus (Pasir Muntitan) dengan Cara Pemadatan menggunakan rumus:

$$\text{Nilai Berat Volume Agregat} = \frac{W_3}{\text{Volume Wadah}}$$

- Kode Wadah Sil. A

$$W_1 = 10,73 \text{ Kg}$$

$$W_2 = 20,12 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned}W_3 &= W_2 - W_1 \\ &= 20,12 - 10,73 \\ &= 9,39 \text{ Kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{9,39 \text{ Kg}}{0,00530 \text{ m}^3} \\ &= 1772,12 \text{ Kg/m}^3\end{aligned}$$

- Kode Wadah Sil. B

$$W_1 = 10,51 \text{ Kg}$$

$$W_2 = 19,65 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned}W_3 &= W_2 - W_1 \\ &= 19,65 - 10,51 \\ &= 9,14 \text{ Kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{9,14 \text{ Kg}}{0,00530 \text{ m}^3} \\ &= 1724,94 \text{ Kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rata-Rata Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{1772,12 + 1724,94}{2} \\ &= 1748,53 \text{ Kg/m}^3\end{aligned}$$

Pada Tabel 4.2 di bawah ini dapat dilihat Hasil Perhitungan Nilai Berat Volume Agregat Halus (Pasir Muntilan) dengan Cara Pemadatan.

Tabel 4.2. Hasil Perhitungan Nilai Berat Volume Agregat Halus (Pasir Muntilan) dengan Cara Pemadatan

No	Kode Wadah	Berat Wadah (Kg) W_1	Berat Wadah + Agregat (Kg) W_2	Berat Agregat (Kg) $W_3 = W_2 - W_1$	Nilai Berat Volume Agregat (Kg/m ³) $W_3 / V \text{ Wadah}$	Rata-Rata (Kg/m ³)
1	Sil. A	10,73	20,12	9,39	1772,12	1748,53
2	Sil. B	10,51	19,65	9,14	1724,94	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Berdasarkan Tabel 4.2 di atas, diperoleh Rata-Rata Nilai Berat Volume Pasir Muntilan dengan Cara Pemadatan sebesar 1748,53 Kg/m³.



Gambar 4.1. Berat Volume Agregat Halus (Pasir Muntilan)
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

2. Pasir Silika

➤ Cara Lepas

Perhitungan Nilai Berat Volume Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntilan) dengan Cara Lepas (Tanpa Pemadatan) menggunakan rumus:

$$\text{Nilai Berat Volume Agregat} = \frac{W_3}{\text{Volume Wadah}}$$

- Kode Wadah Sil. A

$$W_1 = 10,73 \text{ Kg}$$

$$W_2 = 17,64 \text{ Kg}$$

$$W_3 = W_2 - W_1$$

$$= 17,64 - 10,73$$

$$= 6,91 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{6,91 \text{ Kg}}{0,0053 \text{ m}^3} \\ &= 1304,08 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

- Kode Wadah Sil. B

$$W_1 = 10,51 \text{ Kg}$$

$$W_2 = 17,26 \text{ Kg}$$

$$W_3 = W_2 - W_1$$

$$= 17,26 - 10,51$$

$$= 6,75 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{6,75 \text{ Kg}}{0,0053 \text{ m}^3} \\ &= 1273,89 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rata-Rata Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{1304,08 + 1273,89}{2} \\ &= 1288,98 \text{ Kg/m}^3\end{aligned}$$

Pada Tabel 4.3 di bawah ini dapat dilihat Hasil Perhitungan Nilai Berat Volume Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntilan) dengan Cara Lepas (Tanpa Pemadatan).

Tabel 4.3. Hasil Perhitungan Nilai Berat Volume Pasir Silika dengan Cara Lepas (Tanpa Pemadatan)

No	Kode Wadah	Berat Wadah (Kg) W_1	Berat Wadah + Agregat (Kg) W_2	Berat Agregat (Kg) $W_3 = W_2 - W_1$	Nilai Berat Volume Agregat (Kg/m ³) $W_3 / V \text{ Wadah}$	Rata-Rata (Kg/m ³)
1	Sil. A	10,73	17,64	6,91	1304,08	1288,98
2	Sil. B	10,51	17,26	6,75	1273,89	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Nilai Berat Volume Rata-Rata Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntilan) dengan Cara Lepas (Tanpa Pemadatan) berdasarkan Tabel 4.3 di atas sebesar 1288,98 Kg/m³.

➤ Cara Pemadatan

Perhitungan Nilai Berat Volume Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntilan) dengan Cara Pemadatan menggunakan rumus:

$$\text{Nilai Berat Volume Agregat} = \frac{W_3}{\text{Volume Wadah}}$$

• Kode Wadah Sil. A

$$W_1 = 10,73 \text{ Kg}$$

$$W_2 = 18,92 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned}W_3 &= W_2 - W_1 \\ &= 18,92 - 10,73 \\ &= 8,19 \text{ Kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{8,19 \text{ Kg}}{0,00530 \text{ m}^3} \\ &= 1545,65 \text{ Kg/m}^3\end{aligned}$$

- Kode Wadah Sil. B

$$W_1 = 10,51 \text{ Kg}$$

$$W_2 = 18,73 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} W_3 &= W_2 - W_1 \\ &= 18,73 - 10,51 \\ &= 8,22 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{8,22 \text{ Kg}}{0,00530 \text{ m}^3} \\ &= 1551,31 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata-Rata Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{1545,65 + 1551,31}{2} \\ &= 1548,48 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

Pada Tabel 4.4 di bawah ini dapat dilihat Hasil Perhitungan Nilai Berat Volume Pasir Silika dengan Cara Pemadatan.

Tabel 4.4. Hasil Perhitungan Nilai Berat Volume Pasir Silika dengan Cara Pemadatan

No	Kode Wadah	Berat Wadah (Kg) W_1	Berat Wadah + Agregat (Kg) W_2	Berat Agregat (Kg) $W_3 = W_2 - W_1$	Nilai Berat Volume Agregat (Kg/m ³) $W_3 / V \text{ Wadah}$	Rata-Rata (Kg/m ³)
1	Sil. A	10,73	18,92	8,19	1545,65	1548,48
2	Sil. B	10,51	18,73	8,22	1551,31	

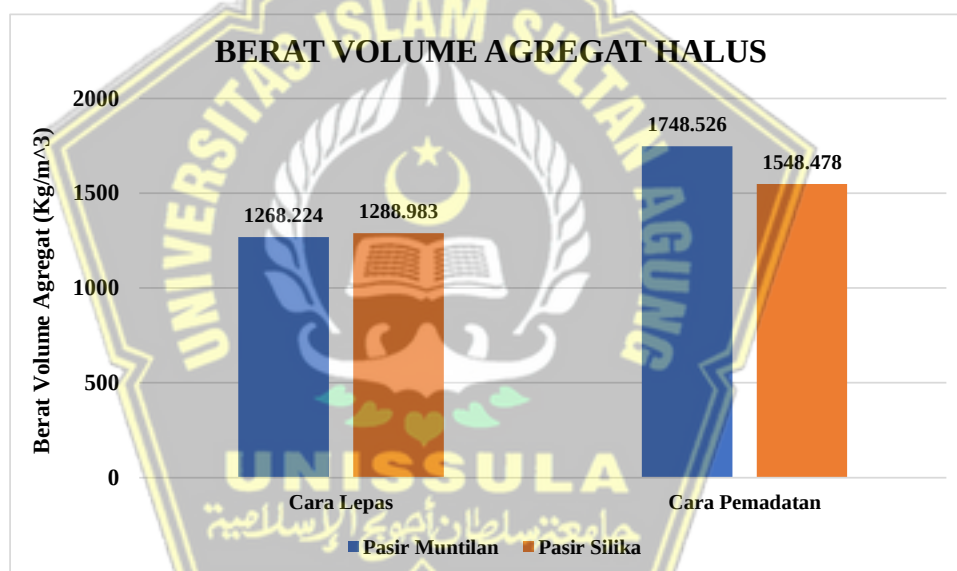
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Berdasarkan Hasil Perhitungan, didapatkan Rata-Rata Nilai Berat Volume Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntilan) dengan Cara Pemadatan sebesar 1548,48 Kg/m³.



Gambar 4.2. Berat Volume Pasir Silika
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

Dari Hasil Perhitungan Nilai Berat Volume Agregat Halus (Pasir Muntilan dan Pasir Silika) dapat dilihat pada Gambar 4.3 di bawah ini.



Gambar 4.3. Grafik Hasil Perhitungan Berat Volume Agregat Halus (Pasir Muntilan dan Pasir Silika)
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Hasil Penelitian menunjukkan dengan Cara Lepas (Tanpa Pemadatan) Pasir Silika dan Pasir Muntilan mendapatkan Nilai Berat Volume yang relatif sama, sedangkan dengan Cara Pemadatan Nilai Berat Volume Pasir Muntilan lebih besar dibandingkan dengan Pasir Silika. Dari Hasil tersebut disebabkan dengan Cara Lepas (Tanpa Pemadatan) Kadar Rongga Udara pada Pasir Muntilan lebih banyak daripada Pasir Silika, sedangkan dengan Cara Pemadatan Kadar Rongga Udara pada Pasir Muntilan lebih sedikit dibandingkan dengan Pasir Silika. Cara

Pemadatan mempengaruhi Berat Volume Pasir Muntitan yang signifikan, sedangkan pada Pasir Silika dengan Cara Pemadatan tidak terlalu mempengaruhi Berat Volume Pasir Silika.

3. Agregat Kasar (Split)

➤ Cara Lepas

Perhitungan Nilai Berat Volume Agregat Kasar (Split) dengan Cara Lepas (Tanpa Pemadatan) menggunakan rumus:

$$\text{Nilai Berat Volume Agregat} = \frac{W_3}{\text{Volume Wadah}}$$

- Kode Wadah Sil. A

$$W_1 = 10,73 \text{ Kg}$$

$$W_2 = 17,81 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} W_3 &= W_2 - W_1 \\ &= 17,81 - 10,73 \\ &= 7,08 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{7,08 \text{ Kg}}{0,00530 \text{ m}^3} \\ &= 1336,16 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

- Kode Wadah Sil. B

$$W_1 = 10,51 \text{ Kg}$$

$$W_2 = 17,59 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} W_3 &= W_2 - W_1 \\ &= 17,59 - 10,51 \\ &= 7,08 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{7,08 \text{ Kg}}{0,00530 \text{ m}^3} \\ &= 1336,16 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata-Rata Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{1336,16 + 1336,16}{2} \\ &= 1336,16 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

Pada Tabel 4.5 di bawah ini dapat dilihat Hasil Perhitungan Nilai Berat Volume Split dengan Cara Lepas (Tanpa Pemadatan).

Tabel 4.5. Hasil Perhitungan Berat Volume Split dengan Cara Lepas (Tanpa Pemadatan)

No	Kode Wadah	Berat Wadah (kg) W_1	Berat Wadah + Agregat (kg) W_2	Berat Agregat (kg) $W_3 = W_2 - W_1$	Nilai Berat Volume Agregat (Kg/m ³) $W_3 / V \text{ Wadah}$	Rata-Rata (Kg/m ³)
1	Sil. A	10,73	17,81	7,08	1336,16	1336,16
2	Sil. B	10,51	17,59	7,08	1336,16	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Dari Hasil Perhitungan diatas, didapatkan Rata-Rata Nilai Berat Volume Agregat Kasar (Split) dengan Cara Lepas (Tanpa Pemadatan) sebesar 1336,16 Kg/m³.

➤ Cara Pemadatan

Perhitungan Nilai Berat Volume Agregat Kasar (Split) dengan Cara Pemadatan menggunakan rumus:

$$\text{Nilai Berat Volume Agregat} = \frac{W_3}{\text{Volume Wadah}}$$

- Kode Wadah Sil. A

$$W_1 = 10,73 \text{ Kg}$$

$$W_2 = 19,03 \text{ Kg}$$

$$W_3 = W_2 - W_1$$

$$= 19,03 - 10,73$$

$$= 8,30 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{8,30 \text{ Kg}}{0,00530 \text{ m}^3} \\ &= 1566,41 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

- Kode Wadah Sil. B

$$W_1 = 10,51 \text{ Kg}$$

$$W_2 = 18,76 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} W_3 &= W_2 - W_1 \\ &= 18,76 - 10,51 \\ &= 8,25 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{8,25 \text{ Kg}}{0,00530 \text{ m}^3} \\ &= 1556,97 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata-Rata Nilai Berat Volume Agregat} &= \frac{1566,41 + 1556,97}{2} \\ &= 1561,69 \text{ Kg/m}^3 \end{aligned}$$

Pada Tabel 4.6 di bawah ini dapat dilihat Hasil Perhitungan Nilai Berat Volume Agregat Kasar (Split) dengan Cara Pemadatan.

