

**TUGAS AKHIR**

**KAJIAN PEMANFAATAN DAUR ULANG LIMBAH  
BETON SEBAGAI BAHAN TAMBAH DAN BAHAN  
PENGANTI MATERIAL CEMENT TREATED BASE  
*STUDY OF THE USE OF RECYCLED WASTED  
CONCRETE AS AN ADDED MATERIAL AND  
SUBSTITUTE MATERIAL FOR CEMENT TREATED  
BASE***

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



**Afif Dimas Naufal  
17511163**

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

**2022**

## TUGAS AKHIR

# **KAJIAN PEMANFAATAN DAUR ULANG LIMBAH BETON SEBAGAI BAHAN TAMBAH DAN BAHAN PENGANTI MATERIAL CEMENT TREATED BASE *STUDY OF THE USE OF RECYCLED WASTED CONCRETE AS AN ADDED MATERIAL AND SUBSTITUTE MATERIAL FOR CEMENT TREATED BASE***

Disusun oleh

**Afif Dimas Naufal**  
**17511163**

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

Diuji pada tanggal 19 Agustus 2022

Oleh Dewan Penguji

**Pembimbing**

**Penguji I**

**Penguji II**

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

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

**Anggit Mas Arifudin S.T., M.T.**  
NIK: 185111304

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

**Dr. Ir .Sri Amini Yuni Astuti, M.T.**  
NIK : 855110101

## **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 Universitas Islam Indonesia 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 saya 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, 19 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,



Afif Dimas Naufal

(17511163)

## KATA PENGANTAR

Assalammu'alaikum Wr.Wb

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Kajian Pemanfaatan Daur Ulang Limbah Beton Sebagai Bahan Tambah dan Bahan Pengganti Material *Cement Treated Base*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Novi Rahmayanti, S.T.,M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, Terimakasih atas bimbingan dan nasehat serta dukungan yang diberikan kepada penulis selama menyusun proposal tugas akhir ini.
2. Ibu Astriana Hardawati S.T., M.Eng. dan Bapak Anggit Mas Arifudin S.T., M.T. selaku dosen penguji Tugas Akhir ini, yang telah memberikan kritik, saran, dan memberikan evaluasi agar lebih baik pada kemudian hari.
3. Ibu Sri Amini Yuni Astuti, DR, IR., M.T., selaku Ketua Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Purwadi dan Ibu Sugiarti selaku orang tua yang telah berkorban begitu banyak baik material maupun spiritual hingga selesainya Tugas Akhir ini.
5. Saudara-saudara Teknik Sipil Angkatan 2017 yang telah mendukung penyelesaian Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, hal ini dikarenakan keterbatasan pengetahuan. Oleh karena itu, penyusun mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan, semoga Tugas

Akhir ini dapat bermanfaat bagi insan Teknik Sipil khususnya dan semua pihak pada umumnya.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Yogyakarta, 19 Agustus 2022



## DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
ABSTRAK	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tinjauan Umum	6
2.2 Penelitian Terdahulu	6
2.2.1 Kinerja <i>Cement Treated Base</i> (CTB) dengan Bahan Substitusi Agregat Kasar Limbah Hasil Pengolahan Baja PT.Krakatau Steel (Slag) (2007).	6
2.2.2 Kajian Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Material <i>Cement Treated Base</i> (CTB) (2015).	7
2.2.3 Analisis kekuatan <i>Cement Treated Base</i> (CTB) dengan Bahan Tambah Zat Aditif Menggunakan Variasi Kandungan Tanah dan Pasir untuk Lapis Pondasi Atas Jalan (2017).	8

2.3 Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya	8
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b>	12
3.1 Perkerasan Jalan	12
3.1.1 Pengertian Perkerasan jalan	12
3.1.2 Perkerasan Lentur ( <i>Flexible Pavement</i> ).	12
3.1.3 Perkerasan Kaku ( <i>Rigid Pavement</i> ).	13
3.2 Beton	15
3.3 Lapis Fondasi Agregat Semen ( <i>Cement Treated Base</i> )	15
3.3.1 Pengertian Lapis Fondasi Agregat Semen ( <i>Cement Treated Base</i> )	15
3.4 Bahan Penyusun CTB	16
3.4.1 Semen	16
3.4.2 Agregat	17
3.4.3 Air	24
3.4.4 Spesifikasi Bahan Lapis Pondasi	24
3.5 Limbah Beton	25
3.6 Pemasakan	27
3.7 Kuat Tekan Beton	28
3.8 Kadar Air Optimum	30
3.9 Analisis statistik	30
3.9.1 Standard Deviasi	30
3.9.2 Analisis Regresi	31
<b>BAB IV METODE PENELITIAN</b>	34
4.1 Umum	34
4.2 Prosedur Penelitian	35
4.3 Persiapan Penelitian	37
4.3.1 Persiapan Perizinan Laboratorium	37
4.3.2 Persiapan Lokasi dan Sampel Penelitian	37
4.3.3 Persiapan Peralatan Penelitian yang Digunakan	37
4.3.4 Persiapan Material Penelitian	42
4.4 Proses Pembuatan Sampel CTB	48

4.4.1 Proses Pemasatan	49
4.5 Perawatan Benda Uji	49
4.6 Pengujian Kuat Tekan	49
4.6.1 Pengujian Kuat Tekan Beton	49
4.7 Analisa Hasil	51
<b>BAB V PEMBAHASAN</b>	<b>52</b>
5.1 Tinjauan Umum	52
5.2 Hasil Pemeriksaan Bahan Material Penyusun CTB	52
5.2.1 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar Clereng	52
5.2.2 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar Limbah Beton	57
5.2.3 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus Pasir Merapi	61
5.2.3 Merancang Agregat Kelas A	65
5.3 Perencanaan Campuran	67
5.4 Pengujian Kuat Tekan	76
5.4.1 Benda Uji Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 3%	77
5.4.2 Benda Uji Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 4 %	81
5.4.3 Benda Uji Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 5%	85
5.4.4 Benda Uji Agregat Kasar Campuran Clereng dan Limbah Beton dengan Kadar Semen 5%	89
5.4.5 Benda Uji Agregat Kasar Limbah Beton dengan Kadar Semen 5%	93
5.5 Perhitungan Kadar Air Optimum	100
5.6 Pembahasan CTB	106
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>110</b>
6.1 Kesimpulan	110
6.2 Saran	112
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>113</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>115</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Gradasi Lapis Fondasi Agregat dan Lapis Drainase	25
Gambar 3.2	Limbah Beton	26
Gambar 3.3	Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton	29
Gambar 3.4	Regresi Linear	31
Gambar 3.5	Regresi Polynomial	32
Gambar 4.1	Diagram Alir Metode Penelitian	36
Gambar 4.2	Timbangan	38
Gambar 4.3	Piknometer	38
Gambar 4.4	Ayakan <i>Mesh</i>	39
Gambar 4.5	Cetakan Silinder	39
Gambar 4.6	Alat Ukur	40
Gambar 4.7	Oven	40
Gambar 4.8	Ember	41
Gambar 4.9	Mesin Pengaduk ( <i>Mixer</i> )	41
Gambar 4.10	Alat Pemasakan	42
Gambar 5.1	Variasi Perencanaan Campuran CTB	68
Gambar 5.2	Pengujian Kuat Tekan	99
Gambar 5.3	Contoh Benda Uji Pengujian Kuat Tekan	99

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya	10
Tabel 3.1	Spesifikasi Ketentuan Saringan Agregat Kasar	18
Tabel 3.2	Spesifikasi Ketentuan Saringan Agregat Halus	18
Tabel 4.1	Gradasi Lapis Agregat	47
Tabel 5.1	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar Clereng	53
Tabel 5.2	Hasil Pengujian Analisa Saringan pada Agregat Kasar Clereng	54
Tabel 5.3	Batas Gradasi Agregat Kasar	55
Tabel 5.4	Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar Clereng	56
Tabel 5.5	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar Limbah Beton	58
Tabel 5.6	Hasil Pengujian Analisa Saringan pada Agregat Kasar Limbah Beton	59
Tabel 5.7	Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar Limbah Beton	60
Tabel 5.8	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air pada Agregat Halus Pasir Merapi	62
Tabel 5.9	Hasil Pengujian Analisa Saringan pada Agregat Halus	63
Tabel 5.10	Tabel Daerah Gradasi Agregat Halus	64
Tabel 5.11	Hasil Pengujian Lolos Saringan no.200	65
Tabel 5.12	Spesifikasi Agregat Untuk Lapis Pondasi Jalan	66
Tabel 5.13	Hasil Analisa Rancangan Agregat Kelas A	66
Tabel 5.14	Jumlah sampel benda uji	69
Tabel 5.15	Tabel Proporsi Campuran Benda Uji Agregat Kasar Alam Clereng dengan Kadar Semen 3 %	71
Tabel 5.16	Tabel Proporsi Campuran Benda Uji Agregat Kasar Alam Clereng dengan Kadar Semen 4 %	72
Tabel 5.17	Tabel Proporsi Campuran Benda Uji Agregat Kasar Alam Clereng dengan Kadar Semen 5 %	73

Tabel 5.18 Tabel Proporsi Campuran Benda Uji Agregat Kasar Campuran Batu Alam Clereng dan Limbah Beton	74
Tabel 5.19 Tabel Proporsi Campuran Benda Uji Agregat Kasar Limbah Beton	76
Tabel 5.20 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 3% dan Kadar Air 5%	77
Tabel 5.21 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 3% dan Kadar Air 7%	78
Tabel 5.22 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 3% dan Kadar Air 9%	79
Tabel 5.23 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 3% dan Kadar Air 11%	80
Tabel 5.24 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 4% dan Kadar Air 5%	81
Tabel 5.25 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 4% dan Kadar Air 7%	82
Tabel 5.26 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 4% dan Kadar Air 9%	83
Tabel 5.27 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 4% dan Kadar Air 11%	84
Tabel 5.28 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 5%	85
Tabel 5.29 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 7%	86
Tabel 5.30 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 9%	87
Tabel 5.31 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 11%	88
Tabel 5.32 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Campuran Clereng dan Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 5%	89
Tabel 5.33 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Campuran Clereng dan Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 7%	90

Tabel 5.34 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Campuran Clereng dan Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 9%	91
Tabel 5.35 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Campuran Clereng dan Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 11%	92
Tabel 5.36 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 5%	93
Tabel 5.37 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 7%	94
Tabel 5.38 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 9%	95
Tabel 5.39 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 11%	96
Tabel 5.40 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan CTB	97
Tabel 5.41 Hasil Rekapitulasi Perhitungan Nilai Kadar Air Optimum	105



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Alat yang Digunakan	115
Lampiran 2 Gambar Bahan yang Digunakan	123
Lampiran 3 Gambar Proses Pembuatan Benda Uji	125
Lampiran 4 Proses Pengujian Benda Uji	129
Lampiran 5 Data Hasil Pemeriksaan Bahan	133
Lampiran 6 Data Hasil Pengujian Kuat Tekan CTB	147
Lampiran 7 Data Hasil Perhitungan Kadar Air Optimum	155



## DAFTAR NOTASI

$f'_c$	= Kuat Tekan Beton (kg/cm <sup>2</sup> )
Sd	= Standar deviasi
$x_i$	= Kuat tekan beton yang didapat dari masing-masing benda uji
$\bar{x}$	= Kuat tekan beton rerata
$r_{xy}$	= hubungan variabel X dengan Variabel Y
SNI	= Standar Nasional Indonesia
ASTM	= <i>American Society of Testing and Materials</i>
PCC	= <i>Portland Composit Cement</i>
MHB	= Modulus Halus Butir
SSD	= <i>Saturated Surface-Dry</i>
W <sub>c</sub>	= Berat Isi Beton (kg/m <sup>3</sup> )
P	= Beban Maksimum (Kg)
CTB	= <i>Cement Treated Base</i>
A	= luas penampang benda uji (cm <sup>2</sup> )
CA	= Sampel CTB menggunakan agregat kasar Clereng dengan kadar semen 3%
CB	= Sampel CTB menggunakan agregat kasar Clereng dengan kadar semen 4%
CC	= Sampel CTB menggunakan agregat kasar Clereng dengan kadar semen 5%
MX	= Sampel CTB menggunakan agregat kasar campuran Clereng dan Limbah Beton dengan kadar semen 5%
LB	= Sampel CTB menggunakan agregat kasar Limbah Beton dengan kadar semen 5%
C	= Kadar semen (%)
W	= Kadar air (%)

## ABSTRAK

Perkembangan infrastruktur saat ini berkembang pesat, tidak jarang ditemukan limbah material sisa pakai bangunan yang sudah tidak digunakan. Oleh karena itu, perlu adanya langkah untuk menanggulangi limbah beton yang sudah tidak digunakan. Salah satunya dengan proses daur ulang (*recycle*) limbah beton menjadi agregat kasar penyusun CTB. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pemanfaatan limbah beton dan mencari nilai kadar air optimum untuk menghasilkan nilai kuat tekan yang optimal.

Dalam penelitian ini perencanaan campuran CTB menggunakan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 dengan persyaratan kuat tekan yang dihasilkan 45–55 kg/cm<sup>2</sup>. Dalam rangka memanfaatkan limbah beton agar memiliki nilai guna, penelitian ini menggunakan limbah beton sesuai dengan kadar variasi limbah beton sebagai bahan tambah dan pengganti agregat kasar dengan variasi kadar semen 5% serta trial untuk mencari kadar air optimum sebesar 5%, 7%, 9%, dan 11% dengan dilakukan pengujian kuat tekan silinder beton pada umur 7 hari.

Penelitian yang dilakukan menunjukkan sampel CTB menggunakan agregat kasar baru dari Clereng dengan kadar 5% dapat digunakan dalam lapis pondasi dengan nilai kuat tekan sebesar 50,838 kg/cm<sup>2</sup> pada kadar air optimum 7,531%. Sementara itu penggunaan material dari hasil daur ulang limbah beton pada sampel CTB sebagai bahan tambah dan bahan pengganti pada kadar semen 5% dengan nilai kuat tekan sebesar 41,209 kg/cm<sup>2</sup> dan 34,1418 kg/cm<sup>2</sup>, dengan nilai kadar air optimum sebesar 7,562% dan 7,526% belum dapat digunakan sebagai bahan material CTB. Hal ini disebabkan karena material limbah beton sudah mengalami penurunan kekuatan pada proses sebelumnya.

**Kata Kunci** : Limbah Beton, CTB, Kadar Air Optimum

## **ABSTRACT**

*The infrastructure's development is currently developing rapidly, it is not uncommon to find wasted materials left over from buildings that are no longer used. Therefore, it is necessary to take steps to overcome unused wasted concrete. One of them is by recycling wasted concrete into coarse aggregates that make up CTB. The purpose of this study is to determine the utilization of wasted concrete and find the optimum moisture content value to produce an optimal compressive strength value.*

*In this study, CTB mixed planning used Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 with a compressive strength requirement of 45–55 kg/cm<sup>2</sup>. In order to utilize wasted concrete e to have use value, this study used wasted concrete in accordance with the variation content of wasted concrete as an added material and substitute for coarse aggregates with a variation in cement content of 5% and a trial to find optimum water content of 5%, 7%, 9%, and 11% by testing the compressive strength of concrete cylinders at the age of 7 days.*

*The research conducted showed that CTB samples using new coarse aggregates from Clereng with a content of 5% can be used in a foundation layer with a compressive strength value of 50.838 kg / cm<sup>2</sup> at an optimum moisture content of 7.531%. Meanwhile, the use of material from the wasted concrete in CTB samples as an added material and substitute material at a cement content of 5% with a compressive strength value of 41.209 kg / cm<sup>2</sup> and 34.1418 kg / cm<sup>2</sup>, with an optimum moisture content value of 7.562% and 7.526% cannot be used as well as CTB material. This is because the concrete waste material has experienced a decrease in strength in the previous process*

*Keywords: Wasted Concrete, CTB, Optimum Moisture Content*



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan salah satu struktur bangunan teknik sipil yang berupa sarana penghubung antar wilayah satu dengan wilayah lainnya. Perkerasan jalan merupakan suatu bagian struktur dari jalan yang diperkeras dengan lapisan konstruksi tertentu yang memiliki ketebalan, kekakuan, kekuatan dan kestabilan sehingga mampu menahan beban lalu lintas yang melintas di atasnya dan meneruskan ke lapisan tanah dasar (Nurkolis, 2017). Konstruksi jalan yang sering digunakan adalah jenis perkerasan kaku dan perkerasan lentur. Bahan dasar yang digunakan pada perkerasan kaku adalah beton, sedangkan dalam perkerasan lentur menggunakan bahan dasar aspal (Aryaningrum, 2007).

Perkerasan jalan yang memiliki fungsi menahan beban lalu lintas yang berada di atasnya, sehingga perkerasan dapat dirancang dengan baik sehingga memiliki usia pemeliharaan yang panjang dan biaya pemeliharaan yang minimal. Dalam beberapa aspek, perkerasan kaku memiliki kelebihan dari perkerasan lentur. Dari segi biaya perkerasan lentur menggunakan biaya yang lebih murah jika dibandingkan dengan perkerasan kaku, namun umur perkerasan lentur jauh lebih singkat yaitu sekitar 10-20 tahun (Aryaningrum, 2007). Di sisi lain, perkerasan lentur memiliki kendala terhadap cuaca. Pada kondisi cuaca panas terik aspal perkerasan lentur menjadi elastis dan lembek saat dilalui kendaraan, sebaliknya pada kondisi cuaca hujan aspal perkerasan menjadi kaku dan getas. Karena perubahan cuaca ekstrim secara terus menerus tersebut perkerasan menjadi retak dan berlubang sehingga terjadinya kerusakan struktur jalan lapis bawah yaitu *sub base* dan *base course*. Kerusakan jalan yang terjadi menyebabkan terganggunya kenyamanan pengguna jalan akibat permukaan jalan yang tidak rata (bergelombang).

Secara umum konstruksi pada perkerasan jalan lentur terbagi menjadi 4 bagian, yaitu tanah dasar (*sub grade*), perkerasan bawah (*sub base course*),

perkerasan atas (*base course*), dan lapis permukaan (*surface course*) (Nuryati, 2015) . *Sub base* atau perkerasan bawah ini umumnya tersusun dari agregat kasar/kerikil alam/ batu kali yang mendukung perkerasan atas dan lapisan permukaan dari beban kendaraan yang melintas. Seiring dengan perkembangan volume lalu lintas kendaraan berat yang ada di Indonesia, perkerasan tipe CTB (*Cement Treated Base*) merupakan tipe perkerasan yang sering digunakan pada saat ini. CTB sendiri merupakan bahan untuk lapis pondasi (*base course*) pada perkerasan lentur. CTB memanfaatkan semen Portland sebagai bahan pengikat. Meskipun pembuatan dan produk pada akhirnya berupa beton, namun CTB bukan merupakan pengembangan dari perkerasan kaku (*rigid pavement*).

Terbatasnya sumber daya alam yang kita miliki dalam menyediakan bahan material pada perkerasan jalan dan pembentuk beton merupakan salah satu yang perlu dicari solusi dari permasalahan tersebut. Pembongkaran dan sisa sisa beton yang tidak digunakan dari pekerjaan bangunan gedung, jembatan, dan infrastruktur sipil lainnya yang terbuat dari material beton akan mengakibatkan timbulnya limbah beton (Rahman, 2015). Salah satu contoh permasalahan lingkungan yang sering kita jumpai di masyarakat adalah timbulnya limbah beton yang dibiarkan tanpa dilakukan penanganan. Salah satu upaya penanganan dalam mengurangi limbah beton tersebut yaitu dengan mendaur ulang limbah beton menjadi agregat kasar yang dapat digunakan dalam campuran CTB untuk lapis pondasi perkerasan jalan.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan dalam rangka memperbaiki rusaknya pondasi jalan raya yaitu mengembangkan teknologi daur ulang limbah beton menjadi pondasi serta stabilisasi tanah dasar dengan menggunakan semen (Rahman, 2015). Prinsip utama yang digunakan dalam penelitian ini yaitu mendaur ulang (*recycling*) limbah beton yang tidak memiliki nilai guna menjadi agregat kasar dalam campuran CTB untuk lapis perkerasan jalan lentur sehingga limbah beton yang tidak bernilai guna menjadi material yang lebih bermanfaat dan memiliki nilai guna.

Penggunaan limbah beton sebagai bahan tambah dan bahan pengganti agregat kasar pada campuran CTB merupakan salah satu langkah untuk mengurangi limbah

sisa bangunan konstruksi teknik sipil yang sudah tidak digunakan agar tidak mencemari lingkungan dan memiliki nilai guna (Rahman, 2015). Limbah limbah beton sisa konstruksi bangunan teknik sipil ataupun sisa hasil pembongkaran bangunan yang sudah tidak digunakan biasanya dibuang begitu saja sehingga menimbulkan permasalahan baru bagi lingkungan sekitar. Penggunaan limbah beton dalam campuran CTB ini pun di variasi dengan kadar 25% dari berat agregat sebagai bahan tambah yang dicampur dengan agregat kasar baru dan penggunaan limbah beton dengan variasi kadar 50% dari berat agregat sebagai pengganti agregat kasar pada campuran CTB.

Untuk mengetahui kinerja CTB ditinjau dari kuat tekan yang dihasilkan dari campuran CTB dengan memanfaatkan limbah beton sebagai bahan pengganti atau bahan tambah agregat kasar CTB, dilakukan uji kuat tekan dari beberapa benda uji silinder menggunakan variasi kadar air pada umur 7 hari untuk menghasilkan mutu beton maksimum pada CTB. Dari hasil pengujian kuat tekan CTB menggunakan variasi kadar air pada umur 7 hari didapatkan nilai kadar air optimum untuk menghasilkan kuat tekan maksimum melalui persamaan regresi polynomial.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan diatas, maka rumusan masalah yang dapat dirumuskan adalah:

1. Bagaimanakah kinerja perkerasan CTB ditinjau dari nilai kuat tekan yang dihasilkan bila menggunakan limbah beton sebagai bahan pengganti dan bahan tambah agregat kasar pada lapis pondasi atas jalan?
2. Berapakah nilai kadar air optimum untuk menghasilkan mutu beton maksimal pada *Cement Treated Base* (CTB)?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian penggunaan limbah beton sebagai bahan material pada campuran CTB adalah:

1. Untuk mengetahui kinerja *Cement Treated Base* untuk lapis pondasi jalan dengan pemanfaatan limbah beton sebagai bahan tambah dan bahan pengganti agregat kasar.
2. Untuk mengetahui nilai kadar air optimum untuk menghasilkan nilai kuat tekan *Cement Treated Base* yang maksimal.

#### 1.4 Batasan Penelitian

Batasan batasan yang terdapat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.
2. Material limbah beton yang digunakan diambil dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia
3. Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian merupakan agregat kasar yang berasal dari Clereng.
4. Pasir yang digunakan merupakan agregat gradasi 2 yang diambil dari daerah Kaliurang, Sleman.
5. Limbah beton yang akan digunakan memiliki kekuatan rencana 25-30 Mpa
6. Cetakan silinder yang digunakan pada sampel *Cement Treated Base* (CTB) menggunakan cetakan silinder dengan tinggi 300 mm dan diameter 150 mm.
7. Semen yang digunakan adalah *Portland Cement* (PPC) produksi Semen Tiga Roda.
8. Proporsi campuran yang dipakai menggunakan 3 variasi yaitu dengan bahan agregat kasar alami, agregat kasar dari limbah beton dan bahan agregat kasar campuran (*mixed*) antara agregat kasar alami dengan limbah beton dengan komposisi 25:25. Proporsi yang digunakan dalam setiap variasi meliputi perbandingan antara agregat kasar dan agregat halus sebesar 50:50.
9. Variasi kadar semen yang digunakan adalah 3%, 4%, dan 5% untuk sampel benda uji variasi campuran dengan bahan agregat kasar alami batu Clereng.
10. Variasi kadar semen yang digunakan sebesar 5% untuk sampel benda uji yang menggunakan bahan agregat kasar campuran (*mixed*) dan limbah beton.

11. Trial Variasi kadar air yang digunakan adalah 5%, 7%, 9%, dan 11% untuk mencari kadar air optimum pada setiap variasi campuran.
12. Metode pemadatan yang dipakai pada penelitian ini menggunakan metode *standart proctor*.
13. Jumlah benda uji untuk masing-masing variasi adalah 3 (tiga) buah sampel.
14. Jumlah sampel yang dilakukan pengujian kuat tekan sebanyak 60 Sampel.
15. Penelitian ini tidak menggunakan tanah sebagai bahan material CTB.
16. Penelitian ini tidak membahas masalah ikatan kimia antara maupun reaksi kimia.
17. Penelitian ini tidak membahas mengenai Indeks plastisitas, Batas Cair dan Gumpalan Lempung pada Agregat.
18. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian kuat tekan beton.
19. Spesifikasi *Cement Treated Base* (CTB) menggunakan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai suatu masukan dan bahan informasi bagi instansi terkait maupun masyarakat yang merupakan bagian dari pengembangan teknologi pembangunan jalan serta infrastruktur dan sebagai pengembangan ilmu pengetahuan dari peneliti khususnya dalam hal pembangunan jalan tentang pemanfaatan limbah beton yang sudah tidak digunakan sebagai pengganti agregat kasar pada *Cement Treated Base*.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Tinjauan Umum**

Seiring berjalan dengan perkembangan kondisi lalu lintas di Indonesia, Struktur perkerasan dituntut untuk mampu menerima beban yang diterima dari kendaraan yang melintas dengan meminimalisir kerusakan yang akan terjadi. CTB merupakan bahan untuk lapis pondasi (*base course*) pada perkerasan lentur dengan memanfaatkan semen Portland sebagai bahan pengikat utama.

Penggunaan limbah beton sebagai bahan pengganti agregat kasar pernah dilakukan oleh peneliti terdahulu guna mengetahui pemanfaatan limbah beton yang tidak memiliki nilai guna untuk bahan material CTB. Dengan adanya penelitian terdahulu maka dapat dijadikan referensi untuk penelitian yang akan dilakukan. Penelitian CTB menggunakan bahan pengganti agregat kasar limbah pernah dilakukan sebelumnya. Banyak faktor yang mempengaruhi nilai kuat tekan yang dihasilkan dari CTB menggunakan agregat kasar limbah beton, dilihat dari hasil penelitian yang dilakukan sebelumnya limbah beton dapat dijadikan sebagai bahan material CTB sehingga dapat mengurangi ketersediaan limbah beton yang tidak memiliki nilai guna.

### **2.2 Penelitian Terdahulu**

Sebelum melakukan penelitian, terdapat beberapa referensi penelitian terdahulu yang dijadikan acuan dalam menjalankan penelitian yang akan dilaksanakan. Referensi yang digunakan berupa jurnal ilmiah atau tugas akhir. Beberapa penelitian yang digunakan menjadi referensi adalah sebagai berikut.

#### **2.2.1 Kinerja *Cement Treated Base* (CTB) dengan Bahan Substitusi Agregat Kasar Limbah Hasil Pengolahan Baja PT.Krakatau Steel (Slag) (2007).**

Penelitian ini dilakukan oleh Dwi Endah Aryaningrum. Dalam penelitiannya dilakukan pengujian terhadap *Cement Treated Base* (CTB) pada benda uji sampel kuat tekan 30 Mpa dan 40 Mpa dengan bahan substitusi agregat

kasar dari limbah hasil pengolahan baja PT.Krakatau Steel (Slag) dengan kadar substitusi slag yang digunakan pada pengujian ini dengan kadar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Dari penelitian yang dilakukan diperoleh kesimpulan Kuat tekan CTB dengan menggunakan bahan substitusi agregat kasar dan limbah hasil pengolahan baja (*slag*) akan mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar substitusi *slag*. Presentase kadar optimum substitusi *slag* adalah 50% karena kuat tekan CTB mencapai maksimum pada kadar substitusi *slag* 50%. Presentase peningkatannya untuk kuat tekan rencana 30 MPa sebesar 27,2% dan 40 MPa sebesar 21,65%. Pada kadar substitusi 75% dan 100% kuat tekannya mengalami penurunan, tetapi penurunannya tidak kurang dari kuat tekan rencananya.

### **2.2.2 Kajian Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Material *Cement Treated Base* (CTB) (2015).**

Penelitian ini dilakukan oleh Fuad Izzatur Rahman dan Adventus Kristian T. Pada penelitian ini dilakukan pengujian kuat tekan dengan benda uji silinder menggunakan *Cement Treated Base* (CTB) dengan kadar air sebesar 4%, 6%, 8% dan kadar semen sebesar 9%, 10%, dan 11% pada skenario I dan kadar semen sebesar 3%, 4% dan 5% pada skenario II. Tujuan dari penelitian adalah mencari nilai kuat tekan yang dihasilkan oleh CTB menggunakan bahan agregat kasar limbah beton. Pengujian kuat tekan silinder beton dilakukan dengan menggunakan enam macam kadar semen sebesar 3%, 4%, 5%, 9%, 10%, dan 11% terhadap total berat agregat kering dan semen. Pada skenario I proporsi perbandingan agregat kasar : agregat halus sebesar 50:50, sedangkan pada skenario II menggunakan perbandingan agregat kasar : agregat halus sebesar 60:40. Untuk masing masing kadar air dibuatkan limat buah sampel benda uji, sehingga didapatkan total sampel sebesar 75 buah benda uji. Dari hasil penelitian pendahuluan ini dapat bahwa penggunaan limbah beton sebagai bahan material CTB pada umur 7 hari dengan menggunakan skenario I dapat digunakan sebagai bahan material CTB karena memenuhi spesifikasi umum bina marga tahun 2010, sedangkan pada umur 28 hari tidak memenuhi spesifikasi umum bina marga tahun 2010. Pada pengujian benda uji sampel CTB dengan skenario II, belum dapat digunakan sebagai bahan material



CTB karena nilai kuat tekan yang dihasilkan belum memenuhi spesifikasi umum bina marga tahun 2010.

### **2.2.3 Analisis kekuatan *Cement Treated Base* (CTB) dengan Bahan Tambah Zat Aditif Menggunakan Variasi Kandungan Tanah dan Pasir untuk Lapis Pondasi Atas Jalan (2017).**

Penelitian ini dilakukan oleh Nurkolis. Dalam penelitian tersebut dilakukan pengujian terhadap *Cement Treated Base* ditinjau dari kuat tekan beton dengan menggunakan zat aditif berupa *diffa soil stabilizer* dan variasi kandungan tanah. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa Pengaruh bahan tambah *diffa soil stabilizaer* dan variasi kandungan tanah terhadap beton sebagai agregat kasar dengan pasir sebagai agregat halus terhadap karakteristik CTB adalah sebagai berikut. Hasil pengujian kuat tekan *Cement Treated Base* (CTB) pada umur 7 hari dengan bahan matrial yang digunakan agregat kelas A, variasi kandungan tanah 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 %, variasi penambahan pasir 30 %, 25 %, 20 %, 15 %, 10 %, dengan bahan tambah *diffa soil stabilizer* diperoleh hasil nilai kuat tekan rata-rata *Cement Treated Base* (CTB) pada prosentase kandungan tanah 10%, pasir 30% = 56,406 kg/cm<sup>2</sup>, kandungan tanah 20%, pasir 25% = 53,680 kg/cm<sup>2</sup>, kandungan tanah 30%, pasir 20 % = 42,909 kg/cm<sup>2</sup>, kandungan tanah 40%, pasir 15% = 31,443 kg/cm<sup>2</sup>, dan kandungan tanah 50% pasir 10% = 28,714 kg/cm<sup>2</sup>. Ke-5 hasil nilai kuat tekan rata-rata *Cement Treated Base* (CTB) pada prosentase kandungan tanah 10%, pasir 30% dan kandungan tanah 20%, pasir 25% nilai kuat tekan rata-rata diatas 45 kg/cm<sup>2</sup> sebagaimana yang disyaratkan, sehingga *Cement Treated Base* (CTB) pada prosentase kandungan tanah 10%, pasir 30% dan kandungan tanah 20%, pasir 25% sesuai spesifikasi DPU 2010 : DIVISI 5 – perkerasan berbutir dan beton semen dan dapat digunakan sebagai lapis pondasi atas jalan.

### **2.3 Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya**

Penelitian yang dilakukan pada *Cement Treated Base* (CTB) dengan memanfaatkan limbah beton sebagai bahan pengganti dan bahan tambah agregat kasar pada sampel dengan menggunakan variasi kadar semen dan air, proporsi agregat kasar dan halus yang digunakan dalam campuran CTB adalah 50:50 dari



berat agregat. Pengujian yang dilakukan berupa pengujian terhadap nilai kuat tekan beton pada *Cement Treated Base* (CTB) pada umur 7 hari. Adapun perbedaan yang dilakukan dengan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel berikut.



Tabel 2.1 Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian Terlebih Dahulu				Rencana Penelitian
Penelitian	Dwi Endah Aryaningrum (2007)	Fuad Izzatur Rahman (2015)	Nurkholis (2017)	Afif Dimas Naufal (2022)
<b>Judul Penelitian</b>	Kinerja <i>Cement Treated Base</i> (CTB) dengan Bahan Substitusi Agregat Kasar Limbah Hasil Pengolahan Baja PT.Krakatau Steel (Slag).	Kajian Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Material <i>Cement Treated Base</i> (CTB).	Analisis kekuatan <i>Cement Treated Base</i> (CTB) dengan bahan tambah zat aditif menggunakan variasi kandungan tanah dan pasir untuk lapis pondasi atas jalan.	Kajian Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Bahan Tambah dan Bahan Pengganti Material <i>Cement Treated Base</i> .
<b>Tujuan</b>	Mengetahui pengaruh agregat kasar ( <i>slag</i> ) terhadap kuat desak CTB serta kadar optimum bahan substitusi ( <i>slag</i> ) untuk menghasilkan kuat desak maksimum.	Mengetahui pengaruh daur ulang limbah beton sebagai bahan pengganti agregat kasar, serta kadar air optimum untuk menghasilkan nilai kuat tekan yang maksimal.	Mengetahui nilai kuat tekan <i>Cement Treated Base</i> untuk lapis pondasi jalan dengan agregat campuran yang sama dan variasi kandungan tanah dan pasir dengan bahan tambah ( <i>diffa soil stabilizer</i> ).	Mengetahui nilai kuat tekan <i>Cement Treated Base</i> menggunakan daur ulang limbah beton sebagai bahan tambah dan bahan pengganti material CTB, serta mencari nilai kadar air optimum untuk menghasilkan nilai kuat tekan yang mmaksimal.
<b>Parameter yang diuji</b>	Nilai kuat tekan dan nilai kadar air optimum.	Nilai kuat tekan dan nilai kadar air optimum.	Nilai kuat tekan beton dan kuat tarik beton.	Nilai kuat tekan beton dan kadar air optimum.
<b>Metode Penelitian</b>	Pengujian ini menggunakan kubus beton berukuran 15 x 15 x 15 cm dengan total benda uji sebanyak 50 buah kubus beton pada umur 28 hari dengan kadar presentase <i>slag</i> yang digunakan sebanyak 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Metode perencanaan campuran yang digunakan merupakan Metode DOE (SK SNI T-15-1990-03).	Pengujian ini menggunakan sampel silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm pada umur beton 7 hari dan 28 hari. Jumlah total sampel benda uji sebanyak 75 buah dengan bahan daur ulang limbah beton sebagai agregat kasar campuran CTB. Metode perencanaan campuran yang digunakan adalah Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010.	Pengujian ini menggunakan sampel silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm pada umur beton 7 hari. Campuran CTB menggunakan bahan tambah <i>diffa soil stabilizer</i> dengan kadar 4%, 6%, 8% dan 10%. Metode perencanaan yang digunakan adalah Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010.	Pengujiann ini menggunakan sampel silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm pada umur 7 hari. Dengan jenis agregat kasar yang digunakan berupa agregat alami, campuran agregat alami dengan limbah beton dan agregat limbah beton. Sampel CTB menggunakan variasi kadar semen sebesar 3%, 4% dan 5%, serta trial kadar air sebesar 5%, 7%, 9% dan 11%. Perencanaan campuran menggunakan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya

Penelitian Terlebih Dahulu				Rencana Penelitian
Penelitian	Dwi Endah Aryaningrum (2007)	Fuad Izzatur Rahman (2015)	Nurkholis (2017)	Afif Dimas Naufal (2022)
Metode Penelitian		Proporsi perbandingan agregat kasar : agregat halus yang digunakan pada skenario I sebesar 50 : 50 dan 60 : 40 pada skenario II.		Bahan daur ulang limbah beton yang digunakan sebagai bahan tambah agregat kasar memiliki kadar 25%, sedangkan penggunaan daur ulang limbah beton sebagai bahan pengganti agregat kasar sebesar 50% dari berat total agregat.
Hasil Penelitian	Dari penelitian yang dilakukan didapatkan nilai presentase kadari optimum <i>slag</i> sebesar 50% karena kuat tekan CTB mencapai maksimum pada kadar substitusi <i>slag</i> 50%. Presentase peningkatan untuk kuat tekan rencana 30 Mpa sebesar 27,2% dan 40 Mpa sebesar 21,65%. Hasil dari pengujian proktor didapatkan kepadatan maksimum dengan kadar air sebesar 8,64% yang menghasilkan kepadatan sebesar 2,29 gram/cm <sup>3</sup> .	Nilai kuat tekan CTB daur ulang limbah beton umur 7 (tujuh) hari dengan kadar semen 9%, 10%, dan 11% yaitu sebesar 89,59 kg/cm <sup>2</sup> , 79,89 kg/cm <sup>2</sup> , dan 98,75 kg/cm <sup>2</sup> . CTB daur ulang limbah beton umur 7 hari tersebut memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 yaitu minimal 78 kg/cm <sup>2</sup> . Nilai kuat tekan CTB daur ulang limbah beton umur 28 hari dengan kadar semen 9%, 10%, dan 11% yaitu sebesar 88,65 kg/cm <sup>2</sup> , 104,43 kg/cm <sup>2</sup> , dan 120,21 kg/cm <sup>2</sup> . CTB daur ulang limbah beton umur 28 hari tersebut tidak memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 yaitu minimal 128 kg/cm <sup>2</sup> . Nilai Kadar air optimum CTB diperoleh hasil untuk kadar semen 9%, 10%, dan 11% yaitu sebesar 8,96%, 9,98%, dan 9,31%	Hasil nilai kuat tekan rata-rata Cement Treated Base (CTB) pada prosentase kandungan tanah 10%, pasir 30% = 56,406 kg/cm <sup>2</sup> , kandungan tanah 20%, pasir 25% = 53,680 kg/cm <sup>2</sup> , kandungan tanah 30%, pasir 20% = 42,909 kg/cm <sup>2</sup> , kandungan tanah 40%, pasir 15% = 31,443 kg/cm <sup>2</sup> , dan kandungan tanah 50% pasir 10% = 28,714 kg/cm <sup>2</sup> . Cement Treated Base (CTB) pada prosentase kandungan tanah 10%, pasir 30%, dan kandungan tanah 20%, pasir 25% nilai kuat tekan rata-rata di atas 45 kg/cm <sup>2</sup> sebagaimana yang disyaratkan DPU 2010 sehingga dapat digunakan sebagai lapis pondasi atas jalan.	Dari hasil penelitian didapatkan hasil daur ulang beton sebagai bahan tambah dan bahan pengganti agregat kasar tidak bisa digunakan sebagai lapis pondasi karena tidak memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Sedangkan kasar baru Clereng dengan kadar semen 5% dapat digunakan sebagai bahan lapis pondasi dengan nilai kuat tekan pada kadar air 5%, 7%, 9% dan 11% sebesar 46,878 Kg/cm <sup>2</sup> , 52,708 Kg/cm <sup>2</sup> , 47,721 Kg/cm <sup>2</sup> , dan 45,333 Kg/cm <sup>2</sup>

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Perkerasan Jalan**

##### **3.1.1 Pengertian Perkerasan jalan**

Perkerasan jalan adalah campuran antara agregat dan bahan pengikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas (Sukirman, 1999). Agregat yang dipakai berupa batu pecah, batu belah, batu kali ataupun bahan lainnya. Bahan pengikat yang dipakai berupa aspal, semen ataupun tanah liat.

Pada umumnya, perkerasan jalan terdiri dari beberapa jenis lapisan perkerasan yang tersusun dari bawah ke atas berikut ini:

1. Lapisan tanah dasar (*sub grade*),
2. Lapisan pondasi bawah (*subbase course*),
3. Lapisan pondasi atas (*base course*) dan,
4. Lapisan permukaan / penutup (*surface course*).

Lapis perkerasan pada suatu jalan terdiri dari satu ataupun beberapa lapis material batuan dan bahan ikat. Bahan batuan dapat terdiri dari berbagai fraksi batuan yang direncanakan sedemikian sehingga memenuhi persyaratan yang dituntut.

Secara umum konstruksi perkerasan Jalan terbagi menjadi 2 (dua) jenis perkerasan, yaitu.

##### **3.1.2 Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*).**

Perkerasan lentur merupakan perkerasan yang terbuat dari bahan batuan dari berbagai fraksi yang membentuk gradasi batuan sesuai dengan persyaratan dan diikat oleh bahan pengikat aspal. Pada umumnya, perkerasan lentur mempunyai kelenturan yang cukup tinggi jika dibandingkan dengan lapis keras kaku (*rigid pavement*), dengan demikian perkerasan lentur sangat baik digunakan pada konstruksi jalan yang mengalami lendutan relatif besar akibat beban lalu lintas.

### 3.1.3 Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*).

Perkerasan kaku merupakan perkerasan yang terdiri dari komponen batuan (*aggregate*) kerikil dan pasir yang dicampur dan diikat oleh bahan pengikat Semen Portland (PC). Perkerasan ini terdiri dari plat beton semen yang diletakkan langsung di tanah dasar yang telah dipersiapkan ataupun di atas pondasi (*base*) agregat kelas A atau kelas B. Perbedaan utama dari perkerasan lentur dan perkerasan kaku terdapat pada proses bagaimana cara struktur tersebut meneruskan beban lalu lintas ke tanah dasar (*Subgrade*). Perkerasan kaku mampu menyebarkan beban pada tanah dasar dengan daerah penyebaran yang luas, sehingga tekanan yang diterima tanah dasar persatuan luas akibat beban lalu lintas menjadi sangat kecil.

Kekakuan yang dimiliki oleh perkerasan kaku dapat ditingkatkan dengan memperbaiki mutu bahan penyusunnya yang berarti menaikkan mutu beton semennya. Berbeda dengan perkerasan kaku, pada perkerasan lentur terdiri dari beberapa lapis, sehingga kemampuan untuk melimpahkan beban lalu lintas ke tanah dasar tergantung dari sifat - sifat penyebaran beban oleh masing - masing lapisan. Berdasarkan kenyataan di atas maka kekuatan dari Jenis perkerasan lentur ini ditentukan oleh kekuatan bahan penyusunnya, tebal masing masing lapisan dan kekuatan tanah dasarnya.

Ditinjau dari kualitas konstruksi, lapis keras beton aspal merupakan konstruksi lapis keras paling bagus. Untuk mendapatkan kualitas ini, persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi pada pembuatan konstruksi beton aspal juga paling ketat. Adapun Fungsi dari lapis permukaan adalah:

1. Sebagai pendukung beban lalu lintas
2. Sebagai pelindung konstruksi dibawahnya dari kerusakan akibat pengaruh air dan cuaca
3. Sebagai lapis aus
4. Menyediakan permukaan jalan yang rata dan tidak licin

Lapisan perkerasan jalan berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya terus ke tanah dasar, berikut jenis lapisan perkerasan dan fungsinya.

1. Lapisan Tanah Dasar (*Sub grade*)

Lapisan tanah dasar adalah lapisan tanah yang berfungsi sebagai tempat perletakan lapis perkerasan dan mendukung konstruksi perkerasan jalan di atasnya. Menurut Spesifikasi, tanah dasar adalah lapisan paling atas dari timbunan badan jalan setebal 30 cm, yang mempunyai persyaratan tertentu sesuai fungsinya, yaitu yang berkenaan dengan kepadatan dan daya dukungnya (CBR). Lapisan tanah dasar dapat berupa tanah asli yang dipadatkan jika tanah aslinya baik, atau tanah urugan yang didatangkan dari tempat lain atau tanah yang distabilisasi dan lain lain.

2. Lapis Pondasi Bawah (*subbase course*)

Lapis pondasi bawah adalah lapisan perkerasan yang terletak di atas lapisan tanah dasar dan di bawah lapis pondasi atas. Material yang digunakan untuk lapisan pondasi bawah umumnya harus nilai CBR minimum 20% dan Plastisitas Indeks (PI) < 10% (DPU, 378/KPTS/1987). Biasa di Indonesia lapisan ini memakai lapisan pasir dan batu (Sirtu) kelas A, B atau kelas C atau tanah/lempung kepasiran. Selain itu dapat pula digunakan stabilitas agregat atau tanah dengan semen atau kapur.

3. Lapis Pondasi Atas (*base course*)

Lapisan pondasi atas adalah lapisan perkerasan yang terletak di antara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan. Lapisan pondasi atas ini berfungsi sebagai berikut.

- a) Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban ke lapisan di bawahnya.
- b) Bantalan terhadap lapisan permukaan.
- c) Bahan-bahan untuk lapis pondasi atas ini harus cukup kuat dan awet sehingga dapat menahan beban-beban roda.

4. Lapis Permukaan (*surface course*)

Lapisan permukaan adalah lapisan yang bersentuhan langsung dengan beban roda kendaraan dan meneruskan beban kendaraan ke lapisan di bawahnya. Lapisan permukaan ini berfungsi sebagai berikut.

- a) Lapisan yang langsung menahan akibat beban roda kendaraan.
- b) Lapisan yang langsung menahan gesekan akibat rem kendaraan.
- c) Lapisan yang mencegah air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan bawahnya dan melemahkan lapisan tersebut.

- d) Lapisan yang menyebarkan beban ke lapisan bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan di bawahnya.

### 3.2 Beton

Beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat (SNI-03-2847, 2002). Agregat halus yang digunakan biasanya adalah pasir alam maupun pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu, sedangkan agregat kasar yang dipakai biasanya berupa batu alam maupun batuan yang dihasilkan oleh industri pemecah batu. Menurut (Lorrain, 1991). Campuran semen dengan air disebut pasta semen yang memiliki fungsi sebagai bahan perekat, agregat halus berupa pasir atau abu batu sedangkan agregat kasar berupa kerikil atau batu pecah yang keduanya berfungsi sebagai pengisi (Hendro, 2010).

Kuat tekan beton merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mengontrol mutu dari sebuah beton. Tinggi atau rendahnya nilai kuat tekan pada beton dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah:

- a. FAS (faktor air semen).
- b. Sifat agregat.
- c. Jumlah semen dan jenis semen yang digunakan.
- d. Umur beton.
- e. Kepadatan (*density*).
- f. Bahan tambah (*additive*)

### 3.3 Lapis Fondasi Agregat Semen (*Cement Treated Base*)

#### 3.3.1 Pengertian Lapis Fondasi Agregat Semen (*Cement Treated Base*)

CTB merupakan campuran agregat halus dan kasar, semen, dan air. Bahan-bahan tersebut dicampur dengan alat khusus sehingga dapat menghasilkan campuran beton setengah basah dengan kadar air minimum (Slump Nol) (Andanawarih, 2017). Penggunaan CTB biasanya pada konstruksi perkerasan jalan sebagai lapis konstruksi pondasi bawah (*Sub Base*) atau pondasi atas (*Base Course*).



CTB merupakan *base* atau perkerasan yang mempergunakan *Portland Cement* sebagai *filler*. Karena semen *PC* bisa mengeras seperti batu maka kualitas atau kekuatan dari CTB adalah jauh lebih baik dari pada base biasa dengan filler debu atau tanah liat, sehingga CTB diberi nilai struktur lebih tinggi dari pada base dari bahan batu pecah biasa, namun demikian masih dibawah base dari *lean concrete* yang mempunyai kandungan semen *PC* sedikit lebih tinggi.

Menurut (Rahman, 2015), proses pembuatan CTB mempunyai beberapa kelebihan, antara lain:

- a. CTB menghasilkan nilai CBR  $> 100$  % lebih tinggi dari agregat biasa, sehingga dapat mengurangi tebal rencana perkerasan,
- b. Lapisan konstruksi pada CTB tidak peka terhadap air, sifat ini sangat membantu untuk konstruksi yang memiliki muka air tanah tinggi,
- c. Proses pelaksanaan CTB dapat dilakukan meskipun berada didaerah yang memiliki kondisi curah hujan tinggi,
- d. Masa pelaksanaan CTB yang relatif cepat sehingga terciptanya efisiensi waktu. CTB hanya membutuhkan masa *curing* 3 hari untuk dilalui kendaraan atau dilanjutkan pekerjaan konstruksi diatasnya setelah pemadatan,
- e. CTB tidak membutuhkan siar detalasi maupun construction joint,
- f. CTB tidak membutuhkan cetakan dan tulangan,
- g. CTB dapat mengakomodasi penurunan setempat.

### 3.4 Bahan Penyusun CTB

#### 3.4.1 Semen

Semen yang digunakan merupakan Semen Portland Tipe 1 yang memenuhi ketentuan SNI 15-2004-2004. atau PPC (*Portland Pozzolan Cement*) yang memenuhi ketentuan SNI 15-0302-2004 dapat digunakan apabila diizinkan tertulis oleh Pengawas Pekerjaan.

Semen *portland* merupakan bahan yang sering digunakan dalam proses pekerjaan beton. Semen *portland* tipe 1 (PPC) di definisikan sebagai bahan pengikat *hidrolis* berupa bubuk-bubuk halus yang dihasilkan dengan cara



menghaluskan klinker yang terdiri dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis, dengan batu gips sebagai bahan tambahan.

Fungsi utama dari semen adalah sebagai perekat/pengikat butir-butir agregat agar membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga-rongga udara di antara butir-butir agregat. Walaupun komposisi semen dalam suatu campuran beton hanya sekitar 10%, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi sangat penting.

*Pedoman Beton 1989* (SKBII.1.4.53.2988) dalam ulasannya membagi semen portland menjadi beberapa jenis, yaitu:

- a. Tipe I, semen portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis-jenis lainnya.
- b. Tipe II, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi yang sedang.
- c. Tipe III, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Tipe IV, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah.
- e. Tipe V, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

### **3.4.2 Agregat**

Agregat merupakan butiran mineral yang digunakan pada proses CTB sebagai bahan pengisi dan memiliki jumlah sekitar 50 -75 % dari total volume yang dimiliki CTB, sehingga sifat-sifat dan mutu yang dimiliki oleh CTB dipengaruhi oleh sifat-sifat dan mutu agregat sebagai penyusunnya. Maksud dari penggunaan agregat dalam proses pembuatan CTB adalah memberi bentuk dan kekerasan serta mengontrol dalam kemudahan pengerjaan.

Agregat yang akan digunakan harus memenuhi persyaratan dan ketentuan saringan agregat untuk mengetahui jenis dan tipe agregat yang digunakan. Persyaratan dan ketentuan saringan agregat kasar dan halus dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 3.1 Spesifikasi Ketentuan Saringan Agregat Kasar**

Lubang ayakan (mm)	Persen Butir Agregat Lolos Ayakan / Besaran Butiran Maksimum		
	40 mm	20 mm	10 mm
40,00	95-100	100	-
20,00	35-70	95-100	100
10,00	10-40	30-60	50-85
4,80	0-5	0-10	0-10

**Tabel 3.2 Spesifikasi Ketentuan Saringan Agregat Halus**

Gradasi Pasir				
Lubang ayakan (mm)	Persen Butir Agregat Lolos Ayakan (%)			
	Daerah I	Daerah II	Daerah III	Daerah IV
10.00	100	100	100	100
4.80	90-100	90-100	90-100	95-100
2.40	60-95	75-100	85-100	95-100
1.20	30-70	55-90	75-100	90-100
0.60	15-34	35-59	60-79	80-100
0.30	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

Agregat dapat berasal dari agregat alam ataupun dari agregat buatan. Secara umum agregat dapat dibedakan dari ukuran bentuknya, yang dapat dibedakan menjadi dua, yaitu agregat kasar dan agregat halus.

#### 1. Agregat Kasar

Agregat kasar yang sering juga disebut sebagai batu pecah adalah material yang mempunyai ukuran butiran yang lebih dari 4.75 mm, agregat kasar didapat dari hasil disintegrasi alam atau batu pecah. Pemilihan jenis agregat yang akan digunakan sebagai bahan campuran beton tergantung kepada mutu yang direncanakan, tersedianya bahan dan harga serta jenis konstruksi yang dipakai.

Kerikil dalam penggunaannya harus memenuhi syarat syarat sebagai berikut.

- a. Butir butir keras yang tidak berpori serta bersifat kekal yang artinya tidak pecah karena pengaruh cuaca seperti sinar matahari dan hujan,
- b. Tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, apabila melebihi maka harus dicuci lebih dahulu sebelum menggunakannya,
- c. Tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak batuan seperti zat-zat yang reaktif terhadap alkali,
- d. Agregat kasar yang berbutir pipih hanya dapat digunakan apabila jumlahnya tidak melebihi 20% dari berat keseluruhan.

Karakteristik dan sifat dari agregat kasar dapat mempengaruhi kekuatan dari beton. Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) terdapat beberapa pemeriksaan agregat kasar yang akan digunakan. Pemeriksaan yang digunakan dalam percobaan ini adalah sebagai berikut.

#### 1) Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat jenis dan penyerapan air pada agregat, berat jenis mempengaruhi terhadap klasifikasi dan mutu agregat.

Dalam pengujian ini, Terlebih dahulu merendam agregat kasar yang akan diuji dalam air pada suhu 25°C selama 24 jam sampai jenuh. Setelah itu mengeringkan dengan mengeringkan permukaannya menggunakan kain sampai mencapai kondisi *ssd* (*saturated surface dry*) atau kondisi jenuh kering permukaan. Langkah selanjutnya menimbang agregat dalam keadaan *ssd* (misal A gram), Segera setelah itu menimbang agregat dalam air, dan mencatat beratnya (B gram). Kemudian memasukan benda uji ke dalam oven dengan suhu (110 ± 5)°C, sampai beratnya tetap, dan mencatat berat tersebut (C gram).

Berat jenis dan penyerapan air dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Berat Jenis} = \frac{Bk}{Bj - Ba} \quad (3.1)$$

$$\text{Berat Jenis SSD} = \frac{Bj}{Bj - Ba} \quad (3.2)$$

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{Bk}{Bk - Ba} \quad (3.3)$$

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \quad (3.4)$$

dengan :

B<sub>k</sub> = Berat kerikil kering mutlak (gram),

B<sub>j</sub> = Berat kerikil kondisi jenuh kering muka/SSD (gram),

B<sub>a</sub> = Berat kerikil dalam air (gram).

## 2) Pemeriksaan modulus kasar butiran

Modulus kasar butiran merupakan indikator untuk mengetahui tingkat kehalusan dan kekasaran suatu agregat. Modulus kasar butiran digunakan sebagai gambaran mengenai persentase butiran agregat. Nilai modulus kasar butir yang semakin kecil menunjukkan butir-butir agregat semakin kecil dan sebaliknya. Nilai modulus kasar butiran secara umum sebesar 5,0 sampai 8,0. Penentuan nilai modulus kasar butiran menurut (SNI03-1968-1990) menggunakan persamaan (3.5) sebagai berikut.

$$\text{Modulus kasar butiran} = \frac{\text{Jumlah tertinggal kumulatif}}{100} \quad (3.5)$$

## 3) Pengujian keausan agregat (abrasi test)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan Mesin *Los Angeles*. Keausan tersebut dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan no 12 terhadap berat semula dalam persen.

Adapun tahapan proses pengujian dalam uji keausan agregat (abrasi test) adalah sebagai berikut :

- a) Benda uji dan bola baja dimasukkan ke dalam Mesin Los Angeles
- b) Mesin terdiri dari silinder baja tertutup pada kedua sisinya dengan diameter 71 cm (28") panjang dalam 50 cm (20"). Silinder bertumpu pada dua poros pendek yang tak menerus dan berputar pada poros mendatar. Silinder berlubang untuk memasukkan benda uji. Penutup lubang terpasang rapat sehingga permukaan dalam silinder tidak terganggu. Di bagian dalam silinder terdapat bilah baja melintang penuh setinggi 8,9 cm (3,56").

- c) Bola-bola baja dengan diameter rata-rata 4,68 cm (17/8") dan berat masing-masing antara 390-445 gram. Jumlah bola baja dalam pengujian ini adalah 11 buah.
- d) Memutar mesin dengan kecepatan 30-33 rpm. sebanyak 500 putaran.
- e) Setelah selesai pemutaran, mengeluarkan benda uji dari mesin kemudian menyaring dengan saringan no.12. butiran yang tertahan di atasnya dan mencucinya hingga bersih, selanjutnya mengeringkan benda uji dalam oven pada suhu  $(110 + 5)^{\circ}\text{C}$  sampai berat tetap.

Keausan agregat dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Keausan} = \frac{A-B}{A} \times 100\% \quad (3.6)$$

dengan :

A = berat benda uji semula (gram)

B = berat benda uji tertahan saringan No.12 (gram)

## 2. Agregat Halus

Agregat halus merupakan agregat yang ukuran butirannya berikisar antara 0.075 mm sampai dengan 4.75 mm yang diperoleh dari hasil disintegrasi batuan alam atau didapat dari pemecah batu berdiameter besar.

Pada umumnya kerikil disyaratkan bagian yang aus/hancur tidak lebih dari 10 % setelah diputar 10 kali, dan tidak boleh lebih dari 40 % setelah diputar 100 kali. Persyaratan keausan agregat menurut Direktorat Jenderal Bina Marga Tahun 2018 keausan yang diperbolehkan adalah maksimum 40 %.

Adapun persyaratan umum dalam penggunaan agregat halus sebagai campuran beton, adalah:

- a. Agregat halus terdiri dari butiran-butiran tajam dan keras yang bersifat kekal, dalam arti tidak pecah atau hancur terhadap pengaruh cuaca seperti panas terik matahari dan air hujan.
- b. Agregat halus yang akan digunakan tidak boleh terdapat kandungan lumpur lebih dari 5% (terhadap berat kering)
- c. Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak, tidak melebihi warna standar

- d. Agregat halus harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan melalui saringan 4.75 mm dan tertahan pada saringan no. 200 (0.075 mm)

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) terdapat beberapa pemeriksaan agregat halus yang akan digunakan. Pemeriksaan yang digunakan sebagai berikut.

- a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis dan penyerapan air pada agregat, berat jenis mempengaruhi terhadap klasifikasi dan mutu agregat.

Dalam pengujian ini, Agregat halus (pasir) yang akan diuji terlebih dahulu direndam dalam air pada suhu 25°C selama 24 jam sampai jenuh. Setelah itu memanaskan secara bertahap dengan bantuan sinar matahari, *hair dryer*, atau lampu sorot. Selama proses pemanasan benda uji harus dibolak balik agar keringnya merata, panaskan sampai mencapai ssd. Untuk mengetahui bahwa pasir telah mencapai ssd, di tes dengan alat kerucut terpancung. Memasukkan pasir ke dalam kerucut terpancung dari bagian atas. kemudian memadatkan dengan alat pemadat sebanyak 25 kali, setiap pemadatan alat pemadat dijatuhkan secara bebas dengan jarak 5mm (0.2 in) dari permukaan atas pasir. Mengangkat kerucut terpancung tadi, dan lihat bentuk runtuhannya. jika bentuknya tetap, berarti pasir masih basah, jika runtuh seluruhnya pasir terlalu kering. Kondisi ssd tercapai jika pada saat kerucut di angkat, pasir tersebut tingginya tetap, tapi lerengnya runtuh. Jika sudah ssd langkah selanjutnya mengambil pasir tersebut kurang lebih 500 gram (A gram), lalu memasukkan ke dalam picnometer dengan kapasitas 1000 ml, isi ruang kosong dengan air sampai pada batas tertentu (jika ada udara yang terperangkap dalam pasir terlebih dahulu dikeluarkan) lalu ditimbang (B gram). Keluarkan abu batu dan airnya dari picnometer, lalu masukkan ke dalam oven dengan suhu  $(110 + 5)^{\circ}\text{C}$ , sampai beratnya tetap, timbang beratnya (C gram ).

Mengisi piknometer yang telah kosong dengan air saja, sampai pada batas tertentu, lalu menimbang piknometer tersebut (D gram)

Berat jenis dan penyerapan air dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Berat Jenis} = \frac{Bk}{B+500- Bt} \quad (3.7)$$

$$\text{Berat Jenis SSD} = \frac{500}{B+500- Bt} \quad (3.8)$$

$$\text{Berat Jenis Semu} = \frac{Bk}{B+Bk- Bt} \quad (3.9)$$

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{500-Bk}{Bk} \quad (3.10)$$

dengan :

$Bk$  = berat pasir kering mutlak (gram),

$Bt$  = berat piknometer berisi air dan pasir (gram),

$B$  = berat piknometer berisi air (gram).

b. Pengujian modulus halus butiran

Modulus halus butiran merupakan indikator yang digunakan untuk mengetahui nilai kehalusan dan kekasaran dari suatu agregat. Nilai modulus halus butir yang semakin kecil menunjukkan butir-butir agregat semakin kecil dan sebaliknya. Nilai modulus halus butir secara umum sebesar 1,5 sampai 3,8. Penentuan nilai modulus kasar butiran menurut (SNI03-1968-1990) menggunakan persamaan 3.11 sebagai berikut.

$$\text{Modulus halus butiran} = \frac{\text{Jumlah tertinggal kumulatif}}{100} \quad (3.11)$$

c. Pengujian kandungan lumpur dalam pasir

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui jumlah kandungan lumpur yang terdapat dalam pasir. Kandungan lumpur yang disyaratkan untuk agregat halus maksimal 5 %.

Dalam pengujian ini agregat halus (pasir) yang akan diuji terlebih dahulu di oven dengan suhu  $(110 + 5)^{\circ}\text{C}$ , sampai beratnya tetap, kemudian ditimbang beratnya 2000 gram (A gram). Letakkan pasir diatas saringan no. 200 kemudian siram (cuci) dengan air hingga air buangnya jernih.



Setelah itu masukkan pasir kedalam oven dengan suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ , sampai beratnya tetap, timbang beratnya (B gram).

Kandungan lumpur dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Kandungan lumpur} = \frac{A-B}{A} \times 100 \% \quad (3.12)$$

dengan :

A = Berat pasir kering oven sebelum dicuci

B = Berat pasir kering oven setelah dicuci

### 3.4.3 Air

Air merupakan bahan dasar dalam proses pembuat beton yang diperlukan untuk bereaksi kimia dengan semen yang memungkinkan untuk terjadinya pengikatan dan pengerasan dan menjadi pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan (Kardiyono, 1996). Reaksi dari air dan semen akan menghasilkan pasta semen yang berfungsi sebagai pengikat antar agregat.

Perbandingan air dan semen dalam pembuatan beton sangat penting, karena akan berpengaruh pada kekuatan beton yang dihasilkan dan kemudahan dalam pengerjaannya. Bila beton terlalu banyak mengandung air akan menyebabkan timbulnya gelembung setelah proses hidrasi selesai, bila beton kekurangan air akan menyebabkan proses pengerjaan beton sulit dan beton akan menjadi porous setelah mengeras sehingga kekuatannya akan turun.

Air yang digunakan pada penelitian *Cement Treated Base* diambil dari air yang tersedia di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia. Air yang digunakan telah dipastikan bebas dari endapan material, zat yang merusak dan lumpur.

### 3.4.4 Spesifikasi Bahan Lapis Pondasi

#### 1. Kelas Lapis Pondasi Agregat (CTB)

Lapis Pondasi Agregat terbagi menjadi tiga kelas yang berbeda, yaitu Kelas A, Kelas B dan Kelas S. Pada lapis pondasi atas harus terdiri dari agregat kelas A atau kelas B, sedangkan untuk lapis bahu jalan tanpa penutup harus terdiri dari agregat kelas S.

#### 2. Fraksi Agregat Kasar



Agregat kasar (agregat yang tertahan pada ayakan 4,75 mm) harus terdiri dari partikel yang keras dan awet. Agregat kasar kelas A yang berasal dari batu kali harus memiliki angularitas 95/90\*. Agregat kasar kelas B dan kelas S yang berasal dari batu kali memiliki angularitas 55/50\*.

Nilai angularitas 95/90\* menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih

### 3. Fraksi Agregat Halus

Agregat halus (lolos ayakan 4,75 mm) harus terdiri dari partikel pasir alami atau batu pecah halus.

Adapun gradasi lapis pondasi agregat dan lapis drainase dapat dilihat pada t Gambar 3.1 sebagai berikut

Ukuran Ayakan		Persen Berat Yang Lolos			
		Lapis Fondasi Agregat			Lapis Drainase
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	Kelas S	
2"	50		100		
1½"	37,5	100	88 - 95	100	100
1"	25,0	79 - 85	70 - 85	77 - 89	71 - 87
¾"	19,0				58 - 74
½"	12,5				44 - 60
3/8"	9,50	44 - 58	30 - 65	41 - 66	34 - 50
No.4	4,75	29 - 44	25 - 55	26 - 54	19 - 31
No.8	2,36				8 - 16
No.10	2,0	17 - 30	15 - 40	15 - 42	
No.16	1,18				0 - 4
No.40	0,425	7 - 17	8 - 20	7 - 26	
No.200	0,075	2 - 8	2 - 8	4 - 16	

**Gambar 3.1 Gradasi Lapis Fondasi Agregat dan Lapis Drainase**

(Sumber : Tabel 5.1.2.1 Spesifikasi Bina Marga DIVISI Tahun 2018)

### 3.5 Limbah Beton

Limbah beton merupakan sisa hasil konstruksi pekerjaan bangunan yang tidak digunakan yang jika dibiarkan begitu saja akan menjadi pencemaran dan menimbulkan masalah terhadap lingkungan. Limbah beton yang dibiarkan tanpa ada penanganan akan menimbulkan permasalahan tersendiri bagi lingkungan. Pembuangan limbah memerlukan biaya dan tempat pembuangan. Saat ini beton siap pakai (*ready mix*) memang sedang marak digunakan dalam pembuatan

kontruksi bangunan, namun pada penerapannya sering terjadi kelebihan *supply* dan sisanya terkadang dibuang di sembarang tempat, sehingga dapat menimbulkan permasalahan baru. Oleh karena itu limbah beton yang mengotori lingkungan perlu kita manfaatkan sebagai salah satu bahan material dalam pekerjaan konstruksi.

Dalam hal ini, limbah beton yang sudah tidak digunakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia digunakan sebagai bahan pengganti dan bahan tambah agregat kasar dalam pembuatan CTB. Limbah beton yang digunakan dalam proses pembuatan CTB berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm serta memiliki nilai kuat tekan sebesar 25-30 Mpa. Limbah beton bernilai mutu 25-30 mpa yang terdapat di sekitar Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil di daur ulang menggunakan mesin *stone crusher*.

Proses daur ulang limbah beton disesuaikan untuk mencapai kebutuhan agregat kasar sesuai pada Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018. Pada proses daur ulang beton menggunakan 50 silinder beton yang dipecah dengan mesin *stone crusher* sehingga menghasilkan variasi agregat dengan ukuran  $\frac{1}{2}$ ", 1", 2", 3", 4" dan 5". Limbah beton yang telah di pecah selanjutnya digunakan sebagai bahan pengganti agregat kasar dan juga sebagai bahan tambah agregat kasar pada perencanaan CTB.



**Gambar 3.2 Limbah Beton**

### 3.6 Pemadatan

Proses pembuatan benda uji *Cement Treated Base* berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018, perlu dilakukan proses pemadatan. Terdapat 2 (dua) cara usaha pemadatan di laboratorium yang diperkenalkan oleh *Proctor*, yaitu *Standard Proctor Test* dan *Modified Proctor Test*. Kedua tes pemadatan tersebut menggunakan prinsip yang sama, kecuali tenaga, jumlah tumbukan, berat hammer dan tinggi jatuh yang diperlukan untuk pemadatan.

Perencanaan CTB di lapangan dan di laboratorium tentu berbeda, oleh karena itu perlu adanya penyesuaian alat pemadatan, jumlah tumbukan, dan teknik pelaksanaan pemadatan di laboratorium. Alat penumbuk yang digunakan adalah alat penumbuk tangan dengan berat 2,5 kg dan memiliki tinggi jatuh 30 cm. Alat penumbuk terbuat dari logam yang mempunyai permukaan tumbuk rata, ukuran 14,8 cm x 14,8 cm dilengkapi dengan selubung yang bisa mengatur tinggi jatuh secara bebas.

Penentuan kepadatan laboratorium menggunakan SNI 1943:2008 metode D dengan menggunakan bahan pengganti untuk ukuran agregat tertahan ayakan di atas 19 mm (3/4"). Selanjutnya, banyaknya agregat, air dan semen untuk pengujian kuat tekan didasarkan pada hasil pengujian kadar air optimum dan berat kering maksimum dari campuran agregat semen.

Kekuatan campuran didasarkan atas kuat tekan benda uji silinder diameter 150 mm dan tinggi 300 mm pada umur 7 hari.

Benda uji silinder menggunakan bahan yang disiapkan sesuai SNI 1743:2008 metode D, didapatkan dalam 5 lapis, masing-masing lapisan ditumbuk sebanyak 145 tumbukan dengan berat alat penumbuk 4,5 kg dan tinggi jatuh 45 cm. Selanjutnya, uji kuat tekan benda uji silinder sesuai dengan ketentuan SNI 1974:2011.

Catatan:

1. Pemadatan sebanyak 145 tumbukan masing-masing lapisan berdasarkan perhitungan perbandingan antara volume silinder (diameter 15 cm dan tinggi 30 cm) dengan volume tabung alat pemadatan (*proctor*) (diameter 152 mm dan tinggi 116 mm) dikalikan 56 tumbukan.

2. Perkiraan penggunaan kadar semen untuk lapis pondasi agregat semen kelas A (CTB) adalah 3-5% dan lapis pondasi agregat kelas B (CTSB) adalah 4-6%. Kadar semen yang diperlukan harus ditentukan berdasarkan hasil rancangan campuran kerja (*job mix desain*).
3. Selama proses penghamparan lapis pondasi agregat semen, percobaan silinder minimum 4 benda uji harus dilakukan.

Persyaratan kuat tekan dari lapis pondasi agregat semen kelas A (CTB) dan kelas B (CTSB) dalam umur 7 hari masing-masing 45–55 kg/cm<sup>2</sup> dan 35–45 kg/cm<sup>2</sup>. (DPU 2018 : DIVISI 5)

### 3.7 Kuat Tekan Beton

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Semakin tinggi kekuatan struktur dikehendaki, semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan (Mulyono, 2005).

Pengujian kuat tekan dilakukan pada sampel CTB umur 7 hari sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga menggunakan sampel benda uji yang memiliki diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Benda uji CTB berjumlah 60 buah dilakukan pengujian kuat tekan untuk menentukan kadar air optimum yang dihasilkan dari beberapa variasi kadar air. Perencanaan CTB menggunakan perbandingan proporsi 50% agregat kasar dan 50% agregat halus dengan total 3 sampel pada setiap variasi. Adapun variasi benda uji yang akan dilakukan untuk mencari nilai kadar air optimum pada pengujian kuat tekan beton *Cement Treated Base* sebagai berikut.

1. Benda uji menggunakan agregat kasar alami batu Clereng dengan kadar semen 3% dan trial variasi kadar air 5%, 7%, 9% dan 11%. (12 sampel),
2. Benda uji menggunakan agregat kasar alami batu Clereng dengan kadar semen 4% dan trial variasi kadar air 5%, 7%, 9% dan 11%. (12 sampel),
3. Benda uji menggunakan agregat kasar alami batu Clereng dengan kadar semen 5% dan trial variasi kadar air 5%, 7%, 9% dan 11%. (12 sampel),

4. Benda uji menggunakan agregat kasar campuran (*mix*) antara agregat alami batu Clereng dan Limbah Beton dengan kadar semen 5% dan trial variasi kadar air 5%, 7%, 9% dan 11%. (12 sampel), dan
5. Benda uji menggunakan agregat kasar Limbah beton dengan kadar semen 5% dan trial variasi kadar air 5%, 7%, 9% dan 11%. (12 sampel)

Rumus yang digunakan untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton berdasarkan hasil percobaan di laboratorium adalah sebagai berikut ini.

$$f_c' = \frac{P}{A} \quad (3.14)$$

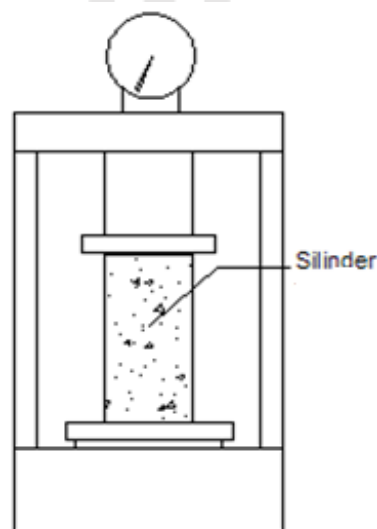
dengan :

$f_c'$  = kuat tekan (kg/cm<sup>2</sup>)

P = beban tekan (Kg)

A = luas penampang benda uji (cm<sup>2</sup>)

Beton akan mempunyai kuat tekan yang tinggi jika tersusun dari bahan lokal yang berkualitas baik. Bahan penyusun beton yang perlu mendapat perhatian adalah agregat, karena agregat mencapai 70-75% volume beton (Dipohusodo, 1996). Sketsa pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Gambar 3.3 sebagai berikut.



**Gambar 3.3 Sketsa Pengujian Kuat Tekan Beton**

### 3.8 Kadar Air Optimum

Kadar air agregat merupakan jumlah kandungan air dalam agregat atau perbandingan antara berat air dalam agregat dengan berat agregat dalam kondisi kering. Pada proses pembuatan beton selain menggunakan campuran agregat dan bahan pengikat, terdapat unsur lain yang sangat penting dalam menyatukan agregat 1 dengan yang lain yaitu air. Sehingga air dalam pembuatan beton sangat penting perannya karena dapat menyebabkan campuran beton terlalu keras ataupun terlalu encer karena terlalu banyak kandungan air pada campuran tersebut.

Perhitungan kadar air optimum dapat dicari melalui persamaan regresi garis polynomial dari grafik perbandingan kadar air dengan nilai kuat tekan CTB berumur 7 (tujuh) hari yang telah diturunkan ( $\frac{dx}{dy} = 0$ ). Setelah diturunkan, maka akan didapat kadar air optimum dan kuat tekan maksimum CTB pada tiap-tiap kadar semen. Hasil penelitian kadar air optimum CTB umur 7 hari.

### 3.9 Analisis statistik

Analisis statistik merupakan metode pengumpulan dan eksplorasi sejumlah data dengan tujuan untuk mengidentifikasi dan menafsirkan data yang diperoleh. Analisis static yang digunakan dalam penelitian CTB ini adalah standart deviasi dan tetapanya menghitung kuat tekan karakteristik pada benda uji. Tujuan penggunaan analisis static ini untuk membantu memudahkan dalam proses pengolahan data dan meyakinkan bahwa data yang diperoleh atau pengamatan yang disajikan tepat dan akurat.

#### 3.9.1 Standard Deviasi

Standard deviasi adalah nilai statistik yang digunakan untuk menentukan keragaman data dalam sampel dan seberapa dekat titik data ke nilai rata rata sampel. Standard deviasi digunakan dalam menghitung nilai kuat tekan karakteristik pada sampel beton. Standard deviasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.15)$$

dengan:

$Sd$  = Standar deviasi,

$x_i$  = Kuat tekan beton yang didapat dari masing-masing benda uji,

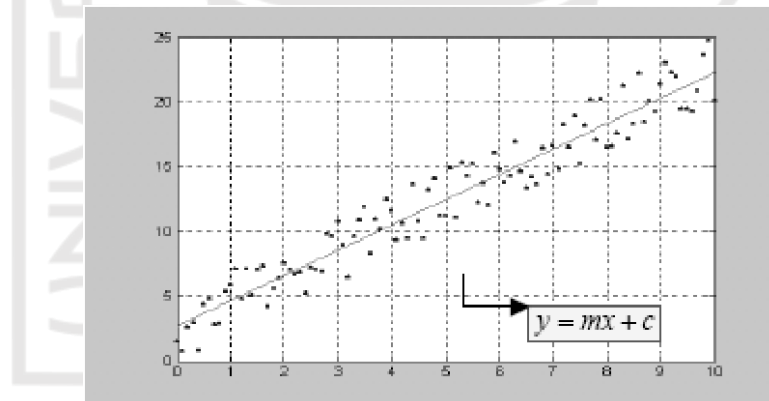
$\bar{x}$  = Kuat tekan beton rerata,

### 3.9.2 Analisis Regresi

Analisis regresi adalah sebuah metode pendekatan statistika yang digunakan untuk pemodelan hubungan antara satu variabel dependen dan satu variabel independen. Dalam analisis regresi, hubungan antara variabel bersifat linier, di mana perubahan pada variabel X akan diikuti oleh perubahan pada variabel Y secara tetap.

#### 1. Regresi Linier

Regeresi linear merupakan hubungan fungsional yang berupa fungsi linear antara satu peubah dengan peubah yang lain. Fungsi hubungan antar peubah yaitu  $Y = mx + c$ . Regresi linear dapat dilihat pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.4 Regresi Linear**

([blog.ub.ac.id](http://blog.ub.ac.id))

Untuk mendapatkan nilai fungsi dapat digunakan rumus berikut :

$$m = \frac{N\sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{N\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (3.17)$$

$$c = \frac{\sum y_i - m\sum x_i}{N} \quad (3.18)$$

#### 2. Korelasi

Korelasi merupakan cara untuk mencari hubungan antara dua variable tanpa memperhatikan variable peubah. Korelasi merupakan salah satu bentuk dan ukuran yang memiliki beberapa variabel dalam hubungan yang



menggunakan kata dari korelasi positif, sehingga terjadi perubahan meningkat pada sebuah benda.

Terdapat beberapa kemungkinan yang akan terjadi apabila data acak dipasangkan, diantaranya adalah:

$$-1 < r < 1$$

$r = 1$ , menyatakan korelasi positif

$r = -1$ , menyatakan korelasi negatif

$r = 0$ , tidak berkorelasi

Hubungan antara dua peubah dapat dinyatakan dalam rumus berikut:

$$r^2 = \frac{n(\sum xy) \cdot (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) \cdot (\sum y^2)}} \quad (3.19)$$

dengan :

$r_{xy}$  = hubungan variabel X dengan Variabel Y

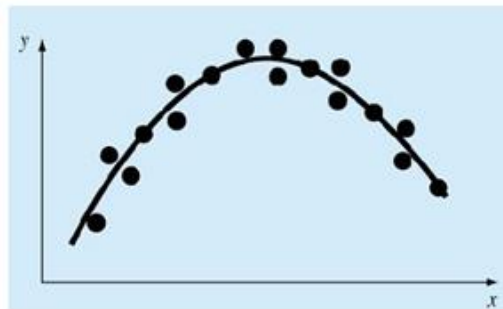
X = Nilai variabel X

Y = Nilai variabel

### 3. Regresi Polynomial

Regresi Polinomial merupakan model regresi linear yang dibentuk dengan menjumlahkan pengaruh masing-masing peubah penjelas yang dipangkatkan meningkat sampai order ke-m. Regresi Polynomial digunakan untuk menentukan fungsi polynomial yang paling sesuai dengan kumpulan Titik data  $(x_n, y_n)$  seperti pada Gambar 2.6 dan diketahui dengan fungsi pendekatan:

$$Y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n. \quad (3.20)$$



**Gambar 3.5 Regresi Polynomial**

([blog.ub.ac.id](http://blog.ub.ac.id))





## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

#### **4.1 Umum**

Metode penelitian merupakan cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan dapat dideskripsikan, dibuktikan, dikembangkan dan ditemukan pengetahuan, teori, untuk memahami, memecahkan, dan mengantisipasi masalah dalam kehidupan manusia (Sugiyono, 2010). Metode penelitian sendiri memiliki tujuan untuk memberikan gambaran rancangan penelitian agar pada proses pelaksanaan penelitian dapat berjalan secara teratur dan lebih sistematis.

Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian dengan metode eksperimen di laboratorium. Penelitian ini merupakan penelitian untuk mengetahui tingkat kinerja *Cement Treated Base* dengan bahan memanfaatkan limbah beton sebagai pengganti agregat ditinjau dari nilai kuat tekan beton pada lapis perkerasan jalan. Secara umum tahapan penelitian yang dilakukan dalam pembuatan *Cement Treated Base* adalah sebagai berikut:

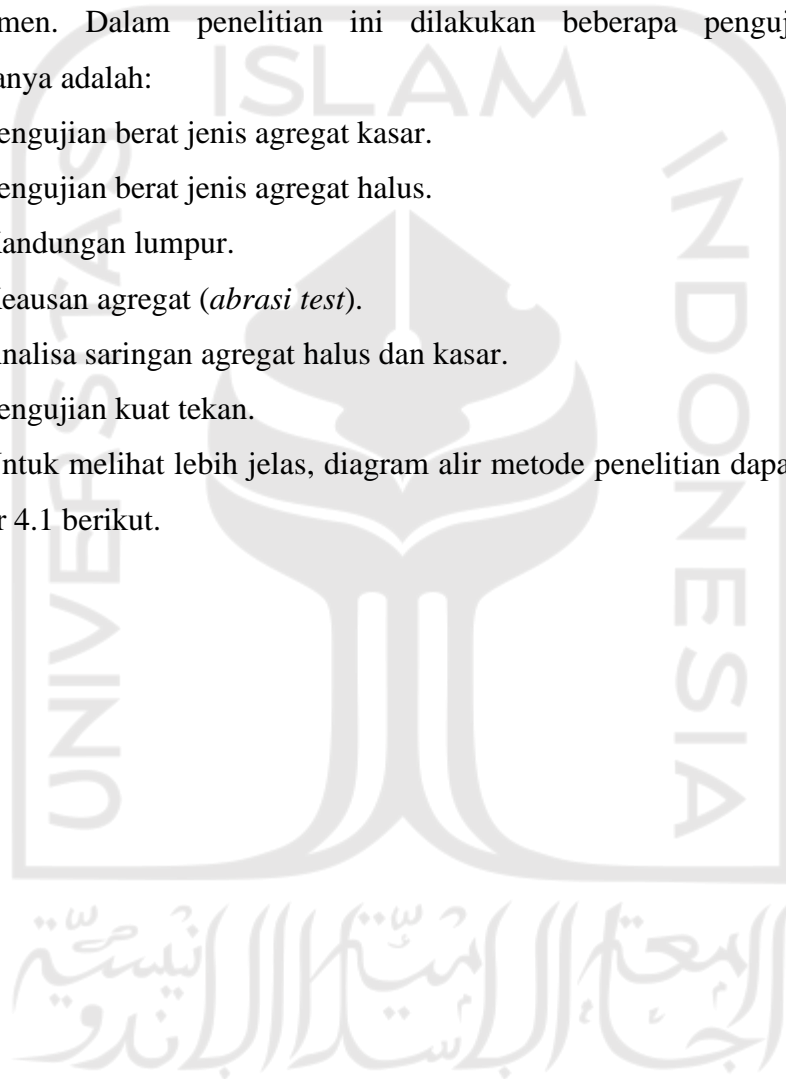
1. Tahap Persiapan meliputi bahan dan peralatan yang digunakan dalam penelitian, lokasi penelitian, sampel penelitian serta perencanaan pembuatan benda uji.
2. Tahap Pelaksanaan meliputi pembuatan sampel benda uji dan pemadatan pada sampel benda uji.
3. Tahap Perawatan penelitian meliputi proses perawatan benda uji setelah kering dan dikeluarkan dari cetakan silinder beton.
4. Tahap Pengujian meliputi pengujian kuat tekan *Cement Treated Base* pada umur 7 hari.
5. Tahap Analisa hasil meliputi proses pengumpulan dan pengolahan data setelah melakukan pengujian sampel benda uji.

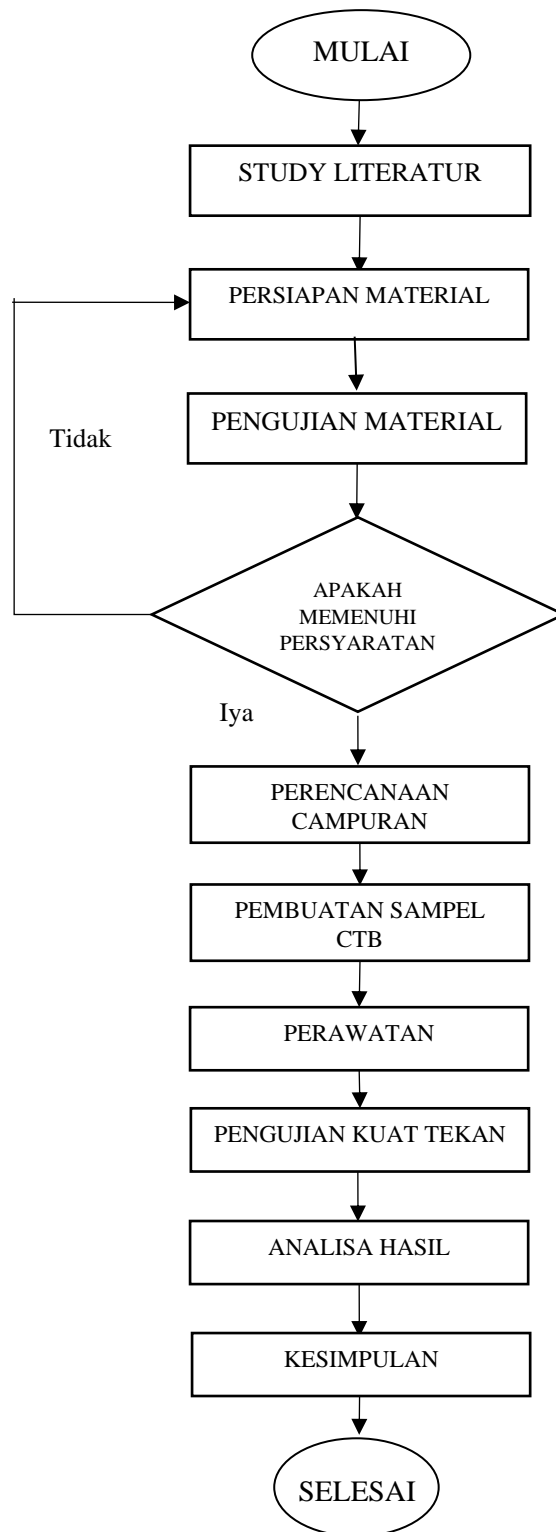
## 4.2 Prosedur Penelitian

Sesuai dengan tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui nilai kuat tekan pada *Cement Treated Base* menggunakan variasi kadar semen, kadar air serta mencari nilai kadar air optimum dengan menggunakan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar, maka metode dasar yang dipakai adalah metode eksperimen. Dalam penelitian ini dilakukan beberapa pengujian material diantaranya adalah:

1. Pengujian berat jenis agregat kasar.
2. Pengujian berat jenis agregat halus.
3. Kandungan lumpur.
4. Keausan agregat (*abrasi test*).
5. Analisa saringan agregat halus dan kasar.
6. Pengujian kuat tekan.

Untuk melihat lebih jelas, diagram alir metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.





**Gambar 4.1 Diagram Alir Metode Penelitian**

### **4.3 Persiapan Penelitian**

#### **4.3.1 Persiapan Perizinan Laboratorium**

Seluruh pelaksanaan penelitian *Cement Treated Base* ini dilakukan di Laboratorium Teknologi dan Bahan Konstruksi, Universitas Islam Indonesia. Oleh karena itu perizinan pemakaian laboratorium dibutuhkan karena menggunakan peralatan dan fasilitas di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Universitas Islam Indonesia.

#### **4.3.2 Persiapan Lokasi dan Sampel Penelitian**

Penelitian *Cement Treated Base* ini dilakukan di laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Universitas Islam Indonesia. Sampel yang digunakan dalam penelitian *Cement Treated Base* berupa silinder beton dengan lebar 15 cm dan tinggi 30 cm. Penelitian *Cement Treated Base* menggunakan variasi agregat kasar yang digunakan dengan variasi kadar air untuk mendapatkan nilai kadar air optimum yang menghasilkan kuat tekan terbaik. Jumlah total sampel benda uji yang akan dilaksanakan sebanyak 60 silinder beton.

#### **4.3.3 Persiapan Peralatan Penelitian yang Digunakan**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian perlu dipersiapkan dengan baik untuk membantu dalam proses pembuatan ataupun pengujian benda uji guna menunjang hasil penelitian yang valid. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian *Cement Treated Base* adalah sebagai berikut.

1. **Timbangan**

Dalam rangka membantu proses menakar dan menimbang benda uji yang digunakan, pada penelitian ini menggunakan timbangan dengan kapasitas maksimum 30 Kg. Timbangan tersebut digunakan untuk menakar jumlah kebutuhan material yang digunakan untuk pengujian agregat ataupun pembuatan sampel.



**Gambar 4.2 Timbangan**

2. **Piknometer**

Piknometer adalah alat yang digunakan untuk mengukur massa jenis atau densitas fluida. Penelitian ini menggunakan piknometer dengan ukuran 500 ml, nilai volume ini valid pada temperatur yang tertera pada piknometer tersebut selain itu digunakan untuk pengujian berat jenis agregat halus dan kadar lumpur.



**Gambar 4.3 Piknometer**

3. **Ayakan Mesh**

Ayakan *mesh* atau saringan pada penelitian digunakan untuk memisahkan agregat sesuai ukuran ayakan dalam pengujian analisa lolos saringan dan modulus halus butir.



**Gambar 4.4 Ayakan Mesh**

4. Cetakan silinder

Cetakan beton yang digunakan dalam penelitian berupa cetakan silinder berukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm yang berfungsi sebagai cetakan pembuatan sampel uji beton.



**Gambar 4.5 Cetakan Silinder**

5. Alat ukur

Alat ukur yang dimaksud dalam penelitian ini adalah alat ukur dimensi, bisa berupa penggaris maupun kaliper. Alat ukur digunakan untuk mengukur dimensi dari suatu benda seperti cetakan, benda uji dan pengukuran lain dalam pengujian.



**Gambar 4.6 Alat Ukur**

6. Oven

Dalam rangka proses pengeringan benda uji dalam pengujian berat jenis air dan penyerapan digunakan mesin oven.



**Gambar 4.7 Oven**

7. Ember

Ember digunakan sebagai tempat penampungan material pasir, batu, semen dan air untuk mempermudah memasukan material yang digunakan ke mesin pengaduk atau *mixer*.





**Gambar 4.8 Ember**

8. Mesin pengaduk (*Mixer*)

Mesin pengaduk yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin pengaduk bertenaga listrik. Mesin tersebut merupakan mesin dari Laboratorium BKT Universitas Islam Indonesia.



**Gambar 4.9 Mesin Pengaduk (*Mixer*)**

9. Alat pemadatan

Pada proses pembuatan sampel *Cement Treated Base* membutuhkan alat pemadatan yang berupa alat penumbuk tangan yang terbuat dari logam dengan berat  $4,536 \text{ kg} \pm 0,009 \text{ kg}$  dan mempunyai permukaan berbentuk bundar dan rata, diameter  $50,80 \text{ mm} \pm 0,25 \text{ mm}$ .



**Gambar 4.10 Alat Pemadatan**

#### **4.3.4 Persiapan Material Penelitian**

Persiapan material sangat dibutuhkan untuk mempersiapkan bahan material yang berkualitas mutu baik sebelum dilakukan proses pelaksanaan pembuatan sampel penelitian *Cement Treated Base*. Adapun proses persiapan material sebagai berikut.

1. **Penyiapan material**

Material yang harus dipersiapkan seperti agregat, semen, air dan limbah beton yang digunakan. Setelah mempersiapkan bahan-bahan, selanjutnya dipersiapkan juga alat-alat yang mendukung penelitian seperti alat untuk pengujian material dan alat untuk pengujian sampel benda uji.

2. **Pembersihan material**

Pembersihan material dilakukan pada material yang padat, yaitu agregat. Tujuannya agar menghasilkan material yang memenuhi syarat untuk campuran beton. Selain itu alat yang digunakan juga harus dibersihkan sehingga tidak adanya kotoran yang menempel pada alat. Jika ada kotoran maka akan mempengaruhi kualitas dalam pembuatan serta pengujian yang dilakukan pada penelitian ini.

### 3. Pengujian Material

Bahan dan material yang digunakan dalam penelitian *Cement Treated Base* harus memenuhi spesifikasi Direktorat Jenderal Bina Marga DIVISI 5 Tahun 2018.

Adapun bahan material yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut :

#### a. Agregat

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian berasal dari Merapi, sedangkan agregat kasar yang digunakan dalam penelitian berupa Batu Alam dari Clereng.

#### b. Air

Air yang digunakan merupakan air yang berasal dari Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Universitas Islam Indonesia. Air yang digunakan harus tampak jernih secara visual, tidak berwarna dan tidak berbau.

#### c. Semen

Pada Penelitian ini menggunakan Semen Portland (PPC) merk tiga roda.

#### d. Limbah beton

Agregat kasar limbah beton berasal dari limbah beton Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia dengan kuat mutu 25-30 MPA.

Pelaksanaan pengujian agregat merupakan salah satu langkah dalam pemeriksaan bahan yang diperlukan untuk mengetahui apakah material yang digunakan memenuhi persyaratan sesuai standar penggunaan dan standart yang berlaku seperti ASTM dan SNI. Jika ada bahan yang tidak memenuhi persyaratan, maka dilakukan penggantian material. Pengujian-pengujian material yang dilakukan adalah sebagai berikut:

#### 1. Pemeriksaan Agregat Kasar

Pemeriksaan yang digunakan dalam penelitian *Cement Treated Base* sebagai berikut.

##### a. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar

Adapun langkah-langkah pemeriksaan berat jenis agregat kasar sebagai berikut.

- 1) Persiapan peralatan dan bahan pengujian.

- 2) Pengambilan dan penimbangan agregat kasar sebanyak 5000 gram yang sudah dicuci untuk menghilangkan debu yang menempel pada permukaan agregat.
- 3) Proses memasukan agregat kedalam wadah dan proses pengeringan agregat dalam oven selama 24 jam pada suhu  $(110 \pm 5)^{\circ} \text{C}$ .
- 4) Mengeluarkan agregat dari oven dan dinginkan pada suhu ruangan, kemudian rendam agregat didalam air selama  $(24 \pm 4)$  jam.
- 5) Mengeluarkan agregat dari air dan mengelap dengan kain penyerap sampai lapisan air pada permukaan agregat hilang (agregat dalam keadaan kering jenuh permukaan atau SSD).
- 6) Menimbang agregat dalam keadaan kering permukaan atau SSD.
- 7) Menimbang berat agregat yang sudah diletakan dalam keranjang air.
- 8) Memasukan agregat kedalam wadah dan memasukan agregat dalam oven selama 24 jam pada suhu  $(110 \pm 5)^{\circ} \text{C}$ , kemudian menimbang benda uji (Bk).
- 9) Menentukan berat jenis dan penyerapan air agregat dengan persamaan (3.1) dan (3.4).

b. Pemeriksaan analisis saringan dan modulus kasar butiran

Adapun langkah-langkah pemeriksaan analisis saringan dan modulus kasar butiran agregat kasar sebagai berikut.

- 1) Memasukan agregat kedalam wadah dan memasukan agregat dalam oven selama 24 jam pada suhu  $(110 \pm 5)^{\circ} \text{C}$ .
- 2) Mengeluarkan agregat dari oven dan dinginkan pada suhu ruangan.
- 3) Menimbang agregat kasar sebesar 5000 gram.
- 4) Menuangkan agregat uji pada saringan yang sudah disusun sesuai dengan ukuran yaitu 38 mm, 19 mm, 9,5 mm, 4,75 mm dan pan.
- 5) Menggoyangkan rangkaian saringan dengan mesin penggoyang atau tangan selama 10-15 menit.
- 6) Mencatat dan menimbang berat agregat yang tertahan pada setiap saringan.

c. Pemeriksaan keausan agregat kasar

Adapun langkah-langkah pemeriksaan keausan agregat kasar sebagai berikut.

- 1) Menimbang agregat kasar sebanyak 2500 gram.
- 2) Menuangkan agregat kasar kedalam mesin *Los Angeles*.
- 3) Memasukan 11 bola baja yang sudah disiapkan kedalam mesin *Los Angeles*.
- 4) Kunci penutup mesin dan hidupkan mesin dengan kecepatan 30 sampai 33 rpm, proses pengujian dilakukan selama 15 menit atau 500 putaran.
- 5) Agregat dikeluarkan dari mesin *Los Angeles*, kemudian menuangkan agregat uji pada saringan No.4 dan No. 12.
- 6) Menggoyangkan rangkaian saringan dengan mesin penggoyang atau tangan selama 10-15 menit.
- 7) Mencuci agregat yang tertahan pada setiap saringan, kemudian keringkan agregat dalam oven selama 24 jam pada suhu  $(110 \pm 5)^\circ \text{C}$ .
- 8) Mencatat dan menimbang berat agregat yang sudah kering.

## 2. Pemeriksaan Agregat Halus

Pemeriksaan agregat halus yang digunakan dalam penelitian *Cement Treated Base* sebagai berikut.

### a. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus

Adapun langkah-langkah pemeriksaan analisis saringan dan modulus kasar butiran agregat kasar sebagai berikut.

- 1) Menyiapkan agregat halus yang akan dikeringkan kedalam oven selama 24 jam pada suhu  $(110 \pm 5)^\circ \text{C}$ .
- 2) Mengeluarkan agregat dari oven dan dinginkan pada suhu ruangan, kemudian rendam agregat didalam air selama  $(24 \pm 4)$  jam.
- 3) Membuang air perendam dengan hati-hati, jangan ada butiran yang hilang. Menebarkan agregat halus diatas talam, kemudian keringkan di udara panas dengan membalik-balikan agregat halus. Proses dilakukan hingga agregat halus SSD.

- 4) Memeriksa keadaan SSD agregat dengan memasukan agregat halus kedalam kerucut terpancung, kemudian menumbuk kedalam kerucut terpancung sebanyak 25 kali dengan tujuan memadatkan agregat halus. Keadaan SSD agregat tercapai pada saat kerucut terpancung diangkat agregat halus runtuh tetapi masih dalam keadaan tercetak.
  - 5) Ketika keadaan agregat SSD, mengambil sampel sebanyak 500 gram dan memasukannya kedalam piknometer, kemudian memasukan air suling sampai 90% isi piknometer, putar dan guncangkan piknometer sampai tidak ada gelembung udara yang terperangkap didalamnya.
  - 6) Merendam piknometer untuk menyesuaikan suhu air didalam piknometer sebesar  $25^{\circ}\text{C}$ .
  - 7) Menambahkan air sampai tanda batas piknometer.
  - 8) Menimbang piknometer berisi air dan benda uji dengan kode Bt.
  - 9) Mengeluarkan dan mengeringkan agregat halus.
  - 10) Mendinginkan dan menimbang berat agregat halus dengan kode Bk.
  - 11) Menentukan berat jenis dan penyerapan air agregat halus dengan persamaan (3.7) dan (3.10).
- b. Pemeriksaan analisis saringan dan modulus halus butiran
- Adapun langkah-langkah pemeriksaan analisis saringan dan modulus kasar butiran agregat kasar sebagai berikut.
- 1) Memasukan agregat kedalam wadah dan memasukan agregat dalam oven selama 24 jam pada suhu  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ .
  - 2) Mengeluarkan agregat dari oven dan dinginkan pada suhu ruangan.
  - 3) Menimbang agregat halus sebesar 2000 gram.
  - 4) Menuangkan agregat uji pada saringan yang sudah disusun sesuai dengan ukuran yaitu 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,6 mm, 0,3 mm, 0,15 mm dan pan.
  - 5) Menggoyangkan rangkaian saringan dengan mesin penggoyang atau tangan selama 10-15 menit.
  - 6) Mencatat dan menimbang berat agregat yang tertahan pada setiap saringan.



c. Pemeriksaan kandungan lumpur pada agregat lolos saringan 200

Adapun langkah-langkah pemeriksaan kadar lumpur pada agregat halus lolos saringan 200 sebagai berikut.

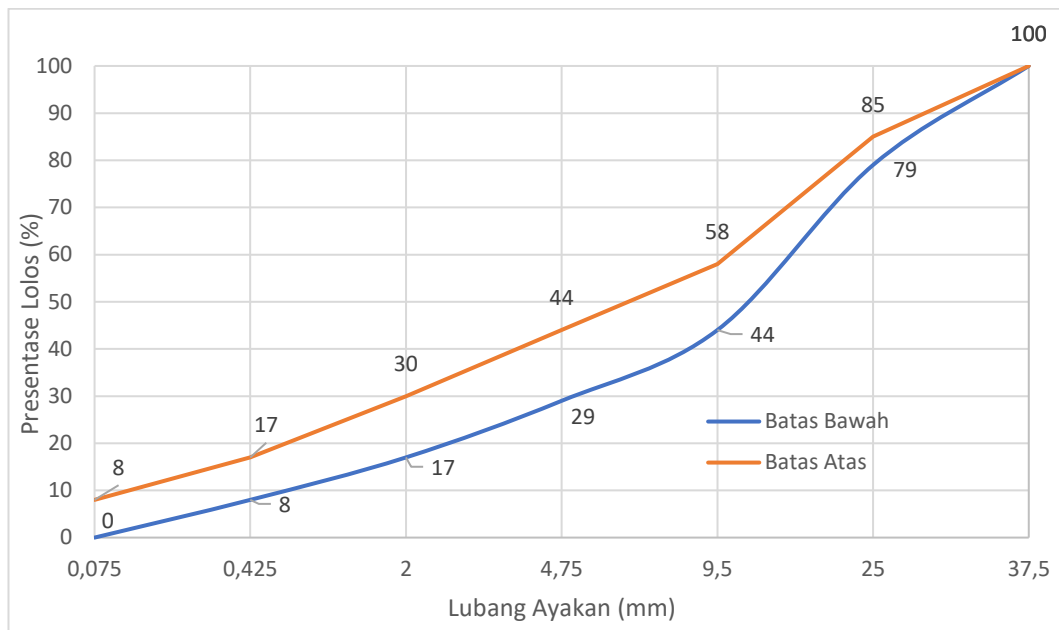
- 1) Menyiapkan agregat halus lolos saringan No. 4 dalam keadaan kering oven sebanyak 500 gram kedalam saringan.
- 2) Mengalirkan air kedalam saringan, sehingga agregat halus terendam.
- 3) Menggerakkan agregat yang terkena aliran air, sehingga bagian halus yang menempel pada agregat terlepas dan lolos saringan No. 200 dan bagian kasar tertinggal di saringan.
- 4) Mengulangi pekerjaan pada poin a, b dan c hingga air pencucian terlihat jernih.
- 5) Mengeringkan agregat halus kedalam oven selama 24 jam pada suhu  $(110 \pm 5)^\circ \text{C}$ .
- 6) Mencatat dan menimbang berat agregat yang sudah kering, kemudian hitung kadar lumpur dengan persamaan (3.12).

3. Menyusun Agregat Kelas A

Untuk Menyusun agregat yang akan digunakan dalam penelitian *Cement Treated Base* digunakan spesifikasi agregat lapis pondasi Kelas A sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga DIVISI 5 Tahun 2018. Pada proses perancangan agregat kelas A, menggunakan pasir dari Merapi dan batu alam dari Clereng. Adapun spesifikasi agregat untuk lapis pondasi jalan dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Grafik 4.1 berikut.

**Tabel 4.1 Gradasi Lapis Agregat**

Ukuran Ayakan		Persen Berat Yang Lolos (%)		
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	Kelas S
1 1/2"	37,5	100	88 - 95	100
1"	25	79 - 85	70 - 85	77 - 89
3/8"	9,5	44 - 58	30 - 65	41 - 66
No.4	4,75	29 - 44	25 - 55	26 - 54
No.10	2	17 - 30	15 - 40	15 - 42
No.40	0,425	7 - 17	8 - 20	7 - 26
No.200	0,075	2 - 8	2 - 8	4 - 16



**Grafik 4.1 Gradasi Agregat Kelas A**

#### 4.4 Proses Pembuatan Sampel CTB

Adapun pangkah pembuatan benda uji *Cement Treated Base* adalah sebagai berikut:

1. Menakar agregat sesuai dengan komposisi campuran yang telah direncanakan.
2. Menyiapkan cetakan silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm.
3. Agregat kasar alami atau agregat kasar yang diperoleh dari proses daur ulang limbah beton dibersihkan lalu dicampur dengan agregat halus berupa pasir.
4. Campuran agregat kasar dan agregat halus dicampur dengan variasi kadar semen terhadap berat kering agregat.
5. Setelah pencampuran agregat kasar, agregat halus, dan semen hingga homogen, lalu proses penambahan air dilakukan secara bertahap berdasarkan variasi kadar air yang telah ditentukan.
6. Masukkan campuran *Cement Treated Base* (CTB) ke dalam cetakan silinder dan melakukan proses pemadatan dengan metode *standard proctor* sebanyak 145 tumbukan pada setiap lapis.



7. Simpan benda uji pada cetakan silinder didalam ruang lembab selama 12 (dua belas) jam atau lebih.
8. Setelah waktu penyimpanan campuran di dalam silinder tercapai keluarkan dari dalam cetakan dan beri kode pada masing-masing benda uji.
9. Benda uji untuk pengujian kuat tekan disimpan dan ditutupi karung goni basah selama 7 hari masa *curing* sebelum dilakukan pengujian guna menjaga kondisi benda uji tetap lembab.

#### **4.4.1 Proses Pematatan**

Dalam menentukan jumlah tumbukan yang diperlukan pada satu benda uji dengan cetakan silinder berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga DIVISI 5 Tahun 2018. Silinder beton dilakukan pematatan sebanyak 145 tumbukan masing-masing lapisan berdasarkan perhitungan perbandingan antara volume silinder (diameter 15 cm dan tinggi 30 cm) dengan volume tabung alat pematatan (*proctor*) (diameter 152 mm dan tinggi 116 mm) dikalikan 56 tumbukan (Spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018).

#### **4.5 Perawatan Benda Uji**

Perawatan beton adalah suatu metode pekerjaan yang bertujuan untuk menjaga permukaan beton segar selalu lembab dan jangan sampai terkena panas dari matahari secara langsung, sejak adukan beton dipadatkan hingga beton dianggap cukup keras. Pada penelitian ini perawatan beton dilakukan dengan cara menutupi sampel CTB dengan karung goni yang dibasahi air selama 7 hari masa perawatan (*curing*).

#### **4.6 Pengujian Kuat Tekan**

##### **4.6.1 Pengujian Kuat Tekan Beton**

###### **1. Tujuan Pengujian**

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan besarnya beban tekan maksimum dari suatu benda uji beton per satuan luasnya. Metode uji yang digunakan pada analisa ini menggunakan standar metode pengetesan kuat tekan dengan menggunakan benda uji silinder ukuran 15 cm x 30 cm.

## 2. Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian kuat tekan sebagai berikut.

- a. Cetakan Silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm,
- b. Tongkat Pemasak yang terbuat dari besi baja yang ujungnya dibulatkan,
- c. Mesin Pengaduk (*Mixer*),
- d. Timbangan,
- e. Mesin Uji Tekan (*Compression Testing Machine*),
- f. Sarung Tangan.

## 3. Benda Uji yang Digunakan

Berupa Campuran *Cement Treated Base (CTB)* dalam cetakan silinder.

## 4. Pembuatan Benda Uji

- a. Mengisi cetakan dengan adukan beton dalam 5 lapis, yang setiap lapisnya dipadatkan dengan 145 kali tumbukan secara merata.
- b. Meratakan permukaan beton.
- c. Menutup permukaan benda uji dengan bahan kedap air dan biarkan selama 24 jam
- d. Membuka cetakan dan keluarkan benda uji.
- e. Merendam dalam bak perendam berisi air pada temperatur  $\pm 25$  C.

## 5. Prosedur Pengujian

### a. Persiapan Pengujian

Adapun persiapan pengujian di lapangan yang akan dilakukan meliputi beberapa tahapan sebagai berikut:

- 1) Mengambil benda uji dari tempat penyimpanan.
- 2) Membersihkan kotoran yang menempel dengan kain.
- 3) Menentukan berat dan ukuran benda uji.
- 4) Melapisi permukaan atas dan bawah benda uji dengan mortar belerang (*capping*) dengan cara sebagai berikut;
  - a. melelehkan mortar belerang di dalam pot peleleh yang dinding dalamnya telah dilapisi tipis dengan lemak,
  - b. meletakkan benda uji tegak lurus pada cetakan,
  - c. angkat benda uji dari cetakan lalu angin-anginkan.

b. Benda uji siap diperiksa.

c. Pelaksanaan Pembebanan

Setelah benda uji siap, prosedur pengujian dapat mulai dilaksanakan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Meletakkan benda uji pada mesin tekan secara sentris.
- 2) Menjalankan mesin tekan dengan penambahan beban antara 2 sampai 4 kg/cm<sup>2</sup> per-detik.
- 3) Melakukan pembebanan sampai benda uji menjadi hancur.
- 4) Mencatat beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji.
- 5) Menggambar / mendokumentasikan bentuk kerusakan benda uji.
- 6) Mencatat keadaan benda uji.
- 7) Menghitung kuat tekan beton, yaitu besarnya beban persatuan luas.

#### **4.7 Analisa Hasil**

Pada tahapan analisis dilakukan analisa hasil data pengujian yang diperoleh dari proses pengujian kuat tekan beton. Dari hasil Analisa tersebut didapat kan hubungan antara pengaruh kadar air optimum dengan kuat tekan beton dari beberapa variasi sampel jenis agregat, kadar semen dan kadar air. Hasil yang diperoleh pada tahap analisa hasil selanjutnya dipaparkan ke dalam tabel dan grafik.

## **BAB V**

### **PEMBAHASAN**

#### **5.1 Tinjauan Umum**

Sebuah data dalam penelitian perlu dilakukan sebuah analisis dan pembahasan untuk memperoleh tujuan yang direncanakan dalam penelitian. Pada bab ini akan dijabarkan hasil dari penelitian *Cement Treated Base* yang telah dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) yang diawali dengan pemeriksaan bahan material penyusun CTB, perencanaan campuran CTB, dan pengujian kuat tekan CTB yang telah dibuat.

#### **5.2 Hasil Pemeriksaan Bahan Material Penyusun CTB**

Pada pemeriksaan bahan material penyusunan CTB peneliti memperoleh data material meliputi berat jenis, penyerapan air, modulus halus butir, kandungan lumpur, berat isi agregat. Bahan-bahan yang akan digunakan pada pencampuran beton memiliki persyaratan yang harus dipenuhi sesuai Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 sehingga perlu dilakukan pemeriksaan bahan penyusun beton.

##### **5.2.1 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar Clereng**

Pada penelitian digunakan agregat kasar yang diperoleh dari Clereng. Pada agregat kasar dilakukan pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air kasar, pengujian analisa saringan, dan pengujian keausan.

##### **1. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air**

Pelaksanaan pengujian ini menggunakan metode dari SNI 03-1969-1990. Perhitungan dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis curah} &= \frac{B_k}{B_j - B_a} \\ &= \frac{4916}{5000 - 3138} \\ &= 2,640 \text{ gram}/m^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis (SSD)} &= \frac{B_j}{B_j - B_a} \\ &= \frac{5000}{5000 - 3138} \\ &= 2,685 \text{ gram/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis semu} &= \frac{B_k}{B_k - B_a} \\ &= \frac{4916}{4916 - 3138} \\ &= 2,765 \text{ gram/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan air} &= \frac{B_j - B_k}{B_k} \\ &= \frac{5000 - 4916}{4916} \\ &= 1,709 \% \end{aligned}$$

**Tabel 5.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar  
Clereng**

Uraian	Hasil Pengamatan	Hasil Pengamatan	Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Kerikil Mutlak (Bk)	4916	4909	4912,5
Berat kerikil Jenuh kering muka (bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3138	3165	3151,5
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,640	2,675	2,658
Berat Jenis Kering Permukaan (SSD) Bj/(Bj-Ba)	2,685	2,725	2,705
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,765	2,815	2,790
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	1,709 %	1,654 %	1,781 %

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari data pengujian dan analisis yang dilakukan didapatkan nilai berat jenis jenuh kering muka rata-rata sebesar 2,658 gram/m<sup>3</sup> dan penyerapan air rata-rata sebesar 1,781 %. Penyerapan agregat kasar lebih kecil dari agregat halus, hal ini menunjukkan rongga-

rongga yang diisi air oleh pada agregat kasar air lebih sedikit daripada agregat halus. Sebuah berat jenis agregat normal berada diantara 2,4-2,7 (Tjokrodinuljo, 2007). Hal ini menyatakan pada pengujian berat jenis yang dilakukan pada agregat termasuk berat jenis agregat normal karena berada diantara 2,4-2,7.

2. Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar

Pelaksanaan pengujian analisa saringan agregat kasar untuk mencari nilai modulus halus butir agregat menggunakan metode SNI 03-1968-1990. Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut ini.

**Tabel 5.2 Hasil Pengujian Analisa Saringan pada Agregat Kasar Clereng**

Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)
40.00	0	0	0	100
20.00	674	33,786	33,786	66,214
10.00	1039	52,083	85,869	14,131
4.80	281	14,086	99,954	0,046
2.40	0	0	99,954	0,046
1.20	0	0	99,954	0,046
0.60	0	0	99,954	0,046
0.30	0	0	99,954	0,046
0.15	0	0	99,954	0,046
Sisa	0,91	0,046		
Jumlah	1994,91	100	719,381	

Berdasarkan tabel 5.2 maka diperoleh nilai modulus halus butir yang diperoleh sebagai berikut

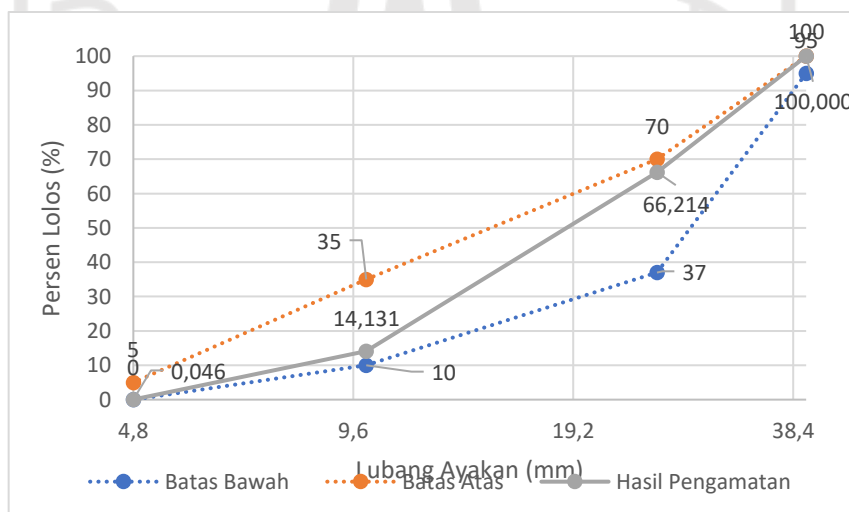
$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\sum \text{Berat Tertinggal Kumulatif}}{100} \\
 &= \frac{719,381}{100} \\
 &= 7,193
 \end{aligned}$$

Pada pengujian ini diperoleh nilai modulus halus butir sebesar 7,193. Pada pengujian ini menunjukkan bahwa hasil dari pengujian modulus halus butir memenuhi persyaratan gradasi agregat ukuran 40 mm yang telah ditetapkan karena modulus halus butirnya berkisar antara 5-8. Batas gradasi ukuran butir maksimum agregat kasar yang dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut ini.

**Tabel 5.3 Batas Gradasi Agregat Kasar**

Lubang ayakan (mm)	Persen Butir Agregat Lolos Ayakan / Besarnya Butiran Maksimum		
	40 mm	20 mm	10 mm
40,00	95-100	100	-
20,00	35-70	95-100	100
10,00	10-40	30-60	50-85
4,80	0-5	0-10	0-10

Berdasarkan Tabel 5.3 gradasi agregat kasar menggunakan persyaratan gradasi agregat dengan menggunakan maksimum 40 mm. Grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan persentase bahan butiran yang lewat saringan dapat dilihat pada Grafik 5.1 berikut ini.



**Grafik 5.1 Grafik Hasil Gradasi Agregat Kasar Clereng**

3. Hasil pengujian keausan agregat

Pelaksanaan pengujian keausan agregat menggunakan metode SNI 03-2417-2008. Adapun persyaratan nilai keausan pada Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 yaitu memiliki nilai keausan yang diperbolehkan adalah 50 %. Perhitungan dan pengujian keausan agregat dapat dilihat pada tabel 5.4 sebagai berikut.

**Tabel 5.4 Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar Clereng**

Ukuran Saringan				Jumlah Putaran = 500 Putaran	
Lolos Saringan		Tertahan Saringan		Sampel 1	Sampel 2
mm	inci	mm	inci	gram	gram
75	3	63	2 1/2		
63	2 1/2	50	2		
50	2	37,5	1 1/2		
37,5	1 1/2	25	1		
25	1	19	3/4		
19	3/4	12,5	1/2	2500	2500
12,5	1/2	9,5	3/8	2500	2500
9,5	3/8	6,3	1/4		
6,3	1/4	4,75	No. 4		
4,75	No. 4	2,36	No. 8		
Jumlah berat (A)				5000	5000
Berat tertahan saringan No. 12 sesudah percobaan (B)				4043	4062
Keausan [(A-B)/A]X100				19,14	18,76
Keausan Rata-Rata (%)				18,95	

$$\begin{aligned}
 \text{Keausan} &= \frac{A-B}{A} \times 100 \\
 &= \frac{5000-4043}{5000} \times 100 \\
 &= 19,14 \%
 \end{aligned}$$

Hasil pengujian Keausan agregat kasar dengan Mesin *Los Angeles* (Abrasi) yang dapat dilihat pada Tabel 5.4 memenuhi standar pengujian yang disyaratkan dalam Spesifikasi Bina Marga 2018 yakni maksimum 50% (SNI 2417-2008). Nilai keausan agregat kasar dalam pengujian ini adalah 19,14%



### 5.2.2 Hasil Pemeriksaan Agregat Kasar Limbah Beton

Pada penelitian digunakan agregat kasar limbah beton yang sudah di pecah menggunakan mesin *Stone Crusher* dan memiliki kuat tekan 25–30 MPA yang diperoleh dari Laboratorium BKT Universitas Islam Indonesia. Pada agregat kasar limbah beton dilakukan pengujian berat jenis agregat, analisa saringan, dan pengujian keausan.

1. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air

Pelaksanaan pengujian ini menggunakan metode dari SNI 03-1969-1990.

Perhitungan dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis curah} &= \frac{B_k}{B_j - B_a} \\ &= \frac{4927}{5000 - 3079} \\ &= 2,560 \text{ gram}/m^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis (SSD)} &= \frac{B_j}{B_j - B_a} \\ &= \frac{5000}{5000 - 3079} \\ &= 2,565 \text{ gram}/m^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis semu} &= \frac{B_k}{B_k - B_a} \\ &= \frac{4927}{4927 - 3079} \\ &= 2,603 \text{ gram}/m^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Penyerapan air} &= \frac{B_j - B_k}{B_k} \\ &= \frac{5000 - 4927}{4927} \\ &= 1,482 \% \end{aligned}$$

**Tabel 5.5 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar Limbah Beton**

Uraian	Hasil Pengamatan	Hasil Pengamatan	Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat Kerikil Mutlak (Bk)	4927	4924	4925,5
Berat kerikil Jenuh kering muka (bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3079	3084	3081,5
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,565	2,570	2,567
Berat Jenis Kering Permukaan (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2,603	2,610	2,606
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,666	2,676	2,671
Penyerapan Air (Bj-Bk)/Bk x 100%	1,482	1,543	1,513

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari data pengujian dan analisis yang dilakukan didapatkan nilai berat jenis jenuh kering muka rata-rata sebesar 2,567 gram/ $m^3$  dan penyerapan air rata-rata sebesar 1,513 %. Penyerapan agregat kasar lebih kecil dari agregat halus, hal ini menunjukkan rongga-rongga yang diisi air oleh air lebih sedikit daripada agregat halus. Sebuah berat jenis agregat normal berada diantara 2,4-2,7 (Tjokrodimuljo, 2007). Hal ini menyatakan pada pengujian berat jenis yang dilakukan pada agregat termasuk berat jenis agregat normal karena berada diantara 2,4-2,7.

2. Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar  
Pelaksanaan pengujian analisa saringan agregat kasar untuk mencari nilai modulus halus butir agregat menggunakan metode SNI 03-1968-1990. Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

**Tabel 5.6 Hasil Pengujian Analisa Saringan pada Agregat Kasar Limbah Beton**

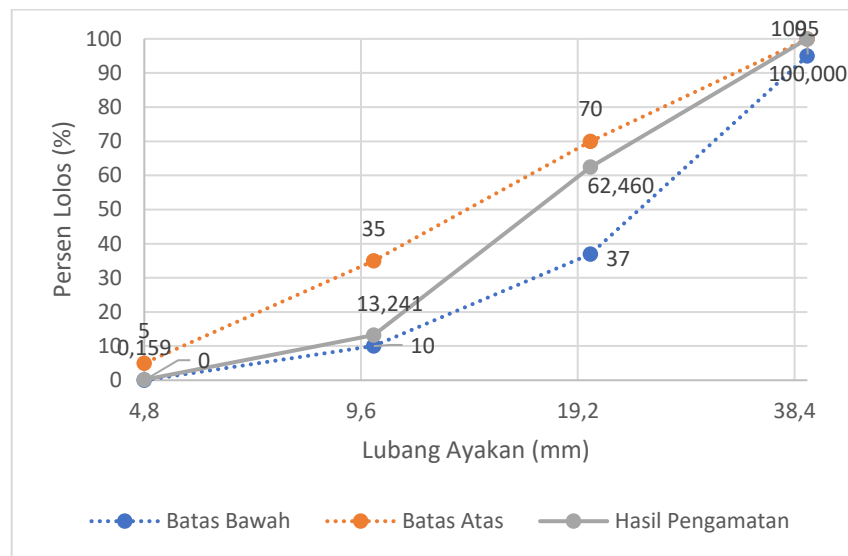
Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)
40.00	0	0	0	100
20.00	749	37,540	37,540	62,46
10.00	982	49,219	86,759	13,241
4.80	261	13,082	99,841	0,159
2.40	0	0	99,841	0,159
1.20	0	0	99,841	0,159
0.60	0	0	99,841	0,159
0.30	0	0	99,841	0,159
0.15	0	0	99,841	0,159
Sisa	3,18	0,159		
Jumlah	1995,18	100,000	723,343	

Berdasarkan tabel 5.6 maka diperoleh nilai modulus halus butir yang diperoleh sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\sum \text{Berat Tertinggal Komulatif}}{100} \\
 &= \frac{723,343}{100} \\
 &= 7,233
 \end{aligned}$$

Pada pengujian ini diperoleh nilai modulus halus butir sebesar 7,233. Pada pengujian ini menunjukkan bahwa hasil dari pengujian modulus halus butir memenuhi persyaratan gradasi agregat ukuran 40 mm yang telah ditetapkan karena modulus halus butirnya berkisar antara 5-8.

Berdasarkan Tabel 5.3 gradasi agregat kasar menggunakan persyaratan gradasi agregat dengan menggunakan maksimum 40 mm. Grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan persentase bahan butiran yang lewat saringan dapat dilihat pada Grafik 5.2 berikut ini.



**Grafik 5.2 Grafik Hasil Gradasi Agregat Kasar Limbah Beton**

3. Hasil pengujian keausan agregat

Pelaksanaan pengujian keausan agregat menggunakan metode SNI 03-2417-2008. Adapun persyaratan nilai keausan pada Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 yaitu agregat memiliki nilai keausan tidak lebih dari 50%. Perhitungan dan pengujian keausan agregat dapat dilihat pada tabel 5.7 sebagai berikut.

**Tabel 5.7 Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar Limbah Beton**

Ukuran Saringan				Jumlah Putaran = 500 Putaran	
Lolos Saringan		Tertahan Saringan		Sampel 1	Sampel 2
mm	inci	mm	inci	gram	gram
75	3	63	2 1/2		
63	2 1/2	50	2		
50	2	37,5	1 1/2		
37,5	1 1/2	25	1		
25	1	19	3/4		
19	3/4	12,5	1/2	2500	2500
12,5	1/2	9,5	3/8	2500	2500
9,5	3/8	6,3	1/4		
6,3	1/4	4,75	No. 4		
4,75	No. 4	2,36	No. 8		

**Lanjutan Tabel 5.7 Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar Limbah Beton**

Jumlah berat (A)	5000	5000
Berat tertahan saringan No. 12 sesudah percobaan (B)	3885	3937
Keausan $[(A-B)/A] \times 100$	22,3	21,26
Keausan Rata-Rata (%)	21,78	

$$\begin{aligned} \text{Keausan} &= \frac{A-B}{A} \times 100 \\ &= \frac{5000-3885}{5000} \times 100 \\ &= 22,3 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Keausan rerata} &= \frac{22,3-21,26}{2} \\ &= 21,78 \% \end{aligned}$$

Hasil pengujian Keausan agregat kasar dengan Mesin Los Angeles (Abrasi) yang dapat dilihat pada Tabel 5.7 memenuhi standar pengujian yang disyaratkan dalam Spesifikasi Bina Marga 2018 yakni maksimum 50% (SNI 2417-2008). Nilai keausan rata rata agregat kasar limbah beton dalam pengujian ini adalah 21,78 %

### 5.2.3 Hasil Pemeriksaan Agregat Halus Pasir Merapi

Pada penelitian ini digunakan pasir yang berasal dari Merapi. Pada agregat halus ini dilakukan pemeriksaan yang meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus, pengujian analisa saringan, dan pengujian lolos saringan no.200 (uji kandungan lumpur pasir)

1. Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus  
Pelaksanaan pengujian ini digunakan dari SNI 03-1970-1990. Perhitungan dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis curah} &= \frac{Bk}{B+500- Bt} \\ &= \frac{486}{736+500- 1038} \\ &= 2,455 \end{aligned}$$

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

$$= \frac{500}{736+500-1038}$$

$$= 2,525$$

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

$$= \frac{486}{736+486-1038}$$

$$= 2,641$$

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

$$= \frac{500-486}{486}$$

$$= 2,881 \%$$

**Tabel 5.8 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air pada Agregat Halus Pasir Merapi**

Uraian	Hasil Pengamatan	Hasil Pengamatan	Rata-rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	486	487	486,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1038	1041	1039,5
Berat piknometer berisi air, gram (B)	736	738	737
Berat Jenis Curah BK/(BJ-Ba)	2,455	2,472	2,463
Berat Jenis Kering Permukaan (SSD) Bj/ (Bj-Ba)	2,525	2,538	2,532
Berat Jenis semu Bk/(Bk-Ba)	2,641	2,647	2,644
Penyerapan Air (500-Bk)/Bk x 100%	2,881	2,669	2,775

Berdasarkan hasil dari pengujian dan analisis yang dilakukan diperoleh berat jenis jenuh kering muka rata-rata sebesar 2,463 gram/m<sup>3</sup> dan penyerapan air rata-rata sebesar 2,775 %. Sebuah berat jenis agregat normal berada diantara 2,4-2,7 (Tjokrodinuljo, 2007). Hal ini menyatakan pada pengujian berat jenis

yang dilakukan pada agregat termasuk berat jenis agregat normal karena berada diantara 2,4-2,7.

2. Hasil pengujian analisa saringan agregat halus

Pelaksanaan pengujian analisa saringan agregat halus untuk mencari nilai modulus halus butir (MHB) agregat menggunakan metode SNI 03-1968-1990. Hasil pengujian analisa saringan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut ini.

**Tabel 5.9 Hasil Pengujian Analisa Saringan pada Agregat Halus**

Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)
40.00	0	0,000	0	100
20.00	0	0,000	0	100
10.00	0	0,000	0	100
4.80	6	0,300	0,3	99,7
2.40	118	5,900	6,2	93,8
1.20	252	12,600	18,8	81,2
0.60	509	25,450	44,25	55,75
0.30	512	25,600	69,85	30,15
0.15	383	19,150	89,00	11,00
Sisa	220	11,000		
Jumlah	2000	100	228,4	

Berdasarkan tabel 5.9 maka diperoleh nilai modulus halus butir yang diperoleh sebagai berikut

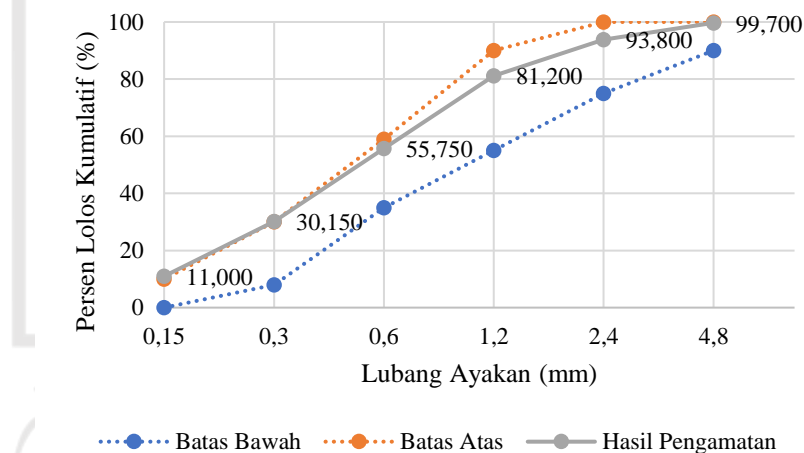
$$\begin{aligned}
 \text{MHB} &= \frac{\sum \text{Berat Tertinggal Komulatif}}{100} \\
 &= \frac{228,4}{100} \\
 &= 2,284
 \end{aligned}$$

Menurut (Tjokrodimuljo, 2007) pada umumnya modulus halus butir agregat halus mempunyai nilai antara 1,5 sampai 3,8. Pada pengujian ini diperoleh nilai sebesar 2,284 yang berarti agregat halus memenuhi persyaratan. Pengujian analisa saringan juga untuk mengetahui gradasi agregat halus. Daerah agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut ini.

**Tabel 5.10 Tabel Daerah Gradasi Agregat Halus**

<b>Gradasi Pasir</b>				
<b>Lubang ayakan (mm)</b>	<b>Persen Butir Agregat Lolos Ayakan (%)</b>			
	<b>Daerah I</b>	<b>Daerah II</b>	<b>Daerah III</b>	<b>Daerah IV</b>
10.00	100	100	100	100
4.80	90-100	90-100	90-100	95-100
2.40	60-95	75-100	85-100	95-100
1.20	30-70	55-90	75-100	90-100
0.60	15-34	35-59	60-79	80-100
0.30	5-20	8-30	12-40	15-50
0.15	0-10	0-10	0-10	0-15

Berdasarkan tabel 5.3 agregat halus yang digunakan memenuhi persyaratan gradasi II dengan jenis pasir agak kasar. Grafik hubungan antara persentase lolos kumulatif dengan persen bahan butiran yang lewat saringan gradasi II dapat dilihat pada Grafik 5.3 berikut ini.

**Grafik 5.3 Batas Gradasi Agregat Halus**

- Hasil pengujian lolos saringan no.200 (uji kandungan lumpur dalam pasir)  
Pelaksanaan pengujian kadar lumpur menggunakan metode dari SNI 03-4142-1996. Perhitungan dan hasil pengujian lolos saringan no.200 dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut ini.

$$\text{Kandungan lumpur} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$



$$= \frac{500-479}{500} \times 100\%$$

$$= 4,2 \%$$

**Tabel 5.11 Hasil Pengujian Lolos Saringan no.200**

Uraian	Sampel 1	Sampel 2	Rata-rata
Berat Agregat Kering Oven (W1), gram	500	500	500
Berat Agregat Kering Oven setelah dicuci (W2), gram	479	485	482
Presentase yang lolos ayakan No. 200	4,2	3	3,6

Berdasarkan pengujian lolos saringan no.200 didapatkan kadar lumpur rata-rata sebesar 3,6 %. Menurut PUBI-1982 dalam Panduan Praktikum Teknologi Bahan Konstruksi, Universitas Islam Indonesia bahwa suatu agregat halus tidak diperbolehkan memiliki kandungan lumpur lebih dari 5%. Kandungan lumpur yang tinggi dapat mempengaruhi kelekatan agregat halus dengan pasta semen karena ikatan pasta antara semen dan agregat halus diisi oleh kandungan lumpur. Hal ini akan mempengaruhi juga dari kekuatan beton. Pada pengujian ini sudah memenuhi syarat <5% sehingga agregat halus dapat digunakan untuk pencampuran beton.

### 5.2.3 Merancang Agregat Kelas A

Pada penelitian *Cement Treated Base* ini menggunakan agregat kelas A, bahan material yang digunakan dari hasil trial terlebih dahulu dengan menggunakan pasir asal Merapi dengan modulus halus butir 2,284 dan kerikil asal Clereng dengan modulus halus butir 7,193.

Perencanaan sampel CTB menggunakan proporsi perbandingan antara agregat kasar dengan agregat halus sebesar 50:50 Adapun berat rencana keseluruhan antara pasir dan kerikil untuk percobaan adalah 2000 gr. Adapun spesifikasi agregat untuk lapis pondasi jalan dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut.

**Tabel 5.12 Spesifikasi Agregat Untuk Lapis Pondasi Jalan**

Ukuran Ayakan		Persen Berat Yang Lolos (%)		
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	Kelas S
1 1/2"	37,5	100	88 - 95	100
1"	25	79 - 85	70 - 85	77 - 89
3/8"	9,5	44 - 58	30 - 65	41 - 66
No.4	4,75	29 - 44	25 - 55	26 - 54
No.10	2	17 - 30	15 - 40	15 - 42
No.40	0,425	7 - 17	8 - 20	7 - 26
No.200	0,075	2 - 8	2 - 8	4 - 16

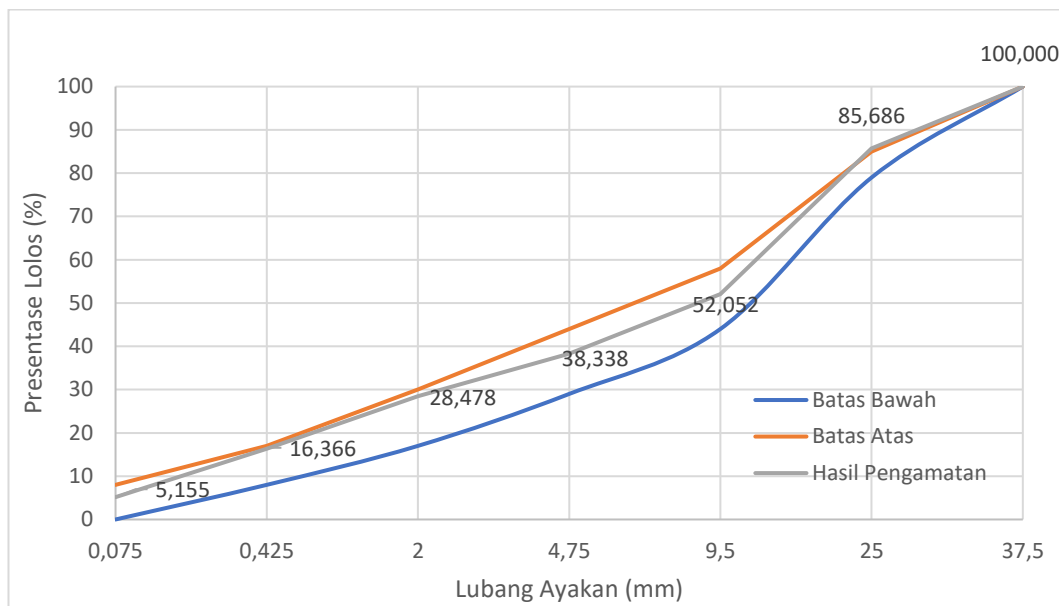
(Sumber : Departemen Pekerjaan Umum 2018: DIVISI 5 – Perkerasan Berbutir dan Beton Semen)

Hasil analisa saringan perencanaan agregat kelas A dengan pasir 50 % dan Kerikil 50% dari berat rencana dapat dilihat pada Tabel 5.13 dan Grafik 5.4 berikut.

- 1) Kerikil : 1000 gr
- 2) Pasir : 1000 gr
- 3) Berat keseluruhan : 2000 gr

**Tabel 5.13 Hasil Analisa Rancangan Agregat Kelas A**

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
37,5	0	0,000	0,000	100,000
25	286	14,314	14,314	85,686
9,5	672	33,634	47,948	52,052
4,75	274	13,714	61,662	38,338
2	197	9,860	71,522	28,478
0,425	242	12,112	83,634	16,366
0,075	224	11,211	94,845	5,155
Pan	103	5,155		
<b>Jumlah</b>	1998	100,000	373,924	



**Grafik 5.4 Hasil Analisa Rancangan Agregat Kelas A**

Dari hasil analisis yang didapatkan dari analisis gradasi agregat kelas A menggunakan proporsi perbandingan agregat kasar dengan agregat halus 50:50 memenuhi spesifikasi gradasi agregat kelas A.

### 5.3 Perencanaan Campuran

Campuran proporsi *Cement Treated Base* (CTB) dalam penelitian ini menggunakan proporsi agregat kasar dan agregat halus yang disesuaikan dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Adapun dalam proporsi campuran CTB ini menggunakan agregat kasar alam, agregat kasar dari limbah beton, dan agregat kasar campuran dari agregat alami dengan bahan limbah beton menggunakan perbandingan 25:25 dari berat total agregat.

Perbandingan proporsi agregat kasar dengan agregat halus pada seluruh sampel CTB adalah 50:50 dari berat total agregat. Dalam rangka mencari nilai kadar air optimum untuk menghasilkan kuat tekan CTB terbaik, dilakukan trial variasi kadar air sebesar 5%, 7%, 9% dan 11% dari berat total agregat.

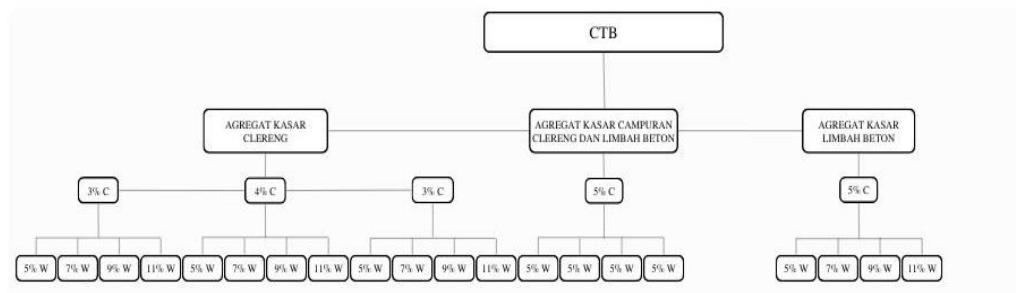
Berat total agregat yang digunakan untuk menghitung presentase kadar semen dan kadar air, menggunakan berat total agregat kasar dan halus sebesar 10 Kg, sehingga sampel benda uji terdiri dari 5 Kg agregat kasar dan 5 Kg agregat halus. Adapun penggunaan trial kadar semen 3-5 % dari berat total agregat berdasarkan

Spesifikasi Umum Bina Marga DIVISI 5 Tahun 2018 mengenai perkiraan penggunaan kadar semen untuk lapis pondasi agregat semen kelas A (CTB) yaitu 3–5%.

Variasi sampel benda uji yang digunakan dalam merencanakan campuran CTB adalah sebagai berikut:

1. Benda uji Agregat kasar batu Clereng dengan kadar semen 3%,
2. Benda uji Agregat kasar batu Clereng dengan kadar semen 4%,
3. Benda uji Agregat kasar batu Clereng dengan kadar semen 5%,
4. Benda uji Agregat kasar campuran Clereng dan limbah beton dengan kadar semen 5%, dan
5. Benda uji Agregat kasar limbah beton dengan kadar semen 5%.

Seluruh variasi CTB menggunakan cetakan bentuk silinder dengan lebar 15 cm dan tinggi 30 cm dan berjumlah 3 sampel untuk setiap variasi untuk menghindari adanya benda sampel CTB yang cacat. Variasi dan Jumlah benda uji dalam perencanaan sampel CTB dapat dilihat pada gambar dan tabel berikut.



**Gambar 5.1 Variasi Perencanaan Campuran CTB**

**Tabel 5.14 Jumlah sampel benda uji**

<b>Kode Benda Uji</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Kadar Air (%)</b>	<b>Kadar Semen (%)</b>	<b>Jumlah Benda Uji</b>
CA	3% C, 5% W (Agregat Clereng)	5	3	3
	3% C, 7% W (Agregat Clereng)	7	3	3
	3% C, 9% W (Agregat Clereng)	9	3	3
	3% C, 11% W (Agregat Clereng)	11	3	3
CB	4% C, 5% W (Agregat Clereng)	5	4	3
	4% C, 7% W (Agregat Clereng)	7	4	3
	4% C, 9% W (Agregat Clereng)	9	4	3
	4% C, 11% W (Agregat Clereng)	11	4	3
CC	5% C, 5% W (Agregat Clereng)	5	5	3
	5% C, 7% W (Agregat Clereng)	7	5	3
	5% C, 9% W (Agregat Clereng)	9	5	3
	5% C, 11% W (Agregat Clereng)	11	5	3
MX	5% C, 5% W (Agregat Campuran Clereng dan Limbah Beton)	5	5	3
	5% C, 7% W (Agregat Campuran Clereng dan Limbah Beton)	7	5	3
	5% C, 9% W (Agregat Campuran Clereng dan Limbah Beton)	9	5	3
	5% C, 11% W (Agregat Campuran Clereng dan Limbah Beton)	11	5	3
LB	5% C, 5% W (Agregat Limbah Beton)	5	5	3
	5% C, 7% W (Agregat Limbah Beton)	7	5	3
	5% C, 9% W (Agregat Limbah Beton)	9	5	3
	5% C, 11% W (Agregat Limbah Beton)	11	5	3
<b>Total Benda Uji</b>		<b>60</b>		

dengan :

CA = Benda Uji Sampel CTB menggunakan agregat Clereng dengan kadar semen 3%

- CB = Benda Uji Sampel CTB menggunakan agregat Clereng dengan kadar semen 4%
- CC = Benda Uji Sampel CTB menggunakan agregat Clereng dengan kadar semen 5%
- MX = Benda Uji Sampel CTB menggunakan agregat campuran Clereng dan Limbah Beton dengan kadar semen 5%.
- LB = Sampel CTB menggunakan agregat kasar Limbah Beton dengan kadar semen 5%.
- C = Kadar Semen
- W = Kadar Air

Untuk mendapatkan kadar air optimum yang menghasilkan mutu CTB terbaik dilakukan trial penggunaan kadar air sebesar 5%, 7%, 9% dan 11% pada sampel CTB. Perencanaan Campuran pada sampel benda uji CTB dapat dilihat pada tabel-tabel berikut.

1. Proporsi campuran benda uji agregat kasar alam.

Adapun proporsi campuran yang digunakan dalam 1 silinder benda uji variasi agregat kasar alam menggunakan batu Clereng sebagai berikut.

a. Benda uji kadar semen 3 %

$$\text{Berat agregat Kasar} = 5 \text{ Kg}$$

$$\text{Berat agregat halus} = 5 \text{ Kg}$$

$$\text{Berat Semen} = \frac{3}{100} \times 10$$

$$= 0,3 \text{ Kg}$$

$$\text{Kadar Air 5 \%} = \frac{5}{100} \times 10$$

$$= 0,5 \text{ Kg}$$

$$\text{Kadar Air 7 \%} = \frac{7}{100} \times 10$$

$$= 0,7 \text{ Kg}$$

$$\text{Kadar Air 9 \%} = \frac{9}{100} \times 10$$

$$= 0,9 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar Air 11 \%} &= \frac{11}{100} \times 10 \\ &= 1,1 \text{ Kg} \end{aligned}$$

**Tabel 5.15 Tabel Proporsi Campuran Benda Uji Agregat Kasar Alam  
Clereng dengan Kadar Semen 3 %**

KOMPOSISI CAMPURAN SAMPEL TRIAL KADAR AIR OPTIMUM KADAR SEMEN 3 %						
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
CA1	3	5	0,3	0,5	5	5
CA2		5	0,3	0,5	5	5
CA3		5	0,3	0,5	5	5
Jumlah			0,9	1,5	15	15
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
CA4	3	7	0,3	0,7	5	5
CA5		7	0,3	0,7	5	5
CA6		7	0,3	0,7	5	5
Jumlah			0,9	2,1	15	15
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
CA7	3	9	0,3	0,9	5	5
CA8		9	0,3	0,9	5	5
CA9		9	0,3	0,9	5	5
Jumlah			0,9	2,7	15	15
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
CA10	3	11	0,3	1,1	5	5
CA11		11	0,3	1,1	5	5
CA12		11	0,3	1,1	5	5
Jumlah			0,9	3,3	15	15

b. Benda uji kadar semen 4 %

Berat agregat Kasar = 5 Kg

Berat agregat halus = 5 Kg

$$\begin{aligned} \text{Berat Semen} &= \frac{4}{100} \times 10 \\ &= 0,4 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar Air 5 \%} &= \frac{5}{100} \times 10 \\ &= 0,5 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kadar Air 7 \%} &= \frac{7}{100} \times 10 \end{aligned}$$

$$= 0,7 \text{ Kg}$$

$$\text{Kadar Air 9 \%} = \frac{9}{100} \times 10$$

$$= 0,9 \text{ Kg}$$

$$\text{Kadar Air 11 \%} = \frac{11}{100} \times 10$$

$$= 1,1 \text{ Kg}$$

**Tabel 5.16 Tabel Proporsi Campuran Benda Uji Agregat Kasar Alam  
Clereng dengan Kadar Semen 4 %**

KOMPOSISI CAMPURAN SAMPEL TRIAL KADAR AIR OPTIMUM KADAR SEMEN 4 %						
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
CB1	4	5	0,4	0,5	5	5
CB2		5	0,4	0,5	5	5
CB3		5	0,4	0,5	5	5
Jumlah			1,2	1,5	15	15
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
CB4	4	7	0,4	0,7	5	5
CB5		7	0,4	0,7	5	5
CB6		7	0,4	0,7	5	5
Jumlah			1,2	2,1	15	15
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
CB7	4	9	0,4	0,9	5	5
CB8		9	0,4	0,9	5	5
CB9		9	0,4	0,9	5	5
Jumlah			1,2	2,7	15	15
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
CB10	4	11	0,4	1,1	5	5
CB11		11	0,4	1,1	5	5
CB12		11	0,4	1,1	5	5
Jumlah			1,2	3,3	15	15

c. Benda uji kadar semen 5 %

Berat agregat kasar = 5 Kg

Berat agregat halus = 5 Kg

$$\text{Berat Semen} = \frac{5}{100} \times 10$$

$$= 0,5 \text{ Kg}$$



$$\text{Kadar Air 5 \%} = \frac{5}{100} \times 10$$

$$= 0,5 \text{ Kg}$$

$$\text{Kadar Air 7 \%} = \frac{7}{100} \times 10$$

$$= 0,7 \text{ Kg}$$

$$\text{Kadar Air 9 \%} = \frac{9}{100} \times 10$$

$$= 0,9 \text{ Kg}$$

$$\text{Kadar Air 11 \%} = \frac{11}{100} \times 10$$

$$= 1,1 \text{ Kg}$$

**Tabel 5.17 Tabel Proporsi Campuran Benda Uji Agregat Kasar Alam  
Clereng dengan Kadar Semen 5 %**

KOMPOSISI CAMPURAN SAMPEL TRIAL KADAR AIR OPTIMUM KADAR SEMEN 5 %						
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
CC1	5	5	0,5	0,5	5	5
CC2		5	0,5	0,5	5	5
CC3		5	0,5	0,5	5	5
Jumlah			1,5	1,5	15	15
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
CC4	5	7	0,5	0,7	5	5
CC5		7	0,5	0,7	5	5
CC6		7	0,5	0,7	5	5
Jumlah			1,5	2,1	15	15
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
CC7	5	9	0,5	0,9	5	5
CC8		9	0,5	0,9	5	5
CC9		9	0,5	0,9	5	5
Jumlah			1,5	2,7	15	15
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
CC10	5	11	0,5	1,1	5	5
CC11		11	0,5	1,1	5	5
CC12		11	0,5	1,1	5	5
Jumlah			1,5	3,3	15	15

2. Proporsi campuran benda uji agregat kasar campuran batu alam dan limbah beton.

Adapun proporsi campuran yang digunakan dalam 1 silinder benda uji variasi campuran agregat kasar alam menggunakan batu Clereng dan Limbah Beton sebagai berikut.

Benda uji kadar semen 5 %

Berat agregat kasar alami = 5 Kg

Berat agregat kasar limbah beton = 5 Kg

Berat agregat halus = 5 Kg

Berat Semen =  $\frac{5}{100} \times 10$   
= 0,5 Kg

Kadar Air 5 % =  $\frac{5}{100} \times 10$   
= 0,5 Kg

Kadar Air 7 % =  $\frac{7}{100} \times 10$   
= 0,7 Kg

Kadar Air 9 % =  $\frac{9}{100} \times 10$   
= 0,9 Kg

Kadar Air 11 % =  $\frac{11}{100} \times 10$   
= 1,1 Kg

**Tabel 5.18 Tabel Proporsi Campuran Benda Uji Agregat Kasar Campuran Batu Alam Clereng dan Limbah Beton**

KOMPOSISI CAMPURAN SAMPEL TRIAL KADAR AIR OPTIMUM KADAR SEMEN 5 %							
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Limbah Beton (Kg)	Berat Kerikil Clereng (Kg)
MX1	5	5	0,5	0,5	5	2,5	2,5
MX2		5	0,5	0,5	5	2,5	2,5
MX3		5	0,5	0,5	5	2,5	2,5
Jumlah			1,5	1,5	15	7,5	7,5

**Lanjutan Tabel 5.18 Tabel Proporsi Campuran Benda Uji Agregat Kasar  
Campuran Batu Alam Clereng dan Limbah Beton**

Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Limbah Beton (Kg)	Berat Kerikil Clereng (Kg)
MX4	5	7	0,5	0,7	5	2,5	2,5
MX5		7	0,5	0,7	5	2,5	2,5
MX6		7	0,5	0,7	5	2,5	2,5
Jumlah			1,5	2,1	15	7,5	7,5
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Limbah Beton (Kg)	Berat Kerikil Clereng (Kg)
MX7	5	9	0,5	0,9	5	2,5	2,5
MX8		9	0,5	0,9	5	2,5	2,5
MX9		9	0,5	0,9	5	2,5	2,5
Jumlah			1,5	2,7	15	7,5	7,5
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Limbah Beton (Kg)	Berat Kerikil Clereng (Kg)
MX10	5	11	0,5	1,1	5	2,5	2,5
MX11		11	0,5	1,1	5	2,5	2,5
MX12		11	0,5	1,1	5	2,5	2,5
Jumlah			1,5	3,3	15	7,5	7,5

3. Proporsi campuran benda uji agregat kasar limbah beton.

Benda uji kadar semen 5 %

Berat agregat kasar limbah beton = 5 Kg

Berat agregat halus = 5 Kg

Berat Semen =  $\frac{5}{100} \times 10$

= 0,5 Kg

Kadar Air 5 % =  $\frac{5}{100} \times 10$

= 0,5 Kg

Kadar Air 7 % =  $\frac{7}{100} \times 10$

= 0,7 Kg

Kadar Air 9 % =  $\frac{9}{100} \times 10$

= 0,9 Kg

$$\begin{aligned} \text{Kadar Air } 11 \% &= \frac{11}{100} \times 10 \\ &= 1,1 \text{ Kg} \end{aligned}$$

**Tabel 5.19 Tabel Proporsi Campuran Benda Uji Agregat Kasar Limbah Beton**

KOMPOSISI CAMPURAN SAMPEL TRIAL KADAR AIR OPTIMUM KADAR SEMEN 5 %						
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Limbah Beton (Kg)
LB1	5	5	0,5	0,5	5	5
LB2		5	0,5	0,5	5	5
LB3		5	0,5	0,5	5	5
Jumlah			1,5	1,5	15	15
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
LB4	5	7	0,5	0,7	5	5
LB5		7	0,5	0,7	5	5
LB6		7	0,5	0,7	5	5
Jumlah			1,5	2,1	15	15
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
LB7	5	9	0,5	0,9	5	5
LB8		9	0,5	0,9	5	5
LB9		9	0,5	0,9	5	5
Jumlah			1,5	2,7	15	15
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
LB10	5	11	0,5	1,1	5	5
LB11		11	0,5	1,1	5	5
LB12		11	0,5	1,1	5	5
Jumlah			1,5	3,3	15	15

#### 5.4 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan CTB dilaksanakan setelah melewati proses perawatan benda uji berumur 7 hari. Adapun tujuan dilakukan pengujian kuat tekan untuk memperoleh nilai kuat tekan CTB dari pemberian beban oleh alat uji tekan. Nilai pengujian kuat tekan ini akan digunakan untuk mencari nilai kadar air optimum yang menghasilkan mutu kuat tekan CTB terbaik pada umur 7 hari.

Sebelum dilaksanakan pengujian kuat tekan, sampel benda uji terlebih dahulu dilakukan proses kaping pada bagian atas dengan belerang yang bertujuan untuk meratakan permukaan bidang yang akan ditekan oleh alat uji kuat tekan. Jumlah sampel benda uji pengujian kuat tekan berjumlah 60 sampel silinder beton.

Adapun persyaratan hasil pengujian kuat tekan sampel CTB pada umur 7 hari sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga DIVISI 5 Tahun 2018 yaitu memiliki nilai kuat tekan 45 – 55 kg/cm<sup>2</sup>. (DPU Bina Marga DIVISI 5, 2018)

Perhitungan dan hasil rekapitulasi pengujian kuat tekan CTB dapat dilihat pada Tabel berikut.

#### 5.4.1 Benda Uji Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 3%

1. Benda Uji Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 3% dan Kadar Air 5%.

$$\begin{aligned}
 f'_c &= \frac{P \text{ (Kg)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}} \\
 &= \frac{3772,89}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15,33^2} \\
 &= 21,149 \text{ Kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Hasil pengujian kuat tekan pada variasi sampel agregat kasar Clereng dengan kadar semen 3% dan kadar air 5% dapat dilihat pada Tabel 5.20 berikut.

**Tabel 5.20 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 3% dan Kadar Air 5%**

Kode Sampel	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
CA1	10,699	3772,89	180,505	20,902	20,834	TIDAK MEMENUHI	45 – 55 Kg/cm <sup>2</sup>
CA2	9,925	3874,86	183,214	21,149			
CA3	9,88	3772,89	184,495	20,450			

$$\text{Standar Deviasi (Sd)} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n-1}$$

$$X1 = (20,902 - 20,834)^2 = 0,004$$

$$\begin{aligned}
 X2 &= (21,149 - 20,834)^2 = 0,099 \\
 X3 &= (20,450 - 20,834)^2 = 0,1470_+ \\
 \Sigma(Xi - Xrt)^2 &= 0,25
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Sd &= \sqrt{\frac{0,25}{3-1}} \\
 &= 0,353
 \end{aligned}$$

2. Benda Uji Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 3% dan Kadar Air 7%.

$$\begin{aligned}
 f'_c &= \frac{P \text{ (Kg)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}} \\
 &= \frac{5710,32}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15,06^2} \\
 &= 32,057 \text{ Kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Hasil pengujian kuat tekan pada variasi sampel agregat kasar Clereng dengan kadar semen 3% dan kadar air 7% dapat dilihat pada Tabel 5.21 berikut.

**Tabel 5.21 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 3% dan Kadar Air 7%**

Kode Sampel	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
CA4	10,453	5710,32	178,131	32,057	30,923	TIDAK MEMENUHI	45 – 55 Kg/cm <sup>2</sup>
CA5	10,992	5812,29	186,023	31,245			
CA6	10,179	5608,35	190,319	29,468			

$$\text{Standar Deviasi (Sd)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (xi-x)^2}{n-1}}$$

$$\begin{aligned}
 X4 &= (32,057 - 30,923)^2 = 1,285 \\
 X5 &= (31,245 - 30,923)^2 = 0,103 \\
 X6 &= (29,468 - 30,923)^2 = 2,1170_+ \\
 \Sigma(Xi - Xrt)^2 &= 3,505
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Sd &= \sqrt{\frac{3,505}{3-1}} \\
 &= 1,323
 \end{aligned}$$

3. Benda Uji Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 3% dan Kadar Air 9%.

$$f'_c = \frac{P \text{ (Kg)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}} \\ = \frac{4282,74}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15,273^2} \\ = 26,158 \text{ Kg/cm}^2$$

Hasil pengujian kuat tekan pada variasi sampel agregat kasar Clereng dengan kadar semen 3% dan kadar air 9% dapat dilihat pada Tabel 5.22 berikut.

**Tabel 5.22 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 3% dan Kadar Air 9%**

Kode Sampel	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
CA7	10,301	4282,74	179,949	23,800	24,603	TIDAK MEMENUHI	45 – 55 Kg/cm <sup>2</sup>
CA8	10,314	4282,74	179,553	23,852			
CA9	10,24	4792,59	183,214	26,158			

$$\text{Standar Deviasi (Sd)} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n-1} \\ X7 = (23,8 - 24,603)^2 = 0,646 \\ X8 = (23,852 - 24,603)^2 = 0,564 \\ X9 = (26,158 - 24,603)^2 = 2,4180 \\ \Sigma(X_i - \bar{X}_t)^2 = 3,629 \\ Sd = \frac{\sqrt{3,629}}{3-1} \\ = 1,347$$

4. Benda Uji Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 3% dan Kadar Air 11%.

$$f'_c = \frac{P \text{ (Kg)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}}$$

$$= \frac{2549,052}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15,637^2}$$

$$= 13,275 \text{ Kg/cm}^2$$

Hasil pengujian kuat tekan pada variasi sampel agregat kasar Clereng dengan kadar semen 3% dan kadar air 11% dapat dilihat pada Tabel 5.23 berikut.

**Tabel 5.23 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 3% dan Kadar Air 11%**

Kode Sampel	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
CA10	11,052	2549,25	192,034	13,275	12,075	TIDAK MEMENUHI	45 – 55 Kg/cm <sup>2</sup>
CA11	10,172	2243,34	186,184	12,049			
CA12	10,133	2039,4	187,072	10,902			

$$\text{Standar Deviasi (Sd)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$X_{10} = (13,275 - 12,075)^2 = 1,439$$

$$X_{11} = (12,049 - 12,075)^2 = 0,001$$

$$X_{12} = (10,902 - 12,075)^2 = 1,3370_+$$

$$\Sigma(X_i - \bar{X}_{rt})^2 = 2,817$$

$$Sd = \sqrt{\frac{2,817}{3-1}}$$

$$= 1,187$$

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan pada variasi sampel agregat kasar Clereng dengan kadar semen 3% didapatkan hasil yang tidak memenuhi spesifikasi umum bina marga tahun 2018 sebesar 45-55 Kg/cm<sup>2</sup>. Dengan nilai kuat tekan maksimum sebesar 32,057 Kg/cm<sup>2</sup> pada kadar air 7%. Dilihat dari data hasil pengujian kuat tekan memiliki kenaikan nilai kuat tekan dari kadar air 5% ke 7% dan mengalami penurunan nilai kuat tekan pada kadar air 7% ke 11%. Dari perhitungan nilai standar deviasi didapatkan hasil pengujian Sampel CTB menggunakan agregat kasar Clereng dengan kadar semen 3% pada kadar air 5% cukup bervariasi, namun hasil pengujian pada kadar air



7%, 9% dan 11% kurang bervariasi karena nilai standar deviasi lebih kecil dari nilai *mean*.

Dari data hasil pengujian tersebut membuktikan pengaruh kadar air terhadap nilai kuat tekan CTB. Dengan hasil yang didapatkan dari pengujian kuat tekan sampel agregat kasar Clereng dengan kadar semen 3% maka sampel tersebut tidak bisa digunakan untuk lapis pondasi atas karena tidak memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.

#### 5.4.2 Benda Uji Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 4 %

1. Benda Uji Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 4% dan Kadar Air 5%.

$$\begin{aligned}
 f'_c &= \frac{P \text{ (Kg)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}} \\
 &= \frac{4996,53}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15,083^2} \\
 &= 27,963 \text{ Kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Hasil pengujian kuat tekan pada variasi sampel agregat kasar Clereng dengan kadar semen 4% dan kadar air 5% dapat dilihat pada Tabel 5.24 berikut.

**Tabel 5.24 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 4% dan Kadar Air 5%**

Kode Sampel	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
CB1	10,182	4996,53	178,684	27,963	26,342	TIDAK MEMENUHI	45 – 55 Kg/cm <sup>2</sup>
CB2	10,792	4690,62	178,447	26,286			
CB3	10,095	4792,59	193,428	24,777			

$$\text{Standar Deviasi (Sd)} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n-1}$$

$$X_1 = (27,963 - 26,342)^2 = 2,628$$

$$X_2 = (26,286 - 26,342)^2 = 0,003$$

$$X_3 = (24,777 - 26,342)^2 = \underline{2,4490}_+$$

$$\Sigma(X_i - \bar{X}_{rt})^2 = 5,080$$

$$Sd = \sqrt{\frac{5,080}{3-1}}$$

$$= 1,594$$

2. Benda Uji Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 4% dan Kadar Air 7%.

$$f^c = \frac{P \text{ (Kg)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}}$$

$$= \frac{7239,87}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15,156^2}$$

$$= 40,127 \text{ Kg/cm}^2$$

Hasil pengujian kuat tekan pada variasi sampel agregat kasar Clereng dengan kadar semen 4% dan kadar air 7% dapat dilihat pada Tabel 5.25 berikut.

**Tabel 5.25 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 4% dan Kadar Air 7%**

Kode Sampel	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
CB4	10,939	7239,87	180,425	40,127	38,167	TIDAK MEMENUHI	45 – 55 Kg/cm <sup>2</sup>
CB5	10,276	6526,08	179,553	36,346			
CB6	8,727	6933,96	182,335	38,029			

$$\text{Standar Deviasi (Sd)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$X_4 = (40,127 - 38,167)^2 = 3,840$$

$$X_5 = (36,346 - 38,167)^2 = 3,316$$

$$X_6 = (38,029 - 38,167)^2 = 0,0190_+$$

$$\Sigma(X_i - \bar{X}_{rt})^2 = 7,175$$

$$Sd = \sqrt{\frac{7,175}{3-1}}$$

$$= 1,894$$

3. Benda Uji Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 4% dan Kadar Air 9%.

$$\begin{aligned}
 f'_c &= \frac{P \text{ (Kg)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}} \\
 &= \frac{5506,38}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15^2} \\
 &= 31,160 \text{ Kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Hasil pengujian kuat tekan pada variasi sampel agregat kasar Clereng dengan kadar semen 4% dan kadar air 9% dapat dilihat pada Tabel 5.26 berikut.

**Tabel 5.26 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 4% dan Kadar Air 9%**

Kode Sampel	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
CB7	10,916	5506,38	176,715	31,160	30,210	TIDAK MEMENUHI	45 – 55 Kg/cm <sup>2</sup>
CB8	10,429	5710,32	192,444	29,673			
CB9	9,998	5404,41	181,379	29,796			

$$\begin{aligned}
 \text{Standar Deviasi (Sd)} &= \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n-1} \\
 X7 &= (31,160 - 30,210)^2 = 0,903 \\
 X8 &= (29,673 - 30,210)^2 = 0,288 \\
 X9 &= (29,796 - 30,210)^2 = 0,1710_+ \\
 \Sigma(X_i - \bar{X}_{rt})^2 &= 1,362
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Sd &= \sqrt{\frac{1,362}{3-1}} \\
 &= 0,825
 \end{aligned}$$

4. Benda Uji Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 4% dan Kadar Air 11%.

$$\begin{aligned}
 f'_c &= \frac{P \text{ (Kg)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}} \\
 &= \frac{4588,65}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15,096^2} \\
 &= 25,635 \text{ Kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Hasil pengujian kuat tekan pada variasi sampel agregat kasar Clereng dengan kadar semen 4% dan kadar air 11% dapat dilihat pada Tabel 5.27 berikut.

**Tabel 5.27 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 4% dan Kadar Air 11%**

Kode Sampel	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
CB10	10,636	4588,65	179,000	25,635	25,037	TIDAK MEMENUHI	45 – 55 Kg/cm <sup>2</sup>
CB11	10,734	4588,65	183,774	24,969			
CB12	10,376	4384,71	178,921	24,506			

$$\text{Standar Deviasi (Sd)} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n-1}$$

$$X_{10} = (25,635 - 25,037)^2 = 0,358$$

$$X_{11} = (24,969 - 25,037)^2 = 0,005$$

$$X_{12} = (24,506 - 25,037)^2 = 0,2810_+$$

$$\Sigma(X_i - \bar{X}_{rt})^2 = 0,644$$

$$Sd = \sqrt{\frac{0,644}{3-1}}$$

$$= 0,567$$

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan pada variasi sampel agregat kasar Clereng dengan kadar semen 4% didapatkan hasil yang tidak memenuhi spesifikasi umum bina marga tahun 2018 sebesar 45-55 Kg/cm<sup>2</sup>. Dengan nilai kuat tekan maksimum sebesar 40,127 Kg/cm<sup>2</sup> pada kadar air 7%. Dilihat dari data hasil pengujian kuat tekan memiliki kenaikan nilai kuat tekan dari kadar air 5% ke 7% dan mengalami penurunan nilai kuat tekan pada kadar air 7% ke 11%. Dari perhitungan nilai standar deviasi didapatkan hasil pengujian Sampel CTB menggunakan agregat kasar Clereng dengan kadar semen 4% pada kadar air 5% cukup bervariasi, namun hasil pengujian pada kadar air 7%, 9% dan 11% kurang bervariasi karena nilai standar deviasi lebih kecil dari nilai *mean*.

Dari data hasil pengujian tersebut membuktikan pengaruh kadar air terhadap nilai kuat tekan CTB. Dengan hasil yang didapatkan dari pengujian kuat tekan

sampel agregat kasar Clereng dengan kadar semen 4% maka sampel tersebut tidak bisa digunakan untuk lapis pondasi atas karena tidak memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.

#### 5.4.3 Benda Uji Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 5%

1. Benda Uji Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 5%.

$$\begin{aligned}
 f'_c &= \frac{P \text{ (Kg)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}} \\
 &= \frac{8973,36}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15,176^2} \\
 &= 49,669 \text{ Kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Hasil pengujian kuat tekan pada variasi sampel agregat kasar Clereng dengan kadar semen 5% dan kadar air 5% dapat dilihat pada Tabel 5.28 berikut.

**Tabel 5.28 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 5%**

Kode Sampel	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
CC1	9,499	8973,36	180,663	49,669	46,878	MEMENUHI	45 – 55 Kg/cm <sup>2</sup>
CC2	10,729	8055,63	179,791	44,806			
CC3	11,166	8361,54	181,140	46,161			

$$\text{Standar Deviasi (Sd)} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n-1}$$

$$X_1 = (49,669 - 46,878)^2 = 7,787$$

$$X_2 = (44,806 - 46,878)^2 = 4,297$$

$$X_3 = (46,161 - 46,878)^2 = 0,5150_+$$

$$\Sigma(X_i - \bar{x})^2 = 12,599$$

$$Sd = \sqrt{\frac{12,599}{3-1}}$$

$$= 2,510$$

2. Benda Uji Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 7%.

$$f^c = \frac{P \text{ (Kg)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}} \\ = \frac{9789,12}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15,73^2} \\ = 55,568 \text{ Kg/cm}^2$$

Hasil pengujian kuat tekan pada variasi sampel agregat kasar Clereng dengan kadar semen 5% dan kadar air 7% dapat dilihat pada Tabel 5.29 berikut.

**Tabel 5.29 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 7%**

Kode Sampel	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
CC4	10,849	9381,24	179,633	52,225	52,708	MEMENUHI	45 – 55 Kg/cm <sup>2</sup>
CC5	10,684	8973,36	178,289	50,330			
CC6	10,786	9789,12	176,165	55,568			

$$\text{Standar Deviasi (Sd)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$X_4 = (52,225 - 52,708)^2 = 0,233$$

$$X_5 = (50,330 - 52,708)^2 = 5,651$$

$$X_6 = (55,568 - 52,708)^2 = 8,1810_+$$

$$\Sigma(X_i - \bar{X}_{rt})^2 = 14,065$$

$$Sd = \sqrt{\frac{14,065}{3-1}} \\ = 2,652$$

3. Benda Uji Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 9%.

$$f^c = \frac{P \text{ (Kg)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}}$$

$$= \frac{8871,39}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15,046^2}$$

$$= 49,891 \text{ Kg/cm}^2$$

Hasil pengujian kuat tekan pada variasi sampel agregat kasar Clereng dengan kadar semen 5% dan kadar air 9% dapat dilihat pada Tabel 5.30 berikut.

**Tabel 5.30 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 9%**

Kode Sampel	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
CC7	10,526	8871,39	177,816	49,891	47,721	MEMENUHI	45 – 55 Kg/cm <sup>2</sup>
CC8	10,501	8259,57	180,346	45,798			
CC9	10,891	8565,48	180,425	47,474			

$$\text{Standar Deviasi (Sd)} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n-1}$$

$$X7 = (49,891 - 47,721)^2 = 0,186$$

$$X8 = (45,798 - 47,721)^2 = 0,173$$

$$X9 = (47,474 - 47,721)^2 = 0,07190_+$$

$$\Sigma(X_i - \bar{X}_{rt})^2 = 1,078$$

$$Sd = \sqrt{\frac{1,078}{3-1}}$$

$$= 0,734$$

4. Benda Uji Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 11%.

$$f'_c = \frac{P \text{ (Kg)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}}$$

$$= \frac{8463,51}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15,156^2}$$

$$= 46,909 \text{ Kg/cm}^2$$

Hasil pengujian kuat tekan pada variasi sampel agregat kasar Clereng dengan kadar semen 5% dan kadar air 11% dapat dilihat pada Tabel 5.31 berikut.

**Tabel 5.31 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 11%**

Kode Sampel	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
CC10	10,754	8463,51	180,425	46,909	45,333	MEMENUHI	45 – 55 Kg/cm <sup>2</sup>
CC11	10,688	7749,72	178,763	43,352			
CC12	11,071	8259,57	180,584	45,738			

$$\text{Standar Deviasi (Sd)} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n-1}$$

$$X_{10} = (46,909 - 45,333)^2 = 2,483$$

$$X_{11} = (43,352 - 45,333)^2 = 3,924$$

$$X_{12} = (45,738 - 45,333)^2 = 0,1640_+$$

$$\Sigma(X_i - \bar{X}_{rt})^2 = 6,571$$

$$Sd = \sqrt{\frac{6,571}{3-1}}$$

$$= 1,813$$

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan pada variasi sampel agregat kasar Clereng dengan kadar semen 5 % didapatkan hasil yang memenuhi spesifikasi umum bina marga tahun 2018 sebesar 45-55 Kg/cm<sup>2</sup>. Dengan nilai kuat tekan maksimum sebesar 55,568 Kg/cm<sup>2</sup> pada kadar air 7 %. Dilihat dari data hasil pengujian kuat tekan memiliki kenaikan nilai kuat tekan dari kadar air 5 % ke 7 % dan mengalami penurunan nilai kuat tekan pada kadar air 7 % ke 11 %. Dari perhitungan nilai standar deviasi didapatkan hasil pengujian Sampel CTB menggunakan agregat kasar Clereng dengan kadar semen 5% pada kadar air 5%, 7%, 9% dan 11% kurang bervariasi karena nilai standar deviasi lebih kecil dari nilai *mean*.

Dari data hasil pengujian tersebut membuktikan pengaruh kadar air terhadap nilai kuat tekan CTB. Dengan hasil yang didapatkan dari pengujian kuat tekan sampel agregat kasar Clereng dengan kadar semen 5 % maka sampel tersebut dapat digunakan untuk lapis pondasi atas karena memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.



#### 5.4.4 Benda Uji Agregat Kasar Campuran Clereng dan Limbah Beton dengan Kadar Semen 5%

1. Benda Uji Agregat Kasar Campuran Clereng dan Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 5%.

$$\begin{aligned}
 f'_c &= \frac{P \text{ (Kg)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}} \\
 &= \frac{6526,08}{\frac{1}{4} \times \pi \times 14,816^2} \\
 &= 37,850 \text{ Kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Hasil pengujian kuat tekan pada variasi sampel agregat kasar campuran Clereng dan Limbah Beton dengan kadar semen 5% dan kadar air 5% dapat dilihat pada Tabel 5.32 berikut.

**Tabel 5.32 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Campuran Clereng dan Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 5%**

Kode Sampel	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
MX1	10,633	6526,08	172,421	37,850	35,993	TIDAK MEMENUHI	45 – 55 Kg/cm <sup>2</sup>
MX2	10,925	6322,14	179,712	35,179			
MX3	10,471	6220,17	177,973	34,950			

$$\text{Standar Deviasi (Sd)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$X1 = (37,850 - 35,993)^2 = 3,447$$

$$X2 = (35,179 - 35,993)^2 = 0,662$$

$$X3 = (34,950 - 35,993)^2 = 1,0880_+$$

$$\Sigma(X_i - \bar{X}_{rt})^2 = 4,197$$

$$\begin{aligned}
 Sd &= \sqrt{\frac{4,197}{3-1}} \\
 &= 1,612
 \end{aligned}$$

2. Benda Uji Agregat Kasar Campuran Clereng dan Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 7%.

$$\begin{aligned}
 f'_c &= \frac{P \text{ (Kg)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}} \\
 &= \frac{7953.66}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15,303^2} \\
 &= 43,242 \text{ Kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Hasil pengujian kuat tekan pada variasi sampel agregat kasar campuran Clereng dan Limbah Beton dengan kadar semen 5% dan kadar air 7% dapat dilihat pada Tabel 5.33 berikut.

**Tabel 5.33 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Campuran Clereng dan Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 7%**

Kode Sampel	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
MX4	10,233	7953,66	183,934	43,242	41,314	TIDAK MEMENUHI	45 – 55 Kg/cm <sup>2</sup>
MX5	11,049	6730,02	176,322	38,169			
MX6	11,132	7545,78	177,422	42,530			

$$\begin{aligned}
 \text{Standar Deviasi (Sd)} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \\
 X_4 &= (43,242 - 41,314)^2 = 3,718 \\
 X_5 &= (38,169 - 41,314)^2 = 9,889 \\
 X_6 &= (42,530 - 41,314)^2 = 1,4800_+ \\
 \Sigma(X_i - \bar{X}_{rt})^2 &= 15,087 \\
 Sd &= \sqrt{\frac{15,087}{3-1}} \\
 &= 2,747
 \end{aligned}$$

- Benda Uji Agregat Kasar Campuran Clereng dan Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 9%.

$$\begin{aligned}
 f'_c &= \frac{P \text{ (Kg)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}} \\
 &= \frac{7341,84}{\frac{1}{4} \times \pi \times 14,97^2}
 \end{aligned}$$

$$= 41,713 \text{ Kg/cm}^2$$

Hasil pengujian kuat tekan pada variasi sampel agregat kasar campuran Clereng dan Limbah Beton dengan kadar semen 5% dan kadar air 9% dapat dilihat pada Tabel 5.34 berikut.

**Tabel 5.34 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Campuran Clereng dan Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 9%**

Kode Sampel	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
MX7	11,072	6933,96	178,289	38,892	39,253	TIDAK MEMENUHI	45 – 55 Kg/cm <sup>2</sup>
MX8	10,993	7341,84	176,008	41,713			
MX9	11,194	6730,02	181,140	37,154			

$$\text{Standar Deviasi (Sd)} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n-1}$$

$$X7 = (38,892 - 39,253)^2 = 0,130$$

$$X8 = (41,713 - 39,253)^2 = 6,053$$

$$X9 = (37,154 - 39,253)^2 = 4,4060_+$$

$$\Sigma(X_i - \bar{X}_{rt})^2 = 10,589$$

$$Sd = \sqrt{\frac{10,589}{3-1}}$$

$$= 2,301$$

4. Benda Uji Agregat Kasar campuran Clereng dan Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 11%.

$$f'_c = \frac{P \text{ (Kg)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}}$$

$$= \frac{8463,51}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15,156^2}$$

$$= 46,909 \text{ Kg/cm}^2$$

Hasil pengujian kuat tekan pada variasi sampel agregat kasar campuran Clereng dan Limbah Beton dengan kadar semen 5% dan kadar air 11% dapat dilihat pada Tabel 5.35 berikut.

**Tabel 5.35 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Campuran Clereng dan Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 11%**

Kode Sampel	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
MX10	11,132	5914,26	181,458	32,593	32,148	TIDAK MEMENUHI	45 – 55 Kg/cm <sup>2</sup>
MX11	10,852	5506,38	176,244	31,243			
MX12	11,089	5914,26	181,379	32,607			

$$\text{Standar Deviasi (Sd)} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n-1}$$

$$X_{10} = (32,593 - 32,148)^2 = 0,198$$

$$X_{11} = (31,243 - 32,148)^2 = 0,819$$

$$X_{12} = (32,607 - 32,148)^2 = 0,2110_+$$

$$\Sigma(X_i - \bar{x})^2 = 1,228$$

$$Sd = \frac{\sqrt{1,228}}{3-1}$$

$$= 0,784$$

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan pada variasi sampel agregat kasar campuran Clereng dan Limbah Beton dengan kadar semen 5 % didapatkan hasil yang tidak memenuhi spesifikasi umum bina marga tahun 2018 sebesar 45-55 Kg/cm<sup>2</sup>. Dengan nilai kuat tekan maksimum sebesar 43,242 Kg/cm<sup>2</sup> pada kadar air 7 %. Dilihat dari data hasil pengujian kuat tekan memiliki kenaikan nilai kuat tekan dari kadar air 5 % ke 7 % dan mengalami penurunan nilai kuat tekan pada kadar air 7 % ke 11 %. Dari perhitungan nilai standar deviasi didapatkan hasil pengujian Sampel CTB menggunakan agregat kasar campuran Clereng dan Limbah Beton dengan kadar semen 5% pada kadar air 5%, 7%, 9% dan 11% kurang bervariasi karena nilai standar deviasi lebih kecil dari nilai *mean*.

Dari data hasil pengujian tersebut membuktikan pengaruh kadar air terhadap nilai kuat tekan CTB. Dengan hasil yang didapatkan dari pengujian kuat tekan sampel agregat kasar campuran Clereng dan Limbah Beton dengan kadar

semen 5% maka sampel tersebut tidak dapat digunakan untuk lapis pondasi atas karena tidak memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.

#### 5.4.5 Benda Uji Agregat Kasar Limbah Beton dengan Kadar Semen 5%

1. Benda Uji Agregat Kasar Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 5%.

$$f'_c = \frac{P \text{ (Kg)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}}$$

$$= \frac{5450}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15,086^2}$$

$$= 30,487 \text{ Kg/cm}^2$$

Hasil pengujian kuat tekan pada variasi sampel agregat kasar Limbah Beton dengan kadar semen 5% dan kadar air 5% dapat dilihat pada Tabel 5.36 berikut.

**Tabel 5.36 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 5%**

Kode Sampel	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
LB1	10,565	5475	180,902	30,265	30,238	TIDAK MEMENUHI	45 – 55 Kg/cm <sup>2</sup>
LB2	10,592	5450	178,763	30,487			
LB3	10,447	5375	179,395	29,962			

$$\text{Standar Deviasi (Sd)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$X_1 = (30,265 - 30,238)^2 = 0,001$$

$$X_2 = (30,487 - 30,238)^2 = 0,062$$

$$X_3 = (29,962 - 30,238)^2 = 0,0760_+$$

$$\Sigma(X_i - \bar{X}_r)^2 = 0,139$$

$$Sd = \sqrt{\frac{0,139}{3-1}}$$

$$= 0,264$$

2. Benda Uji Agregat Kasar Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 7%.

$$\begin{aligned}
 f'_c &= \frac{P \text{ (Kg)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}} \\
 &= \frac{6375}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15,053^2} \\
 &= 35,820 \text{ Kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Hasil pengujian kuat tekan pada variasi sampel agregat kasar Limbah Beton dengan kadar semen 5% dan kadar air 7% dapat dilihat pada Tabel 5.37 berikut.

**Tabel 5.37 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 7%**

Kode Sampel	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
LB4	10,373	6350	178,842	35,506	35,497	TIDAK MEMENUHI	45 – 55 Kg/cm <sup>2</sup>
LB5	10,771	6375	177,973	35,820			
LB6	10,746	6275	178,447	35,165			

$$\text{Standar Deviasi (Sd)} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n-1}$$

$$X_4 = (35,506 - 35,497)^2 = 0,00008$$

$$X_5 = (35,820 - 35,497)^2 = 0,104$$

$$X_6 = (35,165 - 35,497)^2 = 0,1100_+$$

$$\Sigma(X_i - \bar{x})^2 = 0,215$$

$$\begin{aligned}
 Sd &= \sqrt{\frac{0,215}{3-1}} \\
 &= 0,328
 \end{aligned}$$

3. Benda Uji Agregat Kasar Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 9%.

$$\begin{aligned}
 f'_c &= \frac{P \text{ (Kg)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}} \\
 &= \frac{5750}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15,146^2}
 \end{aligned}$$

$$= 31,911 \text{ Kg/cm}^2$$

Hasil pengujian kuat tekan pada variasi sampel agregat kasar Limbah Beton dengan kadar semen 5% dan kadar air 9% dapat dilihat pada Tabel 5.38 berikut.

**Tabel 5.38 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 9%**

Kode Sampel	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
LB7	10,586	5750	180,187	31,911	31,479	TIDAK MEMENUHI	45 – 55 Kg/cm <sup>2</sup>
LB8	10,721	5775	181,061	31,895			
LB9	10832	5500	179,553	30,632			

$$\text{Standar Deviasi (Sd)} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n-1}$$

$$X7 = (31,911 - 31,479)^2 = 0,186$$

$$X8 = (31,895 - 31,479)^2 = 0,173$$

$$X9 = (30,632 - 31,479)^2 = 0,7190_+$$

$$\Sigma(X_i - \bar{X}_{rt})^2 = 1,078$$

$$Sd = \sqrt{\frac{1,078}{3-1}}$$

$$= 0,734$$

4. Benda Uji Agregat Kasar Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 11%.

$$f'_c = \frac{P \text{ (Kg)}}{A \text{ (cm}^2\text{)}}$$

$$= \frac{5150}{\frac{1}{4} \times \pi \times 15,09^2}$$

$$= 28,796 \text{ Kg/cm}^2$$

Hasil pengujian kuat tekan pada variasi sampel agregat kasar Limbah Beton dengan kadar semen 5% dan kadar air 11% dapat dilihat pada Tabel 5.39 berikut.

**Tabel 5.39 Hasil Pengujian Kuat Tekan Agregat Kasar Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 11%**

Kode Sampel	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
LB10	10,992	5025	179,870	27,937	28,208	TIDAK MEMENUHI	45 – 55 Kg/cm <sup>2</sup>
LB11	10,823	5150	178,842	28,796			
LB12	11,152	5050	181,061	27,891			

$$\text{Standar Deviasi (Sd)} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{n-1}$$

$$X_{10} = (37,937 - 28,208)^2 = 0,074$$

$$X_{11} = (28,796 - 28,208)^2 = 0,346$$

$$X_{12} = (27,891 - 28,208)^2 = 0,1000_+$$

$$\Sigma(X_i - \bar{X}_{rt})^2 = 0,520$$

$$Sd = \sqrt{\frac{0,520}{3-1}}$$

$$= 0,410$$

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan pada variasi sampel agregat kasar Limbah Beton dengan kadar semen 5 % didapatkan hasil yang tidak memenuhi spesifikasi umum bina marga tahun 2018 sebesar 45-55 Kg/cm<sup>2</sup>. Dengan nilai kuat tekan maksimum sebesar 35,820 Kg/cm<sup>2</sup> pada kadar air 7 %. Dilihat dari data hasil pengujian kuat tekan memiliki kenaikan nilai kuat tekan dari kadar air 5 % ke 7 % dan mengalami penurunan nilai kuat tekan pada kadar air 7 % ke 11 %. Dari perhitungan nilai standar deviasi didapatkan hasil pengujian Sampel CTB menggunakan agregat kasar Limbah Beton dengan kadar semen 5% pada kadar air 5% dan 7% cukup bervariasi, namun hasil pengujian pada kadar air 9% dan 11% kurang bervariasi karena nilai standar deviasi lebih kecil dari nilai *mean*.

Dari data hasil pengujian tersebut membuktikan pengaruh kadar air terhadap nilai kuat tekan CTB. Dengan hasil yang didapatkan dari pengujian kuat tekan sampel agregat kasar campuran Clereng dan Limbah Beton dengan kadar semen 5 % maka sampel tersebut tidak dapat digunakan untuk lapis pondasi



atas karena tidak memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Persyaratkan nilai kuat tekan pada Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 sebesar 45-55 Kg/cm<sup>2</sup>. Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan CTB dapat dilihat pada Tabel 5.40 berikut.

**Tabel 5.40 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan CTB**

Kode Sampel	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
CA1	20,90190451	20,8337048	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CA2	21,14942061			
CA3	20,44978929			
CA4	32,05683348	30,9233438	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CA5	31,24497302			
CA6	29,4682249			
CA7	23,79969185	24,60345833	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CA8	23,85218922			
CA9	26,15849391			
CA10	13,27498962	12,07522751	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CA11	12,04902218			
CA12	10,90167074			
CB1	27,96301272	26,34197322	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CB2	26,28583413			
CB3	24,77707281			
CB4	40,12670394	38,16720012	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CB5	36,3461931			
CB6	38,02870333			
CB7	31,15973673	30,20956124	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CB8	29,67268853			
CB9	29,79625844			
CB10	25,63497627	25,03681938	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CB11	24,96901704			
CB12	24,50646482			

**Lanjutan Tabel 5.40 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan CTB**

Kode Sampel	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
CC1	49,66894395	46,87836413	MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CC2	44,80554592			
CC3	46,16060253			
CC4	52,22462331	52,7076361	MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CC5	50,33045423			
CC6	55,56783076			
CC7	49,89088301	47,72107486	MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CC8	45,79849466			
CC9	47,47384692			
CC10	46,90868207	45,33294331	MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CC11	43,35204017			
CC12	45,73810768			
MX1	37,84961713	35,9929831	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
MX2	35,17934538			
MX3	34,94998679			
MX4	43,24192951	41,31363811	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
MX5	38,16889532			
MX6	42,53008949			
MX7	38,89171463	39,25279037	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
MX8	41,71300079			
MX9	37,15365569			
MX10	32,59292638	32,14771615	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
MX11	31,24299584			
MX12	32,60722622			
LB1	30,26505385	30,23808003	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
LB2	30,48737489			
LB3	29,96181134			
LB4	35,5062956	35,496936	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
LB5	35,81994797			
LB6	35,16456442			
LB7	31,91125081	31,47940134	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
LB8	31,89538539			
LB9	30,63156781			
LB10	27,93682121	28,20815616	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
LB11	28,79644446			
LB12	27,89120281			

Dari 60 sampel CTB yang direncanakan, sampel variasi agregat Clereng dengan kadar semen 5% yang dapat digunakan dalam perencanaan lapis pondasi atas. Hal yang menyebabkan mutu kuat tekan sampel CTB tidak memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 diantaranya adalah faktor semen dan air, proses pemadatan, dan agregat yang digunakan. Untuk agregat Limbah Beton dengan mutu 25-30 Mpa sendiri tentunya memiliki kualitas yang berbeda jauh dengan agregat alam baru dari Clereng, karena limbah beton sudah mengalami proses pengujian sebelumnya yang mengakibatkan agregat kasar berongga dan pecah.



**Gambar 5.2 Pengujian Kuat Tekan**



**Gambar 5.3 Contoh Benda Uji Pengujian Kuat Tekan**

## 5.5 Perhitungan Kadar Air Optimum

Nilai kadar air optimum diterapkan untuk mengetahui hasil nilai kuat tekan maksimal dari CTB tiap sampel variasi dan kadar semen. Penerapan kadar air optimum bertujuan untuk meningkatkan kerapatan antar agregat dan semen. Sampel benda uji CTB dengan kadar air optimum memiliki tingkat kepadatan yang tinggi.

Perhitungan kadar air optimum dapat dicari melalui persamaan regresi garis polynomial dari grafik perbandingan kadar air dengan nilai kuat tekan CTB berumur 7 (tujuh) hari yang telah diturunkan ( $\frac{dx}{dy} = 0$ ). Setelah diturunkan, maka akan didapat kadar air optimum dan kuat tekan maksimum CTB pada tiap-tiap kadar semen. Hasil perhitungan nilai kadar air optimum dapat dilihat pada Tabel dan Grafik berikut.

### 1. Kadar Air Optimum Sampel Agregat Clereng dengan Kadar Semen 3%

Mencari nilai kadar air optimum (x maks)

$$y = -1,4136x^2 + 20,988x - 48,256$$

$$y = -1,4136.(2)x + 20,988.(1) - 48,256.(0)$$

$$0 = -2,8272x + 20,988$$

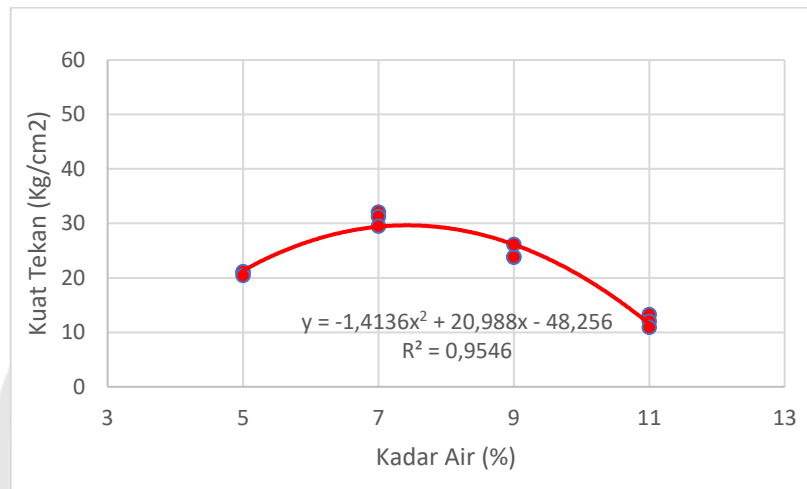
$$X = 7,242 \%$$

Mencari kuat tekan optimum (y maks)

$$y = -1,4136x^2 + 20,988x - 48,256$$

$$= -1,4136.(7,242)^2 + 20,988.(7,242) - 48,256$$

$$= 30,646 \text{ Kg/cm}^2$$



**Grafik 5.4 Kadar Air Optimum Sampel CTB Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 3%**

Pada Grafik 5.4 dapat dilihat bahwa regresi dua dimensi sampel agregat Clereng dengan kadar semen 3% memiliki kenaikan nilai kuat tekan pada kadar air 5% - 7% dan mengalami penurunan nilai kuat tekan pada kadar air 7% - 11%. Grafik persamaan tersebut dihubungkan dengan garis polynomial menghasilkan persamaan  $y = -1,4136x^2 + 20,988x - 48,256$  dan memiliki korelasi yang mendekati 1, yaitu sebesar 0,9546. Setelah melakukan penurunan persamaan didapat kadar air optimum sebesar 7,424% pada kuat tekan 30,646 kg/cm<sup>2</sup>.

2. Kadar Air Optimum Sampel Agregat Clereng dengan Kadar Semen 4%

Mencari nilai kadar air optimum (x maks)

$$y = -1,0624x^2 + 16,404x - 27,992$$

$$y = -1,0624 \cdot (2)x + 16,404 \cdot (1) - 27,992 \cdot (0)$$

$$0 = -2,1248x + 16,404$$

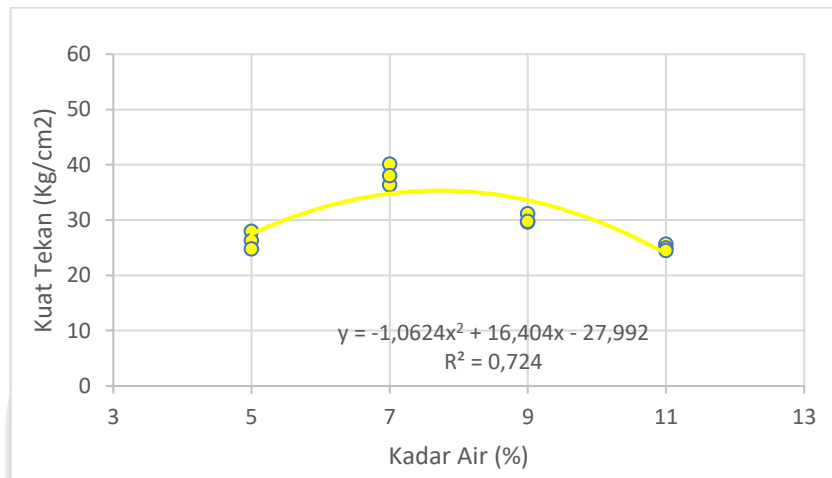
$$X = 7,72 \%$$

Mencari kuat tekan optimum (y maks)

$$y = -1,0624x^2 + 16,404x - 27,992$$

$$= 1,0624 \cdot (7,72)x + 16,404 \cdot (7,72) - 27,992$$

$$= 36,329 \text{ Kg/cm}^2$$



**Grafik 5.5 Kadar Air Optimum Sampel CTB Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 4%**

Pada Grafik 5.5 dapat dilihat bahwa regresi dua dimensi sampel agregat Clereng dengan kadar semen 4% memiliki kenaikan nilai kuat tekan pada kadar air 5% - 7% dan mengalami penurunan nilai kuat tekan pada kadar air 7% - 11%. Grafik persamaan tersebut dihubungkan dengan garis polinomial menghasilkan persamaan  $y = -1,0624x^2 + 16,404x - 27,992$  dan memiliki korelasi yang mendekati 1, yaitu sebesar 0,724. Setelah melakukan penurunan persamaan didapat kadar air optimum sebesar 7,72% pada kuat tekan 36,329 kg/cm<sup>2</sup>.

3. Kadar Air Optimum Sampel Agregat Clereng dengan Kadar Semen 5%  
Mencari nilai kadar air optimum (x maks)

$$y = -0,5136x^2 + 7,7363x - 21,707$$

$$y = -0,5136.(2)x + 7,7363.(1) - 21,707.(0)$$

$$0 = -1,0272x + 7,7363$$

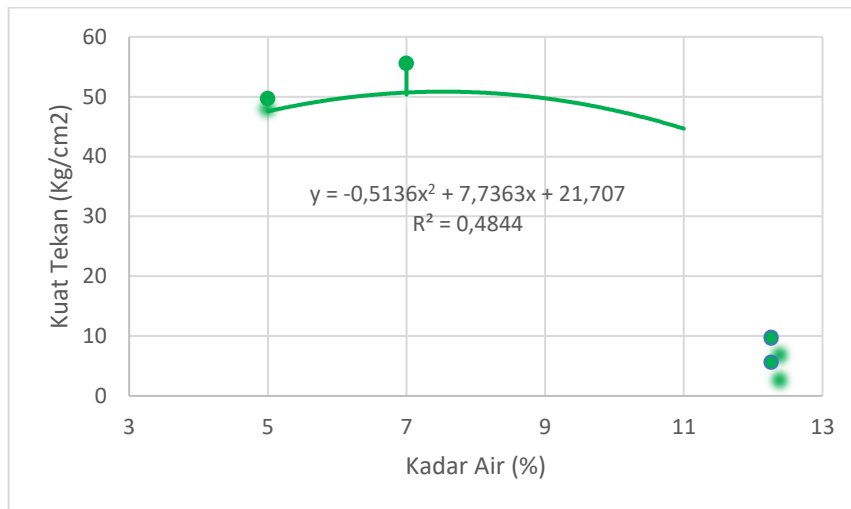
$$X = 7,531 \%$$

Mencari kuat tekan optimum (y maks)

$$y = -0,5136x^2 + 7,7363x - 21,707$$

$$= -0,5136.(7,531)x + 7,7363.(7,72) - 21,707$$

$$= 50,838 \text{ Kg/cm}^2$$



**Grafik 5.6 Kadar Air Optimum Sampel CTB Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 5%**

Pada Grafik 5.5 dapat dilihat bahwa regresi dua dimensi sampel agregat Clereng dengan kadar semen 5% memiliki kenaikan nilai kuat tekan pada kadar air 5% - 7% dan mengalami penurunan nilai kuat tekan pada kadar air 7% - 11%. Grafik persamaan tersebut dihubungkan dengan garis polynomial menghasilkan persamaan  $y = -0,5136x^2 + 7,7363x - 21,707$  dan memiliki korelasi sebesar 0,4844. Setelah melakukan penurunan persamaan didapat kadar air optimum sebesar 7,531% pada kuat tekan 50,838 kg/cm<sup>2</sup>.

4. Kadar Air Optimum Sampel Agregat Campuran Clereng dan Limbah Beton dengan Kadar Semen 4%

Mencari nilai kadar air optimum (x maks)

$$y = -0,7766x^2 + 11,746x - 3,2044$$

$$y = -0,7766.(2)x + 11,746.(1) - 3,2044.(0)$$

$$0 = -1,5532x + 11,746$$

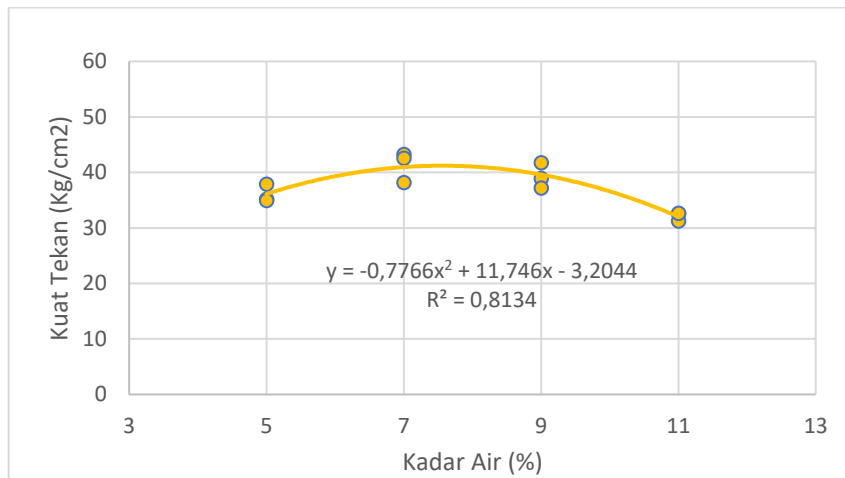
$$X = 7,562 \%$$

Mencari kuat tekan optimum (y maks)

$$y = -0,7766x^2 + 11,746x - 3,2044$$

$$= -0,7766.(7,562)x + 11,746.(7,562) - 3,2044$$

$$= 41,21 \text{ Kg/cm}^2$$



**Grafik 5.7 Kadar Air Optimum Sampel CTB Agregat Kasar Campuran Clereng dan Limbah Beton dengan Kadar Semen 5%**

Pada Grafik 5.5 dapat dilihat bahwa regresi dua dimensi sampel agregat Campuran Clereng dan Limbah Beton dengan kadar semen 5% memiliki kenaikan nilai kuat tekan pada kadar air 5% - 7% dan mengalami penurunan nilai kuat tekan pada kadar air 7% - 11%. Grafik persamaan tersebut dihubungkan dengan garis polinomial menghasilkan persamaan  $y = -0,7766x^2 + 11,746x - 27,992$  dan memiliki korelasi yang mendekati 1, yaitu sebesar 0,8134. Setelah melakukan penurunan persamaan didapat kadar air optimum sebesar 7,562% pada kuat tekan 41,21 kg/cm<sup>2</sup>.

5. Kadar Air Optimum Sampel Limbah Beton dengan Kadar Semen 5%

Mencari nilai kadar air optimum (x maks)

$$y = -0,5331x^2 + 8,0247x + 3,9438$$

$$y = -0,5331.(2)x + 8,0247.(1) + 3,9438.(0)$$

$$0 = -1,0662x + 8,0247$$

$$X = 7,526 \%$$

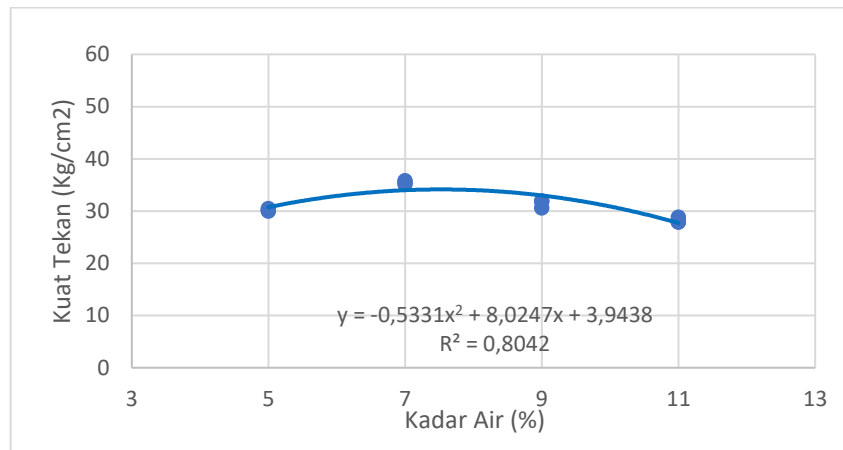
Mencari kuat tekan optimum (y maks)

$$y = -0,5331x^2 + 8,0247x + 3,9438$$

$$= -0,5331.(7,526)x + 8,0247.(7,526) + 3,9438$$

$$= 34,1418 \text{ Kg/cm}^2$$





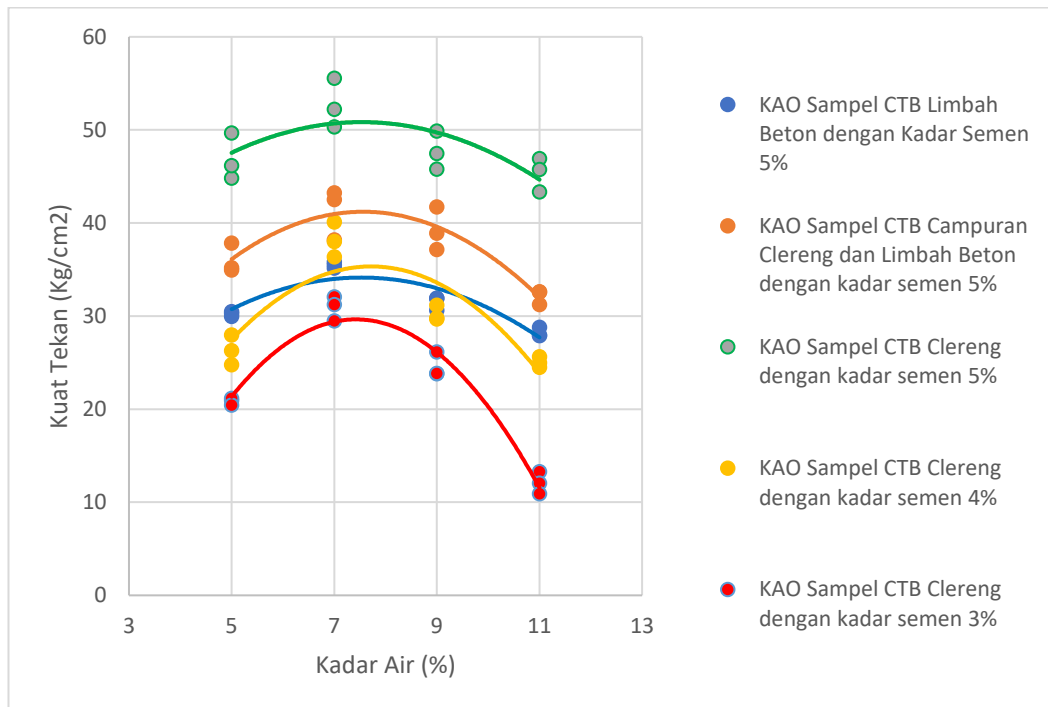
**Grafik 5.8 Kadar Air Optimum Sampel CTB Agregat Kasar Limbah Beton dengan Kadar Semen 5%**

Pada Grafik 5.8 dapat dilihat bahwa regresi dua dimensi sampel agregat Campuran Clereng dan Limbah Beton dengan kadar semen 5% memiliki kenaikan nilai kuat tekan pada kadar air 5% - 7% dan mengalami penurunan nilai kuat tekan pada kadar air 7% - 11%. Grafik persamaan tersebut dihubungkan dengan garis polynomial menghasilkan persamaan  $y = -0,5331x^2 + 8,0247x + 3,9438$  dan memiliki korelasi yang mendekati 1, yaitu sebesar 0,8042. Setelah melakukan penurunan persamaan didapat kadar air optimum sebesar 7,526% pada kuat tekan 34,1418 kg/cm<sup>2</sup>.

Rekapitulasi Hasil analisis perhitungan nilai kadar air optimum sampel CTB dapat dilihat pada Tabel dan Grafik Berikut berikut.

**Tabel 5.41 Hasil Rekapitulasi Perhitungan Nilai Kadar Air Optimum**

Jenis Agregat	Kadar Semen (%)	Kadar Air Optimum (%)	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )
Clereng	3	7,424	30,646
	4	7,72	36,239
	5	7,531	50,838
Campuran Clereng dan Limbah Beton	5	7,562	41,2097
Limbah Beton	5	7,526	34,1418



**Grafik 5.9 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kadar Air Optimum Sampel CTB**

## 5.6 Pembahasan CTB

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pemanfaatan penggunaan Limbah Beton sebagai bahan pengganti dan bahan tambah agregat kasar dalam campuran CTB, hasil yang didapatkan dari pengujian kuat tekan CTB menggunakan sampel agregat Limbah Beton sebagai pengganti dan bahan tambah agregat kasar tidak memenuhi spesifikasi persyaratan nilai kuat tekan CTB. Beberapa jenis variasi sampel jenis agregat kasar yang digunakan pada sampel benda uji CTB diantaranya sampel agregat kasar alam Clereng, sampel agregat campuran agregat Clereng dengan Limbah beton, dan sampel agregat kasar limbah beton.

Perbedaan penggunaan jenis agregat kasar yang digunakan pada sampel CTB bertujuan sebagai pembandingan hasil nilai kuat tekan yang dihasilkan oleh agregat kasar baru dan agregat kasar limbah beton. Agregat kasar berupa limbah beton berasal dari Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi, Universitas Islam Indonesia yang memiliki mutu 25-30 Mpa. Limbah beton yang sudah tidak terpakai

di pecah menggunakan mesin *Stone Crusher* sesuai dengan spesifikasi dan kebutuhan pada perencanaan campuran.

Limbah beton yang akan digunakan sebagai bahan pengganti dan bahan tambah agregat kasar pada sampel CTB tentunya sudah mengalami penurunan kekuatan mutu karena agregat sudah mengalami beberapa proses pengujian beton sebelumnya. Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai kuat tekan CTB diantaranya adalah kadar semen, kadar air, dan jenis agregat yang digunakan.

Dari 60 total sampel CTB yang telah dilaksanakan pengujian kuat tekan, sampel benda uji dengan agregat kasar Clereng dan kadar semen 5% dapat digunakan untuk lapis pondasi atas karena memenuhi persyaratan nilai kuat tekan sebesar 45–55 Kg/cm<sup>2</sup>. Hasil pengujian yang memenuhi persyaratan dari sampel CTB dengan kadar semen 5%, tidak terlepas dari penggunaan komposisi kadar semen maksimum yang digunakan sesuai perkiraan penggunaan semen pada Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 yaitu sebesar 3-5% serta penggunaan agregat kasar baru sebagai penyusunnya.

Untuk sampel CTB menggunakan agregat kasar Clereng dengan kadar semen 3% dan 4% belum memenuhi spesifikasi persyaratan minimal kuat tekan, hal ini dikarenakan kadar semen yang digunakan belum cukup untuk campuran CTB. Menurut (Mulyono, 2004) semen memiliki peranan penting dalam membentuk suatu masa padat dan sebagai pengisi rongga-rongga pada butir-butir agregat. Peranan semen dalam proses CTB menjadi tinjauan utama, mengingat sampel CTB melewati proses pemadatan sedemikian rupa dengan perbandingan komposisi campuran agregat kasar dan halus yang digunakan sebesar 50:50 sehingga peranan semen sebagai bahan pengikat dalam campuran CTB sangatlah penting.

Dari hasil yang diperoleh, penulis menyimpulkan penggunaan kadar semen yang optimum untuk perencanaan CTB dengan agregat Clereng menggunakan kadar semen 5%. Meskipun begitu, hal ini menunjukkan adanya *trend* yang menunjukkan kenaikan nilai kuat tekan CTB yang semakin meningkat seiring dengan penambahan kadar semen.

Dalam rangka pemanfaatan Limbah Beton agar memiliki nilai guna, Limbah Beton sebagai bahan tambah dan bahan pengganti agregat kasar campuran CTB

tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Dari hasil penelitian kuat tekan sampel CTB dengan kadar semen 5% menggunakan agregat campuran Clereng dan Limbah Beton, dan Sampel CTB dengan kadar 5% menggunakan agregat Limbah Beton memiliki nilai kuat tekan dibawah persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar 45-55 Kg/cm<sup>2</sup>. Hal ini disebabkan oleh material limbah beton yang masih tercampur dengan semen dan agregat halus setelah proses pemecahan pada mesin *Stone Crusher* dan limbah beton sudah mengalami pengurangan kekuatan setelah melewati proses pengujian sebelumnya, mengingat bahan material limbah beton yang digunakan merupakan beton yang sudah tidak digunakan dari bekas pengujian Penelitian sebelumnya pada Laboratorium BKT Universitas Islam Indonesia.

Pada penelitian terdahulu digunakan presentase penggunaan kadar air dalam rangka *trial* untuk mencari nilai kadar air optimum sebesar 4%, 6%, 8% dan 10%. Dari hasil penelitian terdahulu didapatkan nilai kadar air optimum berada pada range 6% - 8%. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penelitian ini menggunakan trial kadar air 5%, 7%, 9% dan 11% untuk mencari nilai kadar air optimum, didapatkan trend kenaikan nilai kuat tekan pada kadar air 5% - 7% dan penurunan pada range 7% - 11%. Dengan demikian nilai kadar air optimum berada pada range 7% - 9% dapat dilihat dari nilai grafik hasil pengujian kuat tekan CTB pada umur 7 hari. Untuk mencari nilai kadar air optimum dilakukan analisa regresi dua dimensi dengan melakukan penurunan rumus ( $\frac{dx}{dy} = 0$ ), didapatkan nilai kadar optimum sebesar 7,424%, 7,720%, 7,531%, 7,562%, dan 7,526%.

Sampel benda uji CTB dengan menggunakan agregat kasar Clereng pada kadar semen 5% yang dapat digunakan sebagai bahan material CTB karena memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 didapatkan nilai kadar air optimum sebesar 7,531%. Pada sampel CTB dengan menggunakan agregat kasar Clereng pada kadar semen 3% terdapat selisih 0,107% dibawah hasil kadar air optimum yang didapatkan pada sampel CTB dengan agregat kasar Clereng pada kadar semen 5%, sedangkan pada sampel CTB dengan menggunakan agregat kasar Clereng pada kadar semen 4% terdapat selisih 0,189% diatasnya. Sementara itu pada sampel CTB dengan menggunakan agregat kasar Campuran Clereng dan

Limbah Beton pada kadar semen 5% terdapat selisih 0,032% diatas hasil kadar air optimum yang didapatkan pada sampel CTB dengan agregat kasar Clereng pada kadar air 5%, sedangkan pada sampel CTB dengan menggunakan agregat kasar Limbah Beton pada kadar semen 5% terdapat selisih 0,004% dibawahnya.



## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Dari hasil analisis yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil penggunaan agregat kasar limbah beton dengan mutu 25-30 Mpa sebagai bahan pengganti dan bahan tambah pada kadar semen 5% serta agregat kasar baru Clereng pada kadar semen 3%, 4%, dan 5% dari berat total agregat sebagai hasil pembandingan dengan agregat daur ulang limbah beton terhadap karakteristik CTB adalah sebagai berikut.
  - a. Penggunaan agregat kasar dari Clereng dengan kadar semen 3% dan 4% dan proporsi agregat kasar dan halus 50:50 pada umur 7 hari tidak memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 sebagai material CTB. Namun penggunaan agregat kasar Clereng dengan kadar semen 5% dan proporsi agregat kasar dan halus 50:50 pada umur 7 hari memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.
  - b. Nilai kuat tekan CTB pada umur 7 hari yang dihasilkan dari agregat kasar dari Clereng dengan kadar semen 3% dan kadar air 5%, 7%, 9%, dan 11% yaitu sebesar 20,834 Kg/cm<sup>2</sup>, 30,923 Kg/cm<sup>2</sup>, 24,603 Kg/cm<sup>2</sup>, dan 12,075 Kg/cm<sup>2</sup>. CTB menggunakan agregat kasar baru dari Clereng pada umur 7 hari dengan kadar semen 3% tersebut tidak memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 yaitu 45 – 55 Kg/cm<sup>2</sup>.
  - c. Nilai kuat tekan CTB pada umur 7 hari yang dihasilkan dari agregat kasar dari Clereng dengan kadar semen 4% dan kadar air 5%, 7%, 9%, dan 11% yaitu sebesar 26,342 Kg/cm<sup>2</sup>, 38,167 Kg/cm<sup>2</sup>, 30,210 Kg/cm<sup>2</sup>, dan 25,037 Kg/cm<sup>2</sup>. CTB menggunakan agregat kasar dari Clereng pada umur 7 hari dengan kadar semen 4% tersebut tidak memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 yaitu 45 – 55 Kg/cm<sup>2</sup>.

- d. Nilai kuat tekan CTB pada umur 7 hari yang dihasilkan dari agregat kasar dari Clereng dengan kadar semen 5% dan kadar air 5%, 7%, 9%, dan 11% yaitu sebesar 46,878 Kg/cm<sup>2</sup>, 52,708 Kg/cm<sup>2</sup>, 47,721 Kg/cm<sup>2</sup>, dan 45,333 Kg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan nilai kuat tekan CTB menggunakan agregat kasar dari Clereng pada umur 7 hari dengan kadar semen 5% tersebut memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 yaitu 45 – 55 Kg/cm<sup>2</sup>.
  - e. Penggunaan daur ulang limbah beton sebagai bahan pengganti dan bahan tambah agregat kasar dengan proporsi agregat kasar dan halus 50:50 pada umur 7 hari tidak memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 sebagai material CTB.
  - f. Nilai kuat tekan CTB pada umur 7 hari yang dihasilkan dari daur ulang limbah beton sebagai bahan tambah agregat kasar dengan kadar 5% dan kadar air 5%, 7%, 9%, dan 11% yaitu sebesar 35,993 Kg/cm<sup>2</sup>, 41,314 Kg/cm<sup>2</sup>, 39,253 Kg/cm<sup>2</sup>, dan 32,148 Kg/cm<sup>2</sup>. CTB daur ulang limbah beton sebagai bahan tambah agregat kasar pada umur 7 hari tersebut tidak memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 yaitu 45 – 55 Kg/cm<sup>2</sup>.
  - g. Nilai kuat tekan CTB pada umur 7 hari yang dihasilkan dari daur ulang limbah beton sebagai pengganti agregat kasar dengan kadar 5% dan kadar air 5%, 7%, 9%, dan 11% yaitu sebesar 30,238 Kg/cm<sup>2</sup>, 35,497 Kg/cm<sup>2</sup>, 31,479 Kg/cm<sup>2</sup>, dan 28,208 Kg/cm<sup>2</sup>. CTB daur ulang limbah beton sebagai pengganti agregat kasar pada umur 7 hari tersebut tidak memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 yaitu 45 – 55 Kg/cm<sup>2</sup>.
  - h. Penggunaan daur ulang beton sebagai bahan tambah dan bahan pengganti agregat kasar dalam rangka mengurangi limbah beton yang sudah tidak memiliki nilai guna, tidak dapat digunakan sebagai bahan material CTB karena tidak memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.
2. Kadar air optimum yang didapat dari sampel CTB pada umur 7 hari dari agregat kasar dari Clereng dengan kadar 3%, 4%, dan 5% yaitu sebesar 7,424%, 7,720%, dan 7,531%. Sedangkan nilai kadar air optimum CTB pada

umur 7 hari dari daur ulang limbah beton sebagai bahan tambah dan pengganti agregat kasar sebesar 7,562% dan 7,526%.

## 6.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat menjadi saran untuk penelitian selanjutnya untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Untuk penelitian selanjutnya, dapat dicoba dengan penambahan kadar semen yang digunakan pada perencanaan CTB karena pada hasil penelitian yang sudah dilakukan terdapat *trend* kenaikan nilai kuat tekan seiring dengan penambahan kadar semen.
2. Penggunaan material CTB menggunakan proporsi agregat kasar : agregat halus dengan perbandingan selain 50 : 50 dengan bahan daur limbah beton sebagai pengganti dan bahan tambah sebesar 25% dari agregat kasar baru dengan tujuan mengurangi limbah beton sehingga dapat dimanfaatkan sebagai material CTB. Dengan mencoba proporsi lainnya diharapkan CTB menjadi lebih padat dan tidak adanya ruang kosong antar agregat.
3. Pada saat proses pemadatan CTB sebaiknya dilakukan dengan optimal dan sesuai prosedur karena proses pemadatan menentukan struktur pada CTB agar meminimalisir terjadinya rongga rongga pada sampel CTB.
4. Proses curing sebaiknya menggunakan metode perendaman agar perawatan terhadap proses panas hidrasi lebih merata dan menghindari penambahan air yang tidak disengaja pada CTB.
5. Untuk penelitian selanjutnya dapat dicoba menggunakan interval kadar air yang lebih kecil atau dapat dicoba menggunakan variasi bahan tambah lainnya untuk memperoleh peningkatan mutu beton.



## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 1996. SNI-03-0961-1996 Bata Beton Paving Block. Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 1989. Spesifikasi Bahan Bangunan (SK SNI S-04-1989-F). Badan Standarisasi Nasional.
- Bina Marga Divisi 5. 2010. Perkerasan Berbutir dan Beton Semen.
- Bina Marga Divisi 5. 2018. Lapis Fondasi Agregat Semen.
- Dipohusodo, I. (1996). Struktur Beton Bertulang. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- DPU, 378/KPTS/1987 Petunjuk Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Jalan Raya Dengan Metode Analisa Komponen
- Dwi Endah Aryaningrum. 2007. Kinerja Cement Treated Base (CTB) dengan Bahan Substitusi Agregat Kasar Limbah Hasil Pengolahan Baja PT.Krakatau Steel (Slag).
- Fuad Izzatur Rahman dan Adventus Kristian T. 2015 KAJIAN PEMANFAATAN LIMBAH BETON SEBAGAI MATERIAL CEMENT TREATED BASE (CTB)
- Harry Patmadjaja dan Suhartono Irawan. 2001. Penelitian Pendahuluan Penggunaan Benda Uji Kubus Beton Pada Perkerasan Lentur Type Cement Treated Base (CTB).
- Nurkolis. 2017. Analisis kekuatan Cement Treated Base (CTB) dengan bahan tambah zat aditif menggunakan variasi kandungan tanah dan pasir untuk lapis pondasi atas jalan.
- Mulyono, T., 2005, Teknologi Beton, Yogyakarta, Penerbit Andi. Pedoman Beton. 1989. Pembagian Jenis Semen Portland
- SNI-03-2847. 2002. STANDAR NASIONAL INDONESIA. Tata Cara Perhitungan.
- SNI 03-1968-1990 Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar.1990. Pusjatan Balitbang Pekerjaan Umum. Jakarta.
- SNI 03-1974-2011 Metode Pengujian Kuat Tekan Beton. 2011. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.

- SNI 03-1969-2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. 2008. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-1970-2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. 2008. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-1974-2011 Metode Pengujian Kuat Tekan Beton. 2011. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-2417-2008 Cara Uji Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles. 2008. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-2493-2011 Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji di Laboratorium. 2011. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- SNI 03-4142-1996 Metode Pengujian Jumlah Bahan dalam Agregat yang Lolos Saringan No. 200 (0,075 mm). Pustran Balitbang Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Struktur Beton. Untuk Bangunan Gedung. Pengertian Beton
- Sugiyono, S. (2010). Metode penelitian kuantitatif dan kualitatif dan R&D. Alfabeta Bandung.



## LAMPIRAN

### Lampiran 1 Gambar Alat yang Digunakan



**Gambar L-1.1 Timbangan**



**Gambar L-1.2 Piknometer**



**Gambar L-1.3 Ayakan Mesh**



**Gambar L-1.4 Cetakan Silinder**



**Gambar L-1.5 Alat Ukur**



**Gambar L-1.6 Oven**





**Gambar L-1.7 Ember**



**Gