

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENGGUNAAN BAHAN TAMBAH
WATERPROOFING DAMDEX DAN AGREGAT
LIMBAH BETON TERHADAP KUAT TEKAN DAN
ABSORPSI BETON
(*THE EFFECT OF DAMDEX WATERPROOFING
ADDITIVE AND WASTE CONCRETE AGGREGATE ON
CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH AND
ABSORPTION*)**

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



الجامعة الإسلامية
الاستد الاندونيسية

**Raihan Prasetyawan Ardiansyah
19511088**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2023**

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENGGUNAAN BAHAN TAMBAH WATERPROOFING DAMDEX DAN AGREGAT LIMBAH BETON TERHADAP KUAT TEKAN DAN ABSORPSI BETON (THE EFFECT OF DAMDEX WATERPROOFING ADDITIVE AND WASTE CONCRETE AGGREGATE ON CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH AND ABSORPTION)

Disusun Oleh

Raihan Prasetyawan Ardiansyah

19511088

Telah diterima sebagai salah satu syarat persyaratan
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil
Diuji pada tanggal

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing

10/23
/2

Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng
NIK: 155111306

Penguji I

10/23
/2

Astriana Hardawati, S.T., M.Eng
NIK: 165111301

Penguji II

10/23
/2

Malik Mushthofa, S.T., M.Eng.
NIK: 185111302

Mengesahkan,

Ketua Prodi Studi Teknik Sipil



Ir. Yunalla Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.
NIK: 095110101

Karya ini saya persembahkan untuk :

Seseorang yang keras kepala, marah dan tawanya mirip dengan saya

Seseorang yang tetap ada untuk saya walau selalu saya kecewakan

Seseorang yang tak pernah lelah melafadzkan doa-doa untuk saya

Ibu saya tercinta, Zuhriyah

الجمعة الإسلامية الأندلسية

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk memenuhi salah satu persyaratan pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia seluruhnya merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 07 Februari 2023

Yang membuat pernyataan,



Raihan Prasetyawan Ardiansyah

(19511088)

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmannirrahiim.

Assalamualaikum warahmatullah wabarakatuh.

Alhamdulillahirabbil'alamiin, segala puji dan syukur atas kehadiran Allah Subhanahu wa ta'ala yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Penggunaan Bahan Tambah Waterproofing Damdex dan Agregat Limbah Terhadap Kuat Tekan Dan Absorpsi Beton” dengan maksimal. Selawat serta salam selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Muhammad Shallallahu 'alaihi wasallam, keluarga, sahabat dan pengikut beliau hingga akhir zaman.

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi jenjang Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini tidak akan terselesaikan dengan baik tanpa bantuna, petunjuk, bimbingan dan saran dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini dan dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, terima kasih atas bimbingan, nasihat, saran dan dorongan serta kesempatan yang diberikan kepada saya selama penyusunan Tugas Akhir ini. Semoga Allah memberikan kesehatan kepada beliau, sehingga beliau selalu diberi kesempatan untuk membagi ilmu yang luar biasa kepada orang lain.
3. Astriana Hardawati, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji 1 dalam Sidang Tugas Akhir saya yang telah memberikan banyak masukan, kritik dan saran kepada penulis untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.
4. Malik Mushtofa, S.T., M.Eng. selaku Dosen Penguji 2 dalam Sidang Tugas Akhir saya sekaligus Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT)

FTSP UII yang telah memberikan banyak masukan, kritik dan saran kepada penulis untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.

5. Seluruh Dosen, yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis selama menempuh studi di Program Studi Teknik Sipil, FTSP UII.
6. M. Zakki Rizal, Suwarno dan Darussalam, selaku laboran di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) yang telah membantu penulis selama proses pengumpulan data penelitian.
7. Dra. Zuhriyah, ibu penulis yang senantiasa memberikan dukungan dan pengorbanan baik secara material maupun spiritual hingga selesainya Tugas Akhir ini. Semoga Allah selalu memberikan kesehatan dan kebahagiaan kepada ibu penulis.
8. Rifanov Ardiansyah dan Melinda Navriati Lova, kedua kakak penulis yang selalu memberikan motivasi dan dukungan serta menjadi teman dikala senang maupun sedih dari dulu dan sampai nanti.
9. Hasnaa Anggia Agustina, yang selalu memberikan bantuan, menjadi tempat berkeluh kesah, serta menjadi motivasi untuk terus memperjuangkan masa depan. Semoga yang kita cita-citakan terwujud.
10. Whisnu Wikan Wicaksono M, sahabat terbaik penulis yang selalu mendampingi penulis.
11. Ilham Nuruddin dan Haris Ihsan Setiahutama serta Miqdad Khosyi Akbar, ketiga abang penulis yang selalu membantu, menjadi tempat berkeluh kesah dan menjadi inspirasi penulis.
12. Nizar Surya Isadono dan Muchammad Fatkhul Makarim, serta seluruh abang-abang Temanggung penulis yang telah banyak memberikan ilmu dan pengalaman serta waktunya untuk penulis.
13. Hanif Adi H. A, M. Maftuch N dan Renaldi Dimas K serta seluruh keluarga besar Gardamata yang telah memberikan banyak dukungan kepada penulis.
14. Galang Gumilang, Khansa S. P, Aqid Pangadityan, Petricko Bernado K, Najib Kliwon, Hafizh Seto, teman-teman Le Pavillon atas dukungan yang diberikan kepada penulis.

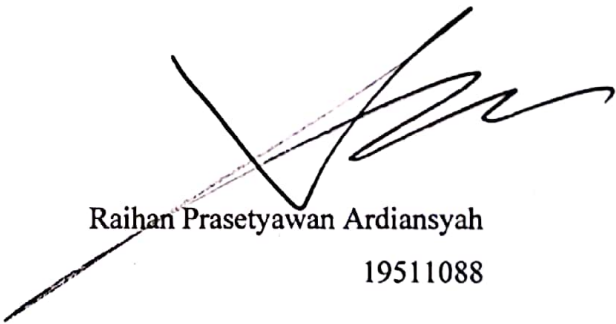
15. Rifat Syauqi H dan Haris Dwi N, teman-teman Nomad yang yang menemani suka duka selama menempuh studi.
16. M. Jaisa Maulana, Ikhlasul Amal dan seluruh rekan-rekan asisten Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik yang telah banyak memberikan bantuan serta berbagi pengalaman kepada penulis.
17. Kevin Fadhilul Azyam, Alhilal M Farhan, Trio Gati P, teman-teman Himpuann Mahasiswa Teknik Sipil dan teman teman angkatan 2019 yang terlibat dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Akhirnya Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Wassalamualaikum warahmatullah wabarakatuh.

Yogyakarta, 07 Februari 2023

Penulis,



Raihan Prasetyawan Ardiansyah

19511088

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvii
ABSTRAK	xix
ABSTRACT	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tinjauan Umum	7
2.2 Penelitian Terdahulu	7
BAB III LANDASAN TEORI	14
3.1 Beton	14
3.2 Material Penyusun Beton	14
3.2.1 Agregat	15
3.2.2 Semen Portland	19
3.2.3 Air	20
3.2.4 Bahan Tambah (<i>Admixture</i>)	21
3.3 <i>Waterproofing</i> Damdex	24
3.4 Perencanaan Campuran Beton	24

3.5	Kuat Tekan Beton	35
3.6	Absorpsi Beton	35
3.7	Umur Beton	36
3.8	Koefisien Korelasi	36
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		38
4.1	Umum	38
4.2	Variabel Penelitian	38
4.3	Bahan yang Digunakan	39
4.4	Alat yang Digunakan	39
4.5	Benda Uji	41
4.6	Pelaksanaan Penelitian	43
4.6.1	Persiapan Penelitian	43
4.6.2	Pengujian Agregat	44
4.6.3	Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	44
4.6.4	Pembuatan dan Pengujian Benda Uji <i>Trial</i> dengan Umur 3 Hari	44
4.6.5	Pembuatan dan Perawatan Benda Uji	45
4.6.6	Pengujian Benda Uji	45
4.6.7	Olah Data	46
4.6.8	Analisis Data	46
4.6.9	Pembahasan	46
4.6.10	Kesimpulan dan Saran	46
4.6.11	Diagram Alir Penelitian	46
BAB V DATA, ANALISIS DAN PEMBAHASAN		48
5.1	Hasil Pengujian Agregat	48
5.1.1	Hasil Pengujian Agregat Halus	48
5.1.2	Hasil Pengujian Agregat Kasar Asli	58
5.1.3	Hasil Pengujian Agregat Kasar Limbah	67
5.2	Perencanaan Campuran Beton (<i>Mix Design</i>)	78
5.3	Hasil Pengujian Benda Uji <i>Trial</i>	91
5.4	Hasil Pengujian <i>Slump</i>	92
5.5	Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	96

5.5.1	Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Variasi Penambahan Damdex	107
5.5.2	Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Umur Beton	112
5.6	Hasil Pengujian Absorpsi Beton	117
5.6.1	Hubungan Absorpsi Beton dengan Variasi Penambahan Beton	119
5.6.2	Hubungan Absorpsi Beton dengan Umur Beton	123
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		125
6.1	Kesimpulan	125
6.2	Saran	127
DAFTAR PUSTAKA		128
LAMPIRAN		131



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang	11
Tabel 3. 1 Pengaruh Sifat Agregat Pada Sifat Beton	15
Tabel 3. 2 Persyaratan Susunan Gradasi Agregat Halus	17
Tabel 3. 3 Faktor Pengali untuk Deviasi Standar	26
Tabel 3. 4 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton Dengan Jenis Semen dan Agregat Kasar yang Digunakan	27
Tabel 3. 5 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m^3) yang Dibutuhkan Untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton	29
Tabel 3. 6 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus	30
Tabel 3. 7 Angka Konversi Umur Benda Uji	36
Tabel 3. 8 Pedoman Interpretasi Koefisien Korelasi	37
Tabel 4. 1 Rincian Benda Uji	42
Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	49
Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1	52
Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2	52
Tabel 5. 4 Gradasi Agregat Halus	54
Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus	57
Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus	57
Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200	58
Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar Asli	59
Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Asli Sampel 1	62
Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Asli Sampel 2	62
Tabel 5. 11 Gradasi Agregat Kasar	64
Tabel 5. 12 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar Asli	66
Tabel 5. 13 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar Asli	67

Tabel 5. 14 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar Limbah	68
Tabel 5. 15 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Limbah Sampel 1	72
Tabel 5. 16 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Limbah Sampel 2	73
Tabel 5. 17 Gradasi Agregat Kasar	75
Tabel 5. 18 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar Limbah	78
Tabel 5. 19 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar Limbah	78
Tabel 5. 20 Faktor Pengali untuk Deviasi Standar Bila Data Hasil Uji Tersedia Kurang dari 30	79
Tabel 5. 21 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton Dengan Jenis Semen dan Agregat Kasar yang Digunakan	80
Tabel 5. 22 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m^3) yang Dibutuhkan Untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton	82
Tabel 5. 23 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus	83
Tabel 5. 24 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton	87
Tabel 5. 25 Proporsi Campuran Beton dengan Bahan Tambah Damdex Mixing Pertama	90
Tabel 5. 26 Proporsi Campuran Beton dengan Bahan Tambah Damdex Mixing Kedua	90
Tabel 5. 27 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton Trial	92
Tabel 5. 28 Hasil Pengujian Slump Beton Tanpa Limbah	93
Tabel 5. 29 Hasil Pengujian Slump Beton dengan Limbah	94
Tabel 5. 30 Rekapitulasi Sisa Air Mixing Beton Tanpa Limbah	95
Tabel 5. 31 Rekapitulasi Sisa Air Mixing Beton dengan Limbah	95
Tabel 5. 32 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	99
Tabel 5. 33 Persentase Penurunan Kuat Tekan Beton Agregat Limbah Terhadap Beton Tanpa Agregat Limbah	105
Tabel 5. 34 Perbandingan Persentase Penurunan Kuat Tekan Beton Agregat Limbah Penulis dengan Penelitian Sebelumnya	106

Tabel 5. 35 Persentase Kenaikkan Kuat Tekan Beton Tanpa Limbah dengan Penambahan Damdex terhadap Beton Tanpa Limbah dan Damdex	109
Tabel 5. 36 Perbandingan Persentase Kenaikkan Kuat Tekan Beton Tanpa Limbah dengan Penambahan Damdex Sebanyak 5% dan 6% Penulis dan Penelitian Sebelumnya	110
Tabel 5. 37 Persentase Kenaikkan Kuat Tekan Beton Limbah dengan Penambahan Damdex terhadap Beton Limbah Tanpa Damdex	110
Tabel 5. 38 Persentase Penurunan Kuat Tekan Beton Agregat Limbah Terhadap Kuat Tekan Beton Tanpa Agregat Limbah Untuk Tiap Variasi Kadar Damdex	111
Tabel 5. 39 Persentase Kuat Tekan Beton Tanpa Limbah Berdasarkan Umur Beton	113
Tabel 5. 40 Persentase Kuat Tekan Beton Limbah Berdasarkan Umur Beton	114
Tabel 5. 41 Selisih Persentase Kuat Tekan Beton Tanpa Limbah pada Umur 7 dan 14 Hari	116
Tabel 5. 42 Selisih Persentase Kuat Tekan Beton Limbah pada Umur 7 dan 14 Hari	116
Tabel 5. 43 Rekapitulasi Hasil Pengujian Absorpsi Beton	118
Tabel 5. 44 Persentase Penurunan Absorpsi Beton dengan Penambahan Damdex terhadap Beton Tanpa Limbah	122
Tabel 5. 45 Persentase Penurunan Absorpsi Beton dengan Penambahan Damdex terhadap Beton Limbah	123
Tabel 5. 46 Perbedaan Persentase Penurunan Absorpsi Beton Tanpa Agregat Limbah Penulis dengan Penelitian Terdahulu	123

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Persyaratan Susunan Gradasi Agregat Kasar	18
Gambar 3. 2 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen	28
Gambar 3. 3 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm	31
Gambar 3. 4 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm	32
Gambar 3. 5 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm	32
Gambar 3. 6 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Didapatkan	33
Gambar 4. 1 Diagram Alir Penelitian	47
Gambar 5. 1 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 1	55
Gambar 5. 2 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 2	55
Gambar 5. 3 Kurva Gradasi Agregat Kasar Asli Maksimum 20 mm Sampel 1	64
Gambar 5. 4 Kurva Gradasi Agregat Kasar Asli Maksimum 20 mm Sampel 2	65
Gambar 5. 5 Grafik Hubungan Penyerapan Air dengan Ukuran Agregat Maksimum Menurut Berbagai Penelitian	70
Gambar 5. 6 Grafik Hubungan Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Kasar Limbah dengan Ukuran Agregat Maksimum Menurut Berbagai Penelitian	75
Gambar 5. 7 Kurva Gradasi Agregat Kasar Limbah Maksimum 20 mm Sampel 1	76
Gambar 5. 8 Kurva Gradasi Agregat Kasar Limbah Maksimum 20 mm Sampel 2	76
Gambar 5. 9 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen untuk Benda Uji Silinder Diameter 150 mm, Tinggi 300 mm	81
Gambar 5. 10 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm	85

Gambar 5. 11 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan	86
Gambar 5. 12 Hubungan Nilai Slump dengan Variasi Kadar Damdex pada Campuran Beton Tanpa Limbah	93
Gambar 5. 13 Hubungan Nilai Slump dengan Variasi Kadar Damdex pada Campuran Beton Limbah	94
Gambar 5. 14 Hubungan Jumlah Sisa Air dengan Variasi Kadar Damdex pada Campuran Beton Tanpa Limbah dan Beton Limbah	96
Gambar 5. 15 Hubungan Kuat Tekan dengan Agregat Limbah Beton yang Digunakan	106
Gambar 5. 16 Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Kadar Penambahan Damdex pada Umur Beton 7 Hari	108
Gambar 5. 17 Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Kadar Penambahan Damdex pada Umur Beton 14 Hari	108
Gambar 5. 18 Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Kadar Penambahan Damdex pada Umur Beton 28 Hari	109
Gambar 5. 19 Hubungan Nilai Kuat Tekan Beton dengan Umur Beton pada Berbagai Variasi Kadar Damdex	112
Gambar 5. 20 Persentase Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur Beton	115
Gambar 5. 21 Hubungan Absorpsi Beton dengan Kadar Penambahan Damdex pada Umur Beton 7 Hari	120
Gambar 5. 22 Hubungan Absorpsi Beton dengan Kadar Penambahan Damdex pada Umur Beton 14 Hari	121
Gambar 5. 23 Hubungan Absorpsi Beton dengan Kadar Penambahan Damdex pada Umur Beton 28 Hari	121
Gambar 5. 24 Hubungan Absorpsi Beton dengan Umur Beton	124

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Izin Penggunaan Laboratorium	132
Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Pemeriksaan Agregat	133
Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran	157
Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Pengujian Benda Uji Trial	158
Lampiran 5 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan	159
Lampiran 6 Laporan Sementara Hasil Pengujian Absorpsi Beton	166
Lampiran 7 Dokumentasi Peralatan Penelitian	168
Lampiran 8 Dokumentasi Proses Penelitian	180



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

SNI	= Standar Nasional Indonesia
PBI	= Peraturan Beton Indonesia
f^c	= Kuat tekan beton (MPa)
MPa	= Megapascal
M	= Nilai Tambah
S_r	= Deviasi standar
f_{cr}	= Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan
w	= Kadar air bebas (kg/m^3)
W_h	= Perkiraan jumlah air untuk agregat halus (kg/m^3)
W_k	= Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (kg/m^3)
c	= Jumlah semen (kg/m^3)
fas	= Faktor air semen
BJ_{gab}	= Berat jenis gabungan agregat
$BJ_{Ag. Halus}$	= Berat jenis agregat halus
$BJ_{Ag. Kasar}$	= Berat jenis agregat kasar
% Ag. Halus	= Persentase agregat halus (%)
% Ag. Kasar	= Persentase agregat kasar (%)
$W_{Ag. Halus}$	= Kadar agregat halus (kg/m^3)
$W_{Ag. Kasar}$	= Kadar agregat kasar (kg/m^3)
$W_{Ag. Gab}$	= Kadar agregat gabungan (kg/m^3)
P	= Beban maksimum (N)
A	= Luas penampang benda uji (mm^2)
P_A	= Absorpsi beton (%)
B	= Massa contoh uji kering permukaan (gram)
A	= Massa contoh uji kering oven (gram)
mm	= Milimeter
cm	= Centimeter
d	= Diameter tabung silinder (mm)

kg = Kilogram
m = meter
SSD = Saturated surface dry
 R^2 = Koefisien korelasi



ABSTRAK

Peningkatan jumlah pekerjaan konstruksi juga menimbulkan peningkatan jumlah limbah hasil konstruksi. Beton sebagai salah satu material yang banyak digunakan dalam dunia konstruksi dapat dimanfaatkan limbahnya sebagai pengganti agregat dalam campuran beton. Namun, penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat menurunkan kuat tekan dan meningkatkan absorpsi dari beton yang dihasilkan. Sehingga diperlukan bahan tambah (*admixture*) yang dapat mengatasi permasalahan tersebut. Bahan tambah *waterproofing* Damdex merupakan bahan tambah yang meningkatkan kuat tekan dan menurunkan absorpsi beton. Pada penelitian ini digunakan bahan tambah Damdex sebanyak 4%, 5% dan 6% dari berat semen terhadap beton dengan agregat limbah beton sebanyak 100% dari berat agregat kasar. Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tekan dan akselerasi peningkatan kuat tekan dan absorpsi beton agregat limbah dengan penambahan Damdex pada umur 7, 14 dan 28 hari. Perhitungan perencanaan campuran beton menggunakan SNI 2834-2000 dengan kuat tekan rencana 25 MPa.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan Damdex sebanyak 6% mampu meningkatkan kuat tekan dan menurunkan absorpsi beton agregat limbah hingga mencapai kuat tekan dan absorpsi beton tanpa agregat limbah. Hasil pengujian kuat tekan beton agregat limbah dengan penambahan Damdex sebanyak 6% pada umur 7 sebesar 27,642 MPa atau meningkat 2,603% dari beton tanpa agregat limbah dan tanpa Damdex. Pada umur 14 hari sebesar 27,574 MPa atau meningkat 2,732% dari beton tanpa agregat limbah dan tanpa Damdex. Pada umur 28 hari sebesar 27,187 MPa atau meningkat 1,556% dari beton tanpa agregat limbah dan tanpa Damdex. Hasil pengujian absorpsi beton agregat limbah dengan penambahan Damdex sebanyak 6% pada umur 7 hari sebesar 3,43% atau 21,915% lebih rendah dari beton tanpa agregat limbah dan tanpa Damdex. Pada umur 14 hari sebesar 3,37% atau 19,826% lebih rendah dari beton tanpa agregat limbah dan tanpa Damdex. Pada umur 28 sebesar 3,27 atau 21,764% lebih rendah dari beton tanpa agregat limbah dan tanpa Damdex.

Kata kunci: Beton, Agregat limbah, Damdex, Kuat tekan, Absorpsi

ABSTRACT

An increase in the number of construction works also causes an increase in the amount of construction waste. Concrete as a material that is widely used in the world of construction can be used as a substitute for aggregate waste in concrete mixtures. However, the use of waste concrete as a substitute for aggregate decreases the compressive strength and increases the absorption of the resulting concrete. So we need an additive (admixture) that can overcome these problems. Damdex waterproofing additives are additives that increase compressive strength and reduce concrete absorption. In this study, 4%, 5% and 6% Damdex additives were used by weight of cement for concrete with 100% of the weight of coarse aggregate as waste concrete aggregate. Tests were carried out to determine the value of compressive strength and the acceleration of the increase in compressive strength and absorption of waste aggregate concrete with the addition of Damdex at 7, 14 and 28 days of age. Calculation of concrete mix planning using SNI 2834-2000 with a design compressive strength of 25 MPa.

The results showed that the addition of 6% Damdex was able to increase the compressive strength and reduce the absorption of waste aggregate concrete until it reached the compressive strength and absorption of concrete without waste aggregate. The results of the compressive strength test of waste aggregate concrete with the addition of 6% Damdex at 7th day is 27.642 MPa or increased by 2.603% from concrete without waste aggregate and Damdex. At 14th day is 27.574 MPa or increased by 2.732% from concrete without waste aggregate and Damdex. At 28th day 27.187 MPa or increased by 1.556% from concrete without waste aggregate and Damdex. The results of the absorption test of waste aggregate concrete with the addition of 6% Damdex at 7th day is 3.43% or 21.915% lower than concrete without waste aggregate and Damdex. At 14th day is 3.37% or 19.826% lower than concrete without waste aggregate and Damdex. At 28th is 3.27% or 21.764% lower than concrete without waste aggregate and Damdex.

Keywords: Concrete, Waste aggregate, Compressive strength, Absorption

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jumlah pekerjaan konstruksi di Indonesia hingga saat ini terus mengalami kenaikan. Hal ini dapat dilihat dari peningkatan pembangunan infrastruktur di Indonesia. Pada pertengahan tahun 2022, total pembangunan tol telah mencapai 2042 km dan untuk non-tol mencapai 5515 km. Pembangunan bandara mencapai 16 bandara dan perbaikan bandara mencapai 38 bandara. Pembangunan pelabuhan baru mencapai 18 pelabuhan dan perbaikan pelabuhan mencapai 128 pelabuhan (Kementerian Komunikasi dan Informatika, 2022). Pembangunan infrastruktur tentunya dilakukan untuk mendorong peningkatan ekonomi. Namun, disisi lain peningkatan pembangunan infrastruktur juga meningkatkan jumlah limbah hasil konstruksi. Peningkatan limbah padat bahkan diperkirakan mencapai 2,2 juta ton pada tahun 2025 (Transparency Market Research, 2017).

Beton merupakan material komposit yang banyak digunakan di dunia konstruksi. Beton digemari karena material penyusunnya yaitu agregat halus, agregat kasar, semen dan air mudah untuk didapat dan dengan harga yang relatif murah. Beton juga digemari karena kemudahannya dalam segi pengangkutan. Beton juga material yang cocok untuk digunakan pada berbagai struktur. Selain itu, beton juga dapat dicetak menjadi berbagai macam bentuk dan ukuran serta dapat diproduksi dengan berbagai cara yang disesuaikan dengan situasi sekitar (Antoni dan Nugraha P, 2007).

Agregat merupakan salah satu material penyusun beton. Agregat dibagi menjadi dua yaitu agregat halus dan agregat kasar. Agregat berfungsi sebagai material pengisi campuran beton yang direkatkan dengan semen melalui reaksi hidrasi yang dibantu oleh air. Agregat yang digunakan berupa hasil disintegrasi alami batuan atau batu pecah dari industri (SNI 1969:2016). Agregat merupakan material yang didapat dari alam yang keberadaannya terbatas. Oleh karena itu, diperlukan solusi material yang dapat menggantikan agregat dari material alam.

Muncul ide untuk memanfaatkan limbah konstruksi yaitu limbah beton untuk digunakan sebagai material pengganti agregat pada campuran beton. Namun, penggunaan limbah beton dengan jumlah tinggi sebagai pengganti agregat justru menurunkan kuat tekan dari beton. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kusumawardhana I (2018), penggunaan limbah beton sebagai agregat kasar beton dengan kadar tinggi menurunkan nilai kuat tekan beton. Kuat tekan beton dengan variasi campuran 10% yaitu 23,83 MPa dan variasi 20% yaitu 24,52 MPa. Kuat tekan beton dengan variasi campuran limbah beton 30%-80% terjadi kenaikan nilai kuat tekan beton yang signifikan terhadap kuat tekan beton kontrol. Kuat tekan beton dengan variasi campuran limbah beton 90% dan 100% kembali mengalami penurunan yaitu 24,73 MPa dan 23,35 MPa. Selain itu, penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar juga meningkatkan penyerapan air pada beton. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Ashari (2022), terjadi peningkatan penyerapan air pada beton dengan variasi limbah beton sebanyak 20%. Penyerapan air pada beton dengan variasi limbah beton sebanyak 20% yaitu 7,10%, meningkat sebesar 45,27% dibandingkan beton normal yang memiliki nilai penyerapan air sebesar 4,89%.

Bahan tambah merupakan material yang di tambahkan pada beton dengan tujuan untuk mengubah sifat dan karakteristik dari beton. *Waterproofing* merupakan salah satu jenis bahan tambah yang fungsinya untuk membuat beton menjadi lebih kedap air dengan mengurangi pori pada beton. Penambahan bahan tambah ini lewat beberapa penelitian memberikan dampak lain yaitu peningkatan kuat tekan.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Akbar (2021), penggunaan bahan tambah *waterproofing* dengan merek Damdex dapat meningkatkan kuat tekan. Peningkatan kekuatan terjadi cukup signifikan pada usia 7 dan 14 hari. Persentase kuat tekan beton usia 7 hari menurut PBI 1971 yaitu 65%, kuat tekan beton dengan variasi 0% yaitu 66,43%, variasi 5% Damdex yaitu 68,36%, variasi 6% Damdex yaitu 67,86%, variasi 7% Damdex yaitu 67,26% dan variasi 8% Damdex yaitu 67,12%. Sedangkan, Persentase kuat tekan beton usia 14 hari menurut PBI 1971 yaitu 88%, kuat tekan beton dengan variasi 0% Damdex yaitu 87,02%, variasi 5%

Damdex yaitu 91.34%, variasi 6% adalah 90,78%, variasi 7% yaitu 89,89% dan variasi 8% yaitu 90,62%. Absorpsi beton dengan penambahan *waterproofing* Damdex juga mengalami penurunan. Absorpsi beton pada umur 7 hari dengan variasi 0% Damdex yaitu 4,298%, variasi 5% Damdex yaitu 2,736%, variasi 6% Damdex yaitu 2,687%, variasi 7% Damdex yaitu 2,586% dan variasi 8% Damdex yaitu 2,560%. Sedangkan, pada umur 14 hari, absorpsi beton dengan variasi 0% Damdex yaitu 4,046%, variasi 5% Damdex yaitu 2,740%, variasi 6% Damdex yaitu 2,553%, variasi 7% Damdex yaitu 2,553% dan variasi 8% Damdex yaitu 2,411%. Dari penelitian yang dilakukan dapat diketahui bahwa akselerasi peningkatan kuat tekan beton dan penurunan absorpsi beton optimum terjadi pada penambahan Damdex sebanyak 5%.

Melalui uraian diatas, dapat ditarik kesimpulan bahwa penambahan limbah beton sebagai agregat dalam beton dapat menurunkan kuat tekan beton. Bahan tambah *waterproofing* Damdex dapat meningkatkan kuat tekan beton pada usia 7 dan 14 hari. Bahan tambah *waterproofing* Damdex dapat menurunkan absorpsi beton pada usia 7 dan 14 hari. Oleh karena itu, peneliti bermaksud untuk menguji penambahan bahan tambah *waterproofing* Damdex terhadap kuat tekan dan absorpsi beton dengan agregat limbah beton.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh penggunaan limbah beton sebagai agregat kasar terhadap kuat tekan dan absorpsi beton?
2. Bagaimana pengaruh penambahan bahan tambah *waterproofing* Damdex pada beton agregat limbah terhadap kuat tekan dan absorpsi beton?
3. Bagaimana pengaruh penambahan bahan tambah *waterproofing* Damdex terhadap pengembangan kekuatan beton dengan agregat limbah terhadap umur beton?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh penggunaan limbah beton sebagai agregat kasar pada beton terhadap kuat tekan dan absorpsi beton.
2. Mengetahui pengaruh penambahan bahan tambah *waterproofing* Damdex pada beton agregat limbah terhadap kuat tekan dan absorpsi beton.
3. Mengetahui pengaruh penambahan bahan tambah *waterproofing* Damdex terhadap pengembangan kekuatan beton agregat limbah terkait dengan umur beton.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh melalui penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut.

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh penambahan bahan tambah *waterproofing* Damdex pada beton dengan agregat limbah
2. Berkontribusi dalam dunia konstruksi dengan menyampaikan informasi mengenai penggunaan bahan tambah *waterproofing* Damdex menjadi solusi permasalahan limbah beton.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian dimaksudkan agar penelitian yang dilakukan tidak menyimpang dari tujuan penelitian. Adapun batasan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton rencana (f'_c) adalah 25 Mpa.
2. Perencanaan campuran beton berdasarkan SNI 2834-2000.
3. Variasi kadar bahan tambah *waterproofing* Damdex yang digunakan adalah 0%, 4%, 5% dan 6% terhadap berat semen.
4. Variasi agregat limbah beton yang digunakan adalah 0% dan 100% terhadap berat agregat kasar.
5. Nilai *slump* 10 ± 2 cm.
6. Semen yang digunakan adalah semen tipe 1 dengan merek Tiga Roda.

7. Agregat kasar yang digunakan berukuran maksimum 20 mm.
8. Agregat kasar yang digunakan adalah agregat kasar asli dari Clereng dan agregat kasar dari limbah beton.
9. Limbah beton yang digunakan sebagai agregat berasal dari limbah hasil pengujian sampel praktikum reguler Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia dengan mutu rencana ($f'c$) 20 MPa.
10. Agregat halus berasal dari Progo.
11. Air yang digunakan berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
12. Bahan tambah *waterproofing* yang digunakan adalah merek Damdex.
13. Tidak dilakukan penelitian mengenai kandungan kimia pada bahan tambah *waterproofing* Damdex.
14. Benda uji yang digunakan terdiri dari benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dan kubus $15 \times 15 \times 15$ cm.
15. Pengujian beton keras dilakukan pada umur beton 7, 14 dan 28 hari.
16. Macam pengujian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.
 - a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus berdasarkan SNI 1970-1990.
 - b. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar berdasarkan SNI 1969-1990.
 - c. Pengujian analisa saringan agregat halus berdasarkan SNI 1968-1990.
 - d. Pengujian analisa saringan agregat kasar berdasarkan SNI 1968-1990.
 - e. Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat halus berdasarkan SNI 4804-1998.
 - f. Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat kasar berdasarkan SNI 4804-1998.
 - g. Pengujian butiran lolos ayakan no. 200 (uji kandungan lumpur dalam pasir) berdasarkan SNI 4142-1996.
 - h. Pengujian slump beton berdasarkan SNI 1972-2008.

- i. Pengujian kuat tekan beton berdasarkan SNI 1974-2011.
- j. Pengujian absorpsi beton menggunakan SNI 6433-2016.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Beton merupakan material komposit yang rumit walaupun mudah dalam pembuatannya (Antoni dan Nugraha P, 2007). Hal yang membuat rumit adalah karena dalam pembuatannya beton memerlukan kecermatan dalam perencanaan dan pengolahannya. Perbandingan material penyusunnya harus dijaga terutama perbandingan air dan pasta semen yang dalam perencanaan perbandingan ini disebut faktor air semen (FAS). Selain itu, proses pencampuran (*mixing*) dan pemadatan juga harus dilakukan dengan tepat agar menghasilkan beton yang padu.

Beton merupakan campuran semen, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambah (SNI 2847:2019). Bahan tambah yang dimaksud dapat berupa bahan kimia pembantu atau bahan mineral pembantu. Bahan kimia pembantu merupakan material disamping agregat dan semen yang ditambahkan ke dalam campuran beton sebelum atau selama proses pengecoran. Jenis dari bahan tambah kimia ada beberapa macam menurut kegunaannya antara lain mengurangi air, memperlambat atau mempercepat pengikatan, menambah kuat tekan dan lain sebagainya. Salah satu bahan tambah (*admixture*) yang dapat digunakan untuk meningkatkan kuat tekan beton adalah Damdex. Damdex dapat meningkatkan kuat tekan beton selain sebagai fungsinya sebagai anti bocor pada beton (Harianja J A, 2008).

2.2 Penelitian Terdahulu

1. Pengaruh Penggunaan Agregat Kasar Beton Limbah Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton Normal

Penelitian ini dilakukan oleh Indra Kusumawardhana mahasiswa teknik sipil Universitas Islam Indonesia pada tahun 2018. Penelitian ini bertujuan untuk Meneliti potensi limbah beton silinder sebagai agregat pengganti sebagian hingga keseluruhan agregat kasar. Benda uji yang digunakan dalam penelitian

ini adalah silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. perencanaan campuran beton dilakukan sesuai dengan SNI 03-2834-2000. Presentase limbah beton yang digunakan yaitu 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% dan 100%. Kuat tekan rencana campuran beton adalah 25 Mpa. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah pada Pada variasi campuran 10% dan 20% kuat tekan beton rencana 25 MPa tidak tercapai. Peningkatan kuat tekan beton dibandingkan dengan kuat tekan beton kontrol terjadi pada variasi campuran 30%, 40%, 50%, 60%, 70% dan 80%. Namun, pada variasi campuran 90% dan 100% beton kembali mengalami penurunan kuat tekan. Hasil campuran optimum agregat kasar limbah adalah dengan variasi 40%.

2. Effect of Waterproofing Admixture on The Compressive Strength and Permeability of Recycled Aggregate Concrete

Penelitian ini dilakukan oleh Pierre Matar dan Jean Barhoun, mahasiswa Magister Teknik Sipil, Lebanese University. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh bahan tambahan kedap air terhadap beberapa sifat beton. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Presentase kadar *admixture waterproofing* yang ditambahkan pada campuran beton adalah 1% dari berat semen. Kuat tekan rencana campuran beton adalah 30 MPa dengan pengujian dilakukan pada saat benda uji berumur 7 dan 28 hari. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini adalah Pada usia beton 7 hari, penambahan admixture waterproofing pada beton tanpa tambahan agregat daur ulang meningkatkan kuat tekan beton menjadi 36,8 MPa dari beton tanpa penambahan admixture waterproofing yaitu 31,5 MPa. Sedangkan, pada beton dengan agregat limbah, penambahan admixture waterproofing meningkatkan kuat tekan beton menjadi 28,1 MPa dari beton agregat daur ulang tanpa penambahan admixture waterproofing yaitu 24,8 MPa. Pada usia beton 28 hari, penambahan penambahan admixture waterproofing pada beton tanpa tambahan agregat daur ulang meningkatkan kuat tekan beton menjadi 50,9 MPa dari beton tanpa tambahan admixture waterproofing yaitu 39,4 MPa. Sedangkan, pada beton dengan agregat daur

ulang, penambahan admixture waterproofing, meningkatkan kuat tekan beton menjadi 44,5 MPa dari beton dengan agregat daur ulang tanpa tambahan admixture waterproofing yaitu 35,5 MPa.

3. Pengaruh Penambahan Admixture Terhadap Kuat Tekan Beton Dari Berbagai Merek Semen.

Penelitian ini dilakukan oleh Dian Fitrawansyah, Irwan Lakawa dan Sulaiman dari Program Studi Teknik Sipil Universitas Sulawesi Tenggara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh peningkatan kuat tekan beton apabila pada campuran beton diberi *admixture* (Damdex) kurang dari 2% dan lebih dari 2% dengan berbagai merek semen. Pada penelitian ini digunakan benda uji yaitu kubus dengan dimensi 15 x 15 x 15 cm. Perencanaan campuran beton menggunakan dilakukan sesuai dengan SNI 03-2834-2000. Pengujian kuat tekan dilakukan pada saat benda uji berumur 28 hari. Berdasarkan penelitian ini didapatkan hasil yaitu merek semen Tonasa memiliki kenaikan Kuat Tekan Beton tertinggi pada hampir setiap kadar Damdex kecuali pada kadar penambahan Damdex 3% dimana yang paling tinggi presentase kenaikan kuat tekannya yaitu pada semen merek Tiga Roda.

4. Pengaruh Variasi Kadar Bahan Tambah *Waterproofing* Damdex Terhadap Kuat Tekan dan Absorpsi Beton

Penelitian ini dilakukan oleh Miqdad Khosyi Akbar mahasiswa Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan Damdex terhadap kuat tekan, absorpsi dan akselerasi peningkatan kuat tekan beton. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dan kubus 15 x 15 x 15 cm. Perencanaan campuran beton menggunakan dilakukan sesuai dengan SNI 03-2834-2000. Persentase kadar Damdex yang ditambahkan pada penelitian ini adalah 5%, 6%, 7% dan 8%. Kuat tekan rencana campuran beton adalah 25 MPa. Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada saat benda uji berumur 7, 14 dan 28 hari. Berdasarkan penelitian ini, didapatkan bahwa terjadi peningkatan kuat tekan beton yang cukup signifikan pada usia beton 7 dan 14

hari. Peningkatan pada usia 14 hari jauh lebih tinggi dari peningkatan pada usia 7 hari. Didapatkan persentase kuat tekan beton optimal dengan penambahan variasi kadar Damdex 5% yaitu sebesar 68,36% pada usia 7 hari dan 91,78% pada usia 14 hari. Selisih persentase kuat tekan beton dengan variasi 5% yaitu 1,93% pada usia 7 hari dan 4,32% pada usia 14 hari. Absorpsi beton dengan penambahan *waterproofing* Damdex juga mengalami penurunan. Absorpsi beton pada umur 7 hari dengan variasi 0% Damdex yaitu 4,298%, variasi 5% Damdex yaitu 2,736%, variasi 6% Damdex yaitu 2,687%, variasi 7% Damdex yaitu 2,586% dan variasi 8% Damdex yaitu 2,560%. Sedangkan, pada umur 14 hari, absorpsi beton dengan variasi 0% Damdex yaitu 4,046%, variasi 5% Damdex yaitu 2,740%, variasi 6% Damdex yaitu 2,553%, variasi 7% Damdex yaitu 2,553% dan variasi 8% Damdex yaitu 2,411%. Dari penelitian yang dilakukan dapat diketahui bahwa akselerasi peningkatan kuat tekan beton dan penurunan absorpsi beton optimum terjadi pada penambahan Damdex sebanyak 5%.

Berdasarkan beberapa penelitian di atas, dilakukan penelitian yang berbeda dengan penelitian terdahulu. Penelitian yang akan dilakukan adalah dengan menambahkan bahan tambah *Waterproofing* Damdex dengan kadar 0%, 4%, 5% dan 6% pada campuran beton dengan agregat limbah beton dengan variasi limbah 0% dan 100%. Mutu beton rencana yang digunakan adalah 25 MPa. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kuat tekan dan absorpsi beton. Benda uji yang digunakan adalah silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk pengujian kuat tekan dan benda uji kubus 15 x 15 x 15 cm untuk pengujian absorpsi beton. Pengujian dilakukan pada saat benda uji berumur 7, 14 dan 28 hari. Pada penelitian terdahulu variasi agregat limbah beton yang digunakan adalah 12% dengan mutu beton rencana yaitu 30 MPa. Berdasarkan uraian tersebut, maka penelitian yang dilakukan dapat dipertanggung jawabkan keasliannya.

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Kusumawardhana dkk (2018)	Matar P dkk (2020)	Fitrawansyah dkk. (2020)	Akbar (2021)	Penulis (2022)
Judul Penelitian	Pengaruh Penggunaan Agregat Kasar Beton Limbah Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton Normal	Effect of waterproofing admixture on the compressive strength and permeability of recycled aggregate concrete	Pengaruh Penambahan Admixture Terhadap Kuat Tekan Beton Dari Berbagai Merek Semen	Pengaruh Variasi Kadar Bahan Tambah <i>Waterproofing</i> Damdex Terhadap Kuat Tekan dan Absorpsi Beton	Pengaruh Penggunaan bahan Tambah <i>Waterproofing</i> Damdex dan Agregat Limbah Beton Terhadap Kuat Tekan Dan Absorpsi Beton
Tujuan Penelitian	Meneliti potensi limbah beton silinder sebagai agregat pengganti sebagian hingga keseluruhan agregat kasar	Mengkaji pengaruh bahan tambahan kedap air terhadap beberapa sifat beton agregat daur ulang	Mengetahui sejauh mana pengaruh peningkatan kuat tekan beton apabila pada campuran beton diberi <i>admixture</i> (Damdex) kurang dari 2% dan lebih 2% dengan berbagai merek semen	Mengetahui nilai kuat tekan beton, akselerasi peningkatan kuat tekan beton dan absorpsi beton pada umur 7,14 dan 28 hari.	Mengetahui kuat tekan dan absorpsi beton dengan agregat limbah beton dengan penambahan bahan tambah <i>waterproofing</i> Damdex
Kuat Tekan Rencana	25 MPa	30 MPa	K300 = 24,90 MPa	25 Mpa	25 Mpa
Kadar <i>Waterproofing</i>	-	1%	0%, 1%, 1,5%, 2%, 2,5%, dan 3 %	5%, 6%, 7% dan 8%	0%, 4%, 5% dan 6%
Agregat Limbah Beton	0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90% dan 100%	12%	-	-	0% dan 100%
Jenis Pengujian	Kuat tekan dan kuat tarik	Kuat tekan dan permeabilitas	Kuat tekan	Kuat tekan dan absorpsi beton	Kuat tekan dan absorpsi beton
Benda Uji	Silinder 15 x 30 cm	Silinder 15 x 30 cm	Kubus 15 x 15 x 15 cm	Silinder 15 x 30 cm dan Kubus 15 x 15 x 15 cm	Silinder 15 x 30 cm dan Kubus 15 x 15 x 15 cm
Umur Beton	28 hari	7 dan 28 hari	28 hari	7, 14 dan 28 hari	7, 14 dan 28 hari

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Kusumawardhana dkk (2018)	Matar P dkk (2020)	Fitrawansyah dkk. (2020)	Akbar (2021)	Penulis (2022)
Hasil Pengujian	Pada variasi campuran 10% dan 20% kuat tekan beton rencana 25 MPa tidak tercapai. Peningkatan kuat tekan beton dibandingkan dengan kuat tekan beton kontrol terjadi pada variasi campuran 30%, 40%, 50%, 60%, 70% dan 80%. Namun, pada variasi campuran 90% dan 100% kembali mengalami penurunan kuat tekan beton. Hasil campuran optimum agregat kasar limbah adalah dengan variasi 40%.	Pada usia beton 7 hari, penambahan <i>admixture waterproofing</i> pada beton tanpa tambahan agregat daur ulang meningkatkan kuat tekan beton menjadi 36,8 MPa dari beton tanpa penambahan <i>admixture waterproofing</i> yaitu 31,5 MPa. Sedangkan, pada beton dengan agregat limbah, penambahan <i>admixture waterproofing</i> meningkatkan kuat tekan beton menjadi 28,1 MPa dari beton agregat daur ulang tanpa penambahan <i>admixture waterproofing</i> yaitu 24,8 MPa. Pada usia beton 28 hari, penambahan penambahan <i>admixture waterproofing</i> pada beton tanpa tambahan agregat daur ulang meningkatkan kuat tekan beton menjadi 50,9 MPa dari beton tanpa tambahan <i>admixture waterproofing</i> yaitu 39,4 MPa.	Merek semen Tonasa memiliki kenaikan Kuat Tekan Beton tertinggi pada hampir setiap kadar Damdex kecuali pada kadar penambahan Damdex 3% dimana yang paling tinggi presentase kenaikan kuat tekannya yaitu pada semen merek Tiga Roda.	Terjadi peningkatan kuat tekan beton yang cukup signifikan pada usia beton 7 dan 14 hari. Peningkatan pada usia 14 hari jauh lebih tinggi dari peningkatan pada usia 7 hari. Didapatkan persentase kuat tekan beton optimal dengan penambahan variasi kadar Damdex 5% yaitu sebesar 68,36% pada usia 7 hari dan 91,78% pada usia 14 hari. Selisih persentase kuat tekan beton dengan variasi 5% yaitu 1,93% pada usia 7 hari dan 4,32% pada usia 14 hari.	

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Sekarang

Peneliti	Kusumawardhana dkk (2018)	Matar P dkk (2020)	Fitrawansyah dkk. (2020)	Akbar (2021)	Penulis (2022)
		Sedangkan, pada beton dengan agregat daur ulang, penambahan <i>admixture waterproofing</i> , meningkatkan kuat tekan beton menjadi 44,5 MPa dari beton dengan agregat daur ulang tanpa tambahan <i>admixture waterproofing</i> yaitu 35,5 MPa.		Absorpsi beton dengan penambahan <i>waterproofing</i> Damdex juga mengalami penurunan. Absorpsi beton pada umur 7 hari dengan variasi 0% Damdex yaitu 4,298%, variasi 5% Damdex yaitu 2,736%, variasi 6% Damdex yaitu 2,687%, variasi 7% Damdex yaitu 2,586% dan variasi 8% Damdex yaitu 2,560%. Sedangkan, pada umur 14 hari, absorpsi beton dengan variasi 0% Damdex yaitu 4,046%, variasi 5% Damdex yaitu 2,740%, variasi 6% Damdex yaitu 2,553%, variasi 7% Damdex yaitu 2,553% dan variasi 8% Damdex yaitu 2,411%. Akselerasi peningkatan kuat tekan dan penurunan absorpsi beton optimum terjadi pada beton dengan penambahan Damdex sebanyak 5%.	

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Beton

Beton merupakan material yang didapat dari pencampuran material agregat halus dan kasar dengan bahan perekat semen dan air sebagai bahan pembantu reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung. Mutu beton dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain mutu material penyusunnya, perencanaan, pengolahan dan pengangkutannya. Untuk memperoleh mutu yang ingin dicapai, maka material penyusunnya harus sesuai dengan standar tertentu. Dalam perencanaan, pencampuran material penyusun harus ditentukan dengan perbandingan tertentu sesuai dengan mutu yang ingin dicapai. Selanjutnya, untuk mendapatkan mutu beton yang baik, maka beton harus dicampur dan diaduk dengan benar dan merata. Apabila telah dicapai mutu yang beton yang baik, maka selanjutnya proses pengangkutan juga menjadi aspek yang harus diperhatikan agar beton tidak mengalami kerusakan. Beton merupakan material yang mudah dibuat namun perlu ada perhatian tersendiri untuk memastikan dan mempertahankan mutunya.

Berdasarkan Aji P dan Purwono R (2010), Beton normal yang memiliki berat volume $\pm 2400 \text{ kg/m}^3$ untuk tujuan struktural dibagi atas 3 kategori mutu yaitu sebagai berikut.

1. Beton mutu rendah : kurang dari 20 MPa
2. Beton mutu moderat/normal : 20 – 40 MPa
3. Beton berkeuatan tinggi : lebih dari 40 MPa

3.2 Material Penyusun Beton

Beton merupakan material yang tersusun atas beberapa material penyusun. Pada umumnya, beton tersusun atas agregat kasar, agregat halus, semen portland dan air. Namun dewasa ini, untuk mencapai tujuan tertentu, dalam campuran beton dapat ditambahkan *admixture*. Material penyusun beton fungsi masing-masing

dalam campuran beton. Selain itu, setiap material penyusun memiliki pengaruh pada campuran beton terutama dalam menentukan mutunya.

3.2.1 Agregat

Agregat merupakan material yang menempati 70-75% dari total volume total beton yang kualitasnya sangat berpengaruh terhadap mutu dari beton (Antoni dan Nugraha P, 2007). Walau secara fungsi, agregat hanya sebagai material pengisi, namun karena jumlahnya yang cukup besar, sifatnya akan mempengaruhi beton yang dihasilkan. Sifat agregat berpengaruh pada beton cair maupun beton keras. Pengaruh tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3. 1 Pengaruh Sifat Agregat Pada Sifat Beton

Sifat Agregat	Pengaruh pada	Sifat Beton
Bentuk, tekstur, gradasi	Beton cair	Kelecekan pengikatan dan pengerasan
Sifat fisik, sifat kimia, mineral	Beton keras	Kekuatan, kekerasan, ketahanan (<i>durability</i>)

Sumber : Antoni dan Nugraha P (2007)

Pada campuran beton agregat terbagi atas agregat halus dan agregat kasar. Adapun penjelasan mengenai agregat halus dan agregat kasar adalah sebagai berikut.

1. Agregat Halus

Agregat halus merupakan pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 4,75 mm atau no 4 (SNI 1970, 2016). Adapun persyaratan agregat halus menurut ASTM C33 (2003) untuk campuran beton adalah sebagai berikut.

- a. Modulus halus butir yaitu berada pada rentang 2,3 – 3,1.
- b. Kadar lumpur atau butiran yang lebih kecil dari 0,074 mm atau No. 200 dalam persen berat maksimum adalah sebesar 3.0% untuk beton yang mengalami abrasi dan 5% untuk beton jenis lainnya.

- c. Kadar gumpalan tanah liat atau partikel yang mudah dirapikan maksimum 3%.
- d. Kandungan arang atau lignit untuk beton ekspos maksimum 0,5% dan beton jenis lainnya maksimum 1,0%.
- e. Kadar zat organik yang ditentukan dengan mencampur agregat halus dengan larutan Natrium Sulfat (NaSO_4) sebanyak 3%, tidak menghasilkan warna yang lebih tua dibanding warna standar. Apabila warnanya lebih tua maka agregat halus tidak diperkenankan digunakan kecuali sebagai berikut.
 - 1) Warna tersebut timbul karena terdapat sedikit arang lignit atau sejenisnya.
 - 2) Ketika dilakukan pengujian kuat tekan beton sesuai ASTM C.87 yang dibuat dengan pasir standar silika hasilnya menunjukkan nilai lebih besari dari 95%.
- f. Jika dipakai untuk beton yang berhubungan dengan basah dan lembab maka agregat tidak boleh bersifat reaktif terhadap alkali. Agregat juga tidak boleh berhubungan dengan bahan yang bersifat reaktif dengan alkali semen, yang mana penggunaan semen yang mengandung natrium oksida tidak lebih dari 0,6%.
- g. Kekalan jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum adalah 10%, dan jika dipakai magnesium sulfat adalah 15%.
- h. Susunan gradasi harus memenuhi syarat yang dapat dilihat pada Tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3. 2 Persyaratan Susunan Gradasi Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)		Berat Benda Uji (gram)		
Lewat	Tertinggal	Gradasi A	Gradasi B	Gradasi C
38.10	25.40	1250		
25.40	19.05	1250		
19.05	12.70	1250	1250	
12.70	9.51	1250	1250	
9.51	6.35			1250
6.35	4.75			1250

Sumber : ASTM C-33 (2003)

2. Agregat Kasar

Adapun persyaratan agregat kasar menurut ASTM C33 untuk campuran beton adalah sebagai berikut.

- a. Jika agregat dipakai untuk beton yang berhubungan dengan basah dan lembab maka agregat halus tidak boleh mengandung bahan yang bersifat reaktif dengan alkali pada semen dalam jumlah yang dapat mengakibatkan ekspansi mortar atau beton, kecuali material tersebut tersedia dalam jumlah yang merugikan, agregat halus diperbolehkan apabila digunakan dengan semen yang mengandung alkali kurang dari 0,60%, jika ada persyaratan yang memuaskan, evaluasi, atau dengan penambahan bahan yang dapat mencegah pemuaian yang berbahaya akibat reaksi alkali agregat.
- b. Susunan gradasi agregat kasar harus sesuai Gambar 3.1 sebagai berikut.

Size Number	Nominal Size (Sieves with Square Openings)	Amounts Finer than Each Laboratory Sieve (Square-Openings), Mass Percent												
		100 mm (4 in.)	90 mm (3½ in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2½ in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1½ in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (¾ in.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	300 µm (No. 50)
1	90 to 37.5 mm (3½ to 1½ in.)	100	90 to 100	...	25 to 60	...	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...
2	63 to 37.5 mm (2½ to 1½ in.)	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...
3	50 to 25.0 mm (2 to 1 in.)	...	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...
357	50 to 4.75 mm (2 in. to No. 4)	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	...	0 to 5	...	...
4	37.5 to 19.0 mm (1½ to ¾ in.)	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...
467	37.5 to 4.75 mm (1½ in. to No. 4)	...	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	0 to 5	...	...
5	25.0 to 12.5 mm (1 to ½ in.)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...	...	...
56	25.0 to 9.5 mm (1 to ¾ in.)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 85	10 to 40	0 to 15	0 to 5	...	...
57	25.0 to 4.75 mm (1 in. to No. 4)	...	...	...	...	...	100	95 to 100	...	25 to 60	...	0 to 10	0 to 5	...
6	19.0 to 9.5 mm (¾ to ¾ in.)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	0 to 5	...	...
67	19.0 to 4.75 mm (¾ in. to No. 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	...	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...
7	12.5 to 4.75 mm (½ in. to No. 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 70	0 to 15	0 to 5	...
8	9.5 to 2.36 mm (¾ in. to No. 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 30	0 to 10	0 to 5
89	9.5 to 1.18 mm (¾ in. to No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	5 to 30
9 ^A	4.75 to 1.18 mm (No. 4 to No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 40

^A Although size 9 aggregate is defined in Terminology C 125 as a fine aggregate, it is included as a coarse aggregate when it is combined with a size 8 material to create a size 89, which is a coarse aggregate as defined by Terminology C 125.

Gambar 3. 1 Persyaratan Susunan Gradasi Agregat Kasar
(Sumber : ASTM C-33, 2003)

- c. Agregat kasar harus memenuhi persyaratan batas ijin partikel yang berpengaruh buruk terhadap beton dan sifat fisika yang diijinkan.
3. Limbah Beton

Limbah beton merupakan hasil olahan beton yang dipilih dan dihancurkan menggunakan mesin *stone crusher* dengan ukuran 2-3 cm sesuai dengan yang diinginkan. Hasil dari limbah beton yang telah diproses sesuai ukuran yang diinginkan selanjutnya dapat dijadikan sebagai agregat kasar untuk campuran beton baru. Penggunaan agregat kasar dari limbah beton yang telah diproses harus memenuhi ukuran 2-3 cm untuk dapat digunakan. Untuk dapat digunakan sebagai agregat kasar, olahan limbah beton harus memenuhi persyaratan sebagai berikut (Tjokrodimuljo K, 1992).

 - a. Butiran keras agar menghasilkan beton yang memiliki sifat keras.
 - b. Tidak memiliki pori karena agregat kasar yang memiliki pori mudah menghasilkan beton yang tidak kedap air.
 - c. Butiran harus memiliki sifat kekal yaitu tidak mudah pecah atau hancur yang diakibatkan oleh perubahan cuaca.
 - d. Kandungan lumpur tidak boleh lebih dari 1%.

3.2.2 Semen Portland

Semen merupakan salah satu material penyusun beton yang memiliki fungsi untuk merekatkan butiran agregat dan menjadi pengisi rongga antar butiran agregat. Pada umumnya beton mengandung semen sekitar 10% dan mengandung pasta semen (semen dan air) sebanyak 25%-40%. Semen dapat dibedakan menjadi dua kelompok yaitu semen non-hidrolik dan semen hidrolik. Semen non-hidrolik merupakan semen yang tidak dapat mengikat dan mengeras di dalam air, akan tetapi dapat mengeras di udara. Sedangkan, semen hidrolik merupakan semen yang memiliki kemampuan untuk mengikat dan mengeras di dalam air.

Semen *portland* merupakan semen hidrolik yang dihasilkan dari dengan cara menggiling klinker yang terdiri dari kalsium silikat hidrolik, yang umumnya mengandung satu atau lebih bentuk kalsium sulfat sebagai bahan tambahan yang digiling bersama-sama dengan bahan utamanya (ASTM C-150, 1985). Semen *portland* merupakan salah satu jenis semen hidrolik yang paling banyak digunakan dalam pekerjaan beton. Semen *portland* banyak digunakan karena beton yang dihasilkan dari semen ini merupakan salah satu bahan konstruksi paling serbaguna.

Menurut SNI-15-2049 (2004), semen *portland* dibagi 5 jenis berdasarkan kegunaannya yaitu sebagai berikut.

1. Jenis I

Semen *portland* jenis I merupakan semen *portland* yang dalam penggunaan tidak memerlukan persyaratan khusus.

2. Jenis II

Semen *portland* jenis II merupakan semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat atau kalor hidrasi sedang.

3. Jenis III

Semen *portland* jenis III merupakan semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan tinggi pada tahap permulaan setelah pengikatan terjadi.

4. Jenis IV

Semen *portland* jenis IV merupakan semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan kalor hidrasi rendah.

5. Jenis V

Semen *portland* jenis V merupakan semen *portland* yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan tinggi terhadap sulfat.

3.2.3 Air

Air merupakan material penyusun beton yang digunakan untuk memicu proses kimiawi dari semen. Selain itu, air juga digunakan untuk membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Jumlah air dalam campuran beton juga merupakan salah satu aspek yang harus diperhatikan. Perbandingan yang harus diperhatikan adalah perbandingan jumlah air dan semen. Hal tersebut karena pasta semen yang merupakan hasil reaksi kimia antara semen dengan air. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai. Sedangkan, jumlah air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya.

Kebutuhan air pada suatu campuran ditentukan oleh faktor-faktor sebagai berikut.

1. Ukuran agregat maksimum

Ukuran agregat berbanding terbalik dengan kebutuhan air. Semakin besar ukuran butir agregat, maka kebutuhan air akan menurun. Hal ini disebabkan luas permukaan agregat yang harus diselimuti air menjadi lebih kecil.

2. Bentuk butir agregat

Agregat batu pecah memerlukan jumlah air yang lebih banyak daripada agregat dengan bentuk bulat.

3. Gradasi agregat

Semakin baik gradasi agregat yaitu agregat dengan ukuran butiran yang beragam dan tersusun sepadat mungkin dengan rongga udara mendekati nol, maka akan semakin menurunkan jumlah kebutuhan air pada campuran beton untuk kelecakan yang sama.

4. Kotoran dalam agregat

Kotoran dalam agregat akan meningkatkan kebutuhan air pada campuran beton. Kotoran tersebut dapat berupa lanau, tanah liat dan lumpur.

Adapun persyaratan air untuk campuran beton dengan semen hidraulis menurut SNI 7974 (2013) adalah sebagai berikut.

1. Air pencampur dapat meliputi air sebagai berikut.
 - a. Air untuk pengadukan (air yang ditimbang atau diukur di *batching plant*)
 - b. Es
 - c. Air yang ditambahkan oleh operator truk
 - d. Air bebas pada agregat-agregat
 - e. Air yang masuk dalam bentuk bahan-bahan tambahan, apabila air ini dapat meningkatkan rasio air semen lebih dari 0,01
2. Air minum boleh digunakan sebagai air pencampur beton tanpa diuji
3. Air yang merupakan campuran antara air yang dapat diminum dengan yang tidak dapat diminum atau air yang tidak dapat diminum atau campuran antara air yang tidak dapat diminum harus memenuhi persyaratan SNI 7974 (2013) untuk dapat digunakan.

3.2.4 Bahan Tambah (*Admixture*)

Admixture merupakan material yang ditambahkan ke dalam campuran beton pada saat atau selama pencampuran beton berlangsung. Fungsi dari penambahan material ini adalah untuk mengubah sifat-sifat dari beton agar menjadi lebih cocok untuk pekerjaan tertentu atau untuk menghemat biaya.

Alasan penambahan *admixture* menurut Mulyono T (2004) antara lain adalah sebagai berikut.

1. Memodifikasi beton segar, mortar dan *grouting*

Adapun bentuk dari memodifikasi beton segar, mortar dan *grouting* adalah sebagai berikut.

 - a. Menambah sifat kemudahan pekerjaan tanpa menambah kandungan air atau mengurangi kandungan air dengan sifat pengerjaan yang sama.
 - b. Menghambat atau mempercepat waktu pengikatan awal dari campuran beton

- c. Mengurangi atau mencegah secara preventif penurunan atau perubahan volume beton
 - d. Mengurangi segregasi
 - e. Mengembangkan dan meningkatkan sifat penetrasi dan pemompaan beton segar
 - f. Mengurangi kehilangan nilai slump
2. Memodifikasi beton keras, mortar dan *grouting*
- Adapun bentuk dari memodifikasi beton keras, mortar dan *grouting* adalah sebagai berikut.
- a. Menghambat atau mengurangi ekolusi panas selama pengerasan awal (beton muda)
 - b. Mempercepat laju pengembangan kekuatan beton pada umur muda
 - c. Menambah kekuatan beton (kuat tekan, kuat lentur atau kuat geser dari beton)
 - d. Menambah sifat keawetan beton atau ketahanan dari gangguan luar termasuk serangan garam-garam sulfat
 - e. Mengurangi kapilaritas dari air
 - f. Mengurangi sifat permeabilitas
 - g. Mengontrol pengembangan yang disebabkan oleh reaksi dari alkali termasuk alkali dari agregat
 - h. Menghasilkan struktur beton yang baik
 - i. Menambah kekuatan ikatan beton bertulang
 - j. Mengembangkan ketahanan gaya impact (berulang) dan ketahanan abrasi
 - k. Mencegah korosi yang terjadi pada baja (*embedded metal*)
 - l. Menghasilkan warna tertentu pada beton atau mortar

Jenis bahan tambah pada beton dibagi menjadi dua yaitu sebagai berikut

1. Bahan tambah kimia (*Chemical Admixture*)

Berdasarkan SNI 2495 (1991), bahan tambah kimia dapat dikelompokkan menjadi tujuh tipe yaitu sebagai berikut.

- a. Tipe A (*Water Reducing Admixtures*)
Water Reducing Admixtures merupakan bahan tambah yang digunakan untuk mengurangi air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu.
- b. Tipe B (*Retarding Admixtures*)
Retarding Admixtures merupakan bahan tambah yang digunakan untuk menghambat waktu pengikatan beton.
- c. Tipe C (*Accelerating Admixtures*)
Accelerating Admixtures merupakan bahan tambah yang digunakan untuk mempercepat pengikatan dan pengembangan kekuatan awal beton.
- d. Tipe D (*Water Reducing and Retarding Admixtures*)
Water Reducing and Retarding Admixtures merupakan bahan tambah yang memiliki fungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan menghambat pengikatan awal.
- e. Tipe E (*Water Reducing and Accelerating Admixtures*)
Water Reducing and Accelerating Admixtures merupakan bahan tambah yang memiliki fungsi ganda yaitu mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton yang konsistensinya tertentu dan mempercepat pengikatan awal.
- f. Tipe F (*Water Reducing, High Range Admixtures*)
Water Reducing, High Range Admixtures merupakan bahan tambah yang memiliki fungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih.
- g. Tipe G (*Water Reducing, High Range Retarding Admixtures*)
Water Reducing, High Range Retarding Admixtures merupakan bahan tambah yang memiliki fungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12% atau lebih dan juga untuk menghambat pengikatan beton.

2. Bahan tambah mineral (*Additive*)

Bahan tambah mineral (*additive*) merupakan bahan tambah yang dimaksudkan untuk memperbaiki kinerja beton. *Additive* lebih banyak digunakan untuk memperbaiki kinerja tekan beton, sehingga bahan tambah ini cenderung bersifat penyemenan. *Additive* antara lain adalah pozzolan, *fly ash*, *slag* dan *silica fume*.

3.3 *Waterproofing* Damdex

Waterproofing merupakan material yang digunakan untuk menghasilkan beton yang lebih kedap air. Penggunaan *waterproofing* dapat berupa pelapis eksternal maupun ditambahkan kedalam campuran beton. Damdex merupakan salah satu merek bahan tambah *waterproofing* cair yang berwarna kecoklatan. Menurut klaim dari Damdex Indonesia, penggunaan Damdex pada dapat beton selain dapat membuat beton menjadi kedap air juga dapat menaikkan kuat tekan dan tarik beton sampai 35%. Berdasarkan video demo pengecoran beton K-225 mengalami kenaikan kuat tekan beton menjadi K-253 pada umur beton 14 hari. Selain itu, penggunaan Damdex dapat mempercepat pengerasan beton hingga 50%. Dosis penambahan Damdex yang dianjurkan pada kemasan adalah sebanyak 2% dari berat semen

3.4 Perencanaan Campuran Beton

Perencanaan campuran beton (*mix design*) pada penelitian ini menggunakan metode sesuai dengan SNI 2834-2000 tentang tata cara pembuatan rencana campuran beton normal. Langkah-langkah perhitungan proporsi campuran beton secara urut adalah sebagai berikut.

1. Menentukan kuat tekan beton yang disyaratkan ($f'c$) pada umur tertentu.
2. Menghitung deviasi standar

Deviasi standar yang didapat dari pengalaman di lapangan selama produksi beton menurut persamaan 3.1 sebagai berikut.

$$s = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n-1} \quad (3.1)$$

Dengan :

s = deviasi standar

x_i = kuat tekan beton yang didapat dari masing masing benda uji

\bar{x} = adalah kuat tekan beton rata-rata menurut rumus sebagai berikut.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Dengan :

n adalah jumlah nilai hasil uji, yang harus diambil minimum 30 buah (satu hasil uji adalah nilai uji rata-rata dari 2 buah benda uji) dua hasil uji yang akan digunakan untuk menghitung deviasi standar harus memenuhi sebagai berikut.

- a. Mewakili bahan-bahan prosedur pengawasan mutu dan kondisi produksi serupa dengan pekerjaan yang diusulkan.
- b. Mewakili kuat tekan beton yang disyaratkan f'_c yang nilainya dalam batas 7 MPa dari nilai f_{cr} yang ditentukan.
- c. Paling sedikit terdiri dari 30 hasil uji yang berurutan atau dua kelompok hasil uji diambil dalam produksi selama jangka waktu tidak kurang dari 45 hari.
- d. Bila suatu produksi beton tidak mempunyai dua hasil yang memenuhi persyaratan di atas tetapi hanya ada sebanyak 15 sampai 29 hasil uji yang berurutan, maka nilai deviasi standar adalah perkalian deviasi standar yang dihitung dari data hasil uji tersebut dengan faktor pengali dari Tabel 3.3 sebagai berikut.

Tabel 3. 3 Faktor Pengali untuk Deviasi Standar

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	Berdasarkan 5)
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

- e. Bila data uji lapangan untuk menghitung deviasi standar yang memenuhi persyaratan di atas tidak tersedia, maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan f_{cr} harus diambil tidak kurang dari ($f'c + 12$ MPa).

3. Menghitung nilai tambah

Nilai tambah dihitung menurut persamaan 3.2 sebagai berikut.

$$M = 1,64 \times s_r \quad (3.2)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

M = Nilai tambah

1,64 = Tetapan statistik yang nilainya tergantung pada persentase kegagalan hasil uji sebesar maksimum 5%

S_r = Deviasi standar rencana

4. Menghitung kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan (f'_{cr})

Kuat tekan rata-rata yang ditargetkan dihitung menurut persamaan 3.3 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} f'_{cr} &= f'c + M \\ f'_{cr} &= f'c + 1,64 S_r \end{aligned} \quad (3.3)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

f'_{cr} = Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan (MPa)

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

M = Nilai tambah

S_r = Deviasi standar

5. Menetapkan jenis semen
6. Menentukan jenis agregat kasar dan agregat halus
7. Menentukan faktor air semen

Faktor air semen ditentukan dengan tahap sebagai berikut.

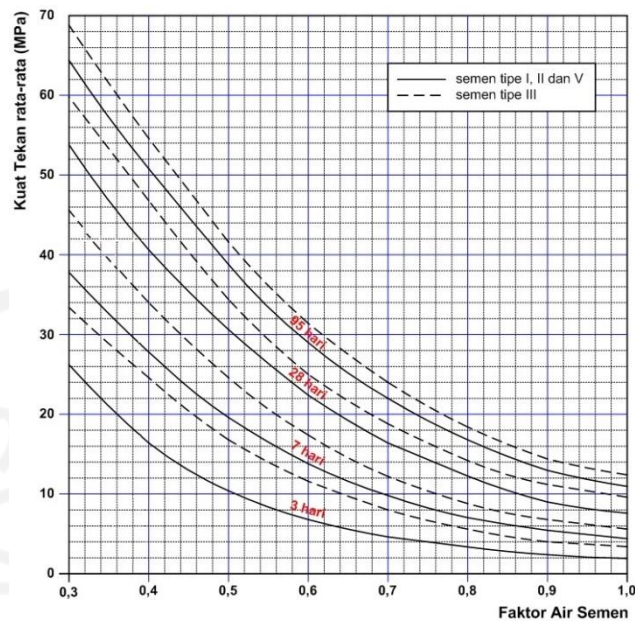
- a. Menentukan nilai kuat tekan pada umur 28 hari berdasarkan jenis semen dan agregat yang digunakan menggunakan Tabel 3.4 sebagai berikut

Tabel 3. 4 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton Dengan Jenis Semen dan Agregat Kasar yang Digunakan

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

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

- b. Menentukan kurva lengkung baru berdasarkan hubungan antara nilai kuat tekan yang diperoleh pada poin 7a di atas dengan faktor air semen sebesar 0,5 pada Gambar 3.2 sebagai berikut.



Grafik 1 : Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas)
(benda uji berbentuk Silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

Gambar 3. 2 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen
(Sumber: SNI 2834, 2000)

- c. Menentukan faktor air semen yang diperlukan dengan menghubungkan kuat tekan beton rencana yang diperoleh dari poin 4 dengan kurva lengkung baru pada poin 7b.
8. Menetapkan faktor air semen maksimum
Menentukan faktor air semen maksimum yang kemudian diambil nilai faktor air semen terkecil antara perhitungan poin 7 dengan poin 8.
9. Menetapkan slump
10. Menetapkan ukuran agregat maksimum
Ukuran agregat maksimum ditentukan dari hasil pengujian properties agregat.
11. Menentukan nilai kadar air bebas
Kadar air bebas ditentukan menggunakan Tabel 3.5 dan persamaan 3.4 sebagai berikut.

Tabel 3. 5 Perkiraan Kadar Air Bebas (Kg/m³) yang Dibutuhkan Untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

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

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

$$w = \frac{2}{3}W_h + \frac{2}{3}W_k \quad (3.4)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

w = Kadar air bebas (kg/m³)

W_h = Perkiraan jumlah air untuk agregat halus (kg/m³)

W_k = Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar (kg/m³)

12. Menghitung jumlah semen

Jumlah semen yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan 3.5 sebagai berikut.

$$c = \frac{w}{fas} \quad (3.5)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

c = Jumlah semen (kg/m³)

w = Kadar air bebas (kg/m³)

fas = Faktor air semen

13. Menentukan jumlah semen semimumimum mungkin

Jumlah semen minimum ditetapkan berdasarkan lokasi beton rencana sesuai pada Tabel 3.6 sebagai berikut.

Tabel 3. 6 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus

Lokasi	Jumlah Semen Minimum Per m ³ beton (Kg)	Nilai Faktor Air-Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan:		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0.52
Beton di luar ruangan bangunan:		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0.60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0.60
Beton masuk ke dalam tanah:		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0.55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan:		
a. Air tawar		
b. Air laut		Lihat Tabel 6

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

14. Menentukan jumlah semen yang digunakan

Jumlah semen yang digunakan ditentukan dengan mengambil jumlah semen terbanyak dari hasil perhitungan, jumlah semen maksimum (apabila ditetapkan) dan jumlah semen minimum.

15. Menentukan faktor air semen yang disesuaikan

Faktor air semen yang disesuaikan ditentukan apabila terjadi perubahan jumlah semen dari hasil perhitungan pada poin 12 menjadi jumlah semen maksimum atau jumlah semen minimum.

16. Menentukan susunan butir agregat halus

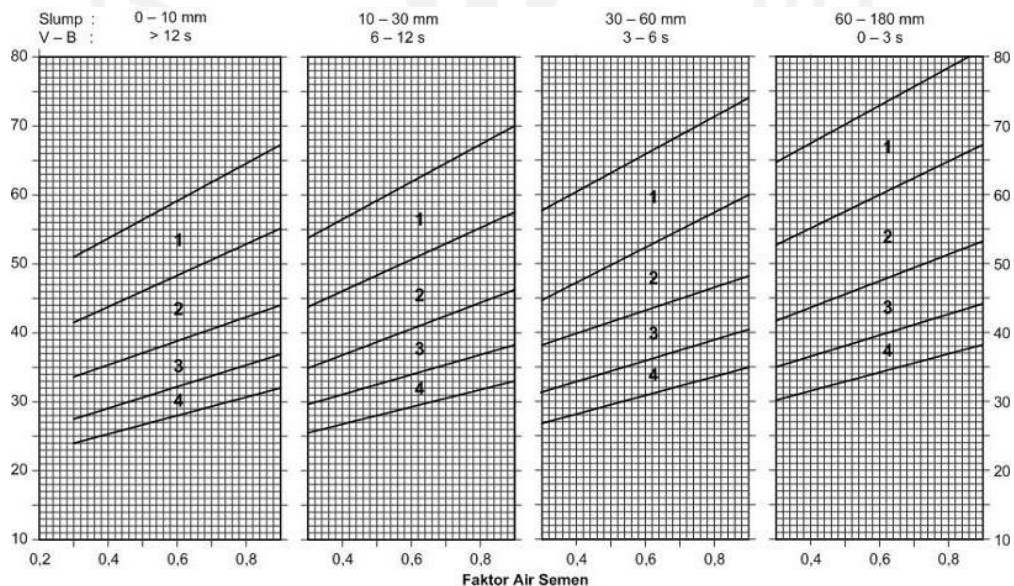
Susunan butir agregat halus ditentukan berdasarkan hasil pengujian analisa saringan agregat halus.

17. Menentukan susunan agregat kasar

Susunan butir agregat kasar ditentukan berdasarkan hasil pengujian analisa saringan agregat kasar.

18. Menentukan persentase agregat halus

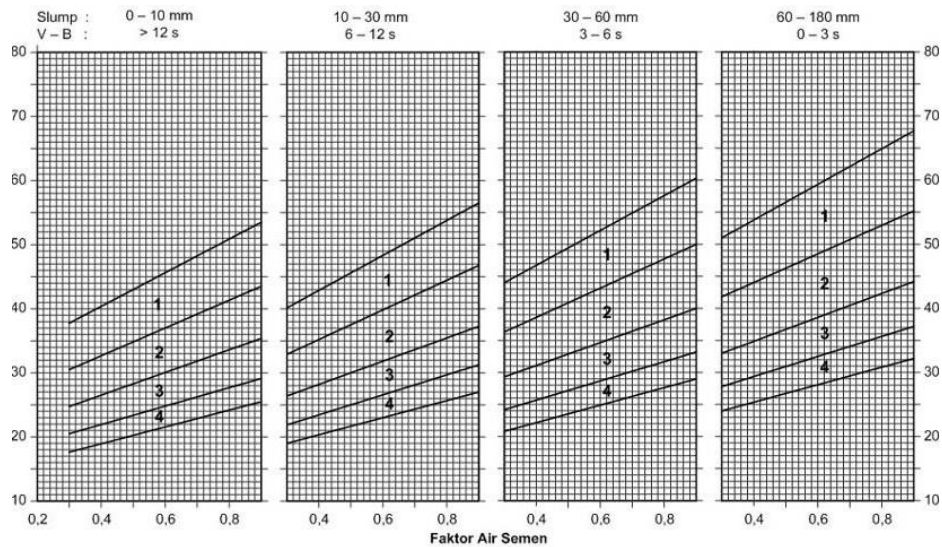
Persentase agregat halus ditentukan menggunakan Gambar 3.3 samapai dengan Gambar 3.5. Penggunaan grafik disesuaikan pada ukuran butir maksimum agregat kasar dan gradasi agregat halus.



Grafik 13: Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan Untuk ukuran butir maksimum 10 mm

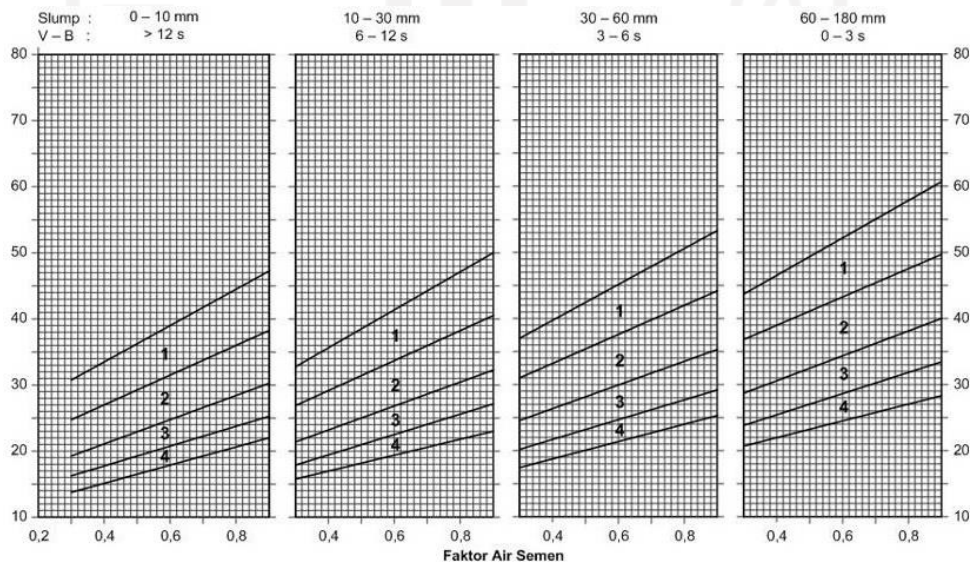
Gambar 3. 3 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 10 mm

(Sumber: SNI 2834, 2000)



Grafik 14: Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan Untuk ukuran butir maksimum 20 mm

Gambar 3. 4 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm
(Sumber: SNI 2834, 2000)



Grafik 15: Persen Pasir terhadap Kadar Total Agregat yang dianjurkan Untuk ukuran butir maksimum 40 mm

Gambar 3. 5 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 40 mm
(Sumber: SNI 2834, 2000)

19. Menghitung berat jenis relatif agregat

Berat jenis relatif agregat ditentukan dengan persamaan 3.6 sebagai berikut.

$$BJ_{gab} = \%Ag.Halus \times BJ_{Ag.halus} + \%Ag.Kasar \times BJ_{Ag.Kasar} \quad (3.6)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

BJ_{gab} = Berat jenis relatif/gabungan agregat

$\%Ag.Halus$ = Persentase agregat halus (%)

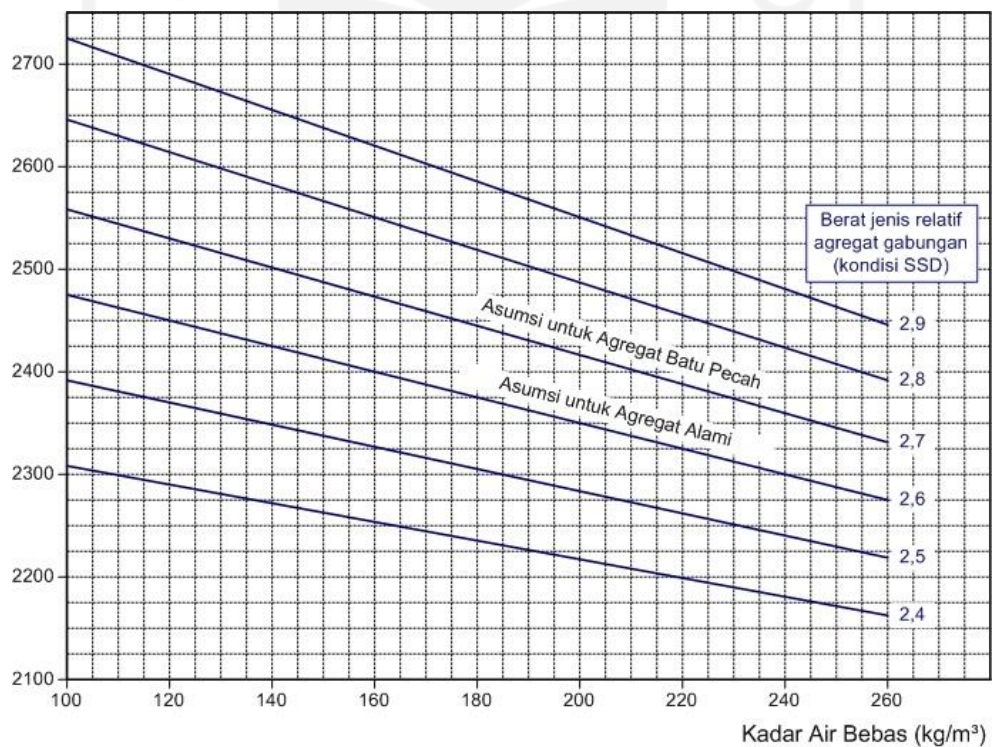
$\%Ag.Kasar$ = Persentase agregat kasar (%)

$BJ_{Ag.halus}$ = Berat jenis agregat halus

$BJ_{Ag.Kasar}$ = Berat jenis agregat kasar

20. Menentukan berat isi beton

Berat isi beton ditentukan berdasarkan kadar air bebas dan berat jenis relatif/gabungan agregat menggunakan Gambar 3.6 sebagai berikut.



Grafik 16: Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang telah selesai dipadatkan

Gambar 3. 6 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Didapatkan

(Sumber: SNI 2834, 2000)

21. Menghitung kadar agregat gabungan

Kadar agregat gabungan dihitung dengan persamaan 3.7 sebagai berikut.

$$W_{Ag. gab} = W_{beton} - W_{semen} - w \quad (3.7)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

$$W_{Ag. gab} = \text{Kadar agregat gabungan (kg/m}^3\text{)}$$

$$W_{beton} = \text{Berat isi beton (kg/m}^3\text{)}$$

$$W_{semen} = \text{Kadar semen (kg/m}^3\text{)}$$

$$w = \text{Kadar air bebas (kg/m}^3\text{)}$$

22. Menghitung kadar agregat halus

Kadar agregat halus dihitung dengan persamaan 3.8 sebagai berikut.

$$W_{Ag. halus} = \%Ag. halus \times W_{Ag.gab} \quad (3.8)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

$$W_{Ag. halus} = \text{Kadar agregat halus (kg/m}^3\text{)}$$

$$\%Ag. Halus = \text{Persentase agregat halus (\%)}$$

$$W_{Ag. gab.} = \text{Kadar agregat gabungan (kg/m}^3\text{)}$$

23. Menghitung kadar agregat kasar

Kadar agregat kasar dihitung dengan persamaan 3.9 sebagai berikut.

$$W_{Ag. kasar} = W_{Ag.gab} - W_{Ag.halus} \quad (3.9)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

$$W_{Ag. kasar} = \text{Kadar agregat kasar (kg/m}^3\text{)}$$

$$W_{Ag. halus} = \text{Kadar agregat halus (kg/m}^3\text{)}$$

$$W_{Ag. gab} = \text{Kadar agregat gabungan (kg/m}^3\text{)}$$

24. Menentukan proporsi campuran

Proporsi campuran ditentukan untuk tiap m³ beton dengan kondisi agregat dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD). Proporsi campuran uji untuk tiap m³ beton ditentukan dengan mengalikan dengan volume total benda uji.

25. Menghitung koreksi proporsi campuran

Koreksi proporsi campuran diperlukan untuk kondisi agregat yang tidak dalam keadaan jenuh kering permukaan (SSD). Koreksi dilakukan terhadap kandungan air dalam agregat.

3.5 Kuat Tekan Beton

Kemampuan beton keras dalam menerima gaya tekan aksial per satuan luas disebut sebagai kuat tekan beton. Nilainya dapat ditentukan melalui pengujian dengan mesin uji tekan (*compression testing machine*) yaitu besarnya gaya tekan aksial per satuan luas yang dapat menyebabkan benda uji beton hancur. Berdasarkan SNI 1974 (2011), kuat tekan beton dihitung dengan persamaan 3.10 sebagai berikut.

$$\text{Kuat tekan beton} = \frac{P}{A} \quad (3.10)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kuat tekan beton} &= \text{Diuji menggunakan benda uji silinder (MPa atau N/mm}^2\text{)} \\ P &= \text{Gaya tekan aksial (N)} \\ A &= \text{Luas penampang melintang benda uji (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

3.6 Absorpsi Beton

Penyerapan air pada beton (absorpsi beton) adalah proses masuknya air melalui pori-pori kapiler yang terdapat di permukaan beton. Sehingga tingkat penyerapan air pada beton dipengaruhi oleh adanya pori atau rongga pada beton. Semakin banyak pori-pori atau rongga pada beton, maka tingkat penyerapan air akan meningkat dan menyebabkan kurangnya ketahanan beton terhadap air. Sesuai SNI 6433 (2016), nilai absorpsi di beton dapat dihitung dengan persamaan 3.14 sebagai berikut.

$$P_A = \frac{B-A}{A} \times 100 \quad (3.14)$$

Dengan keterangan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P_A &= \text{Absorpsi atau penyerapan air (\%)} \\ B &= \text{Massa contoh uji kering permukaan di udara setelah perendaman} \\ &\quad \text{(gram)} \\ A &= \text{Massa contoh uji kering oven di udara (gram)} \end{aligned}$$

3.7 Umur Beton

Kekuatan tekan beton akan terus bertambah seiring dengan bertambahnya umur beton. Kekuatan beton akan mengalami kenaikan secara cepat sampai umur 28 hari. Kenaikkan kekuatan tekan beton akan terus bertambah namun kenaikkannya lebih kecil (Mulyono T, 2004). Pengujian kuat tekan beton umumnya dilakukan pada umur beton 28 hari untuk mendapatkan kekuatan beton yang maksimal. Pengujian kuat juga dapat dilakukan pada umur beton 3 hari, 7 hari, 14 hari dan 21 hari, tetapi diperlukan suatu konversi kuat tekan beton ke umur 28 hari. Adapun angka konversi tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.7 sebagai berikut.

Tabel 3. 7 Angka Konversi Umur Benda Uji

Umur Benda Uji	Angka Konversi
3 hari	0,40
7 hari	0,65
14 hari	0,88
21 hari	0,95
28 hari	1,00

Sumber : PBI (1971)

3.8 Koefisien Korelasi

Koefisien korelasi merupakan hasil dari analisis regresi dengan maksud untuk mengukur tingkat hubungan antara dua variabel atau lebih. Menurut Sugiyono (2013), interpretasi koefisien korelasi dapat diberikan dengan pedoman yang dapat dilihat pada Tabel 3.8 sebagai berikut.

Tabel 3. 8 Pedoman Interpretasi Koefisien Korelasi

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 - 0,199	Sangat Rendah
0,20 - 0,399	Rendah
0,40 - 0,599	Sedang
0,60 - 0,799	Kuat
0,80 - 1,000	Sangat Kuat

Sumber : Sugiyono (2013)



BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Umum

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental yang dilaksanakan di laboratorium. Metode eksperimental adalah suatu metode penelitian dengan maksud untuk melakukan identifikasi hubungan sebab dan akibat dari satu atau lebih variabel terikat dengan melakukan manipulasi variabel bebas pada suatu keadaan yang terkendali (variabel kontrol). Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton mutu normal dengan menggunakan limbah beton sebagai bahan pengganti agregat kasar dengan persentase campuran 0% dan 100%. Selain itu, juga dilakukan penambahan *waterproofing* Damdex sebanyak 0%, 4%, 5% dan 6% ke dalam campuran beton. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi kadar bahan tambah *waterproofing* Damdex terhadap beton dengan agregat kasar limbah beton.

4.2 Variabel Penelitian

Adapun variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Variabel bebas
Variabel bebas dalam penelitian ini adalah kadar bahan tambah *waterproofing* Damdex dan kadar limbah beton.
2. Variabel terikat
Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kuat tekan beton dan absorpsi beton.
3. Variabel kontrol
Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah bentuk benda uji, dimensi benda uji dan kuat tekan beton rencana ($f'c$).

4.3 Bahan yang Digunakan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Semen *Portland*

Semen yang digunakan pada penelitian ini adalah semen *portland* tipe I dengan merek Tiga Roda dengan berat 40 kg.

2. Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini adalah agregat halus yang berasal dari Sungai Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta dengan dilakukan pengujian analisa saringan terlebih dahulu untuk menentukan gradasi agregat.

3. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini adalah agregat kasar dari limbah sampel beton pada Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia dan agregat kasar dari Clereng, Daerah Istimewa Yogyakarta.

4. Air

Air yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Air yang digunakan pada penelitian ini tidak mengandung benda-benda lain yang dapat dilihat secara visual.

5. Bahan tambah

Bahan tambah yang digunakan pada penelitian ini adalah *waterproofing* dengan merek Damdex.

4.4 Alat yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Set Saringan Agregat

Set saringan agregat merupakan alat yang digunakan untuk membagi agregat berdasarkan ukuran butirnya. Alat ini digunakan dalam pengujian analisa saringan agregat halus dan agregat kasar.

2. **Timbangan**
Timbangan merupakan alat yang digunakan untuk menimbang berat bahan yang akan digunakan berdasarkan hasil perhitungan perencanaan campuran (*mix design*).
3. **Neraca *Ohaus***
Neraca *Ohaus* merupakan alat yang digunakan untuk menimbang berat bahan yang akan digunakan dengan ketelitian yang lebih baik dari timbangan biasa.
4. **Piknometer**
Piknometer merupakan alat yang digunakan untuk pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus.
5. **Oven**
Oven merupakan alat yang digunakan untuk mengeringkan agregat halus dan agregat kasar. Alat ini digunakan untuk pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat.
6. ***Concrete Mixer***
Concrete mixer merupakan peralatan yang digunakan untuk mengaduk material penyusun beton dengan perbandingan yang sesuai dengan hasil perhitungan dari perencanaan campuran beton.
7. **Sekop**
Sekop merupakan alat yang digunakan untuk menuangkan beton segar ke dalam bekisting beton.
8. **Kerucut Abrams**
Kerucut abrams merupakan alat yang digunakan untuk pengujian *slump* beton segar.
9. **Bekisting Beton**
Bekisting beton merupakan alat yang digunakan untuk wadah membentuk beton sesuai dimensi yang direncanakan. Bekisting beton yang digunakan pada penelitian ini yaitu silinder diameter 15 cm dengan tinggi 30 cm.

10. *Mini Stone Crusher*

Mini stone crusher merupakan alat yang digunakan untuk memecahkan limbah silinder beton.

11. Mesin Uji Tekan

Mesin uji tekan merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui nilai beban yang diterima benda uji sampai benda uji hancur. Alat ini digunakan untuk pengujian kuat tekan beton.

4.5 Benda Uji

Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah beton dengan dan tanpa agregat limbah beton yang diberi bahan tambah *waterproofing* Damdex dengan variasi kadar 0%, 4%, 5% dan 6%. Masing-masing variasi benda uji dilakukan pengujian pada umur 7, 14 dan 28 hari. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari benda uji silinder dengan tinggi 30 cm dan diameter 15 cm dan kubus $15 \times 15 \times 15$ cm. Benda uji silinder digunakan untuk pengujian kuat tekan beton dan benda uji kubus digunakan untuk pengujian absorpsi beton. Menurut SNI 2847 (2019), jumlah sampel silinder untuk uji tekan adalah minimal 5 buah benda uji. Sedangkan dalam pengujian absorpsi, tidak terdapat persyaratan tentang jumlah minimum benda uji yang harus digunakan, sehingga pada penelitian ini digunakan 2 buah benda uji. Adapun rincian benda uji yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4. 1 Rincian Benda Uji

Pengujian	Agregat Limbah	Kadar Damdex	Umur Benda Uji (hari)	Kode Benda Uji	Jumlah Sampel
Kuat Tekan	0%	0%	7	T-TL-0-7h	5
			14	T-TL-0-14h	5
			28	T-TL-0-28h	5
		4%	7	T-TL-4-7h	5
			14	T-TL-4-14h	5
			28	T-TL-4-28h	5
		5%	7	T-TL-5-7h	5
			14	T-TL-5-14h	5
			28	T-TL-5-28h	5
		6%	7	T-TL-6-7h	5
			14	T-TL-6-14h	5
			28	T-TL-6-28h	5
	100%	0%	7	T-L-0-7h	5
			14	T-L-0-14h	5
			28	T-L-0-28h	5
		4%	7	T-L-4-7h	5
			14	T-L-4-14h	5
			28	T-L-4-28h	5
		5%	7	T-L-5-7h	5
			14	T-L-5-14h	5
			28	T-L-5-28h	5
		6%	7	T-L-6-7h	5
			14	T-L-6-14h	5
			28	T-L-6-28h	5
Absorpsi	0%	0%	7	A-TL-0-7h	2
			14	A-TL-0-14h	2
			28	A-TL-0-28h	2
		4%	7	A-TL-4-7h	2
			14	A-TL-4-14h	2
			28	A-TL-4-28h	2
		5%	7	A-TL-5-7h	2
			14	A-TL-5-14h	2
			28	A-TL-5-28h	2
		6%	7	A-TL-6-7h	2
			14	A-TL-6-14h	2
			28	A-TL-6-28h	2

Lanjutan Tabel 4.1 Rincian Benda Uji

Pengujian	Agregat Limbah	Kadar Damdex	Umur Benda Uji (hari)	Kode Benda Uji	Jumlah Sampel
Absorpsi	100%	0%	7	A-L-0-7h	2
			14	A-L-0-14h	2
			28	A-L-0-28h	2
		4%	7	A-L-4-7h	2
			14	A-L-4-14h	2
			28	A-L-4-28h	2
		5%	7	A-L-5-7h	2
			14	A-L-5-14h	2
			28	A-L-5-28h	2
		6%	7	A-L-6-7h	2
			14	A-L-6-14h	2
			28	A-L-6-28h	2
Total Sampel					168

Dengan keterangan sebagai berikut.

T = Uji Tekan

A = Uji Absorpsi

TL = Tanpa limbah beton

L = Limbah beton 100%

0 = Kadar Damdex 0%

7h = Umur beton 7 hari

4.6 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yaitu tahapan persiapan, pengujian agregat, perencanaan campuran, pembuatan dan pengujian benda uji *trial*, pembuatan dan perawatan benda uji, pengujian benda uji, olah data, analisis data, pembahasan dan kesimpulan.

4.6.1 Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian merupakan tahapan dimana dilaksanakan studi literatur, penyiapan bahan dan penyiapan alat yang akan digunakan selama penelitian.

4.6.2 Pengujian Agregat

Pengujian agregat adalah proses pengujian terhadap agregat halus dan kasar. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui sifat dan karakteristik agregat yang akan digunakan dalam pembuatan beton. Informasi tentang sifat dan karakteristik agregat ini kemudian digunakan sebagai dasar dalam merencanakan campuran beton (*mix design*). Adapun macam-macam pengujian agregat adalah sebagai berikut.

1. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus berdasarkan SNI 1970-1990.
2. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar berdasarkan SNI 1969-1990.
3. Pengujian analisa saringan agregat halus berdasarkan SNI 1968-1990.
4. Pengujian analisa saringan agregat kasar berdasarkan SNI 1968-1990.
5. Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat halus berdasarkan SNI 4804-1998.
6. Pengujian berat volume gembur dan berat volume padat agregat kasar berdasarkan SNI 4804-1998.
7. Pengujian butiran lolos ayakan no. 200 (uji kandungan lumpur dalam pasir) berdasarkan SNI 4142-1996.

Hasil pengujian agregat ini kemudian dilakukan pengecekan terhadap persyaratan *properties* agregat. Kemudian dapat ditentukan apakah agregat memenuhi atau tidak memenuhi persyaratan.

4.6.3 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton dilaksanakan berdasarkan hasil dari pengujian agregat. Perencanaan campuran beton pada penelitian ini dilakukan berdasarkan SNI 2834-2000. Adapun detail perhitungannya dapat dilihat pada bab V pembahasan.

4.6.4 Pembuatan dan Pengujian Benda Uji *Trial* dengan Umur 3 Hari

Berdasarkan perencanaan campuran beton, kemudian dilakukan pembuatan dan pengujian benda uji *trial*. Pembuatan dan pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui kesesuaian perencanaan campuran beton dan hasilnya. Penelitian

dilanjutkan setelah hasil pengujian benda uji *trial* memenuhi mutu rencana sesuai perencanaan campuran beton.

4.6.5 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Pembuatan dan perawatan benda uji dilaksanakan berdasarkan hasil perencanaan campuran beton. Bahan penyusun beton yang telah disesuaikan dengan komposisi hasil perencanaan kemudian dicampur menggunakan alat *concrete mixer*. Selanjutnya, beton segar diuji *slump* dan dicetak dengan menggunakan bekisting beton. Setelah beton mengeras, beton dilepaskan dari bekisting dan dilakukan perawatan beton. Metode perawatan beton yang digunakan pada penelitian ini berupa perendaman benda uji di dalam air sampai mencapai umur rencana.

4.6.6 Pengujian Benda Uji

Pengujian benda uji dilaksakan setelah beton mencapai umur rencana. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tekan beton dan pengujian absorpsi beton. Adapun pelaksanaan pengujiannya adalah sebagai berikut.

1. Uji Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilaksanakan berdasarkan SNI 1974-2011. Adapun tahapan pengujian kuat tekan beton adalah sebagai berikut.

- a. Mengangkat benda uji dari bak perendaman kemudian dibiarkan selama kurang lebih 24 jam.
- b. Mengukur dimensi benda uji.
- c. Menimbang berat benda uji.
- d. Meletakkan benda uji pada landasan tekan bawah dan memastikan penunjuk beban sudah menunjukkan angka nol.
- e. Menjalankan mesin pengujian tekan dengan kecepatan pembebanan 0,15 MPa/detik sampai 0,35 MPa/detik.
- f. Melakukan pembebanan hingga benda uji hancur dan mencatat beban maksimum yang diterima benda uji.

2. Uji Absorpsi Beton

Pengujian absorpsi beton dilaksanakan berdasarkan SNI 6433-2016. Adapun tahapan pengujian absorpsi beton adalah sebagai berikut.

- a. Mengangkat benda uji dari perendaman.
- b. Memasukkan benda uji ke dalam oven pada temperatur $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ selama tidak kurang dari 24 jam.
- c. Mengeluarkan benda uji dari oven dan mendinginkan benda uji hingga dingin pada temperatur ruang ($20^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}$).
- d. Mengukur berat benda uji kering oven.
- e. Merendam benda uji kering oven di dalam air selama tidak kurang dari 48 jam.
- f. Mengeringkan permukaan benda uji dengan menggunakan kain kering dengan tujuan untuk menghilangkan kelembapan permukaan.
- g. Mengukur berat benda uji hasil perendaman.

4.6.7 Olah Data

Olah data merupakan tahapan dimana dilakukan pengolahan data mentah/data dari pengujian kuat tekan dan absorpsi beton berdasarkan kode dan landasan teori. Olah data ini dilakukan dimaksudkan untuk parameter yang mempunyai makna.

4.6.8 Analisis Data

Analisis data merupakan tahapan dimana dilakukan perbandingan berdasarkan kelompok variabel tertentu dengan maksud untuk mengetahui perbedaan nilai yang terjadi.

4.6.9 Pembahasan

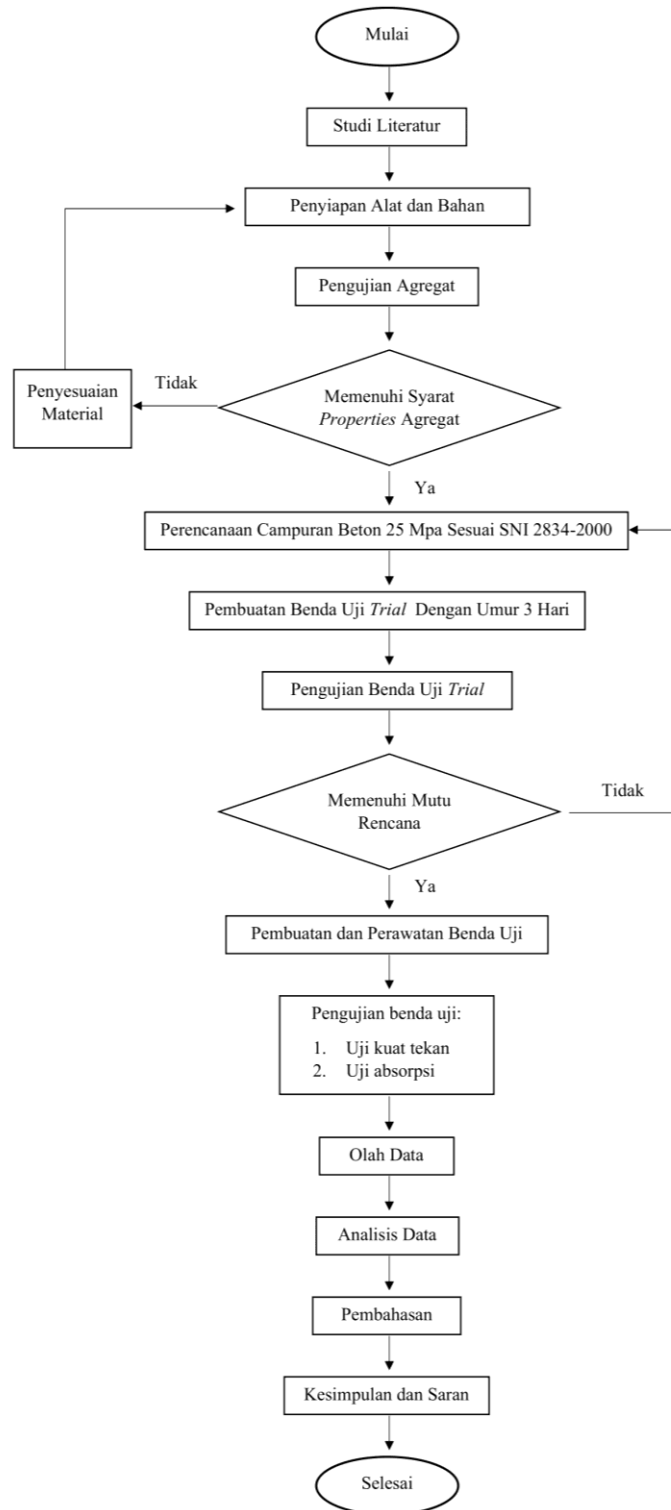
Pembahasan merupakan tahapan dimana dilakukan pembahasan hasil analisis data untuk memperoleh jawaban serta penafsiran terhadap perbedaan-perbedaan nilai yang ditemui pada tahap analisis data.

4.6.10 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran merupakan tahapan dimana dilakukan penarikan kesimpulan dari hasil pembahasan yang mengacu pada tujuan penelitian. Selanjutnya, dari kesimpulan yang ada dibuat saran untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

4.6.11 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4. 1 Diagram Alir Penelitian

BAB V

DATA, ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Agregat

Pengujian agregat dimaksudkan untuk mengetahui sifat serta karakteristik agregat yang akan digunakan sebagai penyusun beton. Terdapat beberapa persyaratan yang harus dipenuhi agregat sebelum melakukan perencanaan (*mix design*) campuran beton. Pengujian agregat yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian agregat halus, agregat kasar asli dan agregat kasar limbah. Pengujian terhadap agregat kasar limbah juga dilakukan untuk mengetahui kecocokannya untuk menjadi bahan penyusun beton.

5.1.1 Hasil Pengujian Agregat Halus

Pengujian yang dilakukan pada agregat halus adalah pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisa saringan, pengujian berat volume dan pengujian lolos saringan no. 200 (pengujian kadar lumpur agregat halus). Adapun hasil dari pengujian-pengujian tersebut adalah sebagai berikut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar limbah dilakukan berdasarkan SNI 1970-1990. Adapun data pengujian agregat kasar limbah dapat dilihat pada Tabel 5.1. Sedangkan, perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat halus sampel 1 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{a. Berat Jenis Curah} &= \frac{B_k}{(B+500-B_t)} \\ &= \frac{486}{(698+500-1010)} \\ &= 2,59 \end{aligned}$$

b. Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD)

$$\begin{aligned}\text{Berat Jenis SSD} &= \frac{500}{(B+500-Bt)} \\ &= \frac{500}{(698+500-1010)} \\ &= 2,66\end{aligned}$$

c. Berat Jenis Semu

$$\begin{aligned}\text{Berat jenis semu} &= \frac{Bk}{(B+500-Bt)} \\ &= \frac{500}{(698+500-1010)} \\ &= 2,79\end{aligned}$$

d. Penyerapan Air

$$\begin{aligned}\text{Penyerapan air} &= \frac{(500-Bk)}{Bk} \times 100\% \\ &= \frac{(500-486)}{486} \times 100\% \\ &= 2,88\%\end{aligned}$$

Selanjutnya langkah-langkah perhitungan yang sama dilakukan untuk menghitung berat jenis dan penyerapan air agregat halus sampel 2. Adapun rekapitulasi hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.1 sebagai berikut.

Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengujian		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	486	488	487
Berat pasir kondisi jenuh kering permukaan (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1010	1007	1008,5
Berat piknometer berisi air, gram (B)	698	703	700,5
Berat jenis curah (Bk/(B+500-Bt))	2,59	2,49	2,54
Berat jenis jenuh kering permukaan (500/(B+500-Bt))	2,66	2,55	2,64
Berat jenis semu (Bk/(B+Bk-Bt))	2,79	2,65	2,72
Penyerapan air ((500-Bk)/(Bk x 100))	2,88	2,46	2,67

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh berat jenis agregat halus dalam keadaan jenuh kering permukaan (*saturated surface dry*) rata-rata adalah sebesar 2,64. Menurut SK SNI T-15-1990-1 (1990), berat jenis jenuh kering permukaan agregat normal berada pada rentang 2,5 – 2,7. Berdasarkan hasil pengujian juga diperoleh penerapan air agregat halus rata-rata sebesar 2,67%. Menurut SNI No. 1737-1989-F (1989), persyaratan penyerapan air agregat adalah $\leq 3\%$. Oleh karena itu, agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat normal.

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus

Pengujian analisa saringan agregat halus dilakukan berdasarkan SNI 1968-1990. Pengujian ini dilakukan menggunakan sampel agregat halus dengan berat 2000 gram. Dalam pengujian ini diperoleh data berat tertinggal pada masing-masing nomor saringan. Adapun data tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3. Sedangkan, perhitungan analisa saringan agregat halus sampel 1 adalah sebagai berikut.

a. Persentase Berat Tertinggal

$$\text{Persentase berat tertinggal} = \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\Sigma \text{Berat Tertinggal}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 4,8 mm} &= \frac{15}{1999} \times 100\% \\ &= 0,75 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 2,4 mm} &= \frac{97}{1999} \times 100\% \\ &= 4,85 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 1,2 mm} &= \frac{227}{1999} \times 100\% \\ &= 11,36 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 0,6 mm} &= \frac{523}{1999} \times 100\% \\ &= 11,36 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 0,3 mm} &= \frac{561}{1999} \times 100\% \\ &= 26,16 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 0,15 mm} &= \frac{419}{1999} \times 100\% \\ &= 20,96 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pan} &= \frac{157}{1999} \times 100\% \\ &= 7,85\% \end{aligned}$$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 4,8 mm} &= 0,75\% \\ \text{Lubang ayakan 2,4 mm} &= 0,75\% + 4,85\% \\ &= 5,60\% \\ \text{Lubang ayakan 1,2 mm} &= 5,60\% + 11,36\% \\ &= 16,96\% \\ \text{Lubang ayakan 0,6 mm} &= 16,96\% + 26,16\% \\ &= 43,12\% \\ \text{Lubang ayakan 0,3 mm} &= 43,12\% + 28,06\% \\ &= 71,19\% \\ \text{Lubang ayakan 0,15 mm} &= 71,19\% + 20,96\% \\ &= 92,15\% \\ \text{Pan} &= 92,15\% + 7,85\% \\ &= 100\% \end{aligned}$$

c. Persentase Lolos Kumulatif

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 4,8 mm} &= 100\% - 0,75\% \\ &= 99,25\% \\ \text{Lubang ayakan 2,4 mm} &= 100\% - 5,60\% \\ &= 94,40\% \\ \text{Lubang ayakan 1,2 mm} &= 100\% - 16,96\% \\ &= 83,04\% \\ \text{Lubang ayakan 0,6 mm} &= 100\% - 43,12\% \\ &= 56,88\% \\ \text{Lubang ayakan 0,3 mm} &= 100\% - 71,19\% \\ &= 28,81\% \\ \text{Lubang ayakan 0,15 mm} &= 100\% - 92,15\% \\ &= 7,85\% \\ \text{Pan} &= 100\% - 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

Selanjutnya langkah-langkah perhitungan yang sama juga dilakukan untuk analisa saringan agregat halus sampel 2. Rekapitulasi hasil perhitungan analisa saringan agregat halus sampel 1 dan sampel 2 dapat dilihat pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 sebagai berikut.

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4.8	15	0,75	0,75	99,25
2.4	97	4,85	5,60	94,40
1.2	227	11,36	16,96	83,04
0.6	523	26,16	43,12	56,88
0.3	561	28,06	71,19	28,81
0.15	419	20,96	92,15	7,85
Pan	157	7,85	100	0
Jumlah	1999	100	229,76	

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100

Lanjutan Tabel 5.3 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus Sampel
2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
4.8	18	0,90	0,90	99,10
2.4	94	4,70	5,61	94,39
1.2	229	11,46	17,07	82,93
0.6	520	26,03	43,09	56,91
0.3	564	28,23	71,32	28,68
0.15	425	21,27	92,59	7,41
Pan	148	7,41	100	0
Jumlah	1998	100	230,58	

d. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\Sigma \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$$

$$\text{MHB sampel 1} = \frac{229,76}{100}$$

$$= 2,30$$

$$\text{MHB sampel 2} = \frac{230,58}{100}$$

$$= 2,31$$

$$\text{MHB rata-rata} = \frac{\text{MHB sampel 1} + \text{MHB sampel 2}}{2}$$

$$= 2,30$$

Berdasarkan hasil perhitungan modulus halus butir diatas, diketahui bahwa modulus halus butir agregat halus rata-rata adalah sebesar 2,30. Menurut ASTM C-33 (2003), nilai modulus halus butir agregat halus berada pada rentang 2,3 – 3,1. Sehingga, berdasarkan hasil perhitungan modulus halus butir (MHB) diatas, diketahui bahwa agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan tersebut.

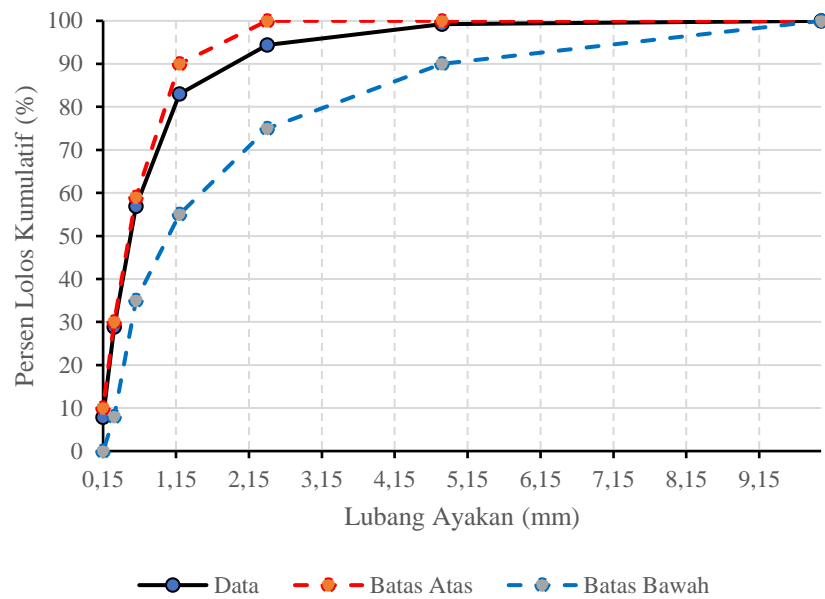
Selain itu, pengujian analisa saringan juga digunakan untuk menentukan gradasi agregat halus yang digunakan. Adapun penentuan gradasi tersebut berdasarkan Tabel 5.4 sebagai berikut.

Tabel 5. 4 Gradasi Agregat Halus

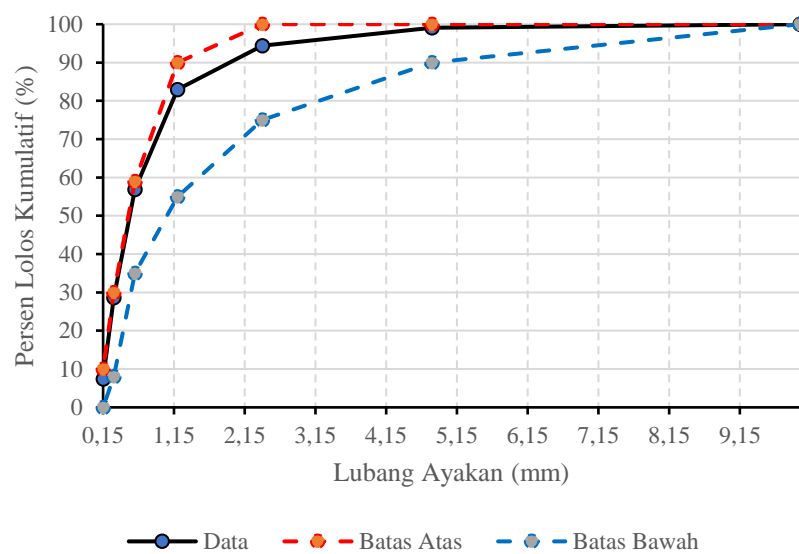
Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100	100	100	100
4.8	90-100	90-100	90-100	95-100
2.4	60-95	75-100	85-100	95-100
1.2	30-70	55-90	75-100	90-100
0.6	15-34	35-59	60-79	80-100
0.3	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber: SNI 2834 (2000)

Dari Tabel 5.1 diatas, kemudian dibuat kurva gradasi agregat halus yang dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 sebagai berikut.



Gambar 5. 1 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 1



Gambar 5. 2 Kurva Gradasi Agregat Halus Daerah II Sampel 2

Berdasarkan Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 diatas, maka dapat diketahui bahwa agregat halus yang digunakan termasuk pada daerah gradasi II atau pasir agak kasar.

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Halus

Pengujian berat volume gembur dan padat agregat halus dilakukan berdasarkan SNI 4804-1998. Data pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan Tabel 5.6. Adapun perhitungan berat volume gembur dan padat agregat halus sampel 1 adalah sebagai berikut.

a. Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned} 1) \text{ Berat Agregat (W}_3) &= W_2 - W_1 \\ &= 17484 - 10956 \\ &= 6528 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,91^2 \times 30,13 \\ &= 5263,35 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) \text{ Berat Volume Gembur} &= \frac{W_3}{V} \\ &= \frac{6528}{5263,35} \\ &= 1,24 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

b. Berat Volume Padat

$$\begin{aligned} 1) \text{ Berat Agregat (W}_3) &= W_2 - W_1 \\ &= 18660 - 10956 \\ &= 7704 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,91^2 \times 30,13 \\ &= 5263,35 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) \text{ Berat Volume padat} &= \frac{W_3}{V} \\ &= \frac{7704}{5263,35} \\ &= 1,46 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

Perhitungan yang sama juga dilakukan pada sampel 2, sehingga diperoleh rekapitulasi hasil pengujian berat volume gembur dan padat agregat halus yang dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan Tabel 5.6 sebagai berikut.

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter silinder (d), cm	14.91	14.91	14.91
Tinggi silinder (t), cm	30.13	30.13	30.13
Berat tabung (W1), gram	10956	10956	10956
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	17484	17557	17520.50
Berat agregat (W3), gram	6528	6601	6564.50
Volume tabung (V), gram	5263.35	5263.35	5263.35
Berat volume gembur (W3/V), gram/cm ³	1.24	1.25	1.25

Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Diameter silinder (d), cm	14.91	14.91	14.91
Tinggi silinder (t), cm	30.13	30.13	30.13
Berat tabung (W1), gram	10956	10956	10956
Berat tabung + agregat SSD (W2), gram	18660	18568	18614
Berat agregat (W3), gram	7704	7612	7658
Volume tabung (V), gram	5263.35	5263.35	5263.35
Berat volume padat (W3/V), gram/cm ³	1.46	1.45	1.45

Berdasarkan Tabel 5.5 dan 5.6 diatas, diketahui bahwa nilai rata-rata berat volume gembur agregat halus adalah sebesar 1,25 gram/cm³. Sedangkan, nilai rata-rata berat volume padat agregat halus adalah sebesar 1,45 gram/cm³. Menurut ASTM C33 (2003), persyaratan berat isi gembur dan padat agregat halus adalah lebih dari 1,12 kg/dm³. Sehingga, berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa agregat halus yang digunakan telah memenuhi persyaratan.

4. Pengujian Lolos Saringan No. 200 (Uji Kadar Lumpur dalam pasir)
 Pengujian lolos saringan no. 200 atau pengujian kadar lumpur agregat halus dilakukan berdasarkan SNI 4142-1996. Adapun data pengujian dapat dilihat

pada Tabel 5.7. Sedangkan, perhitungan kadar lumpur dalam agregat halus sampel 1 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kadar lumpur dalam dalam pasir} &= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \\ &= \frac{500 - 493}{500} \times 100\% \\ &= 1,40\% \end{aligned}$$

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Lolos Saringan No. 200

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	493	494	494
Presentase yang lolos ayakan No. 200 [(W1-W2)/W1] x 100	1.40%	1.20%	1.30%

Berdasarkan hasil pengujian, diketahui bahwa presentase yang lolos saringan no. 200 atau kadar lumpur dalam agregat halus rata-rata adalah sebesar 1.3%. Menurut ASTM C-33 (2003), persyaratan kadar lumpur yang diizinkan untuk agregat halus natural adalah maksimal 5%. Sehingga, agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan tersebut.

5.1.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar Asli

Pengujian yang dilakukan pada agregat kasar asli adalah pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisa saringan dan pengujian berat volume. Adapun hasil dari pengujian-pengujian agregat kasar tersebut adalah sebagai berikut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar Asli

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar asli dilakukan berdasarkan SNI 1969-1990. Adapun data pengujian agregat kasar asli dapat dilihat pada Tabel 5.8. Sedangkan, perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar asli sampel 1 adalah sebagai berikut.

a. Berat Jenis Curah $= \frac{B_k}{(B_j - B_a)}$
 $= \frac{4886}{(5000 - 3102)}$
 $= 2,57$

b. Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD)
 Berat Jenis SSD $= \frac{B_j}{(B_j - B_a)}$
 $= \frac{5000}{(5000 - 3102)}$
 $= 2,63$

c. Berat Jenis Semu
 Berat jenis semu $= \frac{B_k}{(B_k - B_a)}$
 $= \frac{4886}{(4886 - 3102)}$
 $= 2,74$

d. Penyerapan Air
 Penyerapan air $= \frac{(B_j - B_k)}{B_k} \times 100\%$
 $= \frac{(5000 - 4886)}{4886} \times 100\%$
 $= 2,33\%$

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar Asli

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Kerikil kering mutlak (Bk)	4886.00	4888	4887
Berat kerikil Jenuh kering muka (Bj)	5000	5000	5000
Berat piknometer berisi pasir dan air (Ba)	3102	3141	3121.50
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2.57	2.63	2.60
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2.63	2.69	2.66
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2.74	2.80	2.77
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	2.33	2.29	2.31

Berdasarkan hasil pengujian, berat jenis agregat kasar asli dalam keadaan jenuh kering permukaan (*saturated surface dry*) rata-rata adalah sebesar 2,66. Menurut SK.SNI.T-15-1990:1 (1990), berat jenis jenuh kering permukaan agregat normal berada pada rentang 2,5 – 2,7. Berdasarkan hasil pengujian juga diperoleh penerapan air agregat kasar asli rata-rata sebesar 2,31%. Menurut SNI No. 1737-1989-F (1989), persyaratan penyerapan air agregat adalah $\leq 3\%$. Oleh karena itu, agregat kasar asli yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat normal.

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Asli

Pengujian analisa saringan agregat kasar dilakukan berdasarkan SNI 1968-1990. Pengujian ini dilakukan menggunakan sampel kerikil dengan berat 5000 gram. Dalam pengujian ini diperoleh data berat tertinggal pada masing-masing nomor saringan. Adapun data tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10. Sedangkan, perhitungan analisa saringan agregat kasar asli sampel 1 adalah sebagai berikut.

a. Persentase Berat Tertinggal

$$\text{Persentase berat tertinggal} = \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\Sigma \text{Berat Tertinggal}} \times 100\%$$

$$\text{Lubang ayakan 40 mm} = \frac{0}{4996} \times 100\%$$

$$= 0\%$$

$$\text{Lubang ayakan 20 mm} = \frac{54}{4996} \times 100\%$$

$$= 1\%$$

$$\text{Lubang ayakan 10 mm} = \frac{3485}{4996} \times 100\%$$

$$= 70\%$$

$$\text{Lubang ayakan 4,8 mm} = \frac{1245}{4996} \times 100\%$$

$$= 24,92 \%$$

$$\text{Lubang ayakan 2,4 mm} = \frac{64}{4996} \times 100\%$$

$$= 1,28 \%$$

$$\text{Lubang ayakan 1,2 mm} = \frac{5}{4996} \times 100\%$$

$$= 0,1 \%$$

$$\begin{aligned} \text{Pan} &= \frac{143}{4996} \times 100\% \\ &= 2,86\% \end{aligned}$$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 40 mm} &= 0\% \\ \text{Lubang ayakan 20 mm} &= 0\% + 1\% \\ &= 1\% \\ \text{Lubang ayakan 10 mm} &= 1\% + 70\% \\ &= 71\% \\ \text{Lubang ayakan 4,8 mm} &= 71\% + 24,92\% \\ &= 95,76\% \\ \text{Lubang ayakan 2,4 mm} &= 95,76\% + 1,28\% \\ &= 97,04\% \\ \text{Lubang ayakan 1,2 mm} &= 97,04\% + 0,1\% \\ &= 97,14\% \\ \text{Pan} &= 97,14\% + 2,86\% \\ &= 100\% \end{aligned}$$

c. Persentase Lolos Kumulatif

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 40 mm} &= 100\% - 0\% \\ &= 100\% \\ \text{Lubang ayakan 20 mm} &= 100\% - 1\% \\ &= 99\% \\ \text{Lubang ayakan 10 mm} &= 100\% - 71\% \\ &= 29\% \\ \text{Lubang ayakan 4,8 mm} &= 100\% - 95,76\% \\ &= 4,24\% \\ \text{Lubang ayakan 2,4 mm} &= 100\% - 97,04\% \\ &= 2,96\% \\ \text{Lubang ayakan 1,2 mm} &= 100\% - 97,14\% \\ &= 2,86\% \\ \text{Pan} &= 100\% - 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

Selanjutnya langkah-langkah perhitungan yang sama juga dilakukan untuk analisa saringan agregat kasar asli sampel 2. Rekapitulasi hasil perhitungan analisa saringan agregat kasar asli sampel 1 dan sampel 2 dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10 sebagai berikut.

Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Asli Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	54	1	1	99
10	3485	70	71	29
4.8	1245	24.92	95.76	4.24
2.4	64	1.28	97.04	2.96
1.2	5	0.10	97.14	2.86
0.6	0	0.00	97.14	2.86
0.3	0	0.00	97.14	2.86
0.15	0	0.00	97.14	2.86
Pan	143	2.86	100	0
Jumlah	4996	100	653.26	

Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Asli Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	56	1	1	98.88

Lanjutan Tabel 5.10 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Asli Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
10	3583	72	73	27.21
4.8	1070	21.40	94.20	5.80
2.4	75	1.50	95.70	4.30
1.2	19	0.38	96.08	3.92
0.6	0	0.00	96.08	3.92
0.3	0	0.00	96.08	3.92
0.15	0	0.00	96.08	3.92
Pan	196	3.92	100	0
Jumlah	4999	100	648.13	

d. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\text{MHB} = \frac{\Sigma \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB sampel 1} &= \frac{653,26}{100} \\ &= 6,53 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB sampel 2} &= \frac{648,13}{100} \\ &= 6,48 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MHB rata-rata} &= \frac{\text{MHB sampel 1} + \text{MHB sampel 2}}{2} \\ &= 6,51 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan modulus halus butir diatas, diketahui bahwa modulus halus butir agregat kasar asli rata-rata adalah sebesar 6,51. Menurut SK SNI S-04-1989-F, nilai modulus halus butir agregat kasar berada pada rentang 5 - 8. Sehingga, nilai modulus halus butir agregat kasar asli yang digunakan pada penelitian ini telah memenuhi persyaratan tersebut. Selain

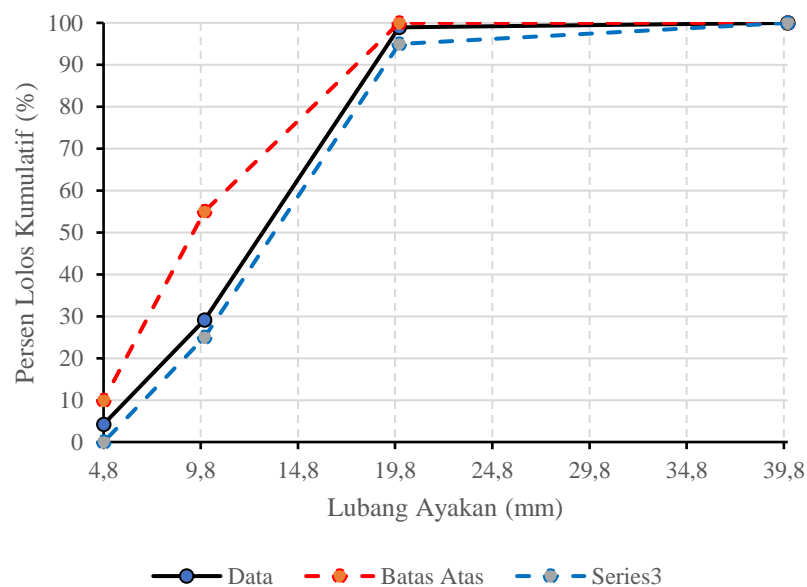
itu, pengujian analisa saringan juga digunakan untuk menentukan gradasi agregat agregat kasar asli yang digunakan. Adapun penentuan gradasi tersebut berdasarkan Tabel 5.11 sebagai berikut.

Tabel 5. 11 Gradasi Agregat Kasar

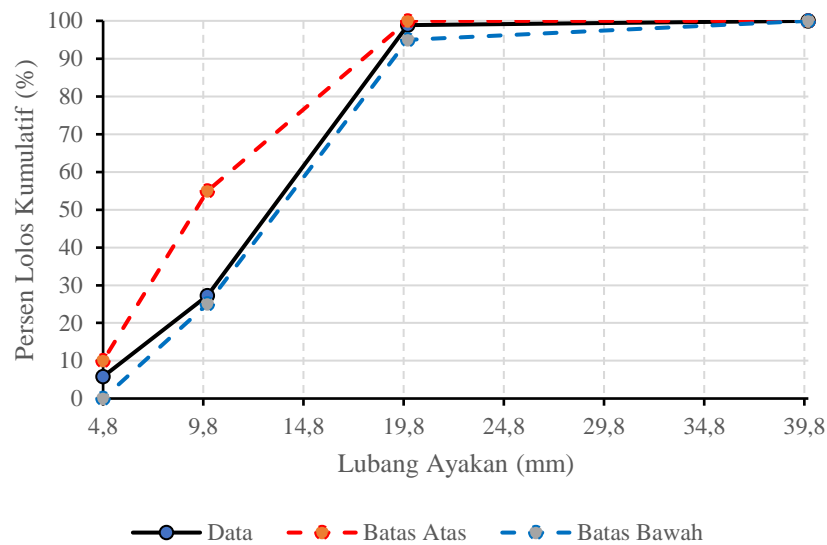
Lubang ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan/Besar Butiran Maksimum	
	40 mm	20 mm
40	95-100	100
20	30-70	95-100
10	10-35	25-55
4,8	0-5	0-10

Sumber: SNI 2834 (2000)

Dari Tabel 5.11 diatas, kemudian dibuat kurva gradasi agregat kasar asli yang dapat dilihat pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4 sebagai berikut.



Gambar 5. 3 Kurva Gradasi Agregat Kasar Asli Maksimum 20 mm Sampel 1



Gambar 5. 4 Kurva Gradasi Agregat Kasar Asli Maksimum 20 mm Sampel 2

Berdasarkan Gambar 5.3 dan Gambar 5.4 diatas, maka dapat diketahui bahwa agregat kasar asli yang digunakan memiliki ukuran maksimum 20 mm dan sesuai dengan persyaratan gradasi ukuran maksimum 20 mm.

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Kasar Asli

Pengujian berat volume gembur dan padat agregat kasar asli dilakukan berdasarkan SNI 4804-1998. Adapun data pengujian berat volume gembur dan padat agregat kasar asli dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan Tabel 5.13. Sedangkan, perhitungan berat volume gembur dan padat agregat kasar asli sampel 1 adalah sebagai berikut.

a. Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned}
 1) \text{ Berat Agregat (W}_3) &= W_2 - W_1 \\
 &= 18231 - 10956 \\
 &= 7275 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) \text{ Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\
 &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,91^2 \times 30,13 \\
 &= 5263,35 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$3) \text{ Berat Volume Gembur} = \frac{W_3}{V}$$

$$= \frac{7275}{5263,35}$$

$$= 1,38 \text{ gram/cm}^3$$

b. Berat Volume Padat

$$1) \text{ Berat Agregat (W3)} = W2 - W1$$

$$= 19122 - 10956$$

$$= 8166 \text{ gram}$$

$$2) \text{ Volume Tabung} = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,91^2 \times 30,13$$

$$= 5263,35 \text{ cm}^3$$

$$3) \text{ Berat Volume padat} = \frac{W3}{V}$$

$$= \frac{8166}{5263,35}$$

$$= 1,55 \text{ gram/cm}^3$$

Selanjutnya langkah-langkah perhitungan yang sama dilakukan untuk menghitung berat volume gembur dan padat agregat kasar asli sampel 2. Adapun rekapitulasi hasil pengujian berat volume gembur dan padat agregat kasar asli dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan Tabel 5.13 sebagai berikut.

Tabel 5. 12 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar Asli

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10956	10956	10956
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	18231	18066	18148.50
Berat Agregat (W3), gram	7275	7110	7192.50
Volume Tabung (V), cm ³	5263.35	5263.35	5263.35
Berat Volume Gembur (W3/V), gram/cm ³	1.38	1.35	1.37

Tabel 5. 13 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar Asli

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10956	10956	10956
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	19122	19115	19119
Berat Agregat (W3), gram	8166	8159	8163
Volume Tabung (V), cm ³	5263.35	5263.35	5263.35
Berat Volume Gembur (W3/V), gram/cm ³	1.55	1.55	1.55

Berdasarkan Tabel 5.12 dan Tabel 5.13 diatas, diperoleh nilai rata-rata berat volume gembur agregat kasar asli adalah sebesar 1,37 gram/cm³. Sedangkan, nilai rata-rata berat volume padat agregat kasar asli adalah sebesar 1,55 gram/cm³. Menurut ASTM C33 (2003), persyaratan berat isi gembur dan padat agregat kasar adalah lebih dari 1,12 kg/dm³. Sehingga, agregat kasar asli yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan.

5.1.3 Hasil Pengujian Agregat Kasar Limbah

Agregat kasar limbah diperlakukan selayaknya agregat kasar asli. Oleh karena itu, dilakukan juga pengujian properties agregat kasar limbah untuk mengetahui kelayakan agregat kasar limbah sebagai agregat kasar penyusun beton jika ditinjau dari propertiesnya. Adapun pengujian yang dilakukan meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air, pengujian analisa saringan dan pengujian berat volume. Adapun hasil dari pengujian-pengujian tersebut adalah sebagai berikut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar Limbah

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar limbah dilakukan berdasarkan SNI 1969-1990. Adapun data pengujian agregat kasar limbah dapat dilihat pada Tabel 5.14. Sedangkan, perhitungan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar limbah sampel 1 adalah sebagai berikut.

a. Berat Jenis Curah

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis curah} &= \frac{B_k}{(B_j - B_a)} \\ &= \frac{4705}{(5000 - 2970)} \end{aligned}$$

$$= 2,32$$

b. Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD)

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis SSD} &= \frac{B_j}{(B_j - B_a)} \\ &= \frac{5000}{(5000 - 2970)} \\ &= 2,46 \end{aligned}$$

c. Berat Jenis Semu

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis semu} &= \frac{B_k}{(B_k - B_a)} \\ &= \frac{4705}{(4705 - 2970)} \\ &= 2,71 \end{aligned}$$

d. Penyerapan Air

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan air} &= \frac{(B_j - B_k)}{B_k} \times 100\% \\ &= \frac{(5000 - 4705)}{4705} \times 100\% \\ &= 6,27\% \end{aligned}$$

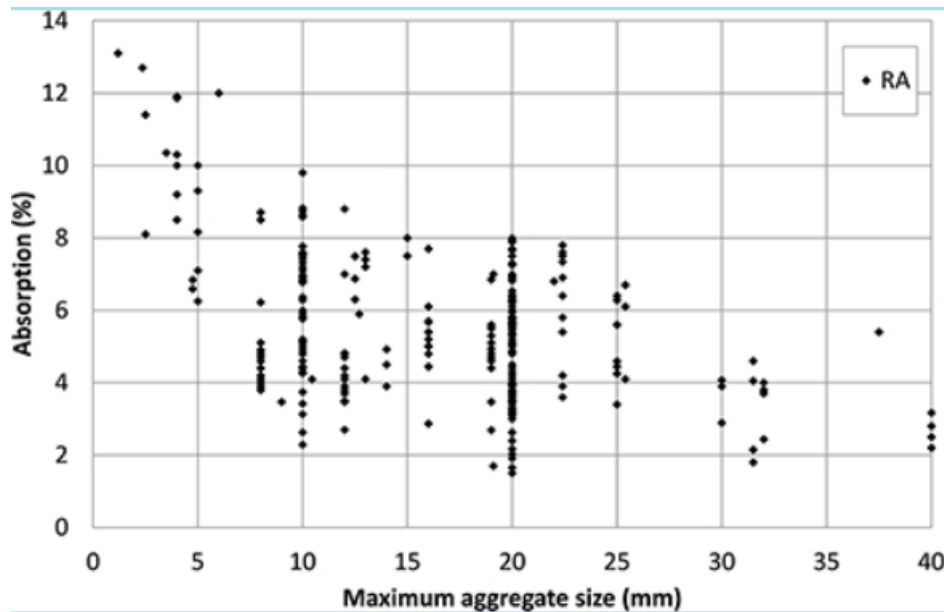
Tabel 5. 14 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar Limbah

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Kerikil kering mutlak (Bk)	4705.00	4650	4678
Berat kerikil Jenuh kering muka (Bj)	5000	5000	5000
Berat piknometer berisi pasir dan air (Ba)	2970	2957	2963.50
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2.32	2.28	2.30
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2.46	2.45	2.46
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2.71	2.75	2.73
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	6.27	7.53	6.90

Berdasarkan Tabel 5.14 diatas, diketahui bahwa berat jenis agregat kasar limbah dalam keadaan jenuh kering permukaan (*saturated surface dry*) rata-rata adalah sebesar 2,46. Menurut SK SNI T-15-1990:1 (1990), berat jenis

jenuh kering permukaan agregat normal berada pada rentang 2,5 – 2,7. Oleh karena itu, dapat diketahui bahwa agregat kasar limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat yang tidak normal.

Pada Tabel 5.14 di atas juga diketahui nilai rata-rata penyerapan air agregat kasar limbah adalah 6,90%. Menurut SNI No. 1737-1989-F (1989), persyaratan penyerapan air agregat adalah $\leq 3\%$. Sehingga agregat kasar limbah yang digunakan tidak sesuai dengan persyaratan. Menurut Taboada (2016), penyerapan air agregat limbah berkisar antara 1,65% - 13,1% dengan rata-rata nilai penyerapan air agregat limbah sebesar 5,32%. Berdasarkan penelitian tersebut dapat diketahui jika nilai penyerapan air agregat limbah dalam penelitian ini sesuai dengan perkiraan penyerapan air agregat limbah berbagai penelitian sebelumnya. Peningkatan penyerapan air ini dikarenakan agregat limbah sangat porous. Menurut Théréne (2020), pasta semen yang mengeras sangat berpori, sehingga agregat limbah beton memiliki porositas 10 hingga 20 kali lebih tinggi dari pada porositas agregat limbah. Peningkatan ini bergantung pada volume fraksi pasta semen dalam agregat. Adapun grafik hubungan ukuran agregat maksimum dan penyerapan airnya menurut berbagai penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.5 sebagai berikut.



Gambar 5. 5 Grafik Hubungan Penyerapan Air dengan Ukuran Agregat Maksimum Menurut Berbagai Penelitian
(Sumber: Taboada, 2016)

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Limbah

Pengujian analisa saringan agregat kasar limbah dilakukan berdasarkan SNI 1968-1990. Pengujian analisa saringan agregat kasar limbah dilakukan menggunakan sampel dengan berat sebesar 5000 gram. Dalam pengujian ini diperoleh data berat tertinggal pada masing-masing nomor saringan. Adapun data tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.15 dan Tabel 5.16. Sedangkan, perhitungan analisa saringan saringan agregat kasar limbah sampel 1 adalah sebagai berikut.

a. Persentase Berat Tertinggal

$$\text{Persentase berat tertinggal} = \frac{\text{Berat Tertinggal}}{\Sigma \text{Berat Tertinggal}} \times 100\%$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 40 mm} &= \frac{0}{4994} \times 100\% \\ &= 0\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 20 mm} &= \frac{129}{4994} \times 100\% \\ &= 2,58\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 10 mm} &= \frac{3581}{4994} \times 100\% \\ &= 70\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 4,8 mm} &= \frac{1245}{4996} \times 100\% \\ &= 24,92\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 2,4 mm} &= \frac{64}{4996} \times 100\% \\ &= 1,28\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 1,2 mm} &= \frac{5}{4996} \times 100\% \\ &= 0,1\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pan} &= \frac{143}{4996} \times 100\% \\ &= 2,86\% \end{aligned}$$

b. Persentase Berat Tertinggal Kumulatif

$$\text{Lubang ayakan 40 mm} = 0\%$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 20 mm} &= 0\% + 1\% \\ &= 1\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 10 mm} &= 1\% + 70\% \\ &= 71\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 4,8 mm} &= 71\% + 24,92\% \\ &= 95,76\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 2,4 mm} &= 95,76\% + 1,28\% \\ &= 97,04\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 1,2 mm} &= 97,04\% + 0,1\% \\ &= 97,14\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pan} &= 97,14\% + 2,86\% \\ &= 100\% \end{aligned}$$

c. Persentase Lolos Kumulatif

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 40 mm} &= 100\% - 0\% \\ &= 100\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lubang ayakan 20 mm} &= 100\% - 1\% \\ &= 99\% \end{aligned}$$

Lubang ayakan 10 mm	= 100% - 71%
	= 29%
Lubang ayakan 4,8 mm	= 100% - 95,76%
	= 4,24%
Lubang ayakan 2,4 mm	= 100% - 97,04%
	= 2,96%
Lubang ayakan 1,2 mm	= 100% - 97,14%
	= 2,86%
Pan	= 100% - 100%
	= 0%

Selanjutnya langkah-langkah perhitungan yang sama juga dilakukan untuk analisa saringan agregat kasar limbah sampel 2. Rekapitulasi hasil perhitungan analisa saringan agregat kasar limbah sampel 1 dan sampel 2 dapat dilihat pada Tabel 5.15 dan Tabel 5.16 sebagai berikut.

Tabel 5. 15 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Limbah Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	129	2,58	2,58	97,42
10	3581	71,71	74,29	25,71

Lanjutan Tabel 5.15 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Limbah Sampel 1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
4.8	952	19,06	93,35	6,65
2.4	106	2,12	95,47	4,53
1.2	30	0,60	96,08	3,92
0.6	0	0,00	96,08	3,92
0.3	0	0,00	96,08	3,92
0.15	0	0,00	96,08	3,92
Pan	196	3,92	-	0
Jumlah	4994	100	650,00	

Tabel 5. 16 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Limbah Sampel 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	114	2	2,28	97,72
10	3492	70	72,18	27,82
4.8	1033	20,68	92,85	7,15
2.4	158	3,16	96,02	3,98
1.2	37	0,74	96,76	3,24

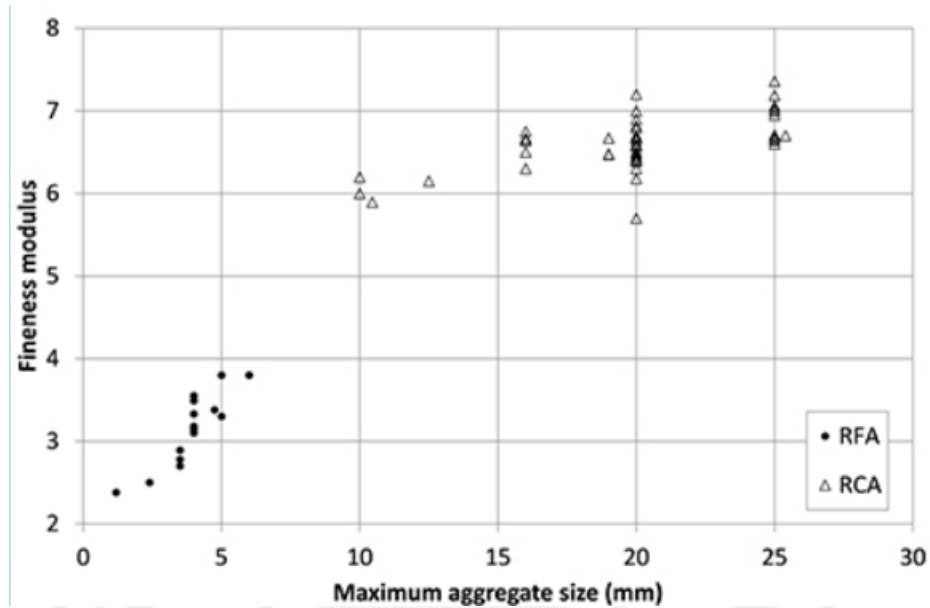
Lanjutan Tabel 5.16 Hasil Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar Limbah Sampel 2

0.6	0	0,00	96,76	3,24
0.3	0	0,00	96,76	3,24
0.15	0	0,00	96,76	3,24
Pan	162	3,24	-	0
Jumlah	4996	100	650,36	

d. Modulus Halus Butir (MHB)

$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\Sigma \text{Persentase berat tertinggal kumulatif}}{100} \\
 \text{MHB sampel 1} &= \frac{650}{100} \\
 &= 6,50 \\
 \text{MHB sampel 2} &= \frac{650,36}{100} \\
 &= 6,50 \\
 \text{MHB rata-rata} &= \frac{\text{MHB sampel 1} + \text{MHB sampel 2}}{2} \\
 &= 6,50
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan modulus halus butir diatas, diketahui bahwa modulus halus butir agregat kasar limbah rata-rata adalah sebesar 6,50. Menurut SK SNI S-04-1989-F (1989), nilai modulus halus butir agregat kasar berada pada rentang 5 - 8. Sehingga, nilai modulus halus butir agregat kasar limbah yang digunakan pada penelitian ini telah memenuhi persyaratan tersebut. Menurut Taboada (2016), dari 71 data yang berbeda dari berbagai penelitian, didapatkan perkiraan modulus kehalusan butiran agregat limbah berkisar antara 5,70 – 7,36 untuk agregat berukuran antara 10 – 25 mm, dengan nilai rata-rata modulus kehalusan yaitu 6,55. Berdasarkan penelitian tersebut dapat diketahui jika agregat kasar limbah yang digunakan telah sesuai dengan hasil modulus halus butiran agregat limbah dari berbagai penelitian. Adapun grafik hubungan modulus halus butir dan ukuran agregat maksimum menurut berbagai penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.6 sebagai berikut.



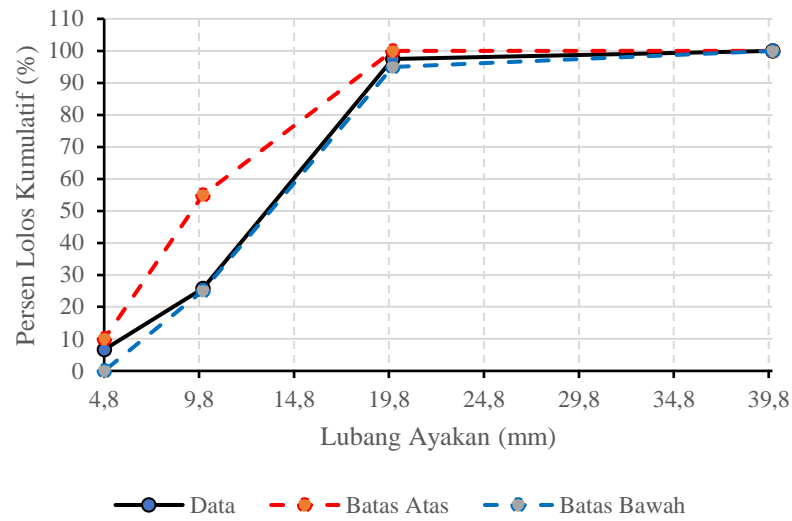
Gambar 5. 6 Grafik Hubungan Modulus Halus Butir (MHB) Agregat Kasar Limbah dengan Ukuran Agregat Maksimum Menurut Berbagai Penelitian
(Sumber: Taboada, 2016)

Selain itu, pengujian analisa saringan juga digunakan untuk menentukan gradasi agregat agregat kasar limbah yang digunakan. Adapun penentuan gradasi tersebut berdasarkan Tabel 5.17 sebagai berikut.

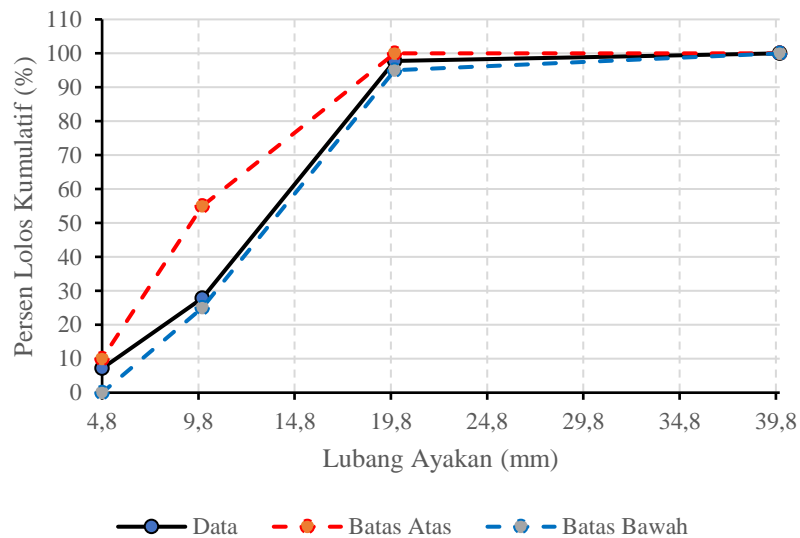
Tabel 5. 17 Gradasi Agregat Kasar

Lubang ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan/Besar Butiran Maksimum	
	40 mm	20 mm
40	95-100	100
20	30-70	95-100
10	10-35	25-55
4,8	0-5	0-10

Dari Tabel 5.17 diatas, kemudian dibuat kurva gradasi agregat kasar limbah yang dapat dilihat pada Gambar 5.7 dan Gambar 5.8 sebagai berikut.



Gambar 5. 7 Kurva Gradasi Agregat Kasar Limbah Maksimum 20 mm Sampel 1



Gambar 5. 8 Kurva Gradasi Agregat Kasar Limbah Maksimum 20 mm Sampel 2

Berdasarkan Gambar 5.7 dan Gambar 5.8 diatas, maka dapat diketahui bahwa agregat kasar limbah yang digunakan memiliki ukuran maksimum 20 mm dan sesuai dengan persyaratan gradasi ukuran maksimum 20 mm.

3. Pengujian Berat Volume Gembur dan Padat Agregat Kasar Limbah

Pengujian berat volume gembur dan padat agregat kasar limbah dilakukan berdasarkan SNI 4804-1998. Adapun data pengujian berat volume gembur dan padat agregat kasar limbah dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan Tabel 5.13. Sedangkan, perhitungan berat volume gembur dan padat agregat kasar asli sampel 1 adalah sebagai berikut.

a. Berat Volume Gembur

$$\begin{aligned} 1) \text{ Berat Agregat (W3)} &= W_2 - W_1 \\ &= 17458 - 10956 \\ &= 6502 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,91^2 \times 30,13 \\ &= 5263,35 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) \text{ Berat Volume Gembur} &= \frac{W_3}{V} \\ &= \frac{6502}{5263,35} \\ &= 1,24 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

b. Berat Volume Padat

$$\begin{aligned} 1) \text{ Berat Agregat (W3)} &= W_2 - W_1 \\ &= 18469 - 10956 \\ &= 7513 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2) \text{ Volume Tabung} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times t \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 14,91^2 \times 30,13 \\ &= 5263,35 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3) \text{ Berat Volume padat} &= \frac{W_3}{V} \\ &= \frac{7513}{5263,35} \\ &= 1,43 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

Tabel 5. 18 Hasil Pengujian Berat Volume Gembur Agregat Kasar Limbah

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10956	10956	10956
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	17458	17649	17553.50
Berat Agregat (W3), gram	6502	6693	6597.50
Volume Tabung (V), cm ³	5263.35	5263.35	5263.35
Berat Volume Gembur (W3/V), gram/cm ³	1.24	1.27	1.25

Tabel 5. 19 Hasil Pengujian Berat Volume Padat Agregat Kasar Limbah

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10956	10956	10956
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	18469	18402	18436
Berat Agregat (W3), gram	7513	7446	7480
Volume Tabung (V), cm ³	5263.35	5263.35	5263.35
Berat Volume Padat (W3/V), gram/cm ³	1.43	1.41	1.42

Berdasarkan Tabel 5.18 dan Tabel 5.19 diatas, diperoleh nilai rata-rata berat volume gembur agregat kasar asli adalah sebesar 1,25 gram/cm³. Sedangkan, nilai rata-rata berat volume padat agregat kasar asli adalah sebesar 1,42 gram/cm³. Menurut ASTM C33 (2003), persyaratan berat isi gembur dan padat agregat kasar adalah lebih dari 1,12 kg/dm³. Sehingga, agregat kasar limbah yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan.

5.2 Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)

Perencanaan campuran beton (*mix design*) menggunakan SNI 2847-2000. Adapun perhitungan perencanaan campuran beton adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan rencana (f'_c) adalah sebesar 25 MPa dengan benda uji silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
2. Semen yang digunakan adalah semen hidraulis *portland* tipe I dengan merek Tiga Roda berjenis PCC.

3. Berdasarkan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus dan kasar didapatkan berat jenis agregat halus adalah 2,61 dan berat jenis agregat kasar adalah 2,66.
4. Berdasarkan pengujian analisa saringan agregat kasar didapatkan ukuran agregat maksimum adalah sebesar 20 mm.
5. Berdasarkan pengujian analisa saringan agregat halus didapatkan susunan butir agregat halus masuk dalam gradasi daerah II.
6. Sampel silinder yang digunakan adalah 5 buah, maka berdasarkan Tabel 5.20 digunakan nilai margin (M) sebesar 12 MPa.

Tabel 5. 20 Faktor Pengali untuk Deviasi Standar Bila Data Hasil Uji Tersedia Kurang dari 30

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
Kurang dari 15	*)
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30 atau lebih	1,00

Sumber: SNI 2834 (2000)

*) bila data uji lapangan untuk menghitung deviasi standar yang memenuhi persyaratan di atas tidak tersedia, maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan f'_{cr} harus diambil tidak kurang dari $(f'c + 12 \text{ MPa})$.

7. Menentukan kuat tekan beton rata-rata yang ditargetkan.

$$\begin{aligned}
 f'_{cr} &= f'c + M \\
 &= 25 + 12 \\
 &= 37 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

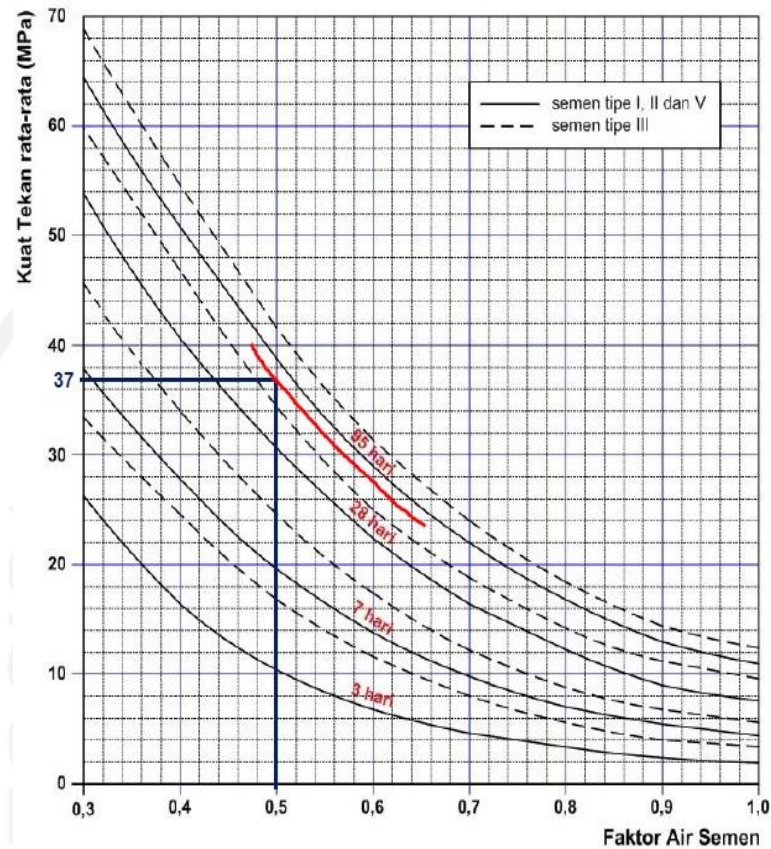
8. Menentukan nilai faktor air semen (fas) berdasarkan Tabel 5.21 dan Gambar 5.9 berikut.

Tabel 5. 21 Perkiraan Kekuatan Tekan (MPa) Beton Dengan Jenis Semen dan Agregat Kasar yang Digunakan

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

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

- Semen yang digunakan adalah semen *portland* tipe I, dengan jenis agregat kasar batu pecah, benda uji silinder dan kuat tekan pada umur 28 hari. Sehingga, berdasarkan Tabel 5.21 di atas diperoleh perkiraan kuat tekan beton dengan FAS 0,5 adalah 37 MPa.
- Dengan menggunakan Gambar 5.5 sebagai berikut, tarik garis vertikal ke atas dari FAS sebesar 0,5 dan tarik garis horizontal ke kanan dari nilai kuat tekan rata-rata sebesar 37 MPa yang didapat dari Tabel 5.21, sehingga didapatkan titik perpotongan antara kedua garis tersebut.
- Dibuat kurva baru yang memotong titik perpotongan pada butir b.
- Buat garis horizontal ke kanan dari nilai kuat tekan rata-rata yang ditargetkan (f'_{cr}) sebesar 37 MPa sampai memotong kurva pada butir c.
- Tarik garis vertikal ke bawah dari titik perpotongan pada butir d. sehingga didapat nilai FAS sebesar 0,5.



Grafik 1: Hubungan antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen (fas)
(benda uji berbentuk Silinder diameter 150 mm, tinggi 300 mm)

Gambar 5. 9 Hubungan Antara Kuat Tekan dan Faktor Air Semen untuk Benda Uji Silinder Diameter 150 mm, Tinggi 300 mm
(Sumber: SNI 2834, 2000)

9. Menentukan kadar air yang dibutuhkan.
Kadar air dalam campuran beton ditentukan berdasarkan Tabel 5.22 sebagai berikut.
 - a. Ukuran butir maksimum agregat yang diperoleh dari hasil pengujian analisa saringan agregat kasar adalah sebesar 20 mm.
 - b. Jenis batuan terdiri dari agregat halus (batu tak dipecahkan) dan agregat kasar (batu pecah).
 - c. *Slump* yang direncanakan sebesar 10 ± 2 cm, sehingga masuk pada rentang *slump* 60 – 180 mm.

Tabel 5. 22 Perkiraan Kadar Air Bebas (kg/m³) yang Dibutuhkan Untuk Beberapa Tingkat Kemudahan Pengerjaan Adukan Beton

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

Sumber: SNI 03-2834 (2000)

- d. Kadar air yang dibutuhkan dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 w &= \frac{2}{3} W_h + \frac{2}{3} W_k \\
 &= \frac{2}{3} \cdot 195 + \frac{2}{3} \cdot 225 \\
 &= 205 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

10. Menentukan jumlah semen minimum dan FAS maksimum

Jumlah semen minimum dan FAS maksimum ditentukan berdasarkan Tabel 5.23 sebagai berikut.

Tabel 5. 23 Persyaratan Jumlah Semen Minimum dan Faktor Air Semen Maksimum Untuk Berbagai Macam Pembetonan dalam Lingkungan Khusus

Lokasi	Jumlah Semen Minimum Per m ³ beton (Kg)	Nilai Faktor Air-Semen Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan:		
a. Keadaan keliling non-korosif	275	0,60
b. Keadaan keliling korosif disebabkan oleh kondensasi atau uap korosif	325	0.52
Beton di luar ruangan bangunan:		
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325	0.60
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275	0.60
Beton masuk ke dalam tanah:		
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325	0.55
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dari tanah		Lihat Tabel 5
Beton yang kontinu berhubungan:		
a. Air tawar		
b. Air laut		Lihat Tabel 6

Jenis pembetonan yang digunakan adalah beton di dalam ruang bangunan dengan keadaan keliling non korosif. Oleh karena itu, berdasarkan Tabel 5.23 di atas diperoleh jumlah semen minimum sebesar 275 kg/m³ dan FAS maksimum sebesar 0,60.

11. Menentukan kadar semen yang digunakan

- a. Diperoleh nilai FAS dari hasil pembacaan grafik sebesar 0,5 dan FAS maksimum berdasarkan jenis pembetonan sebesar 0,60. Diambil nilai FAS terkecil yaitu FAS dari hasil pembacaan grafik sebesar 0,5.
- b. Menhitung kadar semen berdasarkan nilai FAS dan kadar air sebagai berikut.

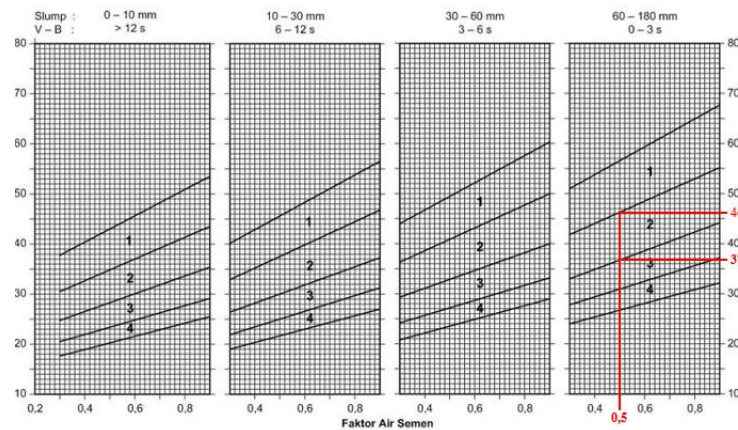
$$\begin{aligned}
 c &= \frac{w}{fas} \\
 &= \frac{205}{0,5} \\
 &= 410 \text{ kg/cm}^3
 \end{aligned}$$

- c. Diperoleh kadar semen hasil hitungan sebesar 410 kg/cm³ dan kadar semen minimum berdasarkan jenis pembetonan sebesar 275 kg/cm³, sehingga kadar semen yang digunakan sebesar 410 kg/cm³.

12. Menentukan presentase agregat halus dan agregat kasar

Presentase agregat halus ditentukan berdasarkan Gambar 5.10 sebagai berikut.

- a. Ukuran maksimum agregat yang digunakan adalah 20 mm, *slump* yang direncanakan masuk dalam rentang 60-180 mm, nilai FAS sebesar 0,5 dan gradasi agregat halus masuk dalam gradasi II.
- b. Tarik garis vertikal ke atas dari nilai FAS 0,5 sampai memotong dua buah kurva yang membatasi daerah gradasi II.
- c. Dari dua titik perpotongan pada butir b. tarik garis horizontal ke kanan, sehingga diperoleh persentase batas atas dan bawah bawah agregat halus berturut-turut adalah sebesar 46% dan 37%.



Gambar 5. 10 Grafik Persen Agregat Halus Terhadap Kadar Total yang Dianjurkan Untuk Ukuran Butir Maksimum 20 mm
(Sumber: SNI 2834, 2000)

- d. Nilai persentase agregat halus rata-rata dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \% \text{Ag. Halus} &= \frac{46\% + 37\%}{2} \\ &= 41,50\% \end{aligned}$$

- e. Nilai persentase agregat kasar dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \% \text{Ag. Kasar} &= 100\% - \% \text{Ag. Halus} \\ &= 100\% - 41,50\% \\ &= 58,50\% \end{aligned}$$

13. Menentukan berat jenis relatif agregat gabungan (kondisi SSD)

Berat jenis relatif gabungan dihitung sebagai berikut.

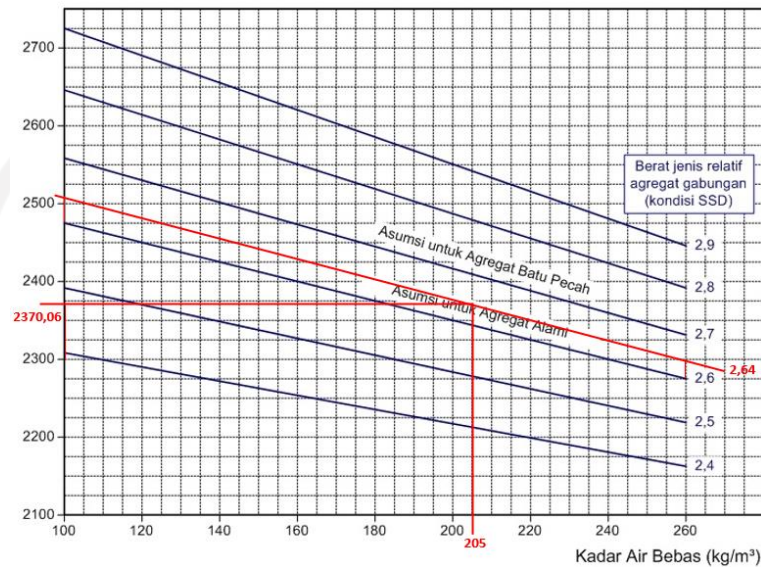
$$\begin{aligned} BJ_{\text{gab}} &= (\% \text{Ag. Halus} \times BJ_{\text{Ag.halus}}) + (\% \text{Ag. Kasar} \times BJ_{\text{Ag.Kasar}}) \\ &= (41,50\% \times 2,61) + (58,50\% \times 2,66) \\ &= 2,64 \end{aligned}$$

14. Menentukan berat isi beton

Berat isi beton ditentukan berdasarkan Gambar 5.11 sebagai berikut.

- Membuat kurva baru dengan nilai berat jenis relatif agregat gabungan sebesar 2,64.
- Tarik garis vertikal ke atas dari nilai kadar air sebesar 205 kg/m³ sampai memotong kurva baru pada butir a.

- c. Dari titik perpotongan pada butir b. tarik garis horizontal ke kiri, sehingga diperoleh nilai perkiraan berat isi beton (W_{beton}) sebesar $2370,06 \text{ kg/m}^3$.



Gambar 5. 11 Grafik Perkiraan Berat Isi Beton Basah yang Telah Selesai Dipadatkan
(Sumber: SNI 2834, 2000)

15. Menentukan kadar agregat dalam campuran beton

Kadar agregat dalam campuran beton dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} W_{\text{Ag. gab}} &= W_{\text{beton}} - W_{\text{semen}} - w \\ &= 2370,06 - 410 - 205 \\ &= 1755,06 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

16. Menentukan kadar agregat halus dan agregat kasar dalam campuran beton

Kadar agregat halus dan agregat kasar dihitung sebagai berikut.

- a. Agregat halus

$$\begin{aligned} W_{\text{Ag. halus}} &= \% \text{Ag. halus} \times W_{\text{Ag. gab}} \\ &= 41,50\% \times 1755,06 \\ &= 725,35 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

b. Agregat kasar

$$\begin{aligned} W_{Ag. kasar} &= W_{Ag.gab} - W_{Ag.halus} \\ &= 1755,06 - 725,35 \\ &= 1026,71 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

17. Proporsi campuran per 1 m³ beton

Berdasarkan hasil perencanaan campuran beton diperoleh proporsi tiap material per 1 m³ beton adalah sebagai berikut.

- a. Semen = 410 kg
- b. Air = 205 kg
- c. Agregat halus = 725,35 kg
- d. Agregat kasar = 1026,71 kg

18. Proporsi campuran per 1 m³ beton dengan angka penyusutan

Dalam penelitian ini diambil angka penyusutan sebesar 25%. Oleh karena itu, proporsi tiap material per 1 m³ beton dengan angka penyusutan adalah sebagai berikut.

- a. Semen = 512,50 kg
- b. Air = 256,25 kg
- c. Agregat halus = 910,44 kg
- d. Agregat kasar = 1283,39 kg

19. Hasil perencanaan campuran beton

Adapun rekapitulasi hasil perencanaan campuran beton dapat dilihat pada Tabel 5.24 sebagai berikut.

Tabel 5. 24 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan	25	MPa
2	Standar deviasi	-	
3	Nilai tambah / Margin (M)	12	MPa
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	37	MPa

Lanjutan Tabel 5.24 Rekapitulasi Hasil Perencanaan Campuran Beton

No	Uraian	Nilai	Satuan
5	Jenis semen	Tipe I	
6	Jenis agregat halus	Alami	
7	Jenis agregat kasar	Batu pecah	
8	Faktor air semen bebas (FAS)	0,5	
9	Faktor air semen maksimum	0,6	
10	FAS digunakan	0,5	
11	<i>Slump</i>	10 ± 2	cm
12	Ukuran agregat maksimum	20	mm
13	Kadar air bebas	205	kg/m ³
14	Kadar semen	410	kg/m ³
15	Kadar semen maksimum	-	kg/m ³
16	Kadar semen minimum	275	kg/m ³
17	Kadar semen digunakan	410	kg/m ³
18	FAS disesuaikan	-	
19	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi II	
20	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,61	
21	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,66	
22	Persentase agregat halus	41,50	%
23	Persentase agregat kasar	58,50	%
24	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,64	
25	Berat isi beton	2370,06	kg/m ³
26	Kadar agregat gabungan	1755,06	kg/m ³
27	Kadar agregat halus	728,35	kg/m ³
28	Kadar agregat kasar	1026,71	kg/m ³
29	Kadar semen dengan angka penyusutan	512,50	kg/m ³
30	Kadar air dengan angka penyusutan	256,25	kg/m ³
31	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	910,44	kg/m ³
32	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1283,39	kg/m ³

20. Volume benda uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini untuk tiap variasi terdiri dari 15 silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm serta 6 kubus dengan dimensi 150 × 150 × 150 mm. Adapun volume benda uji dihitung berdasarkan jumlah benda uji dalam satu kali *mixing*. Dalam penelitian ini, pembuatan benda uji tiap variasi dilakukan dalam dua kali *mixing*. *Mixing* pertama terdiri dari 9 silinder dan 3 kubus. Sedangkan, *mixing* kedua terdiri dari 6 silinder dan 3 kubus, sehingga diperoleh volume benda uji untuk tiap *mixing* adalah sebagai berikut.

a. Volume *mixing* 1 = $(9 \times V_{\text{silinder}}) + (3 \times V_{\text{kubus}})$
 = $(9 \times \frac{1}{4} \pi \times d^2 \times t) + (3 \times s \times s \times s)$
 = $(9 \times \frac{1}{4} \pi \times 0,15^2 \times 0,3) +$
 $(3 \times 0,15 \times 0,15 \times 0,15)$
 = 0,0578 m³

b. Volume *mixing* 2 = $(6 \times V_{\text{silinder}}) + (3 \times V_{\text{kubus}})$
 = $(6 \times \frac{1}{4} \pi \times d^2 \times t) + (3 \times s \times s \times s)$
 = $(6 \times \frac{1}{4} \pi \times 0,15^2 \times 0,3) +$
 $(3 \times 0,15 \times 0,15 \times 0,15)$
 = 0,0419 m³

21. Proporsi campuran untuk tiap kali *mixing*

Berdasarkan volume yang telah dihitung pada butir 20. maka dihitung proporsi campuran untuk masing-masing *mixing*. Adapun perhitungan tersebut adalah sebagai berikut.

a. Proporsi campuran untuk *mixing* 1

1) Semen	= 0,0578 × 512,50	= 29,6419 kg
2) Air	= 0,0578 × 256,25	= 14,8210 kg
3) Agregat halus	= 0,0578 × 910,44	= 52,6578 kg
4) Agregat kasar	= 0,0578 × 1283,39	= 74,2285 kg

b. Proporsi campuran untuk *mixing 2*

- 1) Semen = $0,0419 \times 512,50 = 21,4910$ kg
- 2) Air = $0,0419 \times 256,25 = 10,7455$ kg
- 3) Agregat halus = $0,0419 \times 910,44 = 38,1779$ kg
- 4) Agregat kasar = $0,0419 \times 1283,39 = 53,8171$ kg

Adapun rekapitulasi proporsi campuran dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.25 dan Tabel 5.26 sebagai berikut.

**Tabel 5. 25 Proporsi Campuran Beton dengan Bahan Tambah Damdex
*Mixing Pertama***

Kadar Damdex	Semen (kg)	Air (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	Damdex (kg)
0%	29,6419	14,8210	52,6578	74,2285	0,0000
4%	29,6419	14,8210	52,6578	74,2285	1,1857
5%	29,6419	14,8210	52,6578	74,2285	1,4821
6%	29,6419	14,8210	52,6578	74,2285	1,7785
Jumlah	118,5678	59,2839	210,6313	296,9140	4,4463

**Tabel 5. 26 Proporsi Campuran Beton dengan Bahan Tambah Damdex
*Mixing Kedua***

Kadar Damdex	Semen (kg)	Air (kg)	Agregat Halus (kg)	Agregat Kasar (kg)	Damdex (kg)
0%	21,4910	10,7455	38,1779	53,8171	0,0000
4%	21,4910	10,7455	38,1779	53,8171	0,8596
5%	21,4910	10,7455	38,1779	53,8171	1,0745
6%	21,4910	10,7455	38,1779	53,8171	1,2895
Jumlah	85,9639	42,9820	152,7118	215,2684	3,2236

5.3 Hasil Pengujian Benda Uji *Trial*

Berdasarkan perencanaan campuran yang telah dilaksanakan, kemudian dilakukan percobaan pembuatan benda uji *trial*. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui kebenaran dari perencanaan campuran. Benda uji sampel yang dibuat adalah 5 silinder yang sebelum dilakukan pengujian terlebih dahulu diberikan lapisan *capping* untuk meratakan permukaannya. Pengujian dilakukan pada umur beton 3 hari dan 7 hari. Oleh karena itu, pada perhitungan nilai kuat tekan beton perlu dibagi dengan angka konversi umur uji. Adapun perhitungan kuat tekan beton *trial* adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton *trial* umur 3 hari

$$\begin{aligned}
 f'_{\text{Caktual}} &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{218,3 \times 1000}{17518,638} \\
 &= 12,461 \text{ MPa} \\
 f'_{\text{Cterkonversi}} &= f'_{\text{Caktual}} \times \frac{1}{\text{Angka Konversi}} \\
 &= 12,4610 \times \frac{1}{0,4} \\
 &= 31,153 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

2. Kuat tekan beton *trial* umur 7 hari

$$\begin{aligned}
 f'_{\text{Caktual}} &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{297 \times 1000}{17975,130} \\
 &= 16,523 \text{ MPa} \\
 f'_{\text{Cterkonversi}} &= f'_{\text{Caktual}} \times \frac{1}{\text{Angka Konversi}} \\
 &= 16,523 \times \frac{1}{0,65} \\
 &= 25,420 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, dihitung juga kuat tekan beton pada sampel-sampel yang lain. Adapun rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton *trial* dapat dilihat pada Tabel 5.27 sebagai berikut.

Tabel 5. 27 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton *Trial*

Umur Uji	No. Sampel	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maksimum (kN)	Kuat Tekan Umur Uji (MPa)	Angka Konversi Umur Uji	Kuat Tekan (MPa)
3	1	149,350	17518,638	218,3	12,461	0,4	31,153
3	2	150,300	17742,215	168,6	9,503	0,4	23,757
3	3	151,217	17959,292	230,4	12,829	0,4	32,073
7	4	151,283	17975,130	297	16,523	0,65	25,420
7	5	150,300	17742,215	313	17,642	0,65	27,141

Berdasarkan Tabel 5.27 di atas, dapat diketahui bahwa hasil pengujian benda uji *trial* telah memenuhi mutu rencana yaitu 25 MPa. Dari 5 benda uji yang dibuat, 4 benda uji telah melebihi mutu rencana. Terdapat 1 benda uji yang hasilnya tidak memenuhi mutu rencana yaitu benda uji no. 2. Hal ini dikarenakan benda uji terjatuh saat akan dimasukkan ke rendaman. Benturan yang terjadi pada beton umur muda berpengaruh pada kekuatan beton. Beton dengan umur 1 hari hanya memiliki kekuatan tekan sekitar 16% dari kekuatan beton tersebut saat usia 28 hari (DPU Kab. Kulon Progo, 2022). Oleh karena itu, beton pada umur muda harus dijaga dari benturan, sehingga tidak terjadi penurunan kekuatan beton.

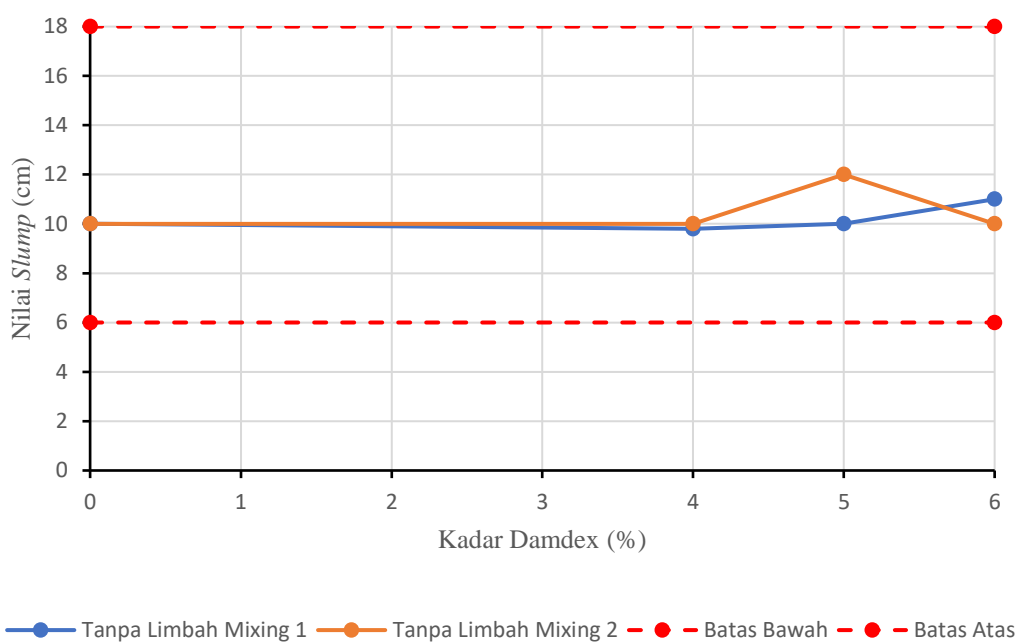
5.4 Hasil Pengujian *Slump*

Pengujian *slump* merupakan pengujian yang dilakukan pada beton segar dengan maksud untuk mengetahui tingkat kemudahan pengerjaan (*workability*) pada beton. Semakin tinggi nilai *slump* pada beton segar, maka beton segar akan semakin mudah dikerjakan. Sebaliknya, semakin rendah nilai *slump* maka beton semakin sulit dikerjakan. Pada pelaksanaan *mixing* varian beton dengan Damdex, penambahan Damdex dilakukan dengan mensubstitusi sebagian air campuran. Hal tersebut dimaksudkan untuk mencapai rentang *slump* yang direncanakan. Selain itu, penambahan Damdex tanpa mensubstitusi sebagian air campuran menghasilkan beton dengan kekuatan tekan lebih rendah daripada beton yang penambahan Damdexnya menggantikan sebagian air campuran. Adapun hasil pengujian *slump*

dan hubungannya dengan variasi kadar Damdex yang digunakan untuk beton tanpa limbah dapat dilihat pada Tabel 5.28 dan Gambar 5.12 sebagai berikut.

Tabel 5. 28 Hasil Pengujian *Slump* Beton Tanpa Limbah

Variasi Kadar Damdex	<i>Slump</i> (cm)	
	<i>Mixing 1</i>	<i>Mixing 2</i>
0%	10	10
4%	9,8	10
5%	10	12
6%	11	10

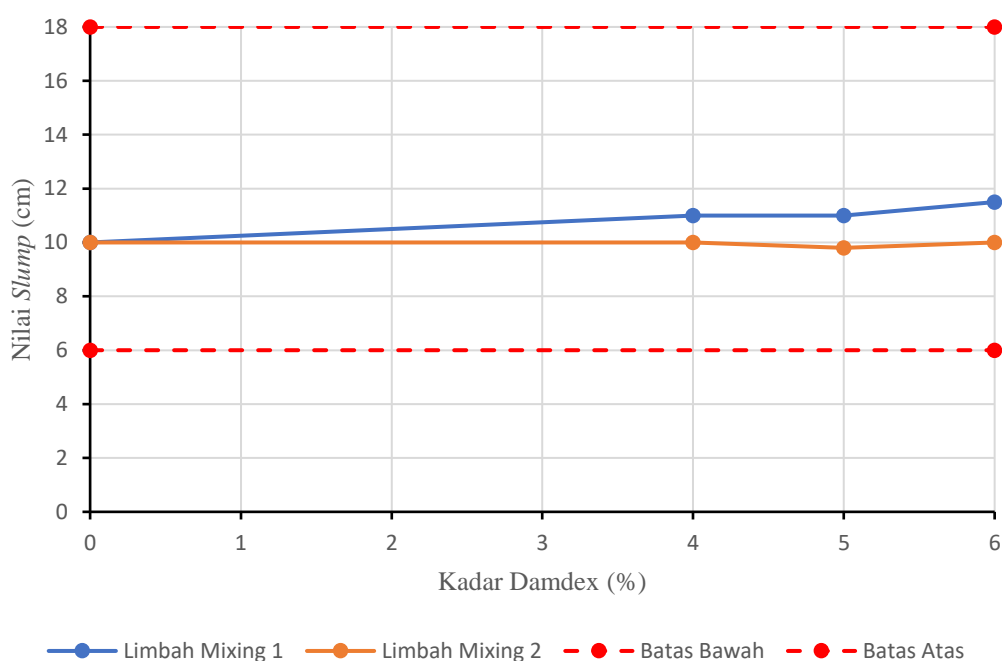


Gambar 5. 12 Hubungan Nilai *Slump* dengan Variasi Kadar Damdex pada Campuran Beton Tanpa Limbah

Sedangkan, hasil pengujian *slump* dan hubungannya dengan variasi kadar Damdex yang digunakan untuk beton dengan limbah dapat dilihat pada Tabel 5.29 dan Gambar 5.13 sebagai berikut.

Tabel 5. 29 Hasil Pengujian *Slump* Beton dengan Limbah

Variasi Kadar Damdex	<i>Slump</i> (cm)	
	<i>Mixing 1</i>	<i>Mixing 2</i>
0%	10	10
4%	11	10
5%	11	9,8
6%	11,5	10

Gambar 5. 13 Hubungan Nilai *Slump* dengan Variasi Kadar Damdex pada Campuran Beton Limbah

Berdasarkan Tabel 5.29 dan Gambar 5.13 di atas, dapat dilihat bahwa nilai *slump* terbesar campuran beton tanpa limbah adalah 12 cm yaitu pada campuran varian 5% *mixing 2* dan nilai *slump* terendah adalah 9,8 cm yaitu pada campuran varian 4% *mixing 1*. Sedangkan berdasarkan Tabel 5.29 dan Gambar 5.13, dapat dilihat bahwa nilai *slump* terbesar campuran beton dengan limbah adalah 11,5 cm yaitu pada campuran varian 6% *mixing 1* dan nilai *slump* terendah adalah 9,8 cm yaitu pada campuran varian 5% *mixing 2*. Hasil pengujian *slump* pada masing-

masing campuran baik campuran beton tanpa limbah maupun dengan limbah telah memenuhi nilai *slump* rencana yaitu 10 ± 2 cm. Perbedaan nilai *slump* pada masing-masing campuran terjadi karena perbedaan kadar air pada agregat dan pengurangan kadar air saat proses *mixing* untuk mencapai rentang nilai *slump* yang direncanakan.

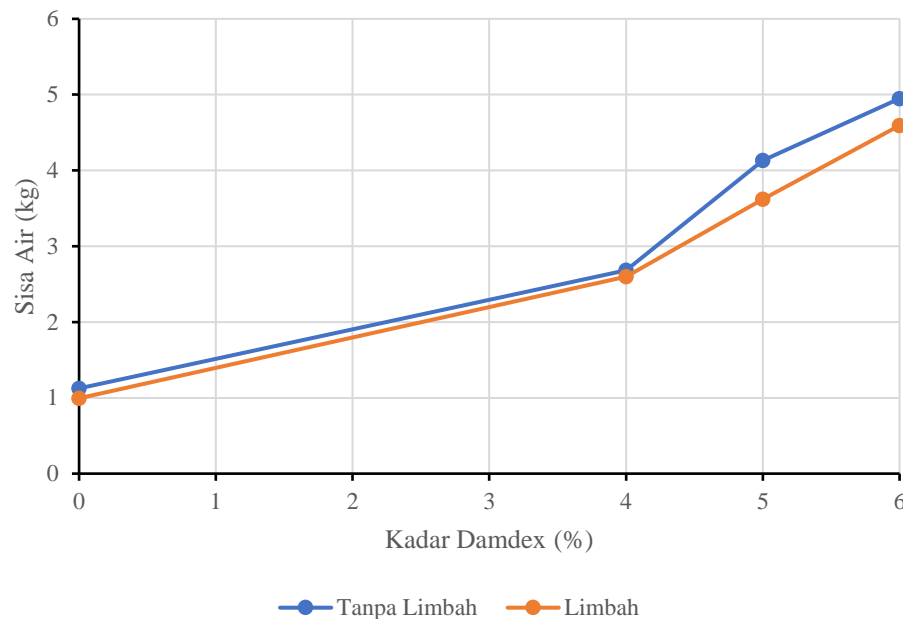
Adapun rekapitulasi sisa air campuran beton tanpa limbah dan beton dengan limbah berturut-turut dapat dilihat pada Tabel 5.30 dan Tabel 5.31 sebagai berikut.

Tabel 5. 30 Rekapitulasi Sisa Air *Mixing* Beton Tanpa Limbah

Variasi Kadar Damdex	Sisa Air (kg)		
	<i>Mixing 1</i>	<i>Mixing 2</i>	Rata-rata
0%	1,108	1,141	1,125
4%	2,798	2,570	2,684
5%	4,209	4,056	4,132
6%	5,737	4,160	4,948

Tabel 5. 31 Rekapitulasi Sisa Air *Mixing* Beton dengan Limbah

Variasi Kadar Damdex	Sisa Air (kg)		
	<i>Mixing 1</i>	<i>Mixing 2</i>	Rata-rata
0%	1,056	0,933	0,995
4%	2,923	2,277	2,600
5%	4,197	3,043	3,620
6%	5,325	3,861	4,593



Gambar 5. 14 Hubungan Jumlah Sisa Air dengan Variasi Kadar Damdex pada Campuran Beton Tanpa Limbah dan Beton Limbah

Berdasarkan Gambar 5.14 di atas, dapat diketahui jika jumlah penambahan Damdex berbanding lurus dengan jumlah sisa air baik pada campuran tanpa limbah maupun campuran dengan limbah. Selain itu, juga dapat dilihat jika jumlah sisa air campuran beton dengan limbah lebih sedikit jika dibandingkan dengan jumlah sisa air campuran beton tanpa limbah.

5.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Pada penelitian ini pengujian kuat tekan beton dilakukan pada umur beton 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Pengujian kuat tekan dilakukan pada benda uji silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Benda uji yang diujikan berjumlah 120 buah dengan 60 benda uji tanpa limbah dan 60 benda uji dengan limbah. Dari 60 benda uji tersebut terbagi atas 15 benda uji untuk setiap penambahan Damdex. Sebelum pengujian berlangsung, terlebih dahulu benda uji diberikan lapisan *capping* dibagian atas permukaannya. Maksud dari pemberian lapisan *capping* ini adalah untuk memberikan lapisan perata bagi permukaan tekan benda uji. Bahan yang digunakan untuk lapisan *capping* ini adalah belerang (sulfur). Pengujian kuat

tekan beton dilakukan sampai benda uji hancur yang artinya benda uji tersebut tidak lagi mampu untuk menahan beban yang diberikan mesin uji. Ketika benda uji hancur maka jarum pada *dial* pembebanan yang turun sampai beban sama dengan nol. Perhitungan nilai kuat tekan beton untuk benda uji umur 7 hari dan 14 hari perlu dibagi dengan angka konversi umur uji. Adapun perhitungan kuat tekan beton adalah sebagai berikut.

1. Kuat tekan beton tanpa limbah varian Damdex 4% umur 7 hari sampel 1

$$\begin{aligned}
 f'_{\text{Caktual}} &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{320 \times 1000}{17518,638} \\
 &= 18,2663 \text{ MPa} \\
 f'_{\text{Cterkonversi}} &= f'_{\text{Caktual}} \times \frac{1}{\text{Angka Konversi}} \\
 &= 18,2663 \times \frac{1}{0,65} \\
 &= 28,102 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

2. Kuat tekan beton tanpa limbah varian Damdex 4% umur 14 hari sampel 1

$$\begin{aligned}
 f'_{\text{Caktual}} &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{440 \times 1000}{17475,655} \\
 &= 25,1779 \text{ MPa} \\
 f'_{\text{Cterkonversi}} &= f'_{\text{Caktual}} \times \frac{1}{\text{Angka Konversi}} \\
 &= 25,1779 \times \frac{1}{0,88} \\
 &= 28,611 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

3. Kuat tekan beton tanpa limbah varian Damdex 4% umur 28 hari sampel 1

$$\begin{aligned}
 f'_{\text{Caktual}} &= \frac{P}{A} \\
 &= \frac{510 \times 1000}{17899,958} \\
 &= 28,4917 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f'_{C_{\text{terkonversi}}} &= f'_{C_{\text{aktual}}} \times \frac{1}{\text{Angka Konversi}} \\ &= 28,4917 \times \frac{1}{1} \\ &= 28,492 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Dengan langkah perhitungan yang sama, dihitung juga kuat tekan beton untuk sampel-sampel pada varian lainnya. Sehingga diperoleh rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan beton yang dapat dilihat pada Tabel 5.32 sebagai berikut.



Tabel 5. 32 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Agregat Limbah	Kadar Damdex	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks (kN)	Kuat Tekan Umur Uji (MPa)	Kuat Tekan Umur Uji Rerata (MPa)	Angka Konversi	Kuat Tekan Terkonversi (MPa)	Kuat Tekan Terkonversi Rerata (MPa)
0%	0%	7 hari	T-TL-0-7h-1	150.02	17675.386	300	16.9728	17.512	0.65	26.112	26.941
			T-TL-0-7h-2	152.38	18237.480	320	17.5463		0.65	26.994	
			T-TL-0-7h-3	149.60	17577.337	300	17.0674		0.65	26.258	
			T-TL-0-7h-4	151.40	18002.865	320	17.7749		0.65	27.346	
			T-TL-0-7h-5	149.63	17585.170	320	18.1972		0.65	27.996	
		14 Hari	T-TL-0-14h-1	150.40	17765.832	410	23.0780	23.619	0.88	26.225	26.840
			T-TL-0-14h-2	154.10	18650.701	460	24.6640		0.88	28.027	
			T-TL-0-14h-3	150.38	17761.895	410	23.0831		0.88	26.231	
			T-TL-0-14h-4	154.12	18654.736	450	24.1226		0.88	27.412	
			T-TL-0-14h-5	150.17	17710.750	410	23.1498		0.88	26.307	
		28 Hari	T-TL-0-28h-1	150.70	17836.777	460	25.7894	26.771	1	25.789	26.771
			T-TL-0-28h-2	154.60	18771.927	540	28.7664		1	28.766	
			T-TL-0-28h-3	148.62	17347.021	450	25.9411		1	25.941	
			T-TL-0-28h-4	154.48	18743.606	510	27.2093		1	27.209	
			T-TL-0-28h-5	154.47	18739.562	490	26.1479		1	26.148	
	4%	7 hari	T-TL-4-7h-1	149.35	17518.638	320	18.2663	18.646	0.65	28.102	28.687
			T-TL-4-7h-2	150.75	17848.615	340	19.0491		0.65	29.306	
			T-TL-4-7h-3	151.83	18106.067	340	18.7782		0.65	28.890	
			T-TL-4-7h-4	152.50	18265.416	350	19.1619		0.65	29.480	
			T-TL-4-7h-5	150.55	17801.287	320	17.9762		0.65	27.656	

Lanjutan Tabel 5.32 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Agregat Limbah	Kadar Damdex	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks (kN)	Kuat Tekan Umur Uji (MPa)	Kuat Tekan Umur Uji Rerata (MPa)	Angka Konversi	Kuat Tekan Terkonversi (MPa)	Kuat Tekan Terkonversi Rerata (MPa)
0%	4%	14 Hari	T-TL-4-14h-1	149.17	17475.655	440	25.1779	25.210	0.88	28.611	28.648
			T-TL-4-14h-2	148.55	17331.462	410	23.6564		0.88	26.882	
			T-TL-4-14h-3	148.85	17401.535	410	23.5611		0.88	26.774	
			T-TL-4-14h-4	154.00	18626.503	480	25.7697		0.88	29.284	
			T-TL-4-14h-5	152.60	18289.379	510	27.8850		0.88	31.688	
		28 Hari	T-TL-4-28h-1	150.97	17899.958	510	28.4917	28.518	1	28.492	28.518
			T-TL-4-28h-2	149.63	17585.170	530	30.1390		1	30.139	
			T-TL-4-28h-3	152.98	18381.380	530	28.8335		1	28.834	
			T-TL-4-28h-4	148.73	17374.268	460	26.4759		1	26.476	
			T-TL-4-28h-5	153.47	18497.712	530	28.6522		1	28.652	
	5%	7 hari	T-TL-5-7h-1	149.78	17620.445	330	18.7282	19.117	0.65	28.813	29.411
			T-TL-5-7h-2	148.78	17385.951	320	18.4057		0.65	28.316	
			T-TL-5-7h-3	154.33	18707.224	370	19.7785		0.65	30.428	
			T-TL-5-7h-4	153.90	18602.320	360	19.3524		0.65	29.773	
			T-TL-5-7h-5	149.68	17596.925	340	19.3216		0.65	29.725	
14 Hari		T-TL-5-14h-1	148.37	17288.709	400	23.1365	25.694	0.88	26.291	29.198	
		T-TL-5-14h-2	149.85	17636.133	460	26.0828		0.88	29.640		
		T-TL-5-14h-3	152.45	18253.441	470	25.7486		0.88	29.260		
		T-TL-5-14h-4	154.35	18711.265	550	29.3941		0.88	33.402		
		T-TL-5-14h-5	148.93	17421.025	420	24.1088		0.88	27.396		

Lanjutan Tabel 5.32 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Agregat Limbah	Kadar Damdex	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks (kN)	Kuat Tekan Umur Uji (MPa)	Kuat Tekan Umur Uji Rerata (MPa)	Angka Konversi	Kuat Tekan Terkonversi (MPa)	Kuat Tekan Terkonversi Rerata (MPa)
0%	5%	28 Hari	T-TL-5-28h-1	153.92	18606.350	570	30.6347	28.929	1	30.635	28.929
			T-TL-5-28h-2	151.30	17979.091	560	31.1473		1	31.147	
			T-TL-5-28h-3	148.25	17261.530	450	26.0695		1	26.070	
			T-TL-5-28h-4	152.98	18381.380	570	31.0096		1	31.010	
			T-TL-5-28h-5	149.07	17452.231	450	25.7847		1	25.785	
	6%	7 hari	T-TL-6-7h-1	149.68	17596.925	320	18.1850	19.193	0.65	27.977	29.527
			T-TL-6-7h-2	151.08	17927.635	350	19.5229		0.65	30.035	
			T-TL-6-7h-3	152.38	18237.480	360	19.7396		0.65	30.369	
			T-TL-6-7h-4	151.10	17931.590	350	19.5186		0.65	30.029	
			T-TL-6-7h-5	148.72	17370.374	330	18.9979		0.65	29.227	
		14 Hari	T-TL-6-14h-1	154.10	18650.701	540	28.9533	25.926	0.88	32.902	29.461
			T-TL-6-14h-2	148.72	17370.374	460	26.4819		0.88	30.093	
			T-TL-6-14h-3	151.58	18046.492	500	27.7062		0.88	31.484	
			T-TL-6-14h-4	148.52	17323.685	460	26.5532		0.88	30.174	
			T-TL-6-14h-5	149.52	17557.759	350	19.9342		0.88	22.653	
		28 Hari	T-TL-6-28h-1	148.68	17362.588	510	29.3735	29.352	1	29.374	29.352
			T-TL-6-28h-2	153.70	18554.003	550	29.6432		1	29.643	
			T-TL-6-28h-3	151.92	18125.948	520	28.6882		1	28.688	
			T-TL-6-28h-4	149.37	17522.548	520	29.6760		1	29.676	
			T-TL-6-28h-5	148.67	17358.696	510	29.3801		1	29.380	

Lanjutan Tabel 5.32 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Agregat Limbah	Kadar Damdex	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks (kN)	Kuat Tekan Umur Uji (MPa)	Kuat Tekan Umur Uji Rerata (MPa)	Angka Konversi	Kuat Tekan Terkonversi (MPa)	Kuat Tekan Terkonversi Rerata (MPa)
100%	0%	7 hari	T-L-0-7h-1	151.32	17983.053	240	13.3459	13.297	0.65	20.532	20.456
			T-L-0-7h-2	152.12	18173.705	240	13.2059		0.65	20.317	
			T-L-0-7h-3	151.15	17943.460	250	13.9327		0.65	21.435	
			T-L-0-7h-4	152.17	18185.654	230	12.6473		0.65	19.457	
			T-L-0-7h-5	151.28	17975.130	240	13.3518		0.65	20.541	
		14 Hari	T-L-0-14h-1	150.62	17817.056	270	15.1540	17.951	0.88	17.220	20.399
			T-L-0-14h-2	152.85	18349.354	300	16.3493		0.88	18.579	
			T-L-0-14h-3	151.45	18014.758	320	17.7632		0.88	20.185	
			T-L-0-14h-4	151.23	17963.251	350	19.4842		0.88	22.141	
			T-L-0-14h-5	151.77	18090.171	380	21.0059		0.88	23.870	
		28 Hari	T-L-0-28h-1	149.17	17475.655	335	19.1695	20.603	1	19.170	20.603
			T-L-0-28h-2	149.78	17620.445	360	20.4308		1	20.431	
			T-L-0-28h-3	151.00	17907.864	390	21.7781		1	21.778	
			T-L-0-28h-4	154.62	18775.975	440	23.4342		1	23.434	
			T-L-0-28h-5	148.43	17304.249	315	18.2036		1	18.204	
	4%	7 hari	T-L-4-7h-1	148.23	17257.649	255	14.7761	14.264	0.65	22.732	21.945
			T-L-4-7h-2	153.08	18405.419	270	14.6696		0.65	22.569	
			T-L-4-7h-3	150.60	17813.113	240	13.4732		0.65	20.728	
			T-L-4-7h-4	153.18	18429.473	270	14.6504		0.65	22.539	
			T-L-4-7h-5	152.13	18177.688	250	13.7531		0.65	21.159	

Lanjutan Tabel 5.32 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Agregat Limbah	Kadar Damdex	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks (kN)	Kuat Tekan Umur Uji (MPa)	Kuat Tekan Umur Uji Rerata (MPa)	Angka Konversi	Kuat Tekan Terkonversi (MPa)	Kuat Tekan Terkonversi Rerata (MPa)
100%	4%	14 Hari	T-L-4-14h-1	151.88	18117.994	350	19.3178	19.094	0.88	21.952	21.698
			T-L-4-14h-2	152.03	18153.799	350	19.2797		0.88	21.909	
			T-L-4-14h-3	148.37	17288.709	300	17.3524		0.88	19.719	
			T-L-4-14h-4	151.58	18046.492	350	19.3944		0.88	22.039	
			T-L-4-14h-5	150.92	17888.103	360	20.1251		0.88	22.869	
		28 Hari	T-L-4-28h-1	149.60	17577.337	350	19.9120	21.508	1	19.912	21.508
			T-L-4-28h-2	150.33	17750.086	390	21.9717		1	21.972	
			T-L-4-28h-3	152.67	18305.362	410	22.3978		1	22.398	
			T-L-4-28h-4	150.05	17683.242	380	21.4893		1	21.489	
			T-L-4-28h-5	151.03	17915.771	390	21.7685		1	21.769	
	5%	7 hari	T-L-5-7h-1	154.12	18654.736	310	16.6178	15.991	0.65	25.566	24.602
			T-L-5-7h-2	149.80	17624.366	280	15.8871		0.65	24.442	
			T-L-5-7h-3	149.70	17600.844	280	15.9083		0.65	24.474	
			T-L-5-7h-4	149.32	17510.819	270	15.4190		0.65	23.722	
			T-L-5-7h-5	153.92	18606.350	300	16.1235		0.65	24.805	
14 Hari		T-L-5-14h-1	151.20	17955.333	380	21.1636	21.616	0.88	24.050	24.564	
		T-L-5-14h-2	149.75	17612.603	360	20.4399		0.88	23.227		
		T-L-5-14h-3	150.55	17801.287	390	21.9085		0.88	24.896		
		T-L-5-14h-4	150.97	17899.958	400	22.3464		0.88	25.394		
		T-L-5-14h-5	153.27	18449.530	410	22.2228		0.88	25.253		

Lanjutan Tabel 5.32 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Agregat Limbah	Kadar Damdex	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks (kN)	Kuat Tekan Umur Uji (MPa)	Kuat Tekan Umur Uji Rerata (MPa)	Angka Konversi	Kuat Tekan Terkonversi (MPa)	Kuat Tekan Terkonversi Rerata (MPa)
100%	5%	28 Hari	T-L-5-28h-1	149.27	17499.093	430	24.5727	24.241	1	24.573	24.241
			T-L-5-28h-2	154.40	18723.390	440	23.5000		1	23.500	
			T-L-5-28h-3	151.28	17975.130	430	23.9219		1	23.922	
			T-L-5-28h-4	148.42	17300.363	420	24.2769		1	24.277	
			T-L-5-28h-5	151.58	18046.492	450	24.9356		1	24.936	
	6%	7 hari	T-L-6-7h-1	149.47	17546.018	280	15.9580	17.968	0.65	24.551	27.642
			T-L-6-7h-2	154.27	18691.066	340	18.1905		0.65	27.985	
			T-L-6-7h-3	150.33	17750.086	320	18.0281		0.65	27.736	
			T-L-6-7h-4	152.77	18329.351	330	18.0039		0.65	27.698	
			T-L-6-7h-5	150.57	17805.229	350	19.6571		0.65	30.242	
		14 Hari	T-L-6-14h-1	149.37	17522.548	420	23.9691	24.265	0.88	27.238	27.574
			T-L-6-14h-2	152.17	18185.654	440	24.1949		0.88	27.494	
			T-L-6-14h-3	152.25	18205.579	450	24.7177		0.88	28.088	
			T-L-6-14h-4	150.95	17896.006	430	24.0277		0.88	27.304	
			T-L-6-14h-5	149.75	17612.603	430	24.4143		0.88	27.744	
		28 Hari	T-L-6-28h-1	149.32	17510.819	480	27.4116	27.187	1	27.412	27.187
			T-L-6-28h-2	148.20	17249.888	480	27.8263		1	27.826	
			T-L-6-28h-3	150.18	17714.682	450	25.4027		1	25.403	
			T-L-6-28h-4	152.97	18377.375	510	27.7515		1	27.752	
			T-L-6-28h-5	150.50	17789.465	490	27.5444		1	27.544	

Berdasarkan Tabel 5.32 di atas, diperoleh nilai kuat tekan ($f'c$) beton tanpa limbah rata-rata untuk penambahan Damdex sebanyak 0%, 4%, 5% dan 6% untuk umur uji 7 hari secara berturut-turut adalah sebesar 26,941 MPa, 28,687 MPa, 29,411 MPa dan 29,527 MPa. Untuk umur uji 14 hari secara berturut-turut adalah sebesar 26,840 MPa, 28,648 MPa, 29,198 MPa dan 29,641 MPa. Untuk umur uji 28 hari secara berturut-turut adalah sebesar 26,771 MPa, 28,518 MPa, 28,929 MPa dan 29,352 MPa. Sedangkan, nilai kuat tekan ($f'c$) dengan limbah rata-rata untuk penambahan Damdex sebanyak 0%, 4%, 5% dan 6% untuk umur uji 7 hari secara berturut-turut adalah sebesar 20,456 MPa, 21,945 MPa, 24,602 MPa dan 27,642 MPa. Untuk umur uji 14 hari secara berturut-turut adalah sebesar 20,399 MPa, 21,698 MPa, 24,564 MPa dan 27,574 MPa. Untuk umur uji 28 hari secara berturut-turut adalah sebesar 20,603 MPa, 21,508 MPa, 24,241 MPa dan 27,187 MPa.

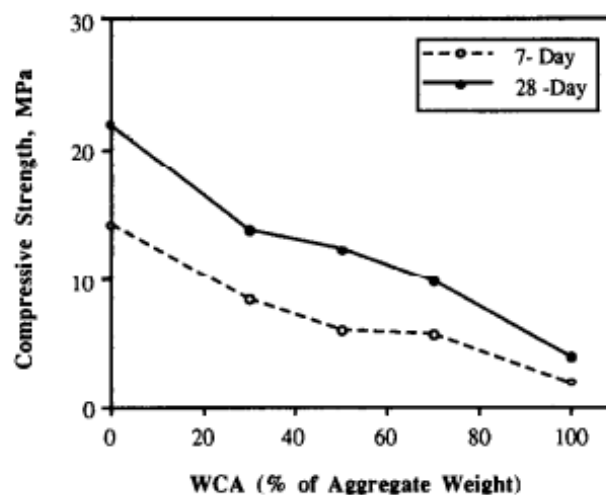
Pada Tabel 5.32 di atas, juga dapat dilihat jika penggunaan agregat limbah pada campuran beton menurunkan kuat tekan beton. Adapun persentase penurunan kuat tekan beton agregat limbah (tanpa penambahan Damdex) terhadap beton tanpa agregat limbah (tanpa penambahan Damdex) pada umur beton 7 hari, 14 hari dan 28 hari dapat dilihat pada Tabel 5.33 sebagai berikut.

Tabel 5. 33 Persentase Penurunan Kuat Tekan Beton Agregat Limbah Terhadap Beton Tanpa Agregat Limbah

Umur Beton	Kuat Tekan Beton Tanpa Agregat Limbah (MPa)	Kuat Tekan Beton dengan Agregat Limbah (MPa)	Persentase Penurunan (%)
7 Hari	26,941	20,456	31,700
14 Hari	26,840	20,399	31,575
28 Hari	26,771	20,603	29,935

Berdasarkan Tabel 5.33 di atas, dapat diketahui jika penggunaan agregat limbah beton pada campuran beton dapat menurunkan kuat tekan beton hingga 31,70% dari beton tanpa agregat limbah. Hasil ini sesuai dengan penelitian oleh Topçu, I.B (1997), dimana penggunaan agregat limbah beton terutama dengan rasio

di atas 50% dalam campuran menyebabkan penurunan kuat tekan yang signifikan. Nixon, P.J (1978) menyebutkan jika kuat tekan beton dengan limbah beton menurun 20% atau lebih jika dibandingkan dengan beton normal. BCSJ (1978) menjelaskan jika tingkat penurunan beton dengan agregat limbah di Jepang berkisar antara 14% hingga 32%.



Gambar 5. 15 Hubungan Kuat Tekan dengan Agregat Limbah Beton yang Digunakan

(Sumber: Topçu, 1997)

Adapun perbandingan persentase penurunan kuat tekan beton agregat limbah pada umur beton 28 hari pada penelitian ini dengan penelitian yang dilakukan oleh Kusumawardhana (2018) dapat dilihat pada Tabel 5.34 sebagai berikut.

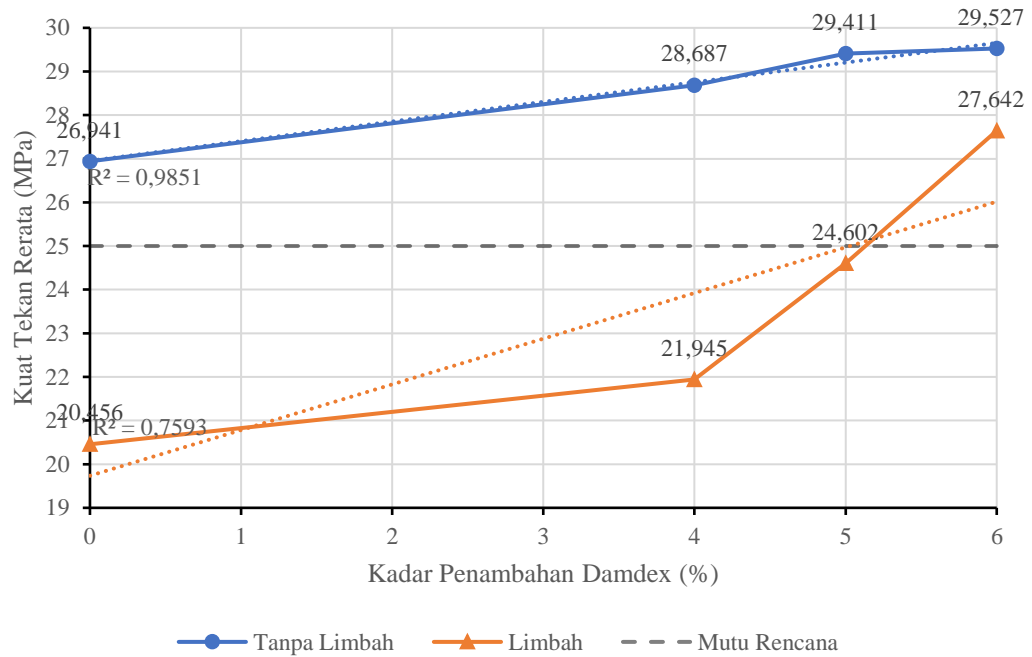
Tabel 5. 34 Perbandingan Persentase Penurunan Kuat Tekan Beton Agregat Limbah Penulis dengan Penelitian Sebelumnya

Peneliti	Kuat Tekan Beton Tanpa Agregat Limbah (MPa)	Kuat Tekan Beton dengan Agregat Limbah (MPa)	Persentase Penurunan (%)
Penulis	26,771	20,603	29,9374
Kusumawardhana (2018)	25,62	23,35	9,7216

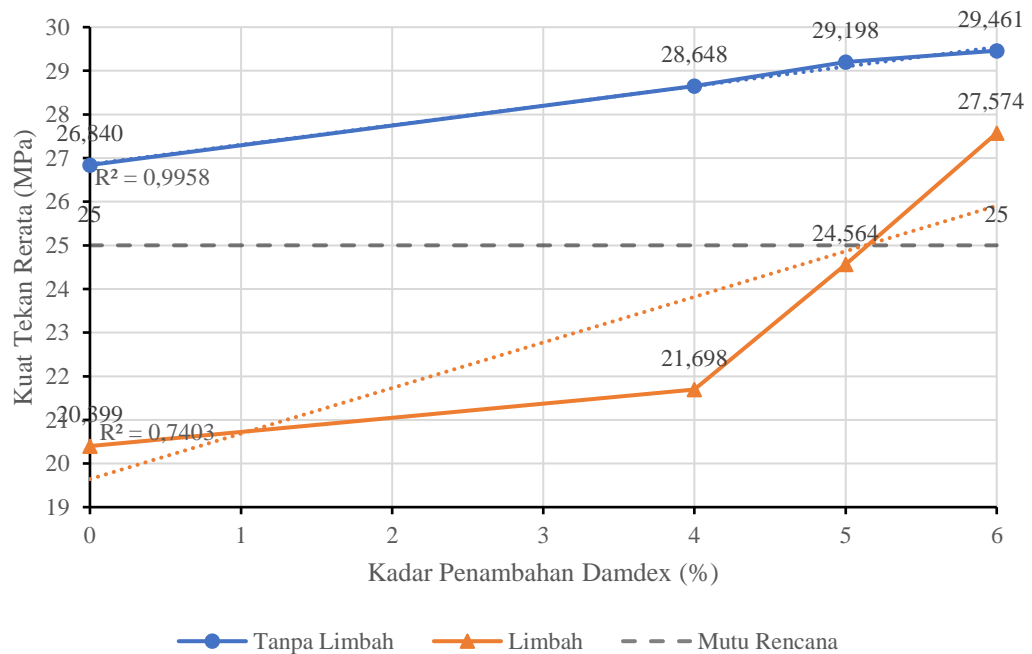
Perbedaan persentase ini dikarenakan agregat limbah beton yang digunakan oleh Kusumawardhana (2018) berukuran maksimal 40 mm, sedangkan agregat limbah beton yang digunakan oleh penulis berukuran maksimal 20 mm. Menurut Kang (2018), kuat tekan beton dengan agregat limbah meningkat seiring dengan bertambahnya ukuran agregat. Hal tersebut dikarenakan agregat limbah berukuran lebih besar memiliki kandungan mortar yang melekat pada ukuran agregat yang lebih besar juga dan berlaku sebaliknya. Selain itu, agregat limbah yang digunakan oleh Kusumawardhana (2018) diproduksi dari beton dengan mutu rencana 45 MPa, sedangkan penulis menggunakan beton dengan mutu rencana 20 MPa. Menurut Als Salman (2022), menggunakan agregat limbah yang diproduksi dari beton dengan kuat tekan 30-40 MPa meningkatkan 7% kuat tekan beton dengan agregat limbah dibandingkan dengan agregat limbah yang diproduksi dari beton dengan kuat tekan 20-30 MPa pada tingkat penggantian yang sama.

5.5.1 Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Variasi Penambahan Damdex

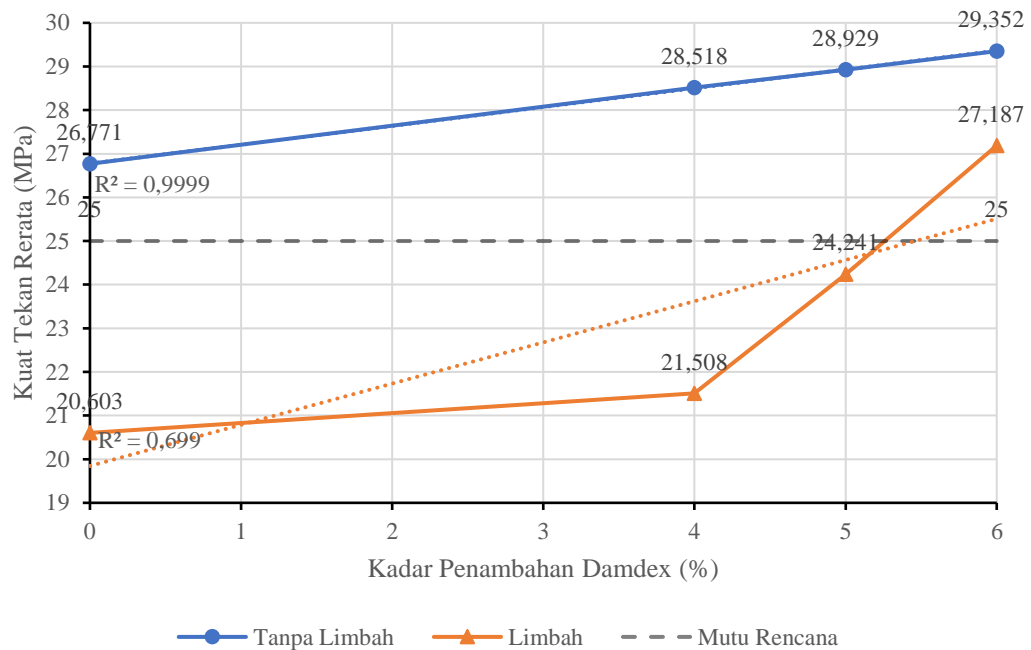
Nilai kuat tekan rata-rata beton tanpa limbah dan beton dengan limbah pada Tabel 5.32 dapat dibuatkan grafik hubungan kuat tekan beton dengan kadar penambahan Damdex untuk masing-masing umur uji. Adapun grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.16, Gambar 5.17 dan Gambar 5.18 sebagai berikut.



Gambar 5. 16 Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Kadar Penambahan Damdex pada Umur Beton 7 Hari



Gambar 5. 17 Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Kadar Penambahan Damdex pada Umur Beton 14 Hari



Gambar 5. 18 Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Kadar Penambahan Damdex pada Umur Beton 28 Hari

Adapun persentase kenaikan kuat tekan beton tanpa limbah terhadap penambahan kadar Damdex pada umur beton 7 hari, 14 hari dan 28 hari dapat dilihat pada Tabel 5.35 sebagai berikut.

Tabel 5. 35 Persentase Kenaikkan Kuat Tekan Beton Tanpa Limbah dengan Penambahan Damdex terhadap Beton Tanpa Limbah dan Damdex

Variasi Kadar Damdex	Persentase Kenaikkan Kuat Tekan pada Umur Beton Tertentu (%)		
	7 Hari	14 Hari	28 Hari
4%	6.479	6.734	6.528
5%	9.168	8.784	8.062
6%	9.600	9.764	9.643

Berdasarkan Gambar 5.16, Gambar 5.17 dan Gambar 5.18 di atas, dapat diketahui bahwa penambahan Damdex pada campuran beton tanpa limbah memengaruhi nilai kuat tekan beton. Hal tersebut ditandai dengan nilai koefisien korelasi pada beton umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari secara berturut-turut adalah

sebesar 0,9851, 0,9958, dan 0,9999. Berdasarkan Tabel 3.8, dapat diketahui jika pada interval koefisien 0,80 – 1,0000 tingkat hubungannya sangat kuat. Beton dengan penambahan Damdex menghasilkan kuat tekan yang lebih tinggi dari pada kuat tekan beton tanpa penambahan Damdex.

Adapun perbandingan persentase kenaikan kuat tekan beton tanpa limbah dengan penambahan Damdex sebanyak 5% dan 6% penulis dengan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 5.36 sebagai berikut.

Tabel 5. 36 Perbandingan Persentase Kenaikkan Kuat Tekan Beton Tanpa Limbah dengan Penambahan Damdex Sebanyak 5% dan 6% Penulis dan Penelitian Sebelumnya

Variasi Kadar Damdex	Penulis			Akbar (2022)		
	Persentase Kenaikkan Kuat tekan pada Umur Tertentu (%)			Persentase Kenaikkan Kuat tekan pada Umur Tertentu (%)		
	7 Hari	14 Hari	28 Hari	7 Hari	14 Hari	28 Hari
5%	9,168	8,784	8,062	6,05	8,17	3,06
6%	9,6	9,764	9,643	6,95	9,22	4,71

Sedangkan, persentase kenaikan kuat tekan beton limbah terhadap penambahan kadar Damdex pada umur beton 7 hari, 14 hari dan 28 hari dapat dilihat pada Tabel 5.37 sebagai berikut.

Tabel 5. 37 Persentase Kenaikkan Kuat Tekan Beton Limbah dengan Penambahan Damdex terhadap Beton Limbah Tanpa Damdex

Variasi Kadar Damdex	Persentase Kenaikkan Kuat Tekan pada Umur Beton Tertentu (%)		
	7 Hari	14 Hari	28 Hari
4%	7.278	6.365	4.391
5%	20.264	20.416	17.658
6%	35.128	35.170	31.956

Pada beton dengan agregat limbah nilai koefisien korelasi pada beton umur 7 hari, 14 hari dan 28 hari secara berturut-turut adalah sebesar 0,7593, 0,7403 dan 0,699. Berdasarkan Tabel 3.8, diketahui jika tingkat hubungan antara kuat tekan beton dengan agregat limbah dengan penambahan Damdex adalah kuat. Nilai

koefisien korelasi antara kuat tekan beton agregat limbah dengan penambahan Damdex mengalami penurunan dari beton agregat limbah umur 7 hari hingga 28 hari. Namun, penambahan Damdex pada beton agregat limbah tetap memberikan peningkatan kuat tekan daripada beton agregat limbah tanpa tambahan Damdex.

Penambahan Damdex pada campuran beton dengan agregat limbah dapat menurunkan angka persentase penurunan kuat tekan beton agregat limbah terhadap kuat tekan beton tanpa agregat limbah. Adapun persentase penurunan kuat tekan beton agregat limbah terhadap kuat tekan beton tanpa agregat limbah untuk tiap variasi penambahan Damdex dapat dilihat pada Tabel 5.38 sebagai berikut.

Tabel 5. 38 Persentase Penurunan Kuat Tekan Beton Agregat Limbah Terhadap Kuat Tekan Beton Tanpa Agregat Limbah Untuk Tiap Variasi Kadar Damdex

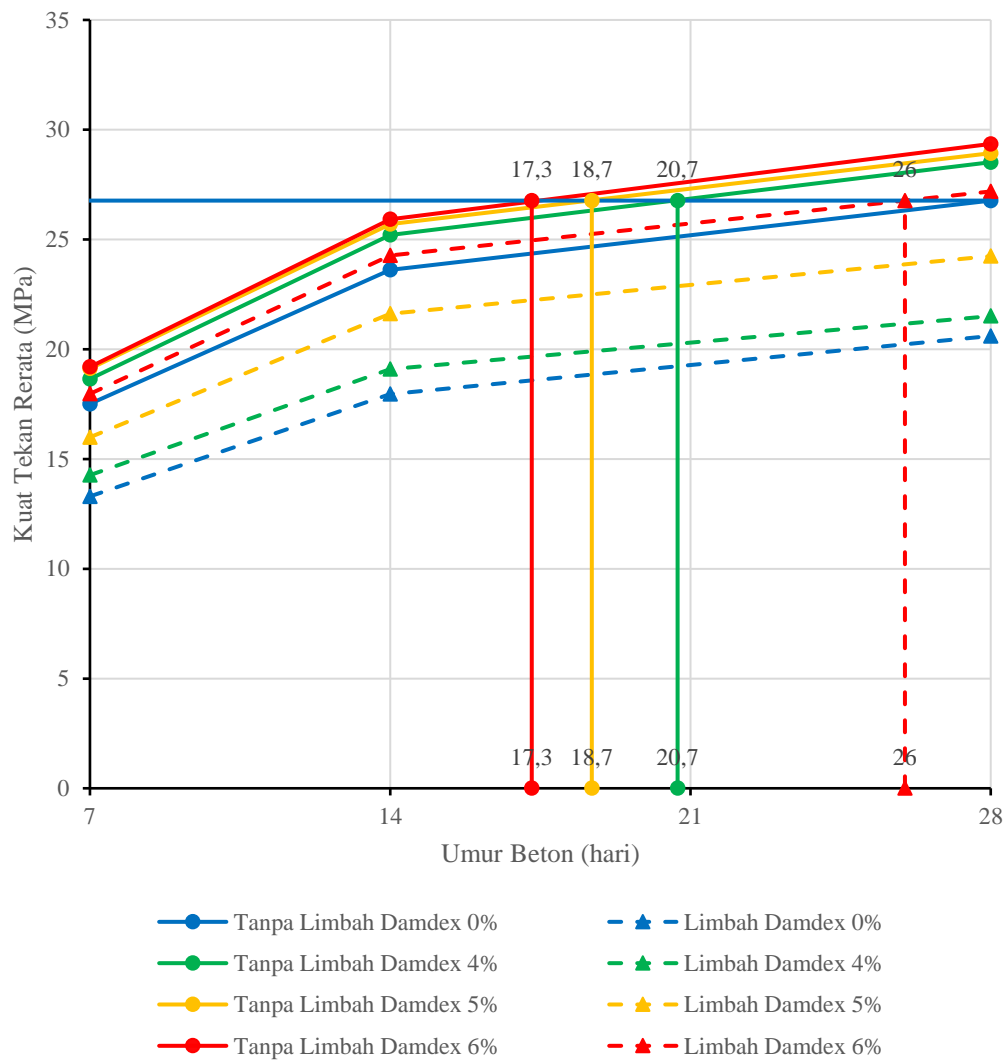
Variasi Kadar Damdex	Persentase Penurunan Kuat Tekan Beton Agregat Limbah Terhadap Beton Tanpa Agregat Limbah (%)		
	7 Hari	14 Hari	28 Hari
4%	23,500	24,261	24,583
5%	16,352	15,871	16,204
6%	6,384	6,407	7,376

Penambahan Damdex sebanyak 4% hingga 6% pada campuran beton baik beton tanpa agregat limbah maupun beton dengan agregat limbah mampu meningkatkan kuat tekan beton. Nilai kuat tekan beton tanpa agregat limbah dan dengan agregat limbah meningkat seiring dengan meningkatnya kadar Damdex yang ditambahkan pada campuran beton. Kuat tekan terendah terjadi pada beton tanpa tambahan Damdex dan kuat tekan tertinggi terjadi pada beton dengan penambahan Damdex sebanyak 6%.

Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui jika penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar dapat menurunkan kuat tekan beton. Namun, kuat tekan beton agregat limbah dapat ditingkatkan hingga memenuhi mutu rencana yaitu 25 MPa dengan menambahkan Damdex sebanyak 6% dari berat semen. Adapun penambahan Damdex sebanyak 6% menghasilkan beton agregat limbah dengan kuat tekan rata-rata 27,187 MPa pada umur beton 28 hari.

5.5.2 Hubungan Kuat Tekan Beton dengan Umur Beton

Nilai kuat tekan rata-rata pada umur uji tertentu tanpa angka konversi pada beton tanpa limbah dan beton dengan limbah pada Tabel 5.32 dapat dibuatkan grafik hubungan kuat tekan beton dengan umur beton untuk masing-masing variasi penambahan Damdex. Adapun grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.19 sebagai berikut.



Gambar 5. 19 Hubungan Nilai Kuat Tekan Beton dengan Umur Beton pada Berbagai Variasi Kadar Damdex

Berdasarkan Gambar 5.19 di atas, dapat diketahui bahwa semua pada variasi kadar Damdex menghasilkan kuat tekan nominal pada umur uji tertentu tanpa angka konversi menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya umur beton. Perbedaan nilai kuat tekan beton tanpa agregat limbah dan dengan agregat limbah pada tiap variasi kadar Damdex dapat menunjukkan waktu (hari) yang dibutuhkan tiap variasi untuk mencapai kuat tekan beton tanpa agregat limbah dan tanpa tambahan Damdex umur 28 hari. Berdasarkan Gambar 5.19, waktu yang diperlukan beton tanpa agregat limbah dengan penambahan Damdex 4%, 5% dan 6% untuk mencapai kuat tekan beton tanpa agregat limbah dan tanpa Damdex umur 28 hari secara berturut-turut adalah 20,7 hari, 18,7 hari dan 17,3 hari. Sedangkan, beton dengan agregat limbah dan penambahan Damdex 6% membutuhkan waktu 26 hari. Berdasarkan data tersebut dapat diketahui jika semakin tinggi kadar Damdex dalam campuran baik beton tanpa agregat maupun beton dengan agregat limbah, maka waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kuat tekan rencana akan semakin singkat.

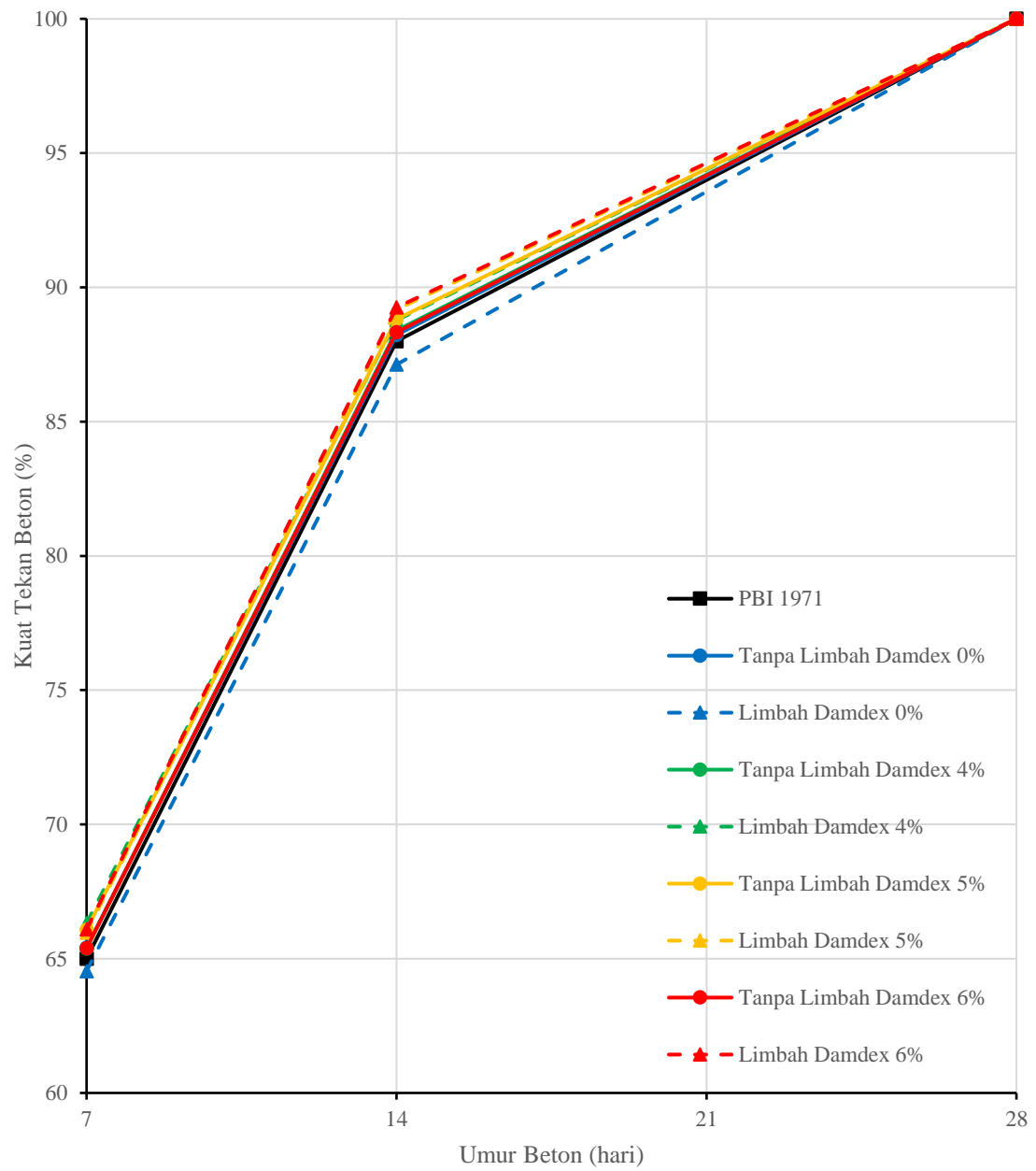
Besaran akselerasi peningkatan kuat tekan beton dapat diukur menggunakan hasil uji kuat tekan yang dimuat pada Tabel 5.32 diatas. Perhitungan akselerasi peningkatan kuat tekan beton dilakukan dengan membagi nilai kuat tekan aktual pada beton umur uji 7 hari dan 14 hari dengan nilai kuat tekan beton pada umur uji 28 hari. Adapun persentase kuat tekan beton tanpa agregat limbah dan dengan agregat limbah berdasarkan umur beton dapat dilihat pada Tabel 5.39 dan Tabel 5.40 serta Gambar 5.20 sebagai berikut.

Tabel 5. 39 Persentase Kuat Tekan Beton Tanpa Limbah Berdasarkan Umur Beton

Variasi Kadar Damdex	Persentase Kenaikkan Kuat Tekan pada Umur Beton Tertentu (%)		
	7 Hari	14 Hari	28 Hari
PBI 1971	65	88	100
0%	65,413	88,229	100
4%	65,383	88,399	100
5%	66,083	88,817	100
6%	65,388	88,327	100

Tabel 5. 40 Persentase Kuat Tekan Beton Limbah Berdasarkan Umur Beton

Variasi Kadar Damdex	Persentase Kenaikkan Kuat Tekan pada Umur Beton Tertentu (%)		
	7 Hari	14 Hari	28 Hari
PBI 1971	65	88	100
0%	64,537	87,129	100
4%	66,322	88,776	100
5%	65,966	89,171	100
6%	66,088	89,250	100



Gambar 5. 20 Persentase Kuat Tekan Beton Berdasarkan Umur Beton

Tabel 5. 41 Selisih Persentase Kuat Tekan Beton Tanpa Limbah pada Umur 7 dan 14 Hari

Variasi Kadar Damdex	Selisih Persentase Kuat Tekan pada Umur 7 Hari (%)		Selisih Persentase Kuat Tekan pada Umur 14 Hari (%)	
	PBI 1971	Tanpa Damdex	PBI 1971	Tanpa Damdex
0%	0,413	0	0,229	0
4%	0,383	-0,030	0,399	0,170
5%	1,083	0,670	0,817	0,589
6%	0,388	-0,026	0,327	0,098

Tabel 5. 42 Selisih Persentase Kuat Tekan Beton Limbah pada Umur 7 dan 14 Hari

Variasi Kadar Damdex	Selisih Persentase Kuat Tekan pada Umur 7 Hari (%)		Selisih Persentase Kuat Tekan pada Umur 14 Hari (%)	
	PBI 1971	Tanpa Damdex	PBI 1971	Tanpa Damdex
0%	-0,463	0	-0,871	0
4%	1,322	1,785	0,776	1,648
5%	0,966	1,429	1,171	2,042
6%	1,088	1,551	1,250	2,122

Berdasarkan Tabel 5.39, Tabel 5.40 dan Gambar 5.20 di atas, dapat diketahui bahwa persentase kuat tekan beton tanpa limbah maupun dengan limbah dengan penambahan Damdex lebih tinggi dari persentase kuat tekan beton tanpa tambahan Damdex dan kuat tekan beton menurut PBI 1971 dengan selisih yang dapat dilihat pada Tabel 5.41 dan Tabel 5.42. Pada umur beton 7 hari dan 14 hari, persentase kuat tekan beton tanpa agregat limbah tertinggi terjadi pada beton dengan penambahan Damdex sebanyak 5%. Penambahan Damdex sebanyak 6% terjadi penurunan persentase kuat tekan. Menurut Akbar (2022), penambahan Damdex sebanyak 5% menghasilkan akselerasi peningkatan kuat tekan beton optimum pada umur beton 7 hari dan 14 hari. Pada beton agregat limbah persentase kuat tekan tertinggi beton umur 7 hari terjadi pada beton dengan penambahan

Damdex sebanyak 4%. Sedangkan, pada umur 14 hari persentase kuat tekan tertinggi terjadi pada beton dengan penambahan Damdex sebanyak 5%.

5.6 Hasil Pengujian Absorpsi Beton

Pengujian absorpsi dilakukan dengan mengoven benda uji kubus selama 24 jam dengan suhu $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Setelah itu, benda uji dikeluarkan dari oven dan ditimbang sehingga diketahui berat sampel dalam keadaan kering oven. Selanjutnya, sampel dimasukkan ke perendaman. Setelah 48 jam, sampel dikeluarkan dari perendaman dan dikeringkan menggunakan kain kering untuk menghilangkan kelembapan permukaannya. Dalam keadaan kering permukaan, sampel ditimbang. Setelah diketahui berat sampel dalam keadaan kering oven dan keadaan kering permukaan, lalu dilakukan perhitungan sebagai berikut.

1. Absorpsi beton tanpa limbah dan tanpa Damdex umur 7 hari sampel 1

$$\begin{aligned} P_A &= \frac{B-A}{A} \times 100 \\ &= \frac{8,23-7,86}{7,86} \times 100 \\ &= 4,68 \% \end{aligned}$$

2. Absorpsi beton tanpa limbah dan tanpa Damdex umur 14 hari sampel 1

$$\begin{aligned} P_A &= \frac{B-A}{A} \times 100 \\ &= \frac{8,23-7,90}{7,90} \times 100 \\ &= 4,20 \% \end{aligned}$$

3. Absorpsi beton tanpa limbah dan tanpa Damdex umur 28 hari sampel 1

$$\begin{aligned} P_A &= \frac{B-A}{A} \times 100 \\ &= \frac{8,15-7,87}{7,87} \times 100 \\ &= 3,67 \end{aligned}$$

Dengan langkah perhitungan yang sama, dihitung juga absorpsi beton untuk sampel-sampel pada varian lainnya. Sehingga dari perhitungan-perhitungan tersebut, diperoleh rekapitulasi hasil pengujian absorpsi beton yang dapat dilihat pada Tabel 5.43 sebagai berikut.

Tabel 5. 43 Rekapitulasi Hasil Pengujian Absorpsi Beton

Agregat Limbah	Kadar Damdex	Umur Uji	Kode Benda Uji	No. Sampel	Berat Kering Oven (kg)	Berat Kering Permukaan (kg)	Absorpsi (%)	Absorpsi Rerata (%)
0%	0%	7	A-TL-0-7-h-1	1	7,86	8,23	4,68	4,39
			A-TL-0-7-h-2	2	7,77	8,09	4,11	
		14	A-TL-0-14-h-1	1	7,90	8,23	4,20	4,20
			A-TL-0-14-h-2	2	7,88	8,21	4,20	
		28	A-TL-0-28-h-1	1	7,87	8,15	3,67	4,18
			A-TL-0-28-h-2	2	8,03	8,41	4,69	
	4%	7	A-TL-4-7-h-1	1	7,85	8,12	3,40	3,35
			A-TL-4-7-h-2	2	7,87	8,13	3,30	
		14	A-TL-4-14-h-1	1	7,97	8,23	3,26	3,25
			A-TL-4-14-h-2	2	7,73	7,98	3,23	
		28	A-TL-4-28-h-1	1	8,27	8,53	3,21	3,18
			A-TL-4-28-h-2	2	7,85	8,10	3,15	
	5%	7	A-TL-5-7-h-1	1	7,69	7,92	2,94	2,93
			A-TL-5-7-h-2	2	7,65	7,87	2,92	
		14	A-TL-5-14-h-1	1	7,94	8,16	2,77	2,83
			A-TL-5-14-h-2	2	7,96	8,19	2,89	
		28	A-TL-5-28-h-1	1	8,16	8,38	2,72	2,75
			A-TL-5-28-h-2	2	8,19	8,42	2,77	
	6%	7	A-TL-6-7-h-1	1	7,56	7,76	2,69	2,66
			A-TL-6-7-h-2	2	7,65	7,85	2,63	
		14	A-TL-6-14-h-1	1	8,00	8,21	2,59	2,56
			A-TL-6-14-h-2	2	7,92	8,12	2,53	
		28	A-TL-6-28-h-1	1	7,97	8,17	2,51	2,52
			A-TL-6-28-h-2	2	7,91	8,11	2,53	
100%	0%	7	A-L-0-7-h-1	1	7,55	7,96	5,46	5,45
			A-L-0-7-h-2	2	7,72	8,14	5,44	
		14	A-L-0-14-h-1	1	7,43	7,83	5,38	5,37
			A-L-0-14-h-2	2	7,44	7,84	5,35	
		28	A-L-0-28-h-1	1	7,84	8,26	5,36	5,32
			A-L-0-28-h-2	2	7,76	8,17	5,28	
	4%	7	A-L-4-7-h-1	1	7,48	7,86	5,08	5,08
			A-L-4-7-h-2	2	7,55	7,93	5,09	

Lanjutan Tabel 5.44 Rekapitulasi Hasil Pengujian Absorpsi Beton

Agregat Limbah	Kadar Damdex	Umur Uji	Kode Benda Uji	No. Sampel	Berat Kering Oven (kg)	Berat Kering Permukaan (kg)	Absorpsi (%)	Absorpsi Rerata (%)
100%	4%	14	A-L-4-14-h-1	1	7,40	7,74	4,53	4,54
			A-L-4-14-h-2	2	7,48	7,82	4,55	
		28	A-L-4-28-h-1	1	7,92	8,25	4,17	4,20
			A-L-4-28-h-2	2	7,77	8,09	4,22	
	5%	7	A-L-5-7-h-1	1	7,61	7,93	4,26	4,23
			A-L-5-7-h-2	2	7,34	7,65	4,21	
		14	A-L-5-14-h-1	1	7,57	7,88	4,15	4,12
			A-L-5-14-h-2	2	7,82	8,14	4,09	
		28	A-L-5-28-h-1	1	7,36	7,65	3,98	3,94
			A-L-5-28-h-2	2	7,38	7,67	3,90	
	6%	7	A-L-6-7-h-1	1	7,40	7,66	3,46	3,43
			A-L-6-7-h-2	2	7,58	7,84	3,40	
		14	A-L-6-14-h-1	1	7,15	7,39	3,39	3,37
			A-L-6-14-h-2	2	7,22	7,46	3,35	
		28	A-L-6-28-h-1	1	7,34	7,58	3,26	3,27
			A-L-6-28-h-2	2	7,29	7,53	3,29	

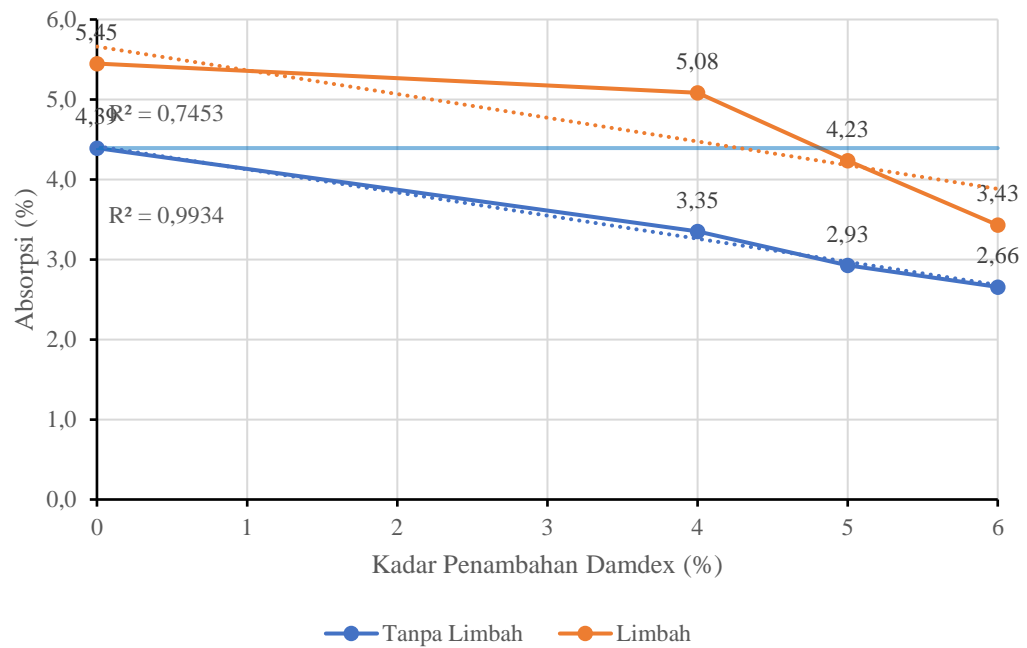
Berdasarkan Tabel 5.44 di atas, diperoleh nilai absorpsi beton tanpa agregat limbah rata-rata pada penambahan Damdex sebanyak 0%, 4%, 5% dan 6% untuk umur uji 7 hari secara berturut-turut sebesar 4,39%, 3,35%, 2,93% dan 2,66%. Untuk umur uji 14 hari secara berturut-turut sebesar 4,20%, 3,25%, 2,83% dan 2,56%. Untuk umur uji 28 hari secara berturut-turut sebesar 4,18%, 3,18%, 2,75% dan 2,52%

Sedangkan, pada beton dengan agregat limbah nilai absorpsi untuk umur uji 7 hari secara berturut-turut sebesar 5,45%, 5,08%, 4,23% dan 3,43%. Pada umur uji 14 hari secara berturut-turut sebesar 5,37%, 4,54%, 4,12% dan 3,37%. Pada umur uji 28 hari secara berturut-turut sebesar 5,32%, 4,20%, 3,94% dan 3,27%.

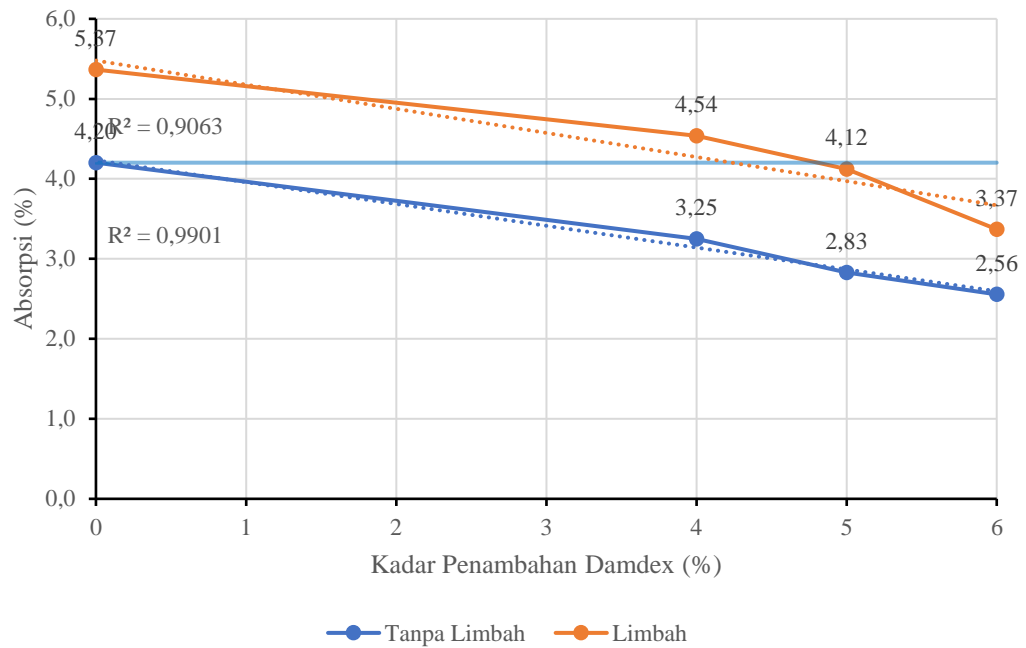
5.6.1 Hubungan Absorpsi Beton dengan Variasi Penambahan Beton

Adapun grafik hubungan absorpsi beton tanpa agregat limbah dan beton dengan agregat limbah dengan kadar penambahan Damdex pada campuran beton

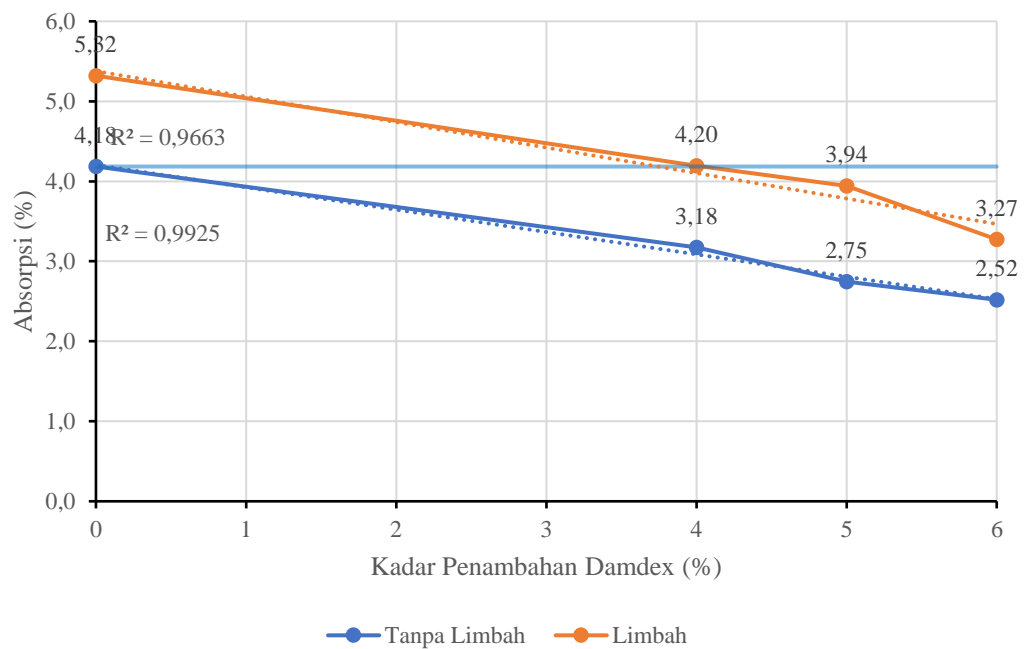
untuk masing-masing umur uji dapat dilihat pada Gambar 5.21, Gambar 5.22 dan Gambar 5.23 sebagai berikut.



Gambar 5. 21 Hubungan Absorpsi Beton dengan Kadar Penambahan Damdex pada Umur Beton 7 Hari



Gambar 5. 22 Hubungan Absorpsi Beton dengan Kadar Penambahan Damdex pada Umur Beton 14 Hari



Gambar 5. 23 Hubungan Absorpsi Beton dengan Kadar Penambahan Damdex pada Umur Beton 28 Hari

Pada Gambar 5.21, Gambar 5.22 dan Gambar 5.23 di atas, dapat dilihat bahwa penambahan Damdex pada campuran beton baik pada beton tanpa agregat limbah maupun beton dengan agregat limbah memengaruhi nilai absorpsi pada beton. Nilai koefisien korelasi antara kadar penambahan Damdex dan absorpsi beton tanpa agregat limbah pada umur beton 7 hari, 14 hari dan 28 hari secara berturut-turut adalah 0,9934, 0,9901 dan 0,9925. Berdasarkan Tabel 3.8, kadar penambahan Damdex dan absorpsi beton tanpa limbah berada pada interval 0,80 – 1,00 yang mana hubungan antara keduanya sangat kuat. Sedangkan, nilai koefisien korelasi antara kadar penambahan Damdex dan absorpsi beton agregat limbah pada umur beton 7 hari, 14 hari dan 28 hari secara berturut-turut adalah 0,7453, 0,9063 dan 0,9663. Berdasarkan Tabel 3.8, hubungan antara kadar penambahan Damdex dan absorpsi beton agregat limbah pada umur beton 7 hari berada pada interval 0,60 – 0,799 atau kuat kemudian hubungannya meningkat menjadi sangat kuat di umur beton 14 hari dan 28 hari.

Nilai absorpsi pada beton tanpa agregat limbah maupun dengan agregat limbah menurun seiring dengan meningkatnya kadar Damdex dalam campuran beton. Adapun persentase penurunan absorpsi beton tanpa agregat limbah dan beton dengan agregat limbah pada variasi Damdex 4%, 5% dan 6% dapat dilihat berturut-turut pada Tabel 5.44 dan Tabel 5.45 sebagai berikut.

Tabel 5. 44 Persentase Penurunan Absorpsi Beton dengan Penambahan Damdex terhadap Beton Tanpa Limbah

Variasi Kadar Damdex	Persentase Penurunan Absorpsi Beton pada Umur Beton Tertentu (%)		
	7 Hari	14 Hari	28 Hari
4%	-23,70	-22,70	-24,11
5%	-33,37	-32,65	-34,38
6%	-39,52	-39,18	-39,81

Tabel 5. 45 Persentase Penurunan Absorpsi Beton dengan Penambahan Damdex terhadap Beton Limbah

Variasi Kadar Damdex	Persentase Penurunan Absorpsi Beton pada Umur Beton Tertentu (%)		
	7 Hari	14 Hari	28 Hari
4%	-6,70	-15,46	-21,15
5%	-22,29	-23,20	-25,91
6%	-37,05	-37,21	-38,46

Berdasarkan Tabel 5.44 dan Tabel 5.45 di atas, persentase penurunan absorpsi tertinggi beton tanpa agregat limbah maupun beton dengan agregat limbah terjadi pada penambahan Damdex sebanyak 6%.

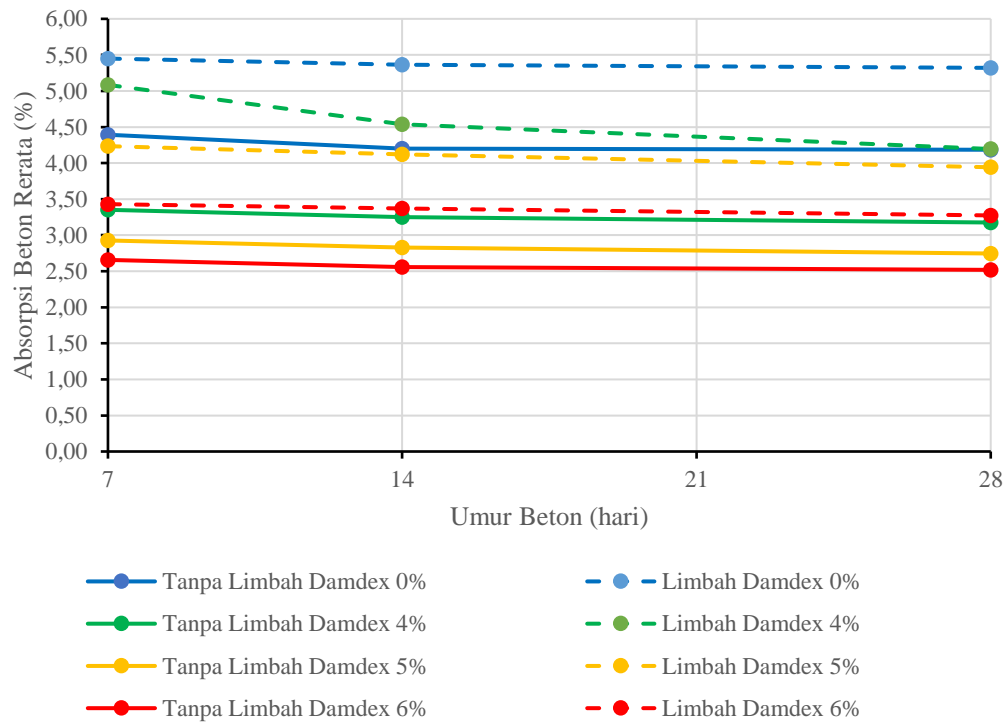
Adapun perbandingan persentase penurunan absorpsi beton dengan penambahan Damdex pada beton tanpa agregat limbah pada penelitian ini dengan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 5.46 sebagai berikut.

Tabel 5. 46 Perbedaan Persentase Penurunan Absorpsi Beton Tanpa Agregat Limbah Penulis dengan Penelitian Terdahulu

Variasi Kadar Damdex	Penulis			Akbar (2022)		
	Persentase Penurunan Absorpsi Beton pada Umur Beton Tertentu (%)			Persentase Penurunan Absorpsi Beton pada Umur Beton Tertentu (%)		
	7 Hari	14 Hari	28 Hari	7 Hari	14 Hari	28 Hari
5%	-33,37	-32,65	-34,38	-36,33	-32,33	-33,03
6%	-39,52	-39,18	-39,81	-37,46	-36,89	-33,32

5.6.2 Hubungan Absorpsi Beton dengan Umur Beton

Adapun grafik hubungan antara absorpsi beton dengan umur beton dapat dilihat pada Gambar 5.24 sebagai berikut.



Gambar 5. 24 Hubungan Absorpsi Beton dengan Umur Beton

Berdasarkan Gambar 5.24 di atas, dapat diketahui absorpsi beton tidak dipengaruhi oleh umur beton. Nilai absorpsi pada beton tanpa agregat limbah maupun beton dengan agregat limbah dengan atau tanpa penambahan Damdex cenderung tetap dari umur 7 hari hingga umur 28 hari. Hasil ini juga sesuai dengan penelitian Akbar (2022) dimana perbedaan absorpsi pada beton umur 14 hari dan 28 hari tidak signifikan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis data dan pembahasan pada bab sebelumnya, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Penggunaan limbah beton sebagai agregat pada beton sebanyak 100% menurunkan kuat tekan beton hingga 31,70% dan meningkatkan absorpsi beton hingga 27,687%.
2. Kadar Damdex yang mampu meningkatkan kuat tekan beton dengan agregat limbah hingga memenuhi mutu beton tanpa agregat limbah dan tanpa Damdex adalah sebanyak 6% dari berat semen dengan hasil sebagai berikut.
 - a. Pada umur beton 7 hari, kuat tekan beton agregat limbah dengan penambahan Damdex sebanyak 6% adalah 27,642 MPa atau 35,128% lebih tinggi dari kuat tekan beton agregat limbah tanpa Damdex dan 2,603% lebih tinggi dari kuat tekan beton tanpa agregat limbah dan tanpa Damdex.
 - b. Pada umur beton 14 hari, kuat tekan beton agregat limbah dengan penambahan Damdex sebanyak 6% adalah 27,574 MPa atau 35,170% lebih tinggi dari kuat tekan beton agregat limbah tanpa Damdex dan 2,732% lebih tinggi dari kuat tekan beton tanpa agregat limbah dan tanpa Damdex.
 - c. Pada umur beton 28 hari, kuat tekan beton agregat limbah dengan penambahan Damdex sebanyak 6% adalah 27,187 MPa atau 31,956% lebih tinggi dari kuat tekan beton agregat limbah tanpa Damdex dan 1,556% lebih tinggi dari kuat tekan beton tanpa agregat limbah dan tanpa Damdex.

3. Nilai absorpsi beton agregat limbah dapat diturunkan dengan penambahan Damdex sebanyak 4% - 6% dari berat semen. Adapun nilai absorpsi terendah terjadi pada beton dengan penambahan Damdex sebanyak 6% dari berat semen dengan hasil sebagai berikut.
 - a. Pada umur beton 7 hari, absorpsi beton agregat limbah dengan penambahan Damdex sebanyak 6% adalah 3,43% atau 37,054% lebih rendah dari absorpsi beton agregat limbah tanpa Damdex dan 21,915% lebih rendah dari absorpsi beton tanpa agregat limbah dan tanpa Damdex.
 - b. Pada umur beton 14 hari, absorpsi beton agregat limbah dengan penambahan Damdex sebanyak 6% adalah 3,37% atau 37,211% lebih rendah dari absorpsi beton agregat limbah tanpa Damdex dan 19,826% lebih rendah dari absorpsi beton tanpa agregat limbah dan tanpa Damdex.
 - c. Pada umur beton 28 hari, absorpsi beton agregat limbah dengan penambahan Damdex sebanyak 6% adalah 3,27% atau 38,464% lebih rendah dari absorpsi beton agregat limbah tanpa Damdex dan 21,764% lebih rendah dari absorpsi beton tanpa agregat limbah dan tanpa Damdex.
4. Penambahan Damdex pada campuran beton dengan agregat limbah memengaruhi pertumbuhan kekuatan beton terkait dengan usia beton. Persentase peningkatan kuat tekan tertinggi pada umur 7 hari yaitu sebesar 1,322% dari PBI dan 1,785% dari beton agregat limbah tanpa Damdex diperoleh dengan penambahan Damdex sebanyak 4% dari berat semen. Sedangkan, pada umur 14 hari yaitu sebesar 1,250% dari PBI dan 2,122% dari beton agregat limbah tanpa Damdex diperoleh dengan penambahan Damdex sebanyak 6% dari berat semen.
5. Penggunaan bahan tambah *waterproofing* Damdex pada beton sebanyak 4% hingga 6% dapat meningkatkan kuat tekan dan menurunkan absorpsi beton dengan agregat limbah.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa hal yang dapat dijadikan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya tentang pengaruh penggunaan limbah beton dan bahan tambah *waterproofing* Damdex pada campuran beton terhadap mutu beton.

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait dengan pengaruh penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat dengan limbah beton dengan mutu rencana lain atau dengan kuat tekan aktual hasil pengujian.
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait dengan pengaruh penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat halus.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh penambahan Damdex dengan kadar di atas 6% pada beton dengan agregat limbah.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait dengan pengaruh penambahan Damdex pada agregat limbah dengan pengujian beton lain seperti kuat tarik belah dan kuat lentur.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, P dan Purwono R. 2010. *Pengendalian Mutu Beton Sesuai SNI, ACI dan ASTM*. 1. ITS Press. Surabaya.
- Akbar, M K. 2021. Pengaruh Variasi Kadar Bahan Tambah *Waterproofing* Damdex Terhadap Kuat Tekan dan Absorpsi Beton. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Alsaman, A. 2022. Examining Mechanical Properties of Recycled Aggregate Concrete. *2nd International Multi-Disiplinary Conference Theme: Integrated Sciences and Technologies*. Turkey.
- Antoni, Nugraha P. 2007. *Teknologi Beton: Dari Material, Pembuatan, Ke Beton Kinerja Tinggi*. First Ed. Andi. Yogyakarta.
- Ashari, F. 2022. Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Bekas Sebagai Pengganti Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan dan Penyerapan Air Pada Beton. *Tugas Akhir*. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- ASTM C-150. 1985. *Standard Specification for Portland Cement*. American Society for Testing and Material. USA.
- ASTM C-33. 2003. *Standard Specification for Concrete Aggregates*, American Society for Testing and Material. USA.
- DPU Kabupaten Kulon Progo. 2022. *Kuat Tekan Beton*. <https://dpu.kulonprogokab.go.id/detil/671/kuat-tekan-beton>. Diakses 4 Februari 2023.
- Fitrawansyah D, Lakawa I dan Sulaiman. 2020. Pengaruh Penambahan Admixture Terhadap Kuat Tekan Beton Dari Berbagai Merek Semen. *Sultra Civil Engineering Journal (SciEJ)*. 1 (2). 27-43.
- Harianja, J A. 2008. Penggunaan *Damdex* Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran Beton. *Majalah Ilmiah UKRIM*. XIII (2). 1-15.
- Kang, M dan Weibin, L. 2018. Effect of the Aggregate Size on Strength Properties of Recycled Aggregate Concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*. (6). 1-8.
- Kementerian Komunikasi dan Informatika. 2022. *Pembangunan Infrastruktur Masif Di Era Kabinet Indonesia Maju*. https://www.kominfo.go.id/content/detail/44406/pembangunan-infrastruktur-masif-di-era-kabinet-indonesia-maju/0/berita_satker. Diakses 20 Oktober 2022.

- Kusumawardhana, I. 2018. Pengaruh Penggunaan Agregat Kasar Beton Limbah Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton Normal. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Matar, P dan Barhoun, J. 2020. Effects of Waterproofing Admixture on The Compressive Strength and Permeability of Recycled Aggregate Concrete. *Journal of Building Engineering*. 32 (101521). 1-7.
- Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton*. First Ed. Andi. Yogyakarta.
- Nixon, P.J. 1978. Recycled Concrete as an Aggregate for Concrete-a Review. *Materials and Structures*. 11. 371-378.
- Peraturan Beton Bertulang Indonesia. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 (Cetakan ke 7)*. Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. Jakarta.
- SK SNI S-04-1989-F. 1989. *Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam)*. Badan Standarisasi Nasional. Bandung.
- SNI 03-2495. 1991. *Spesifikasi Bahan Tambah Untuk Beton*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-2834. 2000. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 15-2049. 2004. *Semen Portland*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1969. 2016. *Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1970. 2016. *Metode Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1972. 2008. *Cara Uji Slump Beton*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 1974. 2011. *Cara Uji Kuat Tekan Beton Dengan Benda Uji Silinder*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 2847. 2019. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 6433. 2016. *Metode Uji Densitas, Penyerapan, dan Rongga Dalam Beton Keras*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 7974. 2013. *Spesifikasi Air Pencampur yang Digunakan Dalam Produksi Beton Semen Hidraulis*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- SNI No. 1737-1989-F. 1989. *Petunjuk Pelaksanaan Lapisan Aspal Beton Untuk Pekerjaan Jalan Raya*. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Sugiyono. 2013. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Alfabeta. Bandung.

- González-Taboada, I. dkk. 2016. Study of Recycled Concrete Aggregate Quality and its Relationship with Recycled Concrete Compressive Strength Using Database Analysis. *Materiales de Construcción*. 66 (323).
- Tjokrodinuljo, K. 1992. *Teknologi Beton*. Fakultas Teknik UGM. Yogyakarta.
- Topçu, I.B. 1997. Physical and Mechanical Properties of Concretes Produced with Waste Concrete. *Cement and Concrete Research*. 27 (12). 1817-1823.
- Transparency Market Research. 2017. *Construction Waste Market – Global Industri Analysis, Size, Share, Growth, Trends, and Forecast 2017 – 2025*. <https://www.transparencymarketresearch.com/construction-waste-market.html>. Diakses 20 Oktober 2022.



LAMPIRAN



Lampiran 1 Surat Izin Penggunaan Laboratorium

	FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN Gedung #11. Mah. Natsir Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia Jl. Kalucang km 14,5, Yogyakarta 55584 T. (0274) 898444 ext 3700, 3701 F. (0274) 895330 E. dekanat@itsppuii.ac.id W. Itsppuii.ac.id
Nomor : 302 /Sek. Prodi PSTS/20/TA/X/2022 Hal : Permohonan Izin Pemakalan Laboratorium	
Kepada Yth: Kepala Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia	
Assalamu'alaikum Wr.Wb.	
Yang bertanda tangan dibawah ini:	
Nama	: RAIHAN PRASETYAWAN ARDIANSYAH
NIM	: 19511088
Judul Tugas Akhir	: PENGARUH PENGGUNAAN BAHAN TAMBAH <i>WATERPROOFING</i> DAMDEX DAN AGREGAT LIMBAH BETON TERHADAP KUAT TEKAN DAN ABSORPSI BETON
Dosen Pembimbing	: NOVI RAHMAYANTI, S.T., M. ENG
Sehubungan dengan penelitian yang kami lakukan untuk proses pendukung penyelesaian penyusunan Tugas Akhir, melalui surat ini kami mengajukan permohonan izin meminjam peralatan beserta fasilitas di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.	
Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.	
Wassalamu'alaikum Wr. Wb.	
 Sekretaris Program Sarjana Teknik Sipil, Dina Anggraheni, S.T., M. Eng	Yogyakarta, 5 Desember 2022 Pemohon  Raihan Prasetyawan Ardiansyah NIM. 19511088

Lampiran 2 Laporan Sementara Hasil Pemeriksaan Agregat

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR
AGREGAT HALUS
(SNI 03-1970-1990)**

Asal Pasir	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	486	488	487
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1010	1007	1008,50
Berat piknometer berisi air, gram (B)	698	703	700,50
Berat Jenis Curah, $Bk / (B+500-Bt)$	2,59	2,49	2,54
Berat Jenis jenuh kering muka (SSD), $500 / (B+500-Bt)$	2,66	2,55	2,61
Berat Jenis semu, $Bk / (B+Bk-Bt)$	2,79	2,65	2,72
Penyerapan Air $(500-Bk)/Bk \times 100\%$	2,88	2,46	2,67

Yogyakarta, 15 Desember 2022

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Raihan Prasetyawan Ardiansyah)

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN
AGREGAT HALUS
(SNI 03-1968-1990)**

Asal Kerikil	Progo
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	1

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,8	15	0,75	0,75	99,25
2,4	97	4,85	5,60	94,40
1,2	227	11,36	16,96	83,04
0,6	523	26,16	43,12	56,88
0,3	561	28,06	71,19	28,81
0,15	419	20,96	92,15	7,85
Pan	157	7,85	-	-
Jumlah	1999	100	229,76	670,24

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{229,76}{100} \\ &= 2,30 \end{aligned}$$

GRADASI AGREGAT HALUS

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Saringan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100 - 100	100 - 100	100 - 100	100 - 100
4,8	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2,4	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1,2	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0,6	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0,3	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0,15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

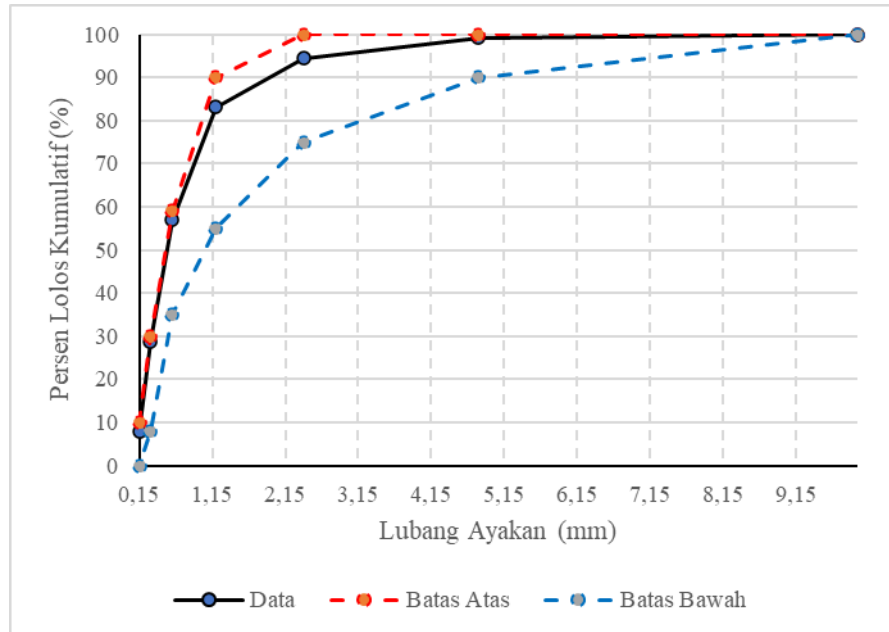
Keterangan :

Daerah I : Pasir Kasar
 Daerah II : Pasir Agak Kasar
 Daerah III : Pasir Agak Halus
 Daerah IV : Pasir Halus

Hasil Analisa Saringan :

Pasir Masuk Daerah : Daerah II
 Jenis Pasir : Pasir Agak Kasar

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



Yogyakarta, 15 Desember 2022

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Raihan Prasetyawan Ardiansyah)

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN
AGREGAT HALUS
(SNI 03-1968-1990)**

Asal Kerikil	Progo
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	0	0	0	100
10	0	0	0	100
4,8	18	0,90	0,90	99,10
2,4	94	4,70	5,61	94,39
1,2	229	11,46	17,07	82,93
0,6	520	26,03	43,09	56,91
0,3	564	28,23	71,32	28,68
0,15	425	21,27	92,59	7,41
Pan	148	7,41	-	-
Jumlah	1998	100	230,58	669,42

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{230,58}{100} \\ &= 2,31 \end{aligned}$$

GRADASI AGREGAT HALUS

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Saringan			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10	100 - 100	100 - 100	100 - 100	100 - 100
4,8	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2,4	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1,2	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0,6	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 100
0,3	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0,15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

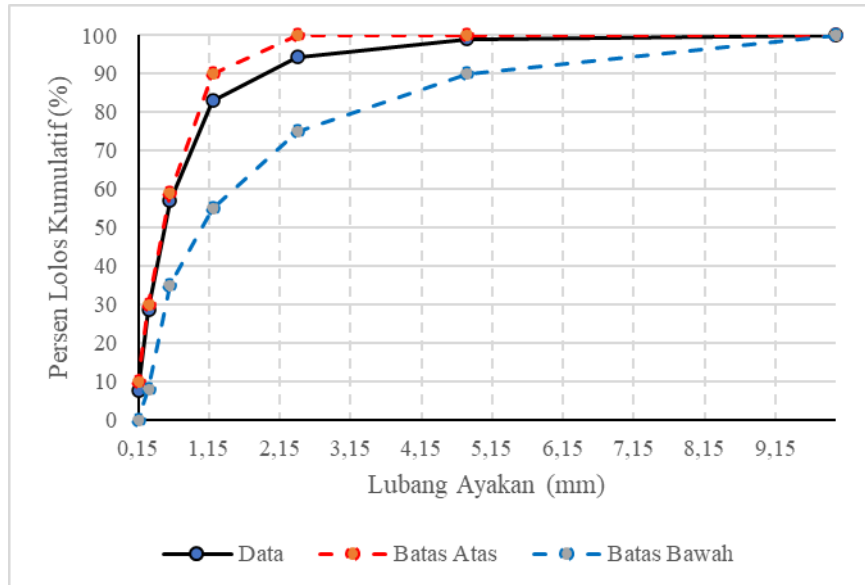
Keterangan :

Daerah I : Pasir Kasar
 Daerah II : Pasir Agak Kasar
 Daerah III : Pasir Agak Halus
 Daerah IV : Pasir Halus

Hasil Analisa Saringan :

Pasir Masuk Daerah : Daerah II
 Jenis Pasir : Pasir Agak Kasar

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS



Yogyakarta, 15 Desember 2022

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Raihan Prasetyawan Ardiansyah)

**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR
AGREGAT HALUS**

Asal Kerikil	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengukuran
Diameter Silinder	14,91 cm
Tinggi Silinder	30,13 cm

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10956	10956	10956
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	17484	17557	17520,50
Berat Agregat (W3), gram	6528	6601	6564,50
Volume Tabung (V), cm ³	5263,35	5263,35	5263,35
Berat Volume Gembur (W3/V), gram/cm ³	1,24	1,25	1,25

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat agregat}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{6564,50}{5263,35} \\
 &= 1,25 \quad \text{gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Yogyakarta, 15 Desember 2022

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Raihan Prasetyawan Ardiansyah)

**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT
AGREGAT HALUS**

Asal Kerikil	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengukuran
Diameter Silinder	14,91 cm
Tinggi Silinder	30,13 cm

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10956	10956	10956
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	18660	18568	18614
Berat Agregat (W3), gram	7704	7612	7658
Volume Tabung (V), cm ³	5263,35	5263,35	5263,35
Berat Volume Gembur (W3/V), gram/cm ³	1,46	1,45	1,45

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Padat} &= \frac{\text{Berat agregat}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{7658,00}{5263,35} \\
 &= 1,45 \quad \text{gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Yogyakarta, 15 Desember 2022

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Raihan Prasetyawan Ardiansyah)

**PEMERIKSAAN BUTIRAN YANG LOLOS AYAKAN NO. 200/UJI
KANDUNGAN LUMPUR DALAM PASIR
AGREGAT HALUS
(SNI 03-4142-1996)**

Asal Kerikil	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata- rata
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah di cuci (W2), gram	493	494	494
Berat yang Lolos Ayakan No. 200 $[(W1-W2/W1)] \times 100$	1,40%	1,20%	1,30%

Yogyakarta, 15 Desember 2022

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Raihan Prasetyawan Ardiansyah)

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR
AGREGAT KASAR ASLI
(SNI 03-1970-1990)**

Asal Pasir	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Kerikil kering mutlak (Bk)	4886,00	4888	4887
Berat kerikil Jenuh kering muka (Bj)	5000	5000	5000
Berat piknometer berisi pasir dan air (Ba)	3102	3141	3121,50
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,57	2,63	2,60
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2,63	2,69	2,66
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,74	2,80	2,77
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	2,33	2,29	2,31

Yogyakarta, 15 Desember 2022

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Raihan Prasetyawan Ardiansyah)

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN
AGREGAT KASAR ASLI
(SNI 03-1968-1990)**

Asal Kerikil	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	1

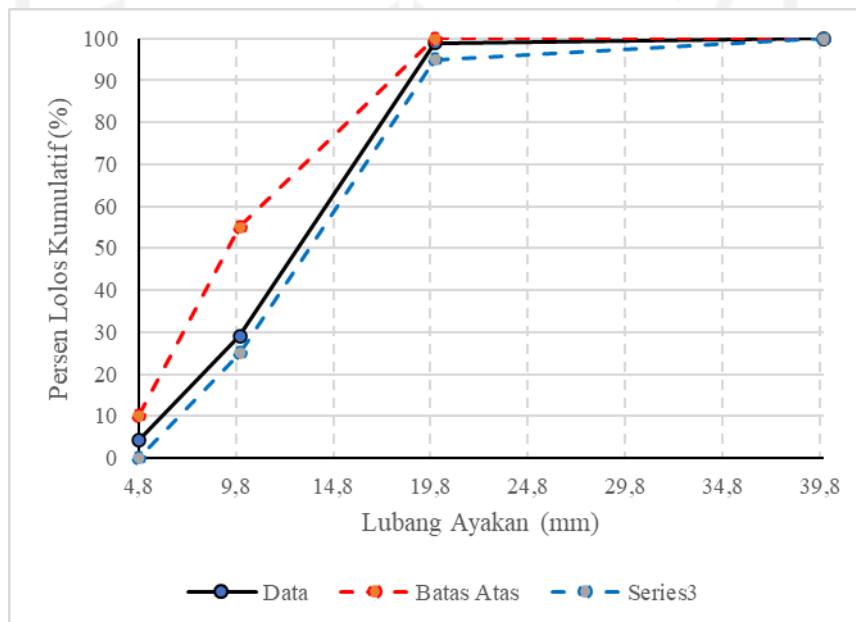
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	54	1	1	99
10	3485	70	71	29
4,8	1245	24,92	95,76	4,24
2,4	64	1,28	97,04	2,96
1,2	5	0,10	97,14	2,86
0,6	0	0,00	97,14	2,86
0,3	0	0,00	97,14	2,86
0,15	0	0,00	97,14	2,86
Pan	143	2,86	-	-
Jumlah	4996	100	653,26	246,74

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{653,26}{100} \\ &= 6,53 \end{aligned}$$

GRADASI AGREGAT KASAR

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Saringan/Besar Butiran Maksimum					
	40 mm			20 mm		
40	95	-	100	100	-	100
20	30	-	70	95	-	100
10	10	-	35	25	-	55
4,8	0	-	5	0	-	10

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR ASLI



Yogyakarta, 15 Desember 2022

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Raihan Prasetyawan Ardiansyah)

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN
AGREGAT KASAR ASLI
(SNI 03-1968-1990)**

Asal Kerikil	Clereng
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	2

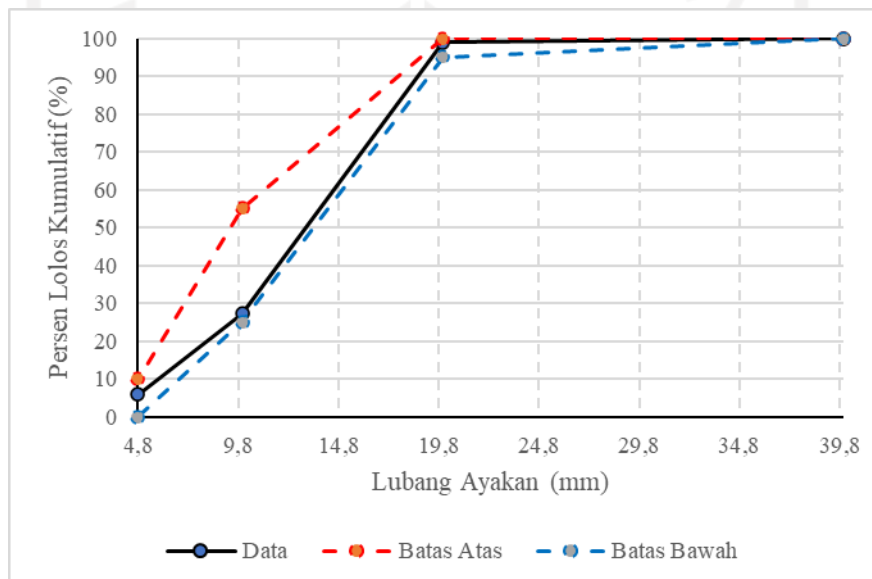
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	56	1	1	98,88
10	3583	72	73	27,21
4,8	1070	21,40	94,20	5,80
2,4	75	1,50	95,70	4,30
1,2	19	0,38	96,08	3,92
0,6	0	0,00	96,08	3,92
0,3	0	0,00	96,08	3,92
0,15	0	0,00	96,08	3,92
Pan	196	3,92	-	-
Jumlah	4999	100	648,13	251,87

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{648,13}{100} \\ &= 6,48 \end{aligned}$$

GRADASI AGREGAT KASAR

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Saringan/Besar Butiran Maksimum					
	40 mm			20 mm		
40	95	-	100	100	-	100
20	30	-	70	95	-	100
10	10	-	35	25	-	55
4,8	0	-	5	0	-	10

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR ASLI



Yogyakarta, 15 Desember 2022

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Raihan Prasetyawan Ardiansyah)

**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR
AGREGAT KASAR ASLI**

Asal Kerikil	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengukuran
Diameter Silinder	14,91 cm
Tinggi Silinder	30,13 cm

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10956	10956	10956
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	18231	18066	18148,50
Berat Agregat (W3), gram	7275	7110	7192,50
Volume Tabung (V), cm ³	5263,35	5263,35	5263,35
Berat Volume Gembur (W3/V), gram/cm ³	1,38	1,35	1,37

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat agregat}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{7192,50}{5263,35} \\
 &= 1,37 \quad \text{gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Yogyakarta, 15 Desember 2022

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Raihan Prasetyawan Ardiansyah)

**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT
AGREGAT KASAR ASLI**

Asal Kerikil	Progo
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengukuran
Diameter Silinder	14,91 cm
Tinggi Silinder	30,13 cm

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10956	10956	10956
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	19122	19115	19119
Berat Agregat (W3), gram	8166	8159	8163
Volume Tabung (V), cm ³	5263,35	5263,35	5263,35
Berat Volume Gembur (W3/V), gram/cm ³	1,55	1,55	1,55

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Padat} &= \frac{\text{Berat agregat}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{8162,50}{5263,35} \\
 &= 1,55 \quad \text{gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Yogyakarta, 15 Desember 2022

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Raihan Prasetyawan Ardiansyah)

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AIR
AGREGAT KASAR LIMBAH
(SNI 03-1970-1990)**

Asal Kerikil	Sample Pengujian Beton LAB BKT JTS FTSP UII
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Kerikil kering mutlak (Bk)	4705,00	4650	
Berat kerikil Jenuh kering muka (Bj)	5000	5000	5000
Berat piknometer berisi pasir dan air (Ba)	2970	2957	2963,50
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,32	2,28	2,30
Berat Jenis jenuh kering muda (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2,46	2,45	2,46
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,71	2,75	2,73
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	6,27	7,53	6,90

Yogyakarta, 15 Desember 2022

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Raihan Prasetyawan Ardiansyah)

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN
AGREGAT KASAR LIMBAH
(SNI 03-1968-1990)**

Asal Kerikil	Sample Pengujian Beton LAB BKT JTS FTSP UII
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	1

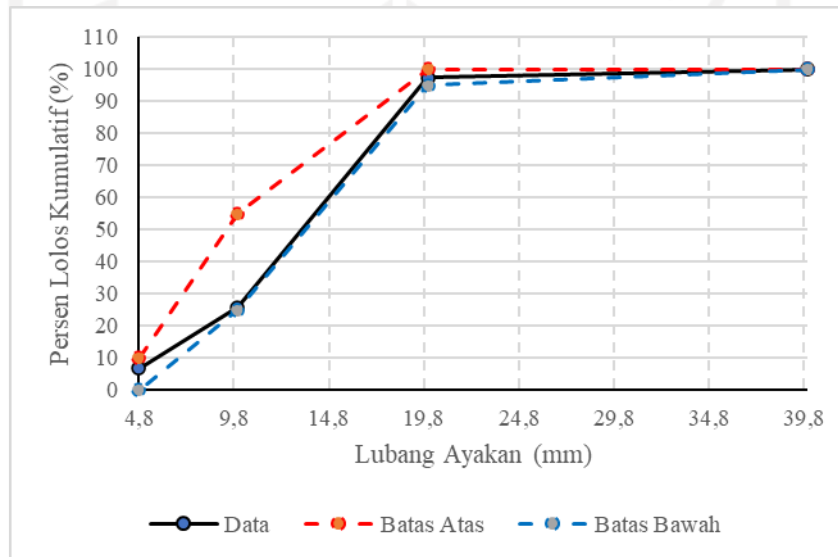
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	129	2,58	2,58	97,42
10	3581	71,71	74,29	25,71
4,8	952	19,06	93,35	6,65
2,4	106	2,12	95,47	4,53
1,2	30	0,60	96,08	3,92
0,6	0	0,00	96,08	3,92
0,3	0	0,00	96,08	3,92
0,15	0	0,00	96,08	3,92
Pan	196	3,92	-	-
Jumlah	4994	100	650,00	250,00

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{650,00}{100} \\ &= 6,50 \end{aligned}$$

GRADASI AGREGAT KASAR

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Saringan/Besar Butiran Maksimum					
	40 mm			20 mm		
40	95	-	100	100	-	100
20	30	-	70	95	-	100
10	10	-	35	25	-	55
4,8	0	-	5	0	-	10

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR ASLI



Yogyakarta, 15 Desember 2022

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Raihan Prasetyawan Ardiansyah)

**PEMERIKSAAN MODULUS HALUS BUTIR (MHB) / ANALISA SARINGAN
AGREGAT KASAR LIMBAH
(SNI 03-1968-1990)**

Asal Kerikil	Sample Pengujian Beton LAB BKT JTS FTSP UII
Keperluan	Tugas Akhir
Sampel	2

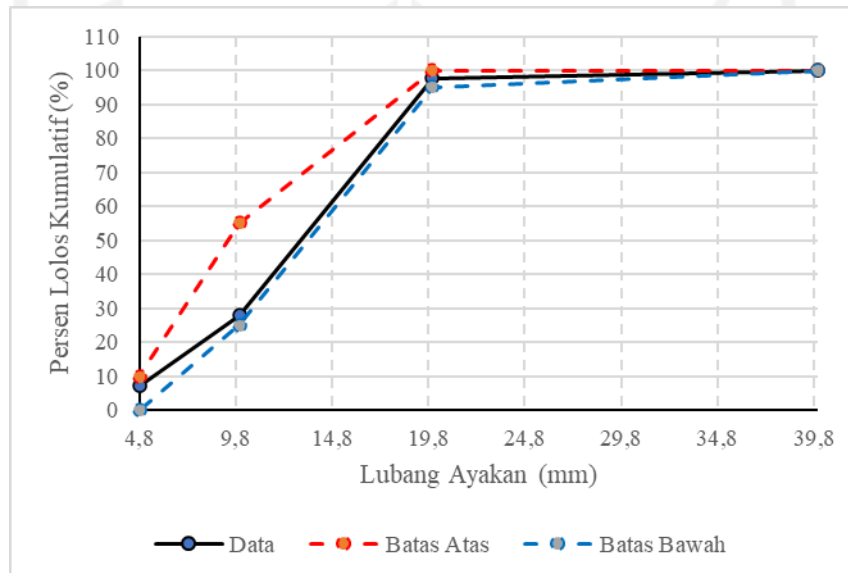
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0	0	100
20	114	2	2,28	97,72
10	3492	70	72,18	27,82
4,8	1033	20,68	92,85	7,15
2,4	158	3,16	96,02	3,98
1,2	37	0,74	96,76	3,24
0,6	0	0,00	96,76	3,24
0,3	0	0,00	96,76	3,24
0,15	0	0,00	96,76	3,24
Pan	162	3,24	-	-
Jumlah	4996	100	650,36	249,64

$$\begin{aligned} \text{Modulus Halus Butir} &= \frac{650,36}{100} \\ &= 6,50 \end{aligned}$$

GRADASI AGREGAT KASAR

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Saringan/Besar Butiran Maksimum					
	40 mm			20 mm		
40	95	-	100	100	-	100
20	30	-	70	95	-	100
10	10	-	35	25	-	55
4,8	0	-	5	0	-	10

GAMBAR ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR ASLI



Yogyakarta, 15 Desember 2022

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Raihan Prasetyawan Ardiansyah)

**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME GEMBUR
AGREGAT KASAR LIMBAH**

Asal Kerikil	Sample Pengujian Beton LAB BKT JTS FTSP UII
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengukuran
Diameter Silinder	14,91 cm
Tinggi Silinder	30,13 cm

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10956	10956	10956
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	17458	17649	17553,50
Berat Agregat (W3), gram	6502	6693	6597,50
Volume Tabung (V), cm ³	5263,35	5263,35	5263,35
Berat Volume Gembur (W3/V), gram/cm ³	1,24	1,27	1,25

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Gembur} &= \frac{\text{Berat agregat}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{6597,50}{5263,35} \\
 &= 1,25 \quad \text{gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Yogyakarta, 15 Desember 2022

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Raihan Prasetyawan Ardiansyah)

**PEMERIKSAAN BERAT VOLUME PADAT
AGREGAT KASAR LIMBAH**

Asal Kerikil	Sample Pengujian Beton LAB BKT JTS FTSP UII
Keperluan	Tugas Akhir

Uraian	Hasil Pengukuran
Diameter Silinder	14,91 cm
Tinggi Silinder	30,13 cm

Uraian	Hasil Pengamatan		
	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Tabung (W1), gram	10956	10956	10956
Berat Tabung + Agregat kering tungku (W2), gram	18469	18402	18436
Berat Agregat (W3), gram	7513	7446	7480
Volume Tabung (V), cm ³	5263,35	5263,35	5263,35
Berat Volume Gembur (W3/V), gram/cm ³	1,43	1,41	1,42

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Volume Padat} &= \frac{\text{Berat agregat}}{\text{Volume Tabung}} \\
 &= \frac{7479,50}{5263,35} \\
 &= 1,42 \quad \text{gram/cm}^3
 \end{aligned}$$

Yogyakarta, 15 Desember 2022

Diperiksa oleh :
Laboran

Dikerjakan oleh:

(.....)

(Raihan Prasetyawan Ardiansyah)

Lampiran 3 Laporan Sementara Hasil Perencanaan Campuran

Formulir Perencanaan Campuran Beton (SNI 2834-2000)			
No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kuat tekan beton yang disyaratkan	25	MPa
2	Standar deviasi	-	
3	Nilai tambah / Margin (M)	12	MPa
4	Kuat tekan beton rerata yang ditargetkan	37	MPa
5	Jenis semen	Tipe I	
6	Jenis agregat halus	Alami	
7	Jenis agregat kasar	Batu pecah	
8	Faktor air semen bebas (FAS)	0,5	
9	Faktor air semen maksimum	0,6	
10	FAS digunakan	0,5	
11	<i>Slump</i>	10 ± 2	cm
12	Ukuran agregat maksimum	20	mm
13	Kadar air bebas	205	kg/m ³
14	Kadar semen	410	kg/m ³
15	Kadar semen maksimum	-	kg/m ³
16	Kadar semen minimum	275	kg/m ³
17	Kadar semen digunakan	410	kg/m ³
18	FAS disesuaikan	-	
19	Susunan besar butir agregat halus	Gradasi II	
20	Berat jenis agregat halus (SSD)	2,61	
21	Berat jenis agregat kasar (SSD)	2,66	
22	Persentase agregat halus	41,50	%
23	Persentase agregat kasar	58,50	%
24	Berat jenis relatif agregat gabungan (SSD)	2,64	
25	Berat isi beton	2370,06	kg/m ³
26	Kadar agregat gabungan	1755,06	kg/m ³
27	Kadar agregat halus	728,35	kg/m ³
28	Kadar agregat kasar	1026,71	kg/m ³
29	Kadar semen dengan angka penyusutan	512,50	kg/m ³
30	Kadar air dengan angka penyusutan	256,25	kg/m ³
31	Kadar agregat halus dengan angka penyusutan	910,44	kg/m ³
32	Kadar agregat kasar dengan angka penyusutan	1283,39	kg/m ³

Lampiran 4 Laporan Sementara Hasil Pengujian Benda Uji *Trial*

Kode Benda Uji	Bentuk Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Permukaan (mm)	Tinggi (mm)	Volume (cm ³)	Berat (kg)	Berat Volume (kg/cm ³)	Beban Maksimum (kN)	Mutu Realisasi (MPa)		Konversi 28 Hari (MPa)
									3 Hari	7 Hari	
TRL-1	Silinder	149,350	17518,638	303,867	0,005	12,823	2408,831	218,3	12,461	-	31,153
TRL-2	Silinder	150,300	17742,215	302,350	0,005	12,723	2371,765	168,6	9,503	-	23,757
TRL-3	Silinder	151,217	17959,292	303,550	0,005	12,901	2366,486	230,4	12,829	-	32,073
TRL-4	Silinder	151,283	17975,130	301,633	0,005	12,884	2376,289	297	-	16,523	25,420
TRL-5	Silinder	150,300	17742,215	303,633	0,005	12,739	2364,711	313	-	17,642	27,141

Lampiran 5 Laporan Sementara Hasil Pengujian Kuat Tekan

Agregat Limbah	Kadar Damdex	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks (kN)	Kuat Tekan Umur Uji (MPa)	Kuat Tekan Umur Uji Rerata (MPa)	Angka Konversi	Kuat Tekan Terkonversi (MPa)	Kuat Tekan Terkonversi Rerata (MPa)
0%	0%	7 hari	T-TL-0-7h-1	150,02	17675,386	300	16,9728	17,512	0,65	26,112	26,941
			T-TL-0-7h-2	152,38	18237,480	320	17,5463		0,65	26,994	
			T-TL-0-7h-3	149,60	17577,337	300	17,0674		0,65	26,258	
			T-TL-0-7h-4	151,40	18002,865	320	17,7749		0,65	27,346	
			T-TL-0-7h-5	149,63	17585,170	320	18,1972		0,65	27,996	
		14 Hari	T-TL-0-14h-1	150,40	17765,832	410	23,0780	23,619	0,88	26,225	26,840
			T-TL-0-14h-2	154,10	18650,701	460	24,6640		0,88	28,027	
			T-TL-0-14h-3	150,38	17761,895	410	23,0831		0,88	26,231	
			T-TL-0-14h-4	154,12	18654,736	450	24,1226		0,88	27,412	
			T-TL-0-14h-5	150,17	17710,750	410	23,1498		0,88	26,307	
		28 Hari	T-TL-0-28h-1	150,70	17836,777	460	25,7894	26,771	1	25,789	26,771
			T-TL-0-28h-2	154,60	18771,927	540	28,7664		1	28,766	
			T-TL-0-28h-3	148,62	17347,021	450	25,9411		1	25,941	
			T-TL-0-28h-4	154,48	18743,606	510	27,2093		1	27,209	
			T-TL-0-28h-5	154,47	18739,562	490	26,1479		1	26,148	

Agregat Limbah	Kadar Damdex	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks (kN)	Kuat Tekan Umur Uji (MPa)	Kuat Tekan Umur Uji Rerata (MPa)	Angka Konversi	Kuat Tekan Terkonversi (MPa)	Kuat Tekan Terkonversi Rerata (MPa)	
	4%	7 hari	T-TL-4-7h-1	149,35	17518,638	320	18,2663	18,646	0,65	28,102	28,687	
			T-TL-4-7h-2	150,75	17848,615	340	19,0491		0,65	29,306		
			T-TL-4-7h-3	151,83	18106,067	340	18,7782		0,65	28,890		
			T-TL-4-7h-4	152,50	18265,416	350	19,1619		0,65	29,480		
			T-TL-4-7h-5	150,55	17801,287	320	17,9762		0,65	27,656		
		14 Hari	T-TL-4-14h-1	149,17	17475,655	440	25,1779	25,210	0,88	28,611	28,648	
			T-TL-4-14h-2	148,55	17331,462	410	23,6564		0,88	26,882		
			T-TL-4-14h-3	148,85	17401,535	410	23,5611		0,88	26,774		
			T-TL-4-14h-4	154,00	18626,503	480	25,7697		0,88	29,284		
			T-TL-4-14h-5	152,60	18289,379	510	27,8850		0,88	31,688		
		28 Hari	T-TL-4-28h-1	150,97	17899,958	510	28,4917	28,518	1	28,492	28,518	
			T-TL-4-28h-2	149,63	17585,170	530	30,1390		1	30,139		
			T-TL-4-28h-3	152,98	18381,380	530	28,8335		1	28,834		
			T-TL-4-28h-4	148,73	17374,268	460	26,4759		1	26,476		
			T-TL-4-28h-5	153,47	18497,712	530	28,6522		1	28,652		
		5%	7 hari	T-TL-5-7h-1	149,78	17620,445	330	18,7282	19,117	0,65	28,813	29,411
				T-TL-5-7h-2	148,78	17385,951	320	18,4057		0,65	28,316	
				T-TL-5-7h-3	154,33	18707,224	370	19,7785		0,65	30,428	
				T-TL-5-7h-4	153,90	18602,320	360	19,3524		0,65	29,773	
				T-TL-5-7h-5	149,68	17596,925	340	19,3216		0,65	29,725	

Agregat Limbah	Kadar Damdex	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks (kN)	Kuat Tekan Umur Uji (MPa)	Kuat Tekan Umur Uji Rerata (MPa)	Angka Konversi	Kuat Tekan Terkonversi (MPa)	Kuat Tekan Terkonversi Rerata (MPa)
	5%	14 Hari	T-TL-5-14h-1	148,37	17288,709	400	23,1365	25,694	0,88	26,291	29,198
			T-TL-5-14h-2	149,85	17636,133	460	26,0828		0,88	29,640	
			T-TL-5-14h-3	152,45	18253,441	470	25,7486		0,88	29,260	
			T-TL-5-14h-4	154,35	18711,265	550	29,3941		0,88	33,402	
			T-TL-5-14h-5	148,93	17421,025	420	24,1088		0,88	27,396	
		28 Hari	T-TL-5-28h-1	153,92	18606,350	570	30,6347	28,929	1	30,635	28,929
			T-TL-5-28h-2	151,30	17979,091	560	31,1473		1	31,147	
			T-TL-5-28h-3	148,25	17261,530	450	26,0695		1	26,070	
			T-TL-5-28h-4	152,98	18381,380	570	31,0096		1	31,010	
			T-TL-5-28h-5	149,07	17452,231	450	25,7847		1	25,785	
	6%	7 hari	T-TL-6-7h-1	149,68	17596,925	320	18,1850	19,193	0,65	27,977	29,527
			T-TL-6-7h-2	151,08	17927,635	350	19,5229		0,65	30,035	
			T-TL-6-7h-3	152,38	18237,480	360	19,7396		0,65	30,369	
			T-TL-6-7h-4	151,10	17931,590	350	19,5186		0,65	30,029	
			T-TL-6-7h-5	148,72	17370,374	330	18,9979		0,65	29,227	
		14 Hari	T-TL-6-14h-1	154,10	18650,701	540	28,9533	25,926	0,88	32,902	29,461
			T-TL-6-14h-2	148,72	17370,374	460	26,4819		0,88	30,093	
			T-TL-6-14h-3	151,58	18046,492	500	27,7062		0,88	31,484	
			T-TL-6-14h-4	148,52	17323,685	460	26,5532		0,88	30,174	
			T-TL-6-14h-5	149,52	17557,759	350	19,9342		0,88	22,653	

Agregat Limbah	Kadar Damdex	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks (kN)	Kuat Tekan Umur Uji (MPa)	Kuat Tekan Umur Uji Rerata (MPa)	Angka Konversi	Kuat Tekan Terkonversi (MPa)	Kuat Tekan Terkonversi Rerata (MPa)
	6%	28 Hari	T-TL-6-28h-1	148,68	17362,588	510	29,3735	29,352	1	29,374	29,352
			T-TL-6-28h-2	153,70	18554,003	550	29,6432		1	29,643	
			T-TL-6-28h-3	151,92	18125,948	520	28,6882		1	28,688	
			T-TL-6-28h-4	149,37	17522,548	520	29,6760		1	29,676	
			T-TL-6-28h-5	148,67	17358,696	510	29,3801		1	29,380	
100%	0%	7 hari	T-L-0-7h-1	151,32	17983,053	240	13,3459	13,297	0,65	20,532	20,456
			T-L-0-7h-2	152,12	18173,705	240	13,2059		0,65	20,317	
			T-L-0-7h-3	151,15	17943,460	250	13,9327		0,65	21,435	
			T-L-0-7h-4	152,17	18185,654	230	12,6473		0,65	19,457	
			T-L-0-7h-5	151,28	17975,130	240	13,3518		0,65	20,541	
		14 Hari	T-L-0-14h-1	150,62	17817,056	270	15,1540	17,951	0,88	17,220	20,399
			T-L-0-14h-2	152,85	18349,354	300	16,3493		0,88	18,579	
			T-L-0-14h-3	151,45	18014,758	320	17,7632		0,88	20,185	
			T-L-0-14h-4	151,23	17963,251	350	19,4842		0,88	22,141	
			T-L-0-14h-5	151,77	18090,171	380	21,0059		0,88	23,870	
		28 Hari	T-L-0-28h-1	149,17	17475,655	335	19,1695	20,603	1	19,170	20,603
			T-L-0-28h-2	149,78	17620,445	360	20,4308		1	20,431	
			T-L-0-28h-3	151,00	17907,864	390	21,7781		1	21,778	
			T-L-0-28h-4	154,62	18775,975	440	23,4342		1	23,434	
			T-L-0-28h-5	148,43	17304,249	315	18,2036		1	18,204	

Agregat Limbah	Kadar Damdex	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks (kN)	Kuat Tekan Umur Uji (MPa)	Kuat Tekan Umur Uji Rerata (MPa)	Angka Konversi	Kuat Tekan Terkonversi (MPa)	Kuat Tekan Terkonversi Rerata (MPa)	
	4%	7 hari	T-L-4-7h-1	148,23	17257,649	255	14,7761	14,264	0,65	22,732	21,945	
			T-L-4-7h-2	153,08	18405,419	270	14,6696		0,65	22,569		
			T-L-4-7h-3	150,60	17813,113	240	13,4732		0,65	20,728		
			T-L-4-7h-4	153,18	18429,473	270	14,6504		0,65	22,539		
			T-L-4-7h-5	152,13	18177,688	250	13,7531		0,65	21,159		
		14 Hari	T-L-4-14h-1	151,88	18117,994	350	19,3178	19,094	0,88	21,952	21,698	
			T-L-4-14h-2	152,03	18153,799	350	19,2797		0,88	21,909		
			T-L-4-14h-3	148,37	17288,709	300	17,3524		0,88	19,719		
			T-L-4-14h-4	151,58	18046,492	350	19,3944		0,88	22,039		
			T-L-4-14h-5	150,92	17888,103	360	20,1251		0,88	22,869		
		28 Hari	T-L-4-28h-1	149,60	17577,337	350	19,9120	21,508	1	19,912	21,508	
			T-L-4-28h-2	150,33	17750,086	390	21,9717		1	21,972		
			T-L-4-28h-3	152,67	18305,362	410	22,3978		1	22,398		
			T-L-4-28h-4	150,05	17683,242	380	21,4893		1	21,489		
			T-L-4-28h-5	151,03	17915,771	390	21,7685		1	21,769		
		5%	7 hari	T-L-5-7h-1	154,12	18654,736	310	16,6178	15,991	0,65	25,566	24,602
				T-L-5-7h-2	149,80	17624,366	280	15,8871		0,65	24,442	
				T-L-5-7h-3	149,70	17600,844	280	15,9083		0,65	24,474	
				T-L-5-7h-4	149,32	17510,819	270	15,4190		0,65	23,722	
				T-L-5-7h-5	153,92	18606,350	300	16,1235		0,65	24,805	

Agregat Limbah	Kadar Damdex	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm²)	Beban Maks (kN)	Kuat Tekan Umur Uji (MPa)	Kuat Tekan Umur Uji Rerata (MPa)	Angka Konversi	Kuat Tekan Terkonversi (MPa)	Kuat Tekan Terkonversi Rerata (MPa)
		14 Hari	T-L-5-14h-1	151,20	17955,333	380	21,1636	21,616	0,88	24,050	24,564
			T-L-5-14h-2	149,75	17612,603	360	20,4399		0,88	23,227	
			T-L-5-14h-3	150,55	17801,287	390	21,9085		0,88	24,896	
			T-L-5-14h-4	150,97	17899,958	400	22,3464		0,88	25,394	
			T-L-5-14h-5	153,27	18449,530	410	22,2228		0,88	25,253	
		28 Hari	T-L-5-28h-1	149,27	17499,093	430	24,5727	24,241	1	24,573	24,241
			T-L-5-28h-2	154,40	18723,390	440	23,5000		1	23,500	
			T-L-5-28h-3	151,28	17975,130	430	23,9219		1	23,922	
			T-L-5-28h-4	148,42	17300,363	420	24,2769		1	24,277	
			T-L-5-28h-5	151,58	18046,492	450	24,9356		1	24,936	
	6%	7 hari	T-L-6-7h-1	149,47	17546,018	280	15,9580	17,968	0,65	24,551	27,642
			T-L-6-7h-2	154,27	18691,066	340	18,1905		0,65	27,985	
			T-L-6-7h-3	150,33	17750,086	320	18,0281		0,65	27,736	
			T-L-6-7h-4	152,77	18329,351	330	18,0039		0,65	27,698	
			T-L-6-7h-5	150,57	17805,229	350	19,6571		0,65	30,242	
		14 Hari	T-L-6-14h-1	149,37	17522,548	420	23,9691	24,265	0,88	27,238	27,574
			T-L-6-14h-2	152,17	18185,654	440	24,1949		0,88	27,494	
			T-L-6-14h-3	152,25	18205,579	450	24,7177		0,88	28,088	
			T-L-6-14h-4	150,95	17896,006	430	24,0277		0,88	27,304	
			T-L-6-14h-5	149,75	17612,603	430	24,4143		0,88	27,744	

Agregat Limbah	Kadar Damdex	Umur Uji	Kode Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Maks (kN)	Kuat Tekan Umur Uji (MPa)	Kuat Tekan Umur Uji Rerata (MPa)	Angka Konversi	Kuat Tekan Terkonversi (MPa)	Kuat Tekan Terkonversi Rerata (MPa)
		28 Hari	T-L-6-28h-1	149,32	17510,819	480	27,4116	27,187	1	27,412	27,187
			T-L-6-28h-2	148,20	17249,888	480	27,8263		1	27,826	
			T-L-6-28h-3	150,18	17714,682	450	25,4027		1	25,403	
			T-L-6-28h-4	152,97	18377,375	510	27,7515		1	27,752	
			T-L-6-28h-5	150,50	17789,465	490	27,5444		1	27,544	

Lampiran 6 Laporan Sementara Hasil Pengujian Absorpsi Beton

Agregat Limbah	Kadar Damdex	Umur Uji	Kode Benda Uji	No. Sampel	Berat Kering Oven (kg)	Berat Kering Permukaan (kg)	Absorpsi (%)	Absorpsi Rerata (%)
0%	0%	7 Hari	A-TL-0-7-h-1	1	7,86	8,23	4,68	4,39
			A-TL-0-7-h-2	2	7,77	8,09	4,11	
		14 Hari	A-TL-0-14-h-1	1	7,90	8,23	4,20	4,20
			A-TL-0-14-h-2	2	7,88	8,21	4,20	
		28 Hari	A-TL-0-28-h-1	1	7,87	8,15	3,67	4,18
			A-TL-0-28-h-2	2	8,03	8,41	4,69	
	4%	7 Hari	A-TL-4-7-h-1	1	7,85	8,12	3,40	3,35
			A-TL-4-7-h-2	2	7,87	8,13	3,30	
		14 Hari	A-TL-4-14-h-1	1	7,97	8,23	3,26	3,25
			A-TL-4-14-h-2	2	7,73	7,98	3,23	
		28 Hari	A-TL-4-28-h-1	1	8,27	8,53	3,21	3,18
			A-TL-4-28-h-2	2	7,85	8,10	3,15	
	5%	7 Hari	A-TL-5-7-h-1	1	7,69	7,92	2,94	2,93
			A-TL-5-7-h-2	2	7,65	7,87	2,92	
		14 Hari	A-TL-5-14-h-1	1	7,94	8,16	2,77	2,83
			A-TL-5-14-h-2	2	7,96	8,19	2,89	
		28 Hari	A-TL-5-28-h-1	1	8,16	8,38	2,72	2,75
			A-TL-5-28-h-2	2	8,19	8,42	2,77	
	6%	7 Hari	A-TL-6-7-h-1	1	7,56	7,76	2,69	2,66
			A-TL-6-7-h-2	2	7,65	7,85	2,63	
		14 Hari	A-TL-6-14-h-1	1	8,00	8,21	2,59	2,56
			A-TL-6-14-h-2	2	7,92	8,12	2,53	
		28 Hari	A-TL-6-28-h-1	1	7,97	8,17	2,51	2,52
			A-TL-6-28-h-2	2	7,91	8,11	2,53	
100%	0%	7 Hari	A-L-0-7-h-1	1	7,55	7,96	5,46	5,45
			A-L-0-7-h-2	2	7,72	8,14	5,44	
		14 Hari	A-L-0-14-h-1	1	7,43	7,83	5,38	5,37
			A-L-0-14-h-2	2	7,44	7,84	5,35	
		28 Hari	A-L-0-28-h-1	1	7,84	8,26	5,36	5,32
			A-L-0-28-h-2	2	7,76	8,17	5,28	
	4%	7 Hari	A-L-4-7-h-1	1	7,48	7,86	5,08	5,08
			A-L-4-7-h-2	2	7,55	7,93	5,09	

Agregat Limbah	Kadar Damdex	Umur Uji	Kode Benda Uji	No. Sampel	Berat Kering Oven (kg)	Berat Kering Permukaan (kg)	Absorpsi (%)	Absorpsi Rerata (%)	
100%	4%	14 Hari	A-L-4-14-h-1	1	7,40	7,74	4,53	4,54	
			A-L-4-14-h-2	2	7,48	7,82	4,55		
		28 Hari	A-L-4-28-h-1	1	7,92	8,25	4,17	4,20	
			A-L-4-28-h-2	2	7,77	8,09	4,22		
	5%	7 Hari	A-L-5-7-h-1	1	7,61	7,93	4,26	4,23	
			A-L-5-7-h-2	2	7,34	7,65	4,21		
		14 Hari	A-L-5-14-h-1	1	7,57	7,88	4,15	4,12	
			A-L-5-14-h-2	2	7,82	8,14	4,09		
		28 Hari	A-L-5-28-h-1	1	7,36	7,65	3,98	3,94	
			A-L-5-28-h-2	2	7,38	7,67	3,90		
		6%	7 Hari	A-L-6-7-h-1	1	7,40	7,66	3,46	3,43
				A-L-6-7-h-2	2	7,58	7,84	3,40	
	14 Hari		A-L-6-14-h-1	1	7,15	7,39	3,39	3,37	
			A-L-6-14-h-2	2	7,22	7,46	3,35		
	28 Hari		A-L-6-28-h-1	1	7,34	7,58	3,26	3,27	
			A-L-6-28-h-2	2	7,29	7,53	3,29		

Lampiran 7 Dokumentasi Peralatan Penelitian**Gambar L-7. 1 Piknometer****Gambar L-7. 2 Konus**



Gambar L-7. 3 Neraca Ohaus



Gambar L-7. 4 Timbangan Digital



Gambar L-7. 5 Oven Heraeus



Gambar L-7. 6 Mini Stone Crusher

الجامعة الإسلامية
الاستدائات



Gambar L-7. 7 Saringan Agregat Halus



Gambar L-7. 8 Saringan Agregat Kasar



Gambar L-7. 9 Mesin Pengguncang Agregat Halus



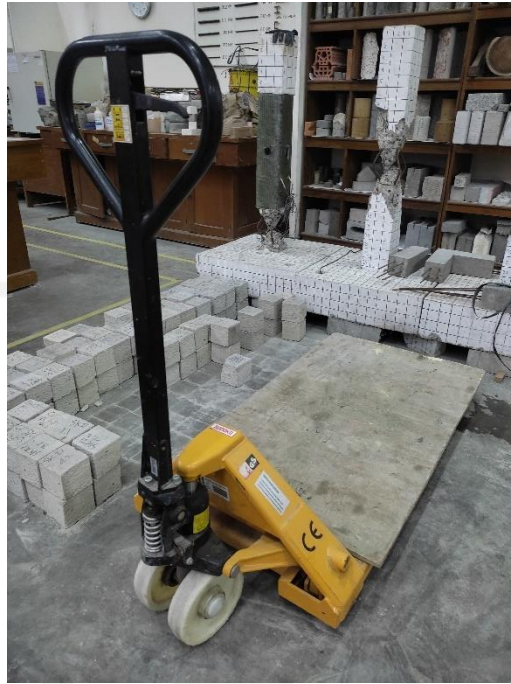
Gambar L-7. 10 Mesin Pengguncang Agregat Kasar



Gambar L-7. 11 Sekop



Gambar L-7. 12 Semen



Gambar L-7. 13 Troli



Gambar L-7. 14 Pan



Gambar L-7. 15 Gelas Ukur



Gambar L-7. 16 Alat Uji Slump



Gambar L-7. 17 Batang Penusuk



Gambar L-7. 18 Ember



Gambar L-7. 19 Bekisting Silinder



Gambar L-7. 20 Bekisting Kubus



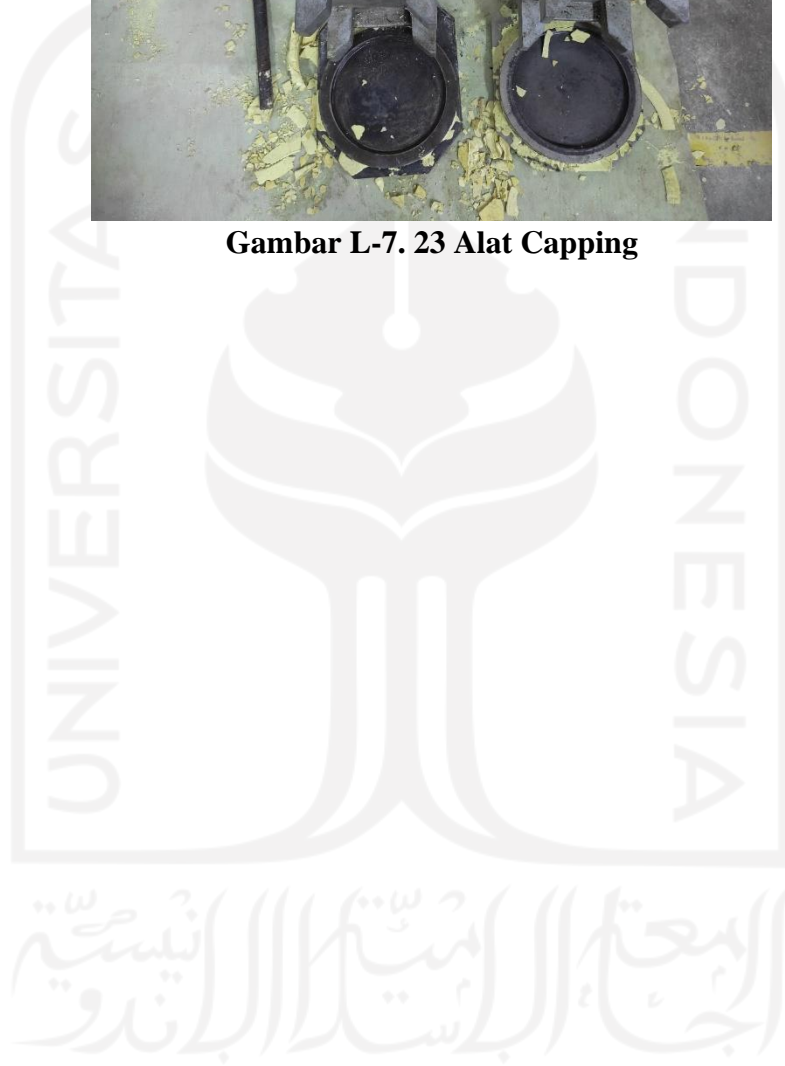
Gambar L-7. 21 Concrete Mixer



Gambar L-7. 22 Compression Testing Machine



Gambar L-7. 23 Alat Capping



Lampiran 8 Dokumentasi Proses Penelitian



Gambar L-8. 1 Persiapan Pengujian Sampel



Gambar L-8. 2 Persiapan Pengujian Sampel



Gambar L-8. 3 Proses Pelaksanaan Pengujian Sampel



Gambar L-8. 4 Proses Pelaksanaan Pengujian Sampel