Tabel 4.6. Hasil Perhitungan Berat Volume Agregat Kasar (Split) dengan Cara Pemadatan

No	Kode Wadah	Berat Wadah (Kg) W_1	Berat Wadah + Agregat (Kg) W_2	Berat Agregat (Kg) $W_3 = W_2 - W_1$	Nilai Berat Volume Agregat (Kg/m ³) $W_3 / V \text{ Wadah}$	Rata-Rata (Kg/m ³)
1	Sil. A	10,73	19,03	8,30	1566,41	1561,69
2	Sil. B	10,51	18,76	8,25	1556,97	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Berdasarkan Hasil Perhitungan mendapatkan Nilai Berat Volume Rata-Rata Agregat Kasar (Split) dengan Cara Pemadatan sebesar 1561,69 Kg/m³.



Gambar 4.4. Berat Volume Agregat Kasar (Split)
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

Grafik Hasil Perhitungan Nilai Berat Volume Agregat Kasar (Split) dapat dilihat pada Gambar 4.5 di bawah ini.



Gambar 4.5. Grafik Hasil Perhitungan Berat Volume Agregat Kasar (Split)
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Berdasarkan Gambar 4.5 Nilai Berat Volume Agregat Kasar (Split) dengan Cara Pemadatan lebih besar dibandingkan dengan Cara Lepas karena dengan Cara Pemadatan, tekanan yang dihasilkan mendorong agregat mengisi Rongga-Rongga Udara yang belum terisi.

4.2. Kadar Lumpur

Pengujian Kadar Lumpur ini terdapat 2 cara yaitu dengan Cara Endapan dan Cara pencucian.

1. Agregat Halus (Pasir Muntitan)

➤ Cara Endapan

Perhitungan Nilai Kadar Lumpur Pasir Muntitan dengan Cara Endapan menggunakan rumus:

$$\text{Nilai Kadar Lumpur (\%)} = \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100\%$$

• Percobaan ke I

$$V_1 = 550 \text{ ml}$$

$$V_2 = 20 \text{ ml}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Kadar Lumpur I} &= \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100\% \\ &= \frac{20}{500 + 20} \times 100\% \\ &= 3,85 \% \end{aligned}$$

• Percobaan ke II

$$V_1 = 550 \text{ ml}$$

$$V_2 = 25 \text{ ml}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Kadar Lumpur II} &= \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100\% \\ &= \frac{25}{500 + 25} \times 100\% \\ &= 4,76 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata-Rata Nilai Kadar Lumpur} &= \frac{\text{Kadar Lumpur I} + \text{Kadar Lumpur II}}{2} \\ &= \frac{3,85 + 4,76}{2} \\ &= 4,31 \% \end{aligned}$$

Pada Tabel 4.7 di bawah ini dapat dilihat Hasil Perhitungan Nilai Kadar Lumpur Pasir Muntitan dengan Cara Endapan.

Tabel 4. 7. Kadar Lumpur Pasir Muntitan dengan Cara Endapan

Percobaan	Volume Pasir (ml) V_1	Volume Lumpur (ml) V_2	Nilai Kadar Lumpur %	Rata-Rata
			$\frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100\%$	%
I	550	20	3,85	4,31
II	550	25	4,76	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Berdasarkan Hasil Perhitungan, didapatkan Rata-Rata Nilai Kadar Lumpur pada Pasir Muntitan dengan Cara Endapan sebesar 4,31 %.



Gambar 4.6. Kadar Lumpur Agregat Halus Cara Endapan
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

➤ Cara Pencucian

Perhitungan Nilai Kadar Lumpur Agregat Halus (Pasir Muntitan) dengan Cara Pencucian menggunakan rumus:

$$\text{Nilai Kadar Lumpur (\%)} = \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100\%$$

• Percobaan ke I

a = 44 gram

b = 544 gram

c = 523gram

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai Kadar Lumpur I (\%)} &= \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100\% \\
 &= \frac{(544-523)}{(523-44)} \times 100\% \\
 &= \frac{21}{479} \times 100\% \\
 &= 4,38 \%
 \end{aligned}$$

- Percobaan ke II

$$a = 38 \text{ gram}$$

$$b = 538 \text{ gram}$$

$$c = 516 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai Kadar Lumpur II (\%)} &= \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100\% \\
 &= \frac{(538-516)}{(516-38)} \times 100\% \\
 &= \frac{22}{478} \times 100\% \\
 &= 4,60 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rata-Rata Nilai Kadar Lumpur (\%)} &= \frac{\text{Kadar Lumpur I} + \text{Kadar Lumpur II}}{2} \\
 &= \frac{4,38 + 4,60}{2} \\
 &= \frac{8,98}{2} \\
 &= 4,49 \%
 \end{aligned}$$

Pada Tabel 4.8 di bawah ini dapat dilihat Hasil Perhitungan Nilai Kadar Lumpur Pasir Muntlan dengan Cara Pencucian.

Tabel 4.8. Pemeriksaan Kadar Lumpur Pasir Muntlan dengan Cara Pencucian

Percobaan	Berat Wadah	Berat Wadah + Agregat Sebelum Dicuci	Berat Wadah + Agregat Setelah Dicuci	Berat Wadah + Agregat Setelah Dioven	Nilai Kadar Lumpur	Rata-Rata
	Gram	Gram	Gram	Gram	%	%
	<i>a</i>	<i>b</i>		<i>c</i>	$\frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100\%$	
I	44	544	567	523	4,38	4,49
II	38	538	559	516	4,60	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Berdasarkan Hasil Perhitungan, didapatkan Rata-Rata Nilai Kadar Lumpur pada Pasir Muntilan dengan Cara Pencucian sebesar 4,31 %.



Gambar 4.7. Kadar Lumpur Agregat Halus Cara Pencucian
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

2. Pasir Silika

➤ Cara Endapan

Perhitungan Nilai Kadar Lumpur Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntilan) dengan Cara Endapan dilakukan menggunakan rumus:

$$\text{Nilai Kadar Lumpur (\%)} = \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100\%$$

• Percobaan ke I

$$V_1 = 500 \text{ ml}$$

$$V_2 = 20 \text{ ml}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Kadar Lumpur I} &= \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100\% \\ &= \frac{20}{500 + 20} \times 100\% \\ &= 3,85 \% \end{aligned}$$

• Percobaan ke II

$$V_1 = 500 \text{ ml}$$

$$V_2 = 20 \text{ ml}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Kadar Lumpur II} &= \frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100\% \\ &= \frac{20}{500 + 20} \times 100\% \\ &= 3,85 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Rata-Rata Nilai Kadar Lumpur} &= \frac{\text{Kadar Lumpur I} + \text{Kadar Lumpur II}}{2} \\
 &= \frac{3,85 + 3,85}{2} \\
 &= 3,85 \%
 \end{aligned}$$

Pada Tabel 4.9 di bawah ini dapat dilihat Hasil Perhitungan Nilai Kadar Lumpur Pasir Silika dengan Cara Endapan.

Tabel 4.9. Pemeriksaan Kadar Lumpur Pasir Silika dengan Cara Endapan

Percobaan	Volume Pasir Silika (ml) V_1	Volume Lumpur (ml) V_2	Nilai Kadar Lumpur %	Kadar Lumpur Rata-Rata %
			$\frac{V_2}{V_1 + V_2} \times 100\%$	
1	500	20	3,85	3,85
2	500	20	3,85	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Berdasarkan Hasil Perhitungan, diperoleh Rata-Rata Nilai Kadar Lumpur Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntlan) dengan Cara Endapan sebesar 3,85 %.



Gambar 4.8. Kadar Lumpur Pasir Silika Cara Endapan
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

➤ Cara Pencucian

Perhitungan Nilai Kadar Lumpur Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntilan) dengan Cara Pencucian menggunakan rumus:

$$\text{Nilai Kadar Lumpur (\%)} = \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100\%$$

• Percobaan ke I

$$a = 44 \text{ gram}$$

$$b = 544 \text{ gram}$$

$$c = 525 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Kadar Lumpur I (\%)} &= \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100\% \\ &= \frac{(544-525)}{(525-44)} \times 100\% \\ &= \frac{19}{481} \times 100\% \\ &= 3,95 \% \end{aligned}$$

• Percobaan ke II

$$a = 44 \text{ gram}$$

$$b = 544 \text{ gram}$$

$$c = 524 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Kadar Lumpur II (\%)} &= \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100\% \\ &= \frac{(544-524)}{(524-44)} \times 100\% \\ &= \frac{20}{480} \times 100\% \\ &= 4,16 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata-Rata Nilai Kadar Lumpur (\%)} &= \frac{\text{Kadar Lumpur I} + \text{Kadar Lumpur II}}{2} \\ &= \frac{3,95 + 4,16}{2} \\ &= \frac{8,11}{2} \\ &= 4,06 \% \end{aligned}$$

Pada Tabel 4.10 di bawah ini dapat dilihat Hasil Perhitungan Nilai Kadar Lumpur Pasir Silika dengan Cara Pencucian.

Tabel 4.10. Pemeriksaan Kadar Lumpur Pasir Silika dengan Cara Pencucian

Percobaan	Berat Wadah	Berat Wadah + Agregat Belum Dicuci	Berat Wadah + Agregat Telah Dicuci	Berat Wadah + Agregat Setelah Dioven	Nilai Kadar Lumpur	Rata-Rata
	Gram	Gram	Gram	Gram	%	%
	<i>a</i>	<i>b</i>		<i>c</i>	$\frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100\%$	
I	44	544	576	525	3,95	4,06
II	44	544	575	524	4,16	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Berdasarkan Hasil Perhitungan, diperoleh Rata-Rata Nilai Kadar Lumpur Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntilan) dengan Cara Pencucian sebesar 4,06 %.



Gambar 4.9. Kadar Lumpur Pasir Silika Cara Pencucian
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

3. Agregat Kasar (Split)

➤ Cara Pencucian

Perhitungan Nilai Kadar Lumpur Agregat Kasar (Split) dengan Cara Pencucian menggunakan rumus:

$$\text{Nilai Kadar Lumpur (\%)} = \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100\%$$

- Percobaan ke I

$$a = 52,8 \text{ gram}$$

$$b = 552,8 \text{ gram}$$

$$c = 548,4 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Kadar Lumpur I (\%)} &= \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100\% \\ &= \frac{(552,8-548,4)}{(548,4-52,8)} \times 100\% \\ &= \frac{4,4}{495,6} \times 100\% \\ &= 0,89 \% \end{aligned}$$

- Percobaan ke II

$$a = 43,8 \text{ gram}$$

$$b = 543,8 \text{ gram}$$

$$c = 539,7 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned} \text{Nilai Kadar Lumpur II (\%)} &= \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100\% \\ &= \frac{(543,8-539,7)}{(539,7-43,8)} \times 100\% \\ &= \frac{4,1}{495,9} \times 100\% \\ &= 0,83 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rata-Rata Nilai Kadar Lumpur (\%)} &= \frac{\text{Kadar Lumpur I} + \text{Kadar Lumpur II}}{2} \\ &= \frac{0,89 + 0,83}{2} \\ &= \frac{1,72}{2} \\ &= 0,86 \% \end{aligned}$$

Pada Tabel 4.11 di bawah ini dapat dilihat Hasil Perhitungan Nilai Kadar Lumpur Split dengan Cara Pencucian.

Tabel 4.11. Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar dengan Cara Pencucian

Percobaan	Berat Wadah	Berat Wadah + Agregat Belum Dicuci	Berat Wadah + Agregat Telah Dicuci	Berat Wadah + Agregat Setelah Dioven	Nilai Kadar Lumpur	Rata-Rata Kadar Lumpur
	Gram	Gram	Gram	Gram	%	%
	a	b		c	$\frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100\%$	
I	52,8	552,8	571,0	548,4	0,89	0,86
II	43,8	543,8	569,6	539,7	0,83	

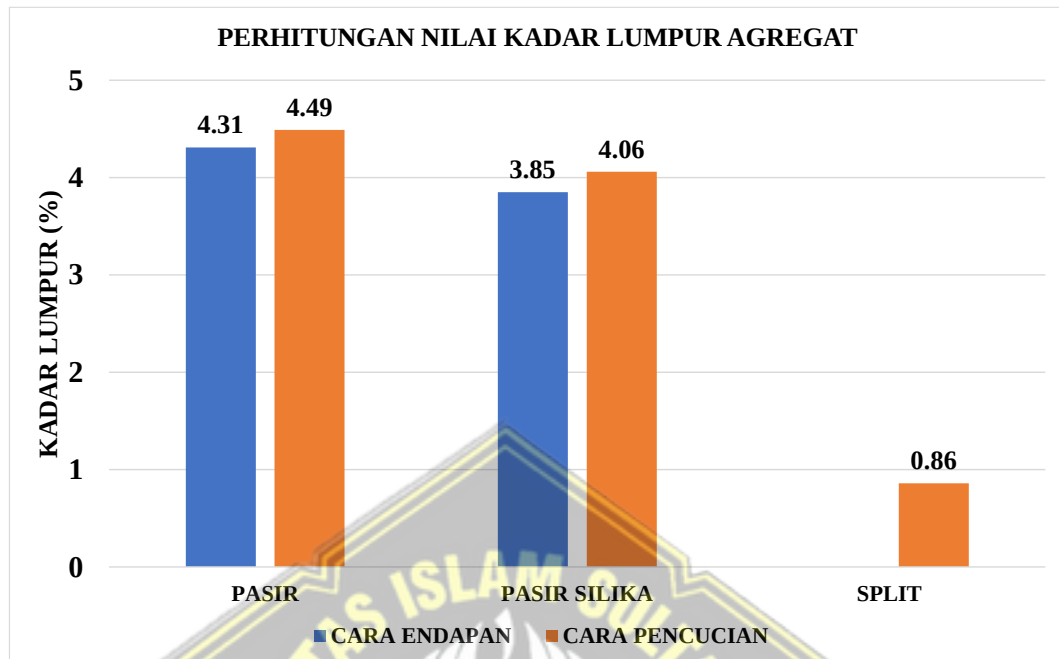
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Berdasarkan Hasil Perhitungan diperoleh Nilai Kadar Lumpur Rata-Rata Agregat Kasar (Split) dengan Cara Pencucian sebesar 0,86 %.



Gambar 4.10. Kadar Lumpur Agregat Kasar Cara Pencucian
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

Pada Gambar 4.11 di bawah ini dapat dilihat Hasil dari Perhitungan Rata-Rata Nilai Kadar Lumpur antara Pasir Muntitan, Pasir Silika dan Split.



Gambar 4.11. Grafik Nilai Kadar Lumpur Agregat
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Berdasarkan Perhitungan, didapatkan Nilai Kadar Lumpur Agregat sebagai berikut:

- Rata-Rata Nilai Kadar Lumpur pada Pasir Muntitan dengan Cara Endapan adalah 4,31%.
- Rata-Rata Nilai Kadar Lumpur pada Pasir Muntitan dengan Cara Pencucian adalah 4,49%.
- Rata-Rata Nilai Kadar Lumpur pada Pasir Silika dengan Cara Endapan adalah 3,85%.
- Rata-Rata Nilai Kadar Lumpur pada Pasir Silika dengan Cara Pencucian adalah 4,06%.
- Rata-Rata Nilai Kadar Lumpur pada Agregat Kasar (Split) dengan Cara Pencucian adalah 0,86%.

4.3. Kadar Air

1. Pasir Muntilan

Perhitungan Nilai Kadar Air Pasir Muntilan dengan Cara Dioven menggunakan rumus:

$$\text{Nilai Kadar Air (\%)} = \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100\%$$

- Percobaan ke I

$$a = 44 \text{ gram}$$

$$b = 544 \text{ gram}$$

$$c = 530 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai Kadar Air I (\%)} &= \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100\% \\ &= \frac{(544-530)}{(530-44)} \times 100\% \\ &= \frac{14}{486} \times 100\% \\ &= 2,88 \%\end{aligned}$$

- Percobaan ke II

$$a = 46,2 \text{ gram}$$

$$b = 546,2 \text{ gram}$$

$$c = 537 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai Kadar Air II (\%)} &= \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100\% \\ &= \frac{(546,2-537)}{(537-46,2)} \times 100\% \\ &= \frac{9,2}{490,8} \times 100\% \\ &= 3,16 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rata-Rata Nilai Kadar Air (\%)} &= \frac{\text{Kadar Air I} + \text{Kadar Air II}}{2} \\ &= \frac{2,88 + 3,16}{2} \\ &= \frac{6,04}{2} \\ &= 3,02 \%\end{aligned}$$

Pada Tabel 4.12 di bawah ini dapat dilihat Hasil Perhitungan Nilai Kadar Air Pasir Muntilan dengan Cara Dioven.

Tabel 4.12. Nilai Kadar Air Pasir Muntilan

Percobaan	Berat Wadah	Berat Wadah + Agregat Sebelum Dioven	Berat Wadah + Agregat Setelah Dioven	Nilai Kadar Air	Rata-Rata
	Gram	Gram	Gram	%	%
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	$\frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100\%$	
I	44	544	530	2,88	3,02
II	46,2	546,2	537	3,16	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Dari Hasil Perhitungan di atas Nilai Kadar Air Rata-Rata pada Agregat Halus (Pasir Muntilan) dengan Cara Dioven sebesar 3,02%.

2. Pasir Silika

Perhitungan Nilai Kadar Air Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntilan) dengan Cara Dioven menggunakan rumus:

$$\text{Nilai Kadar Air (\%)} = \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100\%$$

- Percobaan ke I

$$a = 44 \text{ gram}$$

$$b = 544 \text{ gram}$$

$$c = 542 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai Kadar Air I (\%)} &= \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100\% \\
 &= \frac{(544-542)}{(542-44)} \times 100\% \\
 &= \frac{2}{498} \times 100\% \\
 &= 0,40 \%
 \end{aligned}$$

- Percobaan ke II

$a = 44$ gram

$b = 544$ gram

$c = 543$ gram

$$\begin{aligned}\text{Nilai Kadar Air II (\%)} &= \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100\% \\ &= \frac{(544-543)}{(543-44)} \times 100\% \\ &= \frac{1}{499} \times 100\% \\ &= 0,20 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rata-Rata Nilai Kadar Air (\%)} &= \frac{\text{Kadar Air I} + \text{Kadar Air II}}{2} \\ &= \frac{0,40 + 0,20}{2} \\ &= \frac{0,60}{2} \\ &= 0,30 \%\end{aligned}$$

Pada Tabel 4.13 di bawah ini dapat dilihat Hasil Perhitungan Nilai Kadar Air Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntilan) dengan Cara Dioven.

Tabel 4.13. Nilai Kadar Air Pasir Silika

Percobaan	Berat Wadah	Berat Wadah + Agregat Sebelum Dioven	Berat Wadah + Agregat Setelah Dioven	Nilai Kadar Air	Rata-Rata
	Gram	Gram	Gram	%	%
	a	b	c	$\frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100\%$	
I	44	544	542	0,40	0,30
II	44	544	543	0,20	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Dari Hasil Perhitungan Nilai Kadar Air Rata-Rata pada Pasir Silika dengan Cara Dioven sebesar 0,30%.

3. Agregat Kasar (Split)

Perhitungan Nilai Kadar Air Split dengan Cara Dioven menggunakan rumus:

$$\text{Nilai Kadar Air (\%)} = \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100\%$$

- Percobaan ke I

$$a = 53 \text{ gram}$$

$$b = 553 \text{ gram}$$

$$c = 539 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai Kadar Air I (\%)} &= \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100\% \\ &= \frac{(553-539)}{(539-53)} \times 100\% \\ &= \frac{14}{486} \times 100\% \\ &= 2,88 \%\end{aligned}$$

- Percobaan ke II

$$a = 44 \text{ gram}$$

$$b = 544 \text{ gram}$$

$$c = 529 \text{ gram}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai Kadar Air II (\%)} &= \frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100\% \\ &= \frac{(544-529)}{(529-44)} \times 100\% \\ &= \frac{15}{485} \times 100\% \\ &= 3,09 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Rata-Rata Nilai Kadar Air (\%)} &= \frac{\text{Kadar Air I} + \text{Kadar Air II}}{2} \\ &= \frac{2,88 + 3,09}{2} \\ &= \frac{5,97}{2} \\ &= 2,99 \%\end{aligned}$$

Pada Tabel 4.14 di bawah ini dapat dilihat Hasil Perhitungan Nilai Kadar Air Split dengan Cara Dioven.

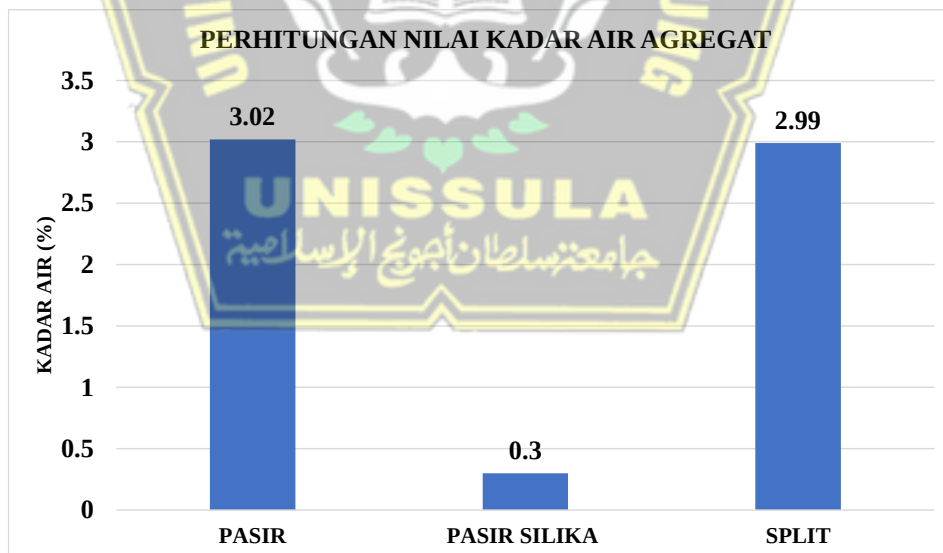
Tabel 4.14. Nilai Kadar Air Split

Percobaan	Berat Wadah	Berat Wadah + Agregat Sebelum Dioven	Berat Wadah + Agregat Setelah Dioven	Nilai Kadar Air	Rata-Rata
	Gram	Gram	Gram	%	%
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	$\frac{(b-c)}{(c-a)} \times 100\%$	
I	53	553	539	2,88	2,99
II	44	544	529	3,09	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Dari Hasil Perhitungan Rata-Rata Nilai Kadar Air pada Split dengan Cara Dioven sebesar 2,99%.

Pada Gambar 4.12 di bawah ini dapat dilihat Hasil dari Perhitungan Rata-Rata Nilai Kadar Air antara Pasir Muntilan, Pasir Silika dan Split.



Gambar 4.12. Grafik Perhitungan Nilai Kadar Air Agregat
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Berdasarkan Perhitungan Kadar Air di atas dapat disimpulkan bahwa:

- Rata-Rata Nilai Kadar Air pada Pasir Muntlan dengan Cara Dioven adalah 3,02%.
- Rata-Rata Nilai Kadar Air pada Pasir Silika dengan Cara Dioven adalah 0,30%.
- Rata-Rata Nilai Kadar Air pada Agregat Kasar (Split) dengan Cara Dioven adalah 2,99%.



Gambar 4.13. Pemeriksaan Kadar Air Agregat
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

4.4. Analisa Saringan

1. Pasir Muntlan

Data yang didapatkan dari Penelitian Analisa Saringan Pasir Muntlan dapat dilihat pada Tabel 4.15 di bawah ini.

Tabel 4. 15. Data Analisa Saringan Pasir Muntlan

No	Ukuran Saringan		Berat Wadah	Berat Wadah + Agregat	Berat Agregat
	Standar (mm)	Alternatif	Gram	Gram	Gram
1	9,5	3/8 in	38	38	0
2	4,7	No.4	38	38	0
3	2,36	No.8	38	101	63
4	1,18	No.16	38	149	111
5	0,59	No.30	38	521	483
6	0,27	No.50	38	268	230
7	0,15	No.100	38	90	52
8	PAN	-	38	38	0
Jumlah					939

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

➤ Perhitungan Analisa Saringan Pasir Muntlan

Berat Agregat Awal (*a*) = 1000 gram

Berat Agregat Setelah Disaring (*b*) = 939 gram

$$\begin{aligned}\text{Berat Kehilangan} &= \frac{a-b}{a} \times 100\% \\ &= \frac{1000 - 939}{1000} \times 100\% \\ &= \frac{61}{1000} \times 100\% \\ &= 6,1 \%\end{aligned}$$

a. Perhitungan Prosentase Agregat Tertinggal menggunakan rumus:

$$\text{Prosentase Agregat Tertinggal} = \frac{c}{\Sigma c} \times 100\%$$

$$1. \text{ Tertahan Komulatif } \phi 9,5 = \frac{0}{939} \times 100\% = 0 \%$$

$$2. \text{ Tertahan Komulatif } \phi 4,7 = \frac{0}{939} \times 100\% = 0 \%$$

$$3. \text{ Tertahan Komulatif } \phi 2,36 = \frac{63}{939} \times 100\% = 6,71 \%$$

b. Perhitungan Komulatif Agregat Tertinggal

$$1. \text{ Lolos Saringan } \phi 9,5 = (0 + 0) \% = 0 \%$$

$$2. \text{ Lolos Saringan } \phi 4,7 = (0 + 0) \% = 0 \%$$

$$3. \text{ Lolos Saringan } \phi 2,36 = (0 + 6,71) \% = 6,71 \%$$

c. Perhitungan *Present Finer* (*f*) menggunakan rumus:

$$f = 100 \% - \text{Komulatif Agregat Tertinggal}$$

$$1. \text{ Saringan } \phi 9,5 = 100 \% - 0 \% = 100 \%$$

$$2. \text{ Saringan } \phi 4,7 = 100 \% - 0 \% = 100 \%$$

$$3. \text{ Saringan } \phi 2,36 = 100 \% - 6,71 \% = 93,29 \%$$

Pada Tabel 4.16 di bawah ini dapat dilihat Hasil Perhitungan Analisa Saringan Pasir Muntilan.

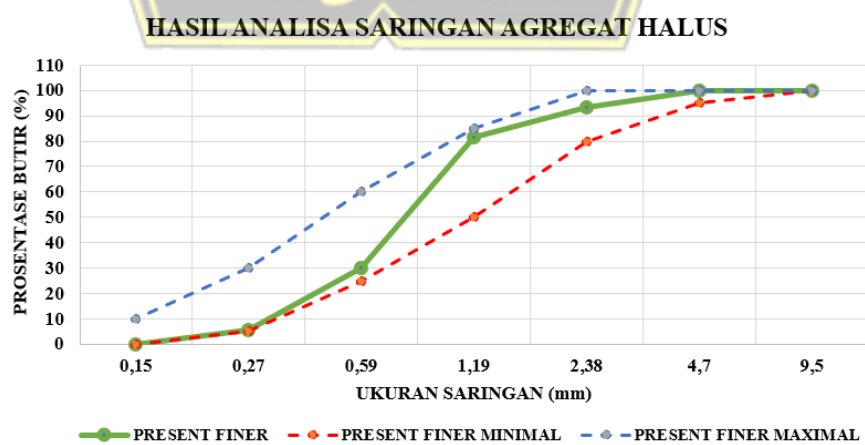
Tabel 4.16. Hasil Perhitungan Analisa Saringan Pasir Muntilan

No	Ukuran Saringan	Berat Wadah	Berat Wadah + Agregat	Berat Agregat	Prosentase Agregat Tertinggal	Komulatif Agregat Tertinggal	<i>Present Finer</i>	Spesifikasi ASTM C 33	
					%			Min	Max
					$\frac{c}{\sum c} \times 100\%$			%	%
1	9,5	38	38	0	0	0	100	100	100
2	4,75	38	38	0	0	0	100	95	100
3	2,36	38	101	63	6,71	6,71	93,29	80	100
4	1,18	38	149	111	11,82	18,53	81,47	50	85
5	0,59	38	521	483	51,44	69,97	30,03	25	60
6	0,27	38	268	230	24,49	94,46	5,54	5	30
7	0,15	38	90	52	5,54	100	0	0	10
Jumlah				939	100	289,67	410,33	-	-

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\sum \% \text{ Kumulatif Agregat Tertinggal}}{100 \%} \\
 &= \frac{289,67 \%}{100 \%} \\
 &= 2,90
 \end{aligned}$$

Pada Gambar 4.14 di bawah ini dapat dilihat Hasil dari Perhitungan Analisa Saringan Pasir Muntilan.



Gambar 4.14. Grafik Hasil Perhitungan Analisa Saringan Agregat Halus (Pasir Muntilan)

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Berdasarkan Gambar 4.14 di atas Nilai *Present Finer* dari Agregat Halus (Pasir Muntilan) memenuhi spesifikasi berdasarkan ASTM C 33 dan Modulus Halus Butir (MHB) sebesar 2,90.

2. Pasir Silika

Data yang didapatkan dari Penelitian Analisa Saringan Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus dapat dilihat pada Tabel 4.17 di bawah ini.

Tabel 4.17. Data Analisa Saringan Pasir Silika

No	Ukuran Saringan		Berat Wadah	Berat Wadah + Agregat	Berat Agregat
	Standar (mm)	Alternatif	Gram	Gram	Gram
1	9,5	3/8 in	38	38	0
2	4,7	No.4	38	38	0
3	2,36	No.8	38	38	0
4	1,18	No.16	38	48,2	10,2
5	0,59	No.30	38	94,4	56,4
6	0,27	No.50	38	174,6	136,6
7	0,15	No.100	38	748,9	710,9
8	0,074	No.200	38	101,4	63,4
9	PAN	-	38	38	0
Jumlah					977,5

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

- Perhitungan Analisa Saringan Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntilan)

Berat Agregat Awal (*a*) = 1000 gram

Berat Agregat Setelah Disaring (*b*) = 977,5 gram

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Kehilangan} &= \frac{a-b}{a} \times 100\% \\
 &= \frac{1000 - 977,5}{1000} \times 100\% \\
 &= \frac{22,5}{1000} \times 100\% \\
 &= 2,25 \%
 \end{aligned}$$

- a. Perhitungan Prosentase Agregat Tertinggal menggunakan rumus:

$$\text{Prosentase Agregat Tertinggal} = \frac{c}{\sum c} \times 100\%$$

$$1. \text{ Tertahan Komulatif } \phi 9,5 = \frac{0}{977,5} \times 100\% = 0 \%$$

$$2. \text{ Tertahan Komulatif } \phi 4,7 = \frac{0}{977,5} \times 100\% = 0 \%$$

$$3. \text{ Tertahan Komulatif } \phi 2,36 = \frac{0}{977,5} \times 100\% = 0\%$$

$$4. \text{ Tertahan Komulatif } \phi 1,18 = \frac{10,2}{977,5} \times 100\% = 1,04\%$$

b. Perhitungan Komulatif Agregat Tertinggal

$$1. \text{ Lolos Saringan } \phi 9,5 = (0 + 0)\% = 0\%$$

$$2. \text{ Lolos Saringan } \phi 4,7 = (0 + 0)\% = 0\%$$

$$3. \text{ Lolos Saringan } \phi 2,36 = (0 + 0)\% = 0\%$$

$$4. \text{ Lolos Saringan } \phi 1,18 = (0 + 1,04)\% = 1,04\%$$

c. Perhitungan *Present Finer* (*f*) menggunakan rumus:

$$f = 100\% - \text{Komulatif Agregat Tertinggal}$$

$$1. \text{ Saringan } \phi 9,5 = 100\% - 0\% = 100\%$$

$$2. \text{ Saringan } \phi 4,7 = 100\% - 0\% = 100\%$$

$$3. \text{ Saringan } \phi 2,36 = 100\% - 0\% = 100\%$$

$$4. \text{ Saringan } \phi 1,18 = 100\% - 1,04\% = 98,96\%$$

Hasil Perhitungan Analisa Saringan Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntitan) dilihat pada Tabel 4.18 di bawah ini.

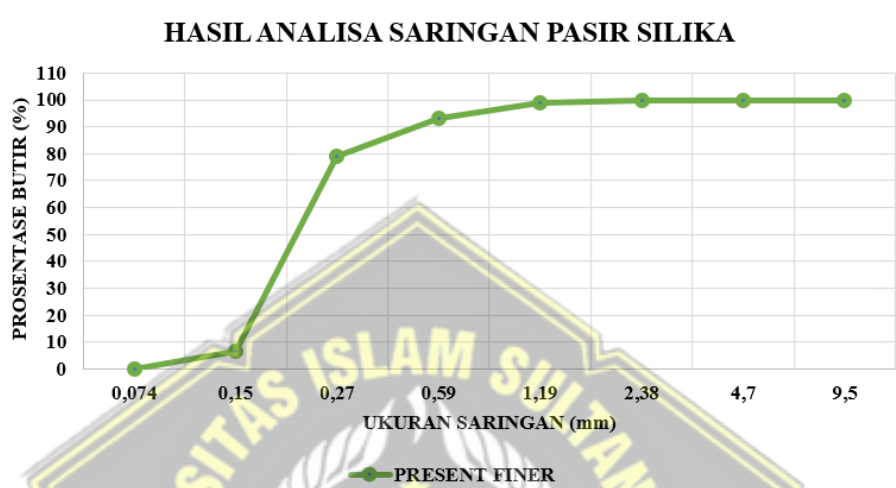
Tabel 4. 18. Hasil Perhitungan Analisa Saringan Pasir Silika

No	Ukuran Saringan	Berat Wadah	Berat Wadah + Agregat	Berat Agregat	Prosentase Agregat Tertinggal	Kumulatif Agregat Tertinggal	<i>Present Finer</i>
	mm	Gram	Gram	Gram	$\frac{c}{\sum c} \times 100\%$	%	%
1	9,5	38	38	0	0	0	100
2	4,75	38	38	0	0	0	100
3	2,36	38	38	0	0	0	100
4	1,18	38	48,2	10,2	1,04	1,04	98,96
5	0,59	38	94,4	56,4	5,77	6,81	93,19
6	0,27	38	224,6	186,6	13,97	20,78	79,22
7	0,15	38	698,9	660,9	72,73	93,51	6,49
8	0,074	38	101,4	63,4	6,49	100	0
Jumlah				977,5	100	222,14	577,86

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\Sigma \% \text{ Kumulatif Agregat Tertinggal}}{100 \%} \\
 &= \frac{222,14 \%}{100 \%} \\
 &= 2,22
 \end{aligned}$$

Pada Gambar 4.15 di bawah ini dapat dilihat Hasil dari Perhitungan Analisa Saringan Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntilan).



Gambar 4.15. Grafik Hasil Perhitungan Analisa Saringan Pasir Silika
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

3. Agregat Kasar (Split)

Data yang didapatkan dari Penelitian Analisa Saringan Agregat Kasar (Split) dapat dilihat pada Tabel 4.19 di bawah ini.

Tabel 4.19. Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar (Split)

No	Ukuran Saringan		Berat Wadah	Berat Wadah + Agregat	Berat Agregat
	Standar (mm)	Alternatif	Gram	Gram	Gram
1	25	1 in	58,8	58,8	0
2	19	3/4 in	58,8	441	382,2
3	12,5	1/2 in	58,8	445	386,2
4	9,5	3/8 in	58,8	242,8	184
5	4,7	No.4	58,8	91	32,2
6	2,36	No.8	58,8	59,4	0,6
7	1,18	No.16	58,8	58,8	0
8	0,59	No.30	58,8	58,8	0
Jumlah					985,2

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

➤ Perhitungan Analisa Saringan Agregat Kasar (Split)

Berat Agregat Awal (a) = 1000 gram

Berat Agregat Setelah Disaring (b) = 985,2 gram

$$\begin{aligned}\text{Berat Kehilangan} &= \frac{a-b}{a} \times 100\% \\ &= \frac{1000 - 985,2}{1000} \times 100\% \\ &= \frac{14,8}{1000} \times 100\% \\ &= 1,48 \%\end{aligned}$$

a. Perhitungan Prosentase Agregat Tertinggal menggunakan rumus:

$$\text{Prosentase Agregat Tertinggal} = \frac{c}{\Sigma c} \times 100\%$$

1. Tertahan Komulatif ϕ 25 = $\frac{0}{985,2} \times 100\% = 0 \%$
2. Tertahan Komulatif ϕ 19 = $\frac{382,2}{985,2} \times 100\% = 38,79 \%$
3. Tertahan Komulatif ϕ 12,5 = $\frac{386,2}{985,2} \times 100\% = 39,20 \%$

b. Perhitungan Komulatif Agregat Tertinggal

1. Lolos Saringan ϕ 25 = $(0 + 0) \%$ = 0 %
2. Lolos Saringan ϕ 19 = $(0 + 38,79) \%$ = 38,79 %
3. Lolos Saringan ϕ 12,5 = $(38,79 + 39,20) \%$ = 77,99 %

c. Perhitungan *Present Finer* (f) menggunakan rumus:

$$f = 100 \% - \text{Komulatif Agregat Tertinggal}$$

1. Saringan ϕ 25 = $100 \% - 0 \% = 100 \%$
2. Saringan ϕ 19 = $100 \% - 38,79 \% = 61,21 \%$
3. Saringan ϕ 12,5 = $100 \% - 77,99 \% = 22,01 \%$

Pada Tabel 4.20 di bawah ini dapat dilihat Hasil Perhitungan Analisa Saringan Agregat Kasar (Split).

Tabel 4.20. Hasil Perhitungan Analisa Saringan Agregat Kasar (Split)

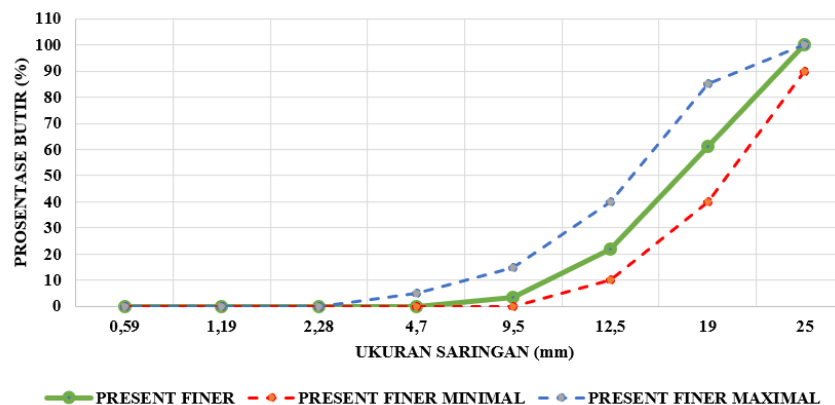
No	Ukuran Saringan	Berat Wadah	Berat Wadah + Agregat	Berat Agregat	Prosentase Agregat Tertinggal	Komulatif Agregat Tertinggal	<i>Present Finer</i>	Spesifikasi	
					%				
					$\frac{c}{\sum c} \times 100\%$			Min %	Max %
1	25	58,8	58,8	0	0	0	100	90	100
2	19	58,8	441	382,2	38,79	38,79	61,21	40	85
3	12,5	58,8	445	386,2	39,20	77,99	22,01	10	40
4	9,5	58,8	242,8	184	18,68	96,67	3,33	0	15
5	4,7	58,8	91	32,2	3,27	99,94	0,06	0	5
6	2,36	58,8	59,4	0,6	0,06	100	0	0	0
7	1,18	58,8	58,8	0	0	100	0	0	0
8	0,59	58,8	58,8	0	0	100	0	0	0
Jumlah				985,2	100	613,39	186,61	-	-

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\sum \% \text{ Kumulatif Agregat Tertinggal}}{100 \%} \\
 &= \frac{613,39 \%}{100 \%} \\
 &= 6,13
 \end{aligned}$$

pada Gambar 4.16 di bawah ini dapat dilihat Hasil dari Perhitungan Analisa Saringan Agregat Kasar (Split).

HASIL ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR



Gambar 4.16. Grafik Hasil Perhitungan Analisa Saringan Agregat Kasar (Split)
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Berdasarkan Gambar 4.16 di atas Nilai *Present Finer* dari Agregat Kasar (Split) memenuhi spesifikasi berdasarkan ASTM C 33 dan Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Kasar (Split) sebesar 6,13.



Gambar 4.17. Analisa Saringan Agregat
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

4.5. *Slump Test*

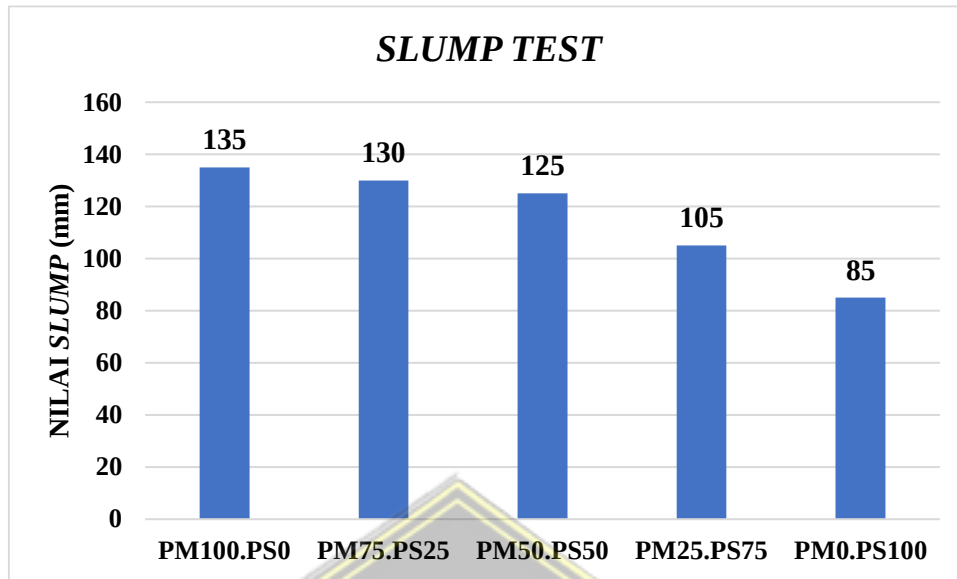
Hasil dari Pengukuran *Slump Test* pada Beton Segar dapat dilihat pada Tabel 4.21 di bawah ini.

Tabel 4.21. *Slump Test*

No	Nama Sampel	Nilai <i>Slump</i> (mm)	Rata-Rata (mm)
1	PM100.PS0.1	140	135
2	PM100.PS0.2	130	
3	PM75.PS25.1	140	130
4	PM75.PS25.2	120	
5	PM50.PS50.1	130	125
6	PM50.PS50.2	120	
7	PM25.PS75.1	100	105
8	PM25.PS75.2	110	
9	PM0.PS100.1	80	85
10	PM0.PS100.2	90	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Grafik dari *Slump Test* dapat dilihat pada Gambar 4.18 di bawah ini.



Gambar 4.18. Grafik *Slump Test*
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Dari Gambar 4.18 di atas dapat disimpulkan penggunaan Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntitan) *Slmp Test* yang dihasilkan dari Campuran Beton semakin rendah (Semakin Encer).



Gambar 4.19. *Slump Test*
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

4.6. Berat Volume Beton

Penimbangan Berat Volume Beton dilakukan pada saat beton masih dalam keadaan segar (belum mengeras) dan dilakukan saat beton sudah dalam keadaan keras. Untuk Pemeriksaan Berat Volume Beton Keras dilakukan pada saat umur beton 24 Jam (sebelum *Curing*) dan pada saat umur beton 28 hari (setelah *Curing*).

4.6.1. Berat Volume Beton Segar

Pada Tabel 4.22 di bawah ini dapat dilihat Data Berat Benda Uji Beton Segar.

Tabel 4.22. Berat Benda Uji Beton Segar

No	Kode Beton	Berat Cetakan	Berat Cetakan + Benda Uji	Berat Benda Uji
		Kg	Kg	Kg
		a	b	$W = b - a$
1	PM100.PS0.1	10,37	23,10	12,73
2	PM100.PS0.2	10,74	23,47	12,73
3	PM100.PS0.3	11,37	24,37	13,00
4	PM100.PS0.4	11,86	25,12	13,26
5	PM100.PS0.5	10,26	23,81	13,55
6	PM100.PS0.6	11,52	25,00	13,48
7	PM75.PS25.1	10,79	23,84	13,05
8	PM75.PS25.2	10,50	23,31	12,81
9	PM75.PS25.3	10,90	23,52	12,62
10	PM75.PS25.4	9,91	23,20	13,29
11	PM75.PS25.5	13,00	26,24	13,24
12	PM75.PS25.6	12,41	25,38	12,97
13	PM50.PS50.1	12,35	25,01	12,66
14	PM50.PS50.2	11,36	24,38	13,02
15	PM50.PS50.3	10,36	23,36	13,00
16	PM50.PS50.4	10,70	23,84	13,14
17	PM50.PS50.5	10,72	23,67	12,95
18	PM50.PS50.6	12,00	25,22	13,22
19	PM25.PS75.1	10,94	23,62	12,68
20	PM25.PS75.2	10,37	23,36	12,99
21	PM25.PS75.3	10,84	23,94	13,10
22	PM25.PS75.4	13,31	26,08	12,77
23	PM25.PS75.5	10,52	23,33	12,81
24	PM25.PS75.6	12,09	25,31	13,22
25	PM0.PS100.1	13,01	25,89	12,88
26	PM0.PS100.2	10,80	23,82	13,02
27	PM0.PS100.3	10,50	23,34	12,84
28	PM0.PS100.4	12,41	25,05	12,64
29	PM0.PS100.5	10,34	23,13	12,79
30	PM0.PS100.6	10,96	23,44	12,48

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

- Rumus yang digunakan untuk menghitung Berat Volume Beton Segar:

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

Sebagai contoh berikut adalah Perhitungan Berat Volume Beton dengan Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntilan) sebesar 0 %.

1. PM100.PS0.1 = $\frac{\text{Berat Beton Segar}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,73}{0,00530} = 2401,89 \text{ Kg/m}^3$
2. PM100.PS0.2 = $\frac{\text{Berat Beton Segar}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,73}{0,00530} = 2401,89 \text{ Kg/m}^3$
3. PM100.PS0.3 = $\frac{\text{Berat Beton Segar}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{13,00}{0,00530} = 2452,83 \text{ Kg/m}^3$
4. PM100.PS0.4 = $\frac{\text{Berat Beton Segar}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{13,26}{0,00530} = 2501,89 \text{ Kg/m}^3$
5. PM100.PS0.5 = $\frac{\text{Berat Beton Segar}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{13,55}{0,00530} = 2556,60 \text{ Kg/m}^3$
6. PM100.PS0.6 = $\frac{\text{Berat Beton Segar}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{13,48}{0,00530} = 2543,40 \text{ Kg/m}^3$

- Perhitungan Berat Volume Beton Segar Rata-Rata

$$\begin{aligned}
 & 1. \text{PM100.PS0} \\
 & = \frac{\text{PM100.PS0.1} + \text{PM100.PS0.2} + \text{PM100.PS0.3} + \text{PM100.PS0.4} + \text{PM100.PS0.5} + \text{PM100.PS0.6}}{\text{Jumlah Sampel}} \\
 & = \frac{2401,89 + 2401,89 + 2452,83 + 2501,89 + 2556,60 + 2543,40}{6} \\
 & = \frac{14858,49}{6} \\
 & = 2476,42 \text{ Kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Hasil Perhitungan Berat Volume Beton Segar selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.23 di bawah ini.

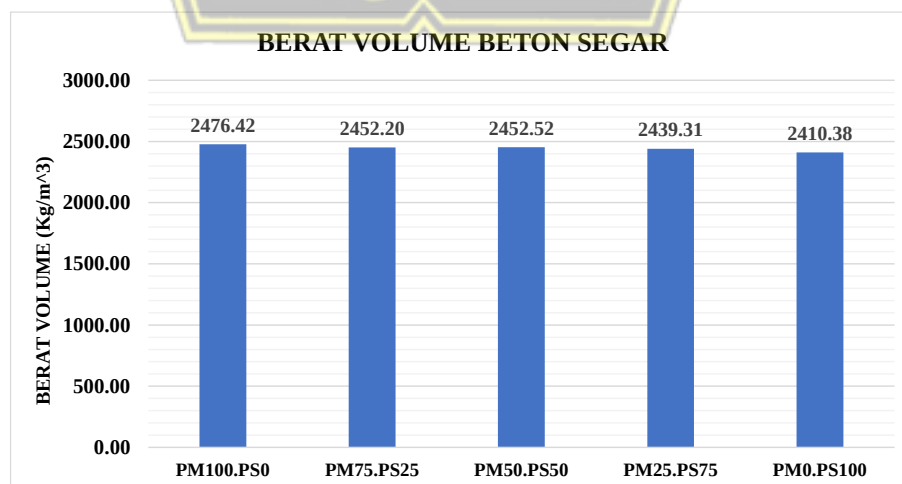
Tabel 4.23. Hasil Perhitungan Berat Volume Beton Segar

No	Kode Beton	Berat Beton Segar	Volume Silinder	Berat Volume Beton Segar	Rata-Rata
		Kg	m ³	Kg/m ³	Kg/m ³
		$W = b - a$	$V = \pi \times r^2 \times h$	$\gamma = \frac{W}{V}$	
1	PM100.PS0.1	12,73	0,00530	2401.89	2476,42
2	PM100.PS0.2	12,73		2401.89	
3	PM100.PS0.3	13,00		2452.83	
4	PM100.PS0.4	13,26		2501.89	
5	PM100.PS0.5	13,55		2556.60	
6	PM100.PS0.6	13,48		2543.40	

7	PM75.PS25.1	13,05	0,00530	2462,26	2452,20
8	PM75.PS25.2	12,81		2416,98	
9	PM75.PS25.3	12,62		2381,13	
10	PM75.PS25.4	13,29		2507,55	
11	PM75.PS25.5	13,24		2498,11	
12	PM75.PS25.6	12,97		2447,17	
13	PM50.PS50.1	12,66		2388,68	2452,52
14	PM50.PS50.2	13,02		2456,60	
15	PM50.PS50.3	13,00		2452,83	
16	PM50.PS50.4	13,14		2479,25	
17	PM50.PS50.5	12,95		2443,40	
18	PM50.PS50.6	13,22		2494,34	
19	PM25.PS75.1	12,68		2392,45	2439,31
20	PM25.PS75.2	12,99		2450,94	
21	PM25.PS75.3	13,10		2471,70	
22	PM25.PS75.4	12,77		2409,43	
23	PM25.PS75.5	12,81		2416,98	
24	PM25.PS75.6	13,22		2494,34	
25	PM0.PS100.1	12,88		2430,19	2410,38
26	PM0.PS100.2	13,02		2456,60	
27	PM0.PS100.3	12,84		2422,64	
28	PM0.PS100.4	12,64		2384,91	
29	PM0.PS100.5	12,79		2413,21	
30	PM0.PS100.6	12,48		2354,72	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Pada Gambar 4.20 di bawah ini dapat dilihat Hasil dari Perhitungan Nilai Berat Volume Beton Segar.



Gambar 4.20. Grafik Berat Volume Beton Segar
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Nilai Berat Volume Beton Segar Tertinggi didapatkan pada Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus sebesar 0% (PM100.PS0), dengan Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntilan) Nilai Berat Volume Beton Segar semakin turun.



Gambar 4.21. Penimbangan Beton Segar
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

4.6.2. Berat Volume Beton Keras Umur 24 Jam

Pada Tabel 4.24 di bawah ini dapat dilihat Data Berat Benda Uji Beton Keras pada Umur 24 jam.

Tabel 4.24. Berat Benda Uji Beton Keras pada Umur 24 Jam

No	Kode Beton	Berat Benda Uji	No	Kode Beton	Berat Benda Uji
		Kg			Kg
		<i>W</i>			<i>W</i>
1	PM100.PS0.1	12,54	16	PM50.PS50.4	12,97
2	PM100.PS0.2	12,62	17	PM50.PS50.5	12,78
3	PM100.PS0.3	12,83	18	PM50.PS50.6	12,99
4	PM100.PS0.4	12,65	19	PM25.PS75.1	12,54
5	PM100.PS0.5	12,92	20	PM25.PS75.2	12,82
6	PM100.PS0.6	12,83	21	PM25.PS75.3	12,94
7	PM75.PS25.1	12,90	22	PM25.PS75.4	12,58
8	PM75.PS25.2	12,69	23	PM25.PS75.5	12,65
9	PM75.PS25.3	12,54	24	PM25.PS75.6	13,03
10	PM75.PS25.4	12,77	25	PM0.PS100.1	12,79
11	PM75.PS25.5	13,14	26	PM0.PS100.2	12,92
12	PM75.PS25.6	12,84	27	PM0.PS100.3	12,74
13	PM50.PS50.1	12,48	28	PM0.PS100.4	12,53
14	PM50.PS50.2	12,89	29	PM0.PS100.5	12,69
15	PM50.PS50.3	12,83	30	PM0.PS100.6	12,42

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

- Berat Volume Beton Keras pada Umur 24 jam dihitung menggunakan rumus :

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

Sebagai contoh berikut adalah Perhitungan Berat Volume Beton dengan Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntilan) sebesar 0 %.

1. PM100.PS0.1 = $\frac{\text{Berat Beton Umur 24 Jam}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,54}{0,00530} = 2366,40 \text{ Kg/m}^3$
2. PM100.PS0.2 = $\frac{\text{Berat Beton Umur 24 Jam}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,62}{0,00530} = 2381,13 \text{ Kg/m}^3$
3. PM100.PS0.3 = $\frac{\text{Berat Beton Umur 24 Jam}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,83}{0,00530} = 2420,75 \text{ Kg/m}^3$
4. PM100.PS0.4 = $\frac{\text{Berat Beton Umur 24 Jam}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,65}{0,00530} = 2386,79 \text{ Kg/m}^3$
5. PM100.PS0.5 = $\frac{\text{Berat Beton Umur 24 Jam}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,92}{0,00530} = 2437,74 \text{ Kg/m}^3$
6. PM100.PS0.6 = $\frac{\text{Berat Beton Umur 24 Jam}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,83}{0,00530} = 2420,75 \text{ Kg/m}^3$

- Perhitungan Berat Volume Beton Keras pada Umur 24 jam Rata-Rata

1. PM100.PS0

$$= \frac{\text{PM100.PS0.1} + \text{PM100.PS0.2} + \text{PM100.PS0.3} + \text{PM100.PS0.4} + \text{PM100.PS0.5} + \text{PM100.PS0.6}}{\text{Jumlah Sampel}}$$

$$= \frac{2366,04 + 2381,13 + 2420,75 + 2386,79 + 2437,74 + 2420,75}{6}$$

$$= \frac{14413,21}{6}$$

$$= 2402,20 \text{ Kg/m}^3$$

Pada Tabel 4.25 di bawah ini dapat dilihat Hasil Perhitungan lanjutan dari Berat Volume Beton Keras pada Umur 24 jam.

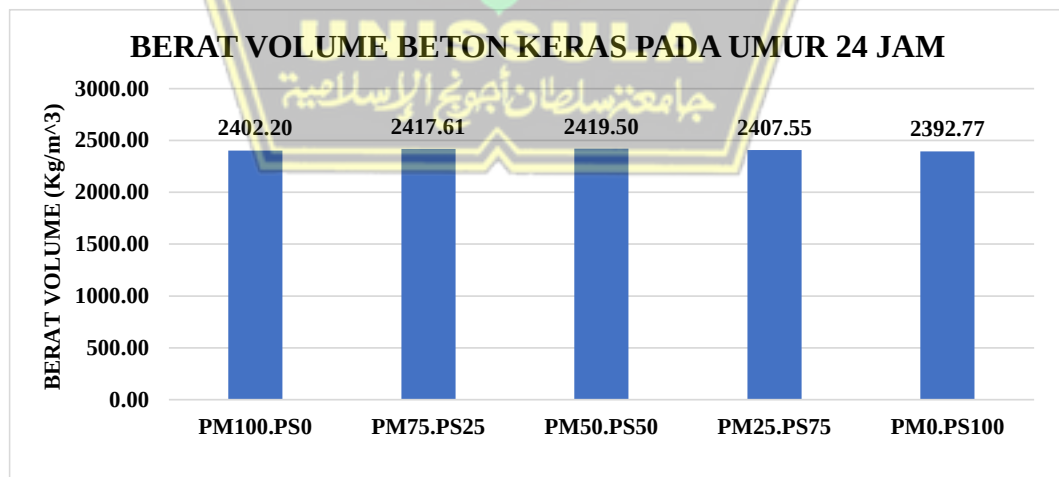
Tabel 4.25. Hasil Perhitungan Berat Volume Beton Umur 24 Jam

No	Kode Beton	Berat Beton pada Umur 24 Jam	Volume Silinder	Berat Volume Beton Keras Umur 24 Jam	Rata-Rata
		Kg	m ³	Kg/m ³	Kg/m ³
		W	$V = \pi \times r^2 \times h$	$\gamma = \frac{W}{V}$	
1	PM100.PS0.1	12,54	0,00530	2366,04	2402,20
2	PM100.PS0.2	12,62		2381,13	
3	PM100.PS0.3	12,83		2420,75	
4	PM100.PS0.4	12,65		2386,79	
5	PM100.PS0.5	12,92		2437,74	
6	PM100.PS0.6	12,83		2420,75	

7	PM75.PS25.1	12,90	0,00530	2433,96	2417,61
8	PM75.PS25.2	12,69		2394,34	
9	PM75.PS25.3	12,54		2366,04	
10	PM75.PS25.4	12,77		2409,43	
11	PM75.PS25.5	13,14		2479,25	
12	PM75.PS25.6	12,84		2422,64	
13	PM50.PS50.1	12,48		2354,72	2419,50
14	PM50.PS50.2	12,89		2432,08	
15	PM50.PS50.3	12,83		2420,75	
16	PM50.PS50.4	12,97		2447,17	
17	PM50.PS50.5	12,78		2411,32	
18	PM50.PS50.6	12,99		2450,94	
19	PM25.PS75.1	12,54		2366,04	2407,55
20	PM25.PS75.2	12,82		2418,87	
21	PM25.PS75.3	12,94		2441,51	
22	PM25.PS75.4	12,58		2373,58	
23	PM25.PS75.5	12,65		2386,79	
24	PM25.PS75.6	13,03		2458,49	
25	PM0.PS100.1	12,79		2413,21	2392,77
26	PM0.PS100.2	12,92		2437,74	
27	PM0.PS100.3	12,74		2403,77	
28	PM0.PS100.4	12,53		2364,15	
29	PM0.PS100.5	12,69		2394,34	
30	PM0.PS100.6	12,42		2343,40	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Pada Gambar 4.22 di bawah ini dapat dilihat Hasil dari Perhitungan Nilai Berat Volume Beton Keras pada Umur 24 Jam.



Gambar 4.22. Grafik Berat Volume Beton Keras pada Umur 24 jam
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Nilai Berat Volume Beton Keras Tertinggi pada Umur 24 jam didapatkan pada Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntitan) sebesar 50% (PM50.PS50) yaitu dengan Nilai 2419,50 Kg/m³.



Gambar 4.23. Penimbangan Beton Keras pada Umur 24 Jam
(Sumber : Dokumentasi Penulis, 2024)

4.6.3. Berat Volume Beton Keras pada Umur 28 Hari

Pada Tabel 4.26 di bawah ini dapat dilihat Data Berat Benda Uji Beton Keras pada Umur 28 Hari.

Tabel 4.26. Berat Benda Uji Beton Keras pada Umur 28 Hari

No	Kode Beton	Berat Benda Uji	No	Kode Beton	Berat Benda Uji
		Kg			Kg
		<i>W</i>			<i>W</i>
1	PM100.PS0.1	12,58	16	PM50.PS50.4	13,04
2	PM100.PS0.2	12,66	17	PM50.PS50.5	12,83
3	PM100.PS0.3	12,89	18	PM50.PS50.6	13,04
4	PM100.PS0.4	12,74	19	PM25.PS75.1	12,56
5	PM100.PS0.5	12,99	20	PM25.PS75.2	12,86
6	PM100.PS0.6	12,89	21	PM25.PS75.3	12,99
7	PM75.PS25.1	12,94	22	PM25.PS75.4	12,64
8	PM75.PS25.2	12,74	23	PM25.PS75.5	12,71
9	PM75.PS25.3	12,58	24	PM25.PS75.6	13,09
10	PM75.PS25.4	12,84	25	PM0.PS100.1	12,85
11	PM75.PS25.5	13,21	26	PM0.PS100.2	12,98
12	PM75.PS25.6	12,90	27	PM0.PS100.3	12,79
13	PM50.PS50.1	12,53	28	PM0.PS100.4	12,57
14	PM50.PS50.2	12,93	29	PM0.PS100.5	12,74
15	PM50.PS50.3	12,88	30	PM0.PS100.6	12,46

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

- Rumus untuk menghitung Berat Volume Beton Keras pada Umur 28 Hari:

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

Sebagai contoh berikut adalah Perhitungan Berat Volume Beton dengan Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntilan) sebesar 0 %.

1. PM100.PS0.1 = $\frac{\text{Berat Beton Keras Umur 28 Hari}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,58}{0,00530} = 2373,58 \text{ Kg/m}^3$
2. PM100.PS0.2 = $\frac{\text{Berat Beton Keras Umur 28 Hari}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,66}{0,00530} = 2388,68 \text{ Kg/m}^3$
3. PM100.PS0.3 = $\frac{\text{Berat Beton Keras Umur 28 Hari}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,89}{0,00530} = 2432,08 \text{ Kg/m}^3$
4. PM100.PS0.4 = $\frac{\text{Berat Beton Keras Umur 28 Hari}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,74}{0,00530} = 2403,77 \text{ Kg/m}^3$
5. PM100.PS0.5 = $\frac{\text{Berat Beton Keras Umur 28 Hari}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,99}{0,00530} = 2450,94 \text{ Kg/m}^3$
6. PM100.PS0.6 = $\frac{\text{Berat Beton Keras Umur 28 Hari}}{\text{Volume Silinder}} = \frac{12,89}{0,00530} = 2432,08 \text{ Kg/m}^3$

- Perhitungan Berat Volume Beton Keras pada Umur 28 Hari Rata-Rata

$$\begin{aligned}
 &1. \text{ PM100.PS0} \\
 &= \frac{\text{PM100.PS0.1} + \text{PM100.PS0.2} + \text{PM100.PS0.3} + \text{PM100.PS0.4} + \text{PM100.PS0.5} + \text{PM100.PS0.6}}{\text{Jumlah Sampel}} \\
 &= \frac{2373,58 + 2388,68 + 2432,08 + 2403,77 + 2450,94 + 2432,08}{6} \\
 &= \frac{14481,13}{6} \\
 &= 2413,52 \text{ Kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Pada Tabel 4.27 di bawah ini dapat dilihat Hasil Perhitungan lanjutan dari Berat Volume Beton Keras pada Umur 28 Hari.

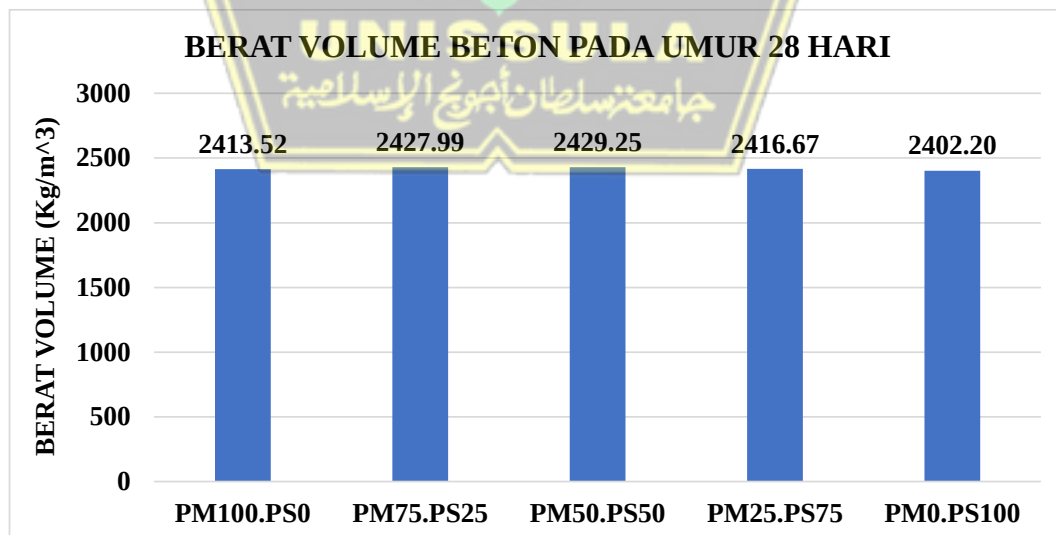
Tabel 4.27. Hasil Perhitungan Berat Volume Beton Keras pada Umur 28 Hari

No	Kode Beton	Berat Beton pada Umur 28 Hari	Volume Silinder	Berat Volume Beton Keras Umur 28 Hari	Rata-Rata
		Kg	m ³	Kg/m ³	Kg/m ³
		W	$V = \pi \times r^2 \times h$	$\gamma = \frac{W}{V}$	
1	PM100.PS0.1	12,58	0,00530	2373,58	2413,52
2	PM100.PS0.2	12,66		2388,68	
3	PM100.PS0.3	12,89		2432,08	
4	PM100.PS0.4	12,74		2403,77	
5	PM100.PS0.5	12,99		2450,94	
6	PM100.PS0.6	12,89		2432,08	

7	PM75.PS25.1	12,94	0,00530	2441,51	2427,99
8	PM75.PS25.2	12,74		2403,77	
9	PM75.PS25.3	12,58		2373,58	
10	PM75.PS25.4	12,84		2422,64	
11	PM75.PS25.5	13,21		2492,45	
12	PM75.PS25.6	12,90		2433,96	
13	PM50.PS50.1	12,53		2364,15	2429,25
14	PM50.PS50.2	12,93		2439,62	
15	PM50.PS50.3	12,88		2430,19	
16	PM50.PS50.4	13,04		2460,38	
17	PM50.PS50.5	12,83		2420,75	
18	PM50.PS50.6	13,04		2460,38	
19	PM25.PS75.1	12,56		2369,81	2416,67
20	PM25.PS75.2	12,86		2426,42	
21	PM25.PS75.3	12,99		2450,94	
22	PM25.PS75.4	12,64		2384,91	
23	PM25.PS75.5	12,71		2398,11	
24	PM25.PS75.6	13,09		2469,81	
25	PM0.PS100.1	12,85		2424,53	2402,20
26	PM0.PS100.2	12,98		2449,06	
27	PM0.PS100.3	12,79		2413,21	
28	PM0.PS100.4	12,57		2371,70	
29	PM0.PS100.5	12,74		2403,77	
30	PM0.PS100.6	12,46		2350,94	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Pada Gambar 4.24 di bawah ini menunjukkan Hasil Perhitungan Nilai Berat Volume Beton Keras pada Umur 28 Hari.



Gambar 4.24. Grafik Berat Volume Beton Keras pada Umur 28 Hari
(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Berdasarkan Gambar 4.24 di atas, Nilai Berat Volume Beton Tertinggi didapatkan pada Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntilan) sebesar 50% (PM50.PS50) yaitu dengan Nilai 2429,25 Kg/m³ karena Rongga Udara pada Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntilan) sebesar 50% (PM50.PS50) lebih sedikit.



Gambar 4.25. Berat Volume Beton Keras pada Umur 28 Hari
(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

4.7. Kuat Tekan Beton

Pada Tabel 4.28 di bawah ini dapat dilihat Data yang didapatkan dari Kuat Tekan Beton.

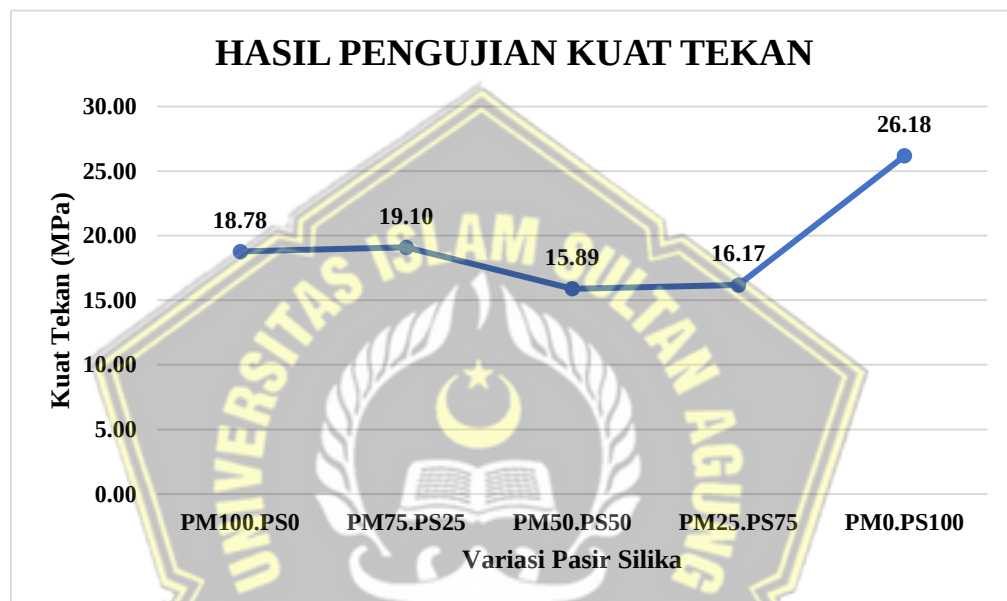
Tabel 4.28. Hasil Kuat Tekan Beton

No	Kode Beton	Umur Beton	Beban Maximum	Kuat Tekan	Kuat Tekan Rata-Rata
		(Hari)	P (kN)	$f'c = \frac{P}{A}$ (MPa)	$f'c$ (MPa)
1	PM100.PS0.1	28	460,67	26,07	18,78
2	PM100.PS0.2	28	278,77	15,78	
3	PM100.PS0.3	28	255,90	14,48	
4	PM75.PS25.1	28	307,15	17,38	19,10
5	PM75.PS25.2	28	354,93	20,09	
6	PM75.PS25.3	28	350,33	19,82	
7	PM50.PS50.1	28	208,60	11,80	15,89
8	PM50.PS50.2	28	280,01	15,85	
9	PM50.PS50.3	28	353,89	20,03	

10	PM25.PS75.1	28	303,49	17,17	16,17
11	PM25.PS75.2	28	255,86	14,48	
12	PM25.PS75.3	28	297,94	16,86	
13	PM0.PS100.1	28	499,48	28,27	26,18
14	PM0.PS100.2	28	474,97	26,88	
15	PM0.PS100.3	28	413,30	23,39	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Pada Gambar 4.26 di bawah ini dapat dilihat Hasil dari Pengujian Kuat Tekan Beton pada Umur 28 Hari.



Gambar 4.26. Grafik Kuat Tekan Beton pada Umur 28 hari
(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Berdasarkan Gambar 4.26 di atas, didapatkan Nilai Kuat Tekan Beton Tertinggi pada Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntitan) sebesar 100 % (PM0.PS100) yaitu dengan Nilai 26,18 MPa dan secara dominan kurva mengalami Tren Positif karena semakin Tinggi Pasir Silika yang digunakan Nilai Kuat Tekan Beton yang didapatkan akan semakin Tinggi. Pada Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntitan) sebesar 50% (PM50.PS50) dan 75% (PM25.PS75) mengalami penurunan hal ini disebabkan banyak terjadi kemungkinan yang salah satunya dari segi pelaksanaannya.



Gambar 4.27. Pengujian Kuat Tekan Beton
(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

4.8. Kuat Tarik Belah Beton

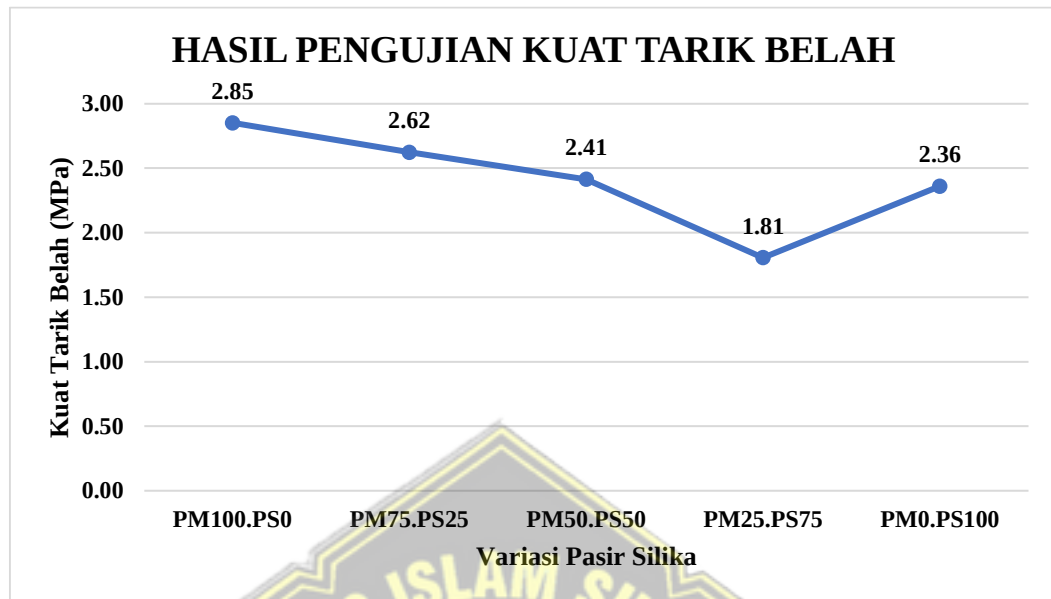
Pada Tabel 4.29 di bawah ini dapat dilihat Data yang didapatkan dari Kuat Tarik Belah Beton.

Tabel 4.29. Hasil Kuat Tarik Belah Beton

No	Kode Beton	Umur Beton	Beban Maximum	Kuat Tarik Belah	Kuat Tarik Belah Rata-Rata
		(Hari)	P (kN)	$f_t = \frac{P}{A}$ (MPa)	f_t (MPa)
1	PM100.PS0.4	28	197,66	2,80	2,85
2	PM100.PS0.5	28	194,13	2,75	
3	PM100.PS0.6	28	212,85	3,01	
4	PM75.PS25.4	28	178,58	2,53	2,62
5	PM75.PS25.5	28	174,47	2,47	
6	PM75.PS25.6	28	203,37	2,88	
7	PM50.PS50.4	28	163,51	2,31	2,41
8	PM50.PS50.5	28	167,80	2,37	
9	PM50.PS50.6	28	180,69	2,56	
10	PM25.PS75.4	28	118,45	1,68	1,81
11	PM25.PS75.5	28	122,27	1,73	
12	PM25.PS75.6	28	142,25	2,01	
13	PM0.PS100.4	28	137,08	1,94	2,36
14	PM0.PS100.5	28	172,38	2,44	
15	PM0.PS100.6	28	191,15	2,70	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Pada Gambar 4.28 di bawah ini dapat dilihat Hasil dari Pengujian Kuat Tarik Belah Beton pada Umur 28 Hari.



Gambar 4.28. Grafik Kuat Tarik Belah Beton pada Umur 28 hari
(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

Berdasarkan Gambar 4.28 di atas, didapatkan Nilai Kuat Tarik Belah Beton Tertinggi pada Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntlan) sebesar 0% (PM100.PS0) yaitu dengan Nilai 2,85 MPa dan secara dominan kurva mengalami Tren Negatif karena semakin Tinggi Pasir Silika yang digunakan Nilai Kuat Tarik Belah Beton yang didapatkan akan semakin rendah.



Gambar 4.29. Pengujian Kuat Tarik Belah Beton
(Sumber : Hasil Penelitian, 2025)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Penelitian ini mendapatkan Kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai Kuat Tekan Beton Normal sebesar 18,78 MPa dan Nilai Kuat Tarik Belah Beton Normal sebesar 2,85 MPa.
2. Nilai Kuat Tekan Beton Terendah didapatkan pada Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntilan) sebesar 50 % dengan hasil 15,89 MPa dan Nilai Kuat Tarik Belah Beton Terendah didapatkan pada Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntilan) sebesar 75 % dengan hasil 1,81 MPa.
3. Hasil Nilai Kuat Tekan Beton Optimal didapatkan pada Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntilan) sebesar 100% dengan hasil 26,18 MPa dan Nilai Kuat Tarik Belah Beton Optimal didapatkan pada Pasir Silika sebagai Pengganti Agregat Halus (Pasir Muntilan) sebesar 0% dengan hasil 2,85 MPa.

5.2. Saran

1. Untuk memperoleh hasil yang baik, kondisi Material Penyusun Beton sebaiknya lebih diperhatikan kualitasnya serta sesuai dengan SNI (Standar Nasional Indonesia).
2. Saat Penelitian berlangsung, dalam merencanakan suatu Komposisi Bahan Penyusun Beton harus dihitung secara teliti agar mutu yang didapatkan sesuai dengan rencana awal.
3. Disarankan Substitusi Pasir Silika terhadap Agregat Halus menggunakan Prosentase yang berbeda.
4. Disarankan saat penambahan Semen *Portland*, Agregat Kasar dan Agregat Halus sudah benar-benar tercampur agar Adukan Beton lebih tercampur merata.
5. Disarankan saat penambahan Air ketika pencampuran Bahan Penyusun Beton tidak langsung dimasukkan semua tetapi dimasukkan secara bertahap agar Adonan Beton yang dihasilkan tidak terlalu encer dan mendapatkan Nilai *Slump* yang direncanakan.

6. Disarankan Pengujian Kuat Tekan Beton dan Kuat Tarik Belah Beton dilakukan pada umur yang berbeda.
7. Diharapkan adanya Penelitian Beton selanjutnya dengan menggunakan Substitusi Agregat Halus yang lebih bervariasi contohnya seperti Pasir Pantai atau yang lainnya.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, Nuryasin, dan Zuhrotul Muhabbah. "Pemanfaatan Limbah *Sandblasting* Pasir Silika Sebagai Bahan Pengganti Agregat Halus Untuk Campuran Beton." *Jurnal Unitek*, vol. 12, no. 1, 2020, hal. 10–16, doi:10.52072/unitek.v12i1.44.
- Abdul Fattah, et al. Studi Karakteristik dan Perbandingan Kuat Tekan Beton Menggunakan Pasir Silika Mallawa dan Pasir Sungai Cenrana. no. 2, 2021, <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/but/article/view/2836>.
- Andreo, Priyo, et al. "Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Blok Beton *Sandwich* Dengan Isian *Styrofoam*." *Jurnal Unika Soegijapranata*, 2013.
- Azhari, Wahyu. "Analisa Pengaruh Pasir Silika Sebagai Substitusi Agregat Halus Pada Kuat Tekan Beton." *Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*, vol. VIII, no. I, 2023.
- Badan Standarisasi Nasional. "Tata Cara Perhitungan Harga Satuan Pekerjaan Plesteran untuk Konstruksi Bangunan Gedung dan Perumahan." *SNI*, vol. 2837, 2008, hal. 2008.
- Bill Johan Soentpiet, dan H. Manalip Steenie. E. Wallah. "Modulus Elastisitas Beton *Geopolymer* Berbasis *Fly Ash* dari Pltu Amurang." *Jurnal Sipil Statik*, vol. 6, no. 7, 2018, hal. 3–10.
- C136:2012, SNI ASTM. "Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus dan Agregat Kasar." *Badan Standardisasi Nasional*, 2012, hal. 1–24.
- Cakrawijaya, Agung, et al. "Pengaruh Substitusi Pasir Silika sebagai Agregat Halus Pada Sifat Mekanik Beton Mutu Tinggi." *Jurnal Teknik Sipil MACCA*, vol. 7, no. 3, 2022, hal. 222–28, doi:10.33096/jtsm.v7i3.607.
- Gobel, Fadli M. Van. "Nilai Kuat Tekan Beton pada *Slump* Beton Tertentu." *Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa, dan Teknologi*, vol. 5, no. 1, 2017, hal. 22–33, <https://stitek-binataruna.e-journal.id>.
- Haryanti, Ninis Hadi, dan Hendry Wardhana. "Pengaruh Komposisi Campuran Pasir Silika dan Kapur Tohor Pada Bata Ringan Berbahan Limbah Abu Terbang Batubara." *Jurnal Fisika Indonesia*, vol. 21, no. 3, 2019, hal. 11, doi:10.22146/jfi.42443.
- Joedono, dan Mudji Wahyudi. "Penggunaan Pasir Silika dan Pasir Laut Sebagai Agregat Beton." *Jurnal Spektrum Sipil*, vol. 1, no. 2, 2014, hal. 140–49, <https://www.spektrum.unram.ac.id/index.php/Spektrum/article/view/68>.
- Kasiati, Endang, et al. Perubahan Kuat Tekan Optimum Beton Pada Komposisi Campuran Pasir Silika dengan Pasir Limbah Endang. 2012.

- Nadia, dan Anwar Fauzi. "Pengaruh Kadar Silika Pada Agregat Halus Campuran Beton Terhadap Peningkatan Kuat Tekan." *Kontruksia*, vol. 3, no. 1, 2011, hal. 35.
- Pane, Fanto Pardomuan, et al. "Pengujian Kuat Tarik Lentur Beton Dengan Variasi Kuat Tekan Beton." *Jurnal Sipil Statik*, vol. 3, no. 5, 2015, hal. 313–21.
- Prasetya, Rizal Yoga. Analisis Kuat Tekan dan Permeabilitas Beton dengan Agregat Halus Campuran Pasir Merah Purwodadi dan Pasir Kaliworo Klaten. 2017, <http://eprints.ums.ac.id/id/eprint/48276%0Ahttp://eprints.ums.ac.id/48276/16/NAS PUB BARU ok.pdf>.
- Pratama, Bima Rizal, dan Taufik. "Pengaruh Substitusi Pasir Silika Terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap Air Pada Paving K-250." *E-Jurnal Universitas Bung Hatta*, 2019, hal. 1–2.
- Sari, Rosie Arizki Intan, et al. "Pengaruh Jumlah Semen dan FAS Terhadap Kuat Tekan Beton dengan Agregat yang Berasal dari Sungai." *Jurnal Sipil Statik*, vol. 3, no. 1, 2015, hal. 68–76.
- Sidiq, M. Analisa Perbandingan Pasir Silika Pulau Rupa dan Pasir Teratak Buluh Sebagai Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan Beton. 2019, <https://repository.uir.ac.id/8177/>.
- SNI-1972:2008. "Cara Uji *Slump* Beton." *Badan Standardisasi Nasional*, 2008.
- SNI-1974:2011. "Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder." *Badan Standardisasi Nasional*, 2011, hal. 20.
- SNI 03-1974-1990. "Metode Pengujian Kuat Tekan Beton." *Badan Standardisasi Nasional*, 1990, hal. 2–6.
- SNI 2491:2014. "Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder." *Badan Standardisasi Nasional*, 2014, hal. 1–17.
- SNI 2493:2011. "Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium." *Badan Standardisasi Nasional*, 2011, hal. 23, www.bsn.go.id.
- Sujatmiko, Bambang, et al. "Penggunaan Pasir Silika sebagai Substitusi Agregat Halus Untuk Meningkatkan *Performance* Bata Ringan." *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Universitas Madura*, vol. 3, no. 2, 2018, hal. 5–12.
- Yahya, Akhmad Tontowi, dan Aliem Sudjatmiko. Perbandingan Kuat Lentur Sambungan Beton Keras dan Beton Segar Menggunakan Bahan Tambah Lem Beton *Styrobond* sebagai Perekat dan Sambungan Tanpa Lem Beton. 2019, [//proceedings.ums.ac.id/index.php/sipil/article/view/1542/1504](http://proceedings.ums.ac.id/index.php/sipil/article/view/1542/1504).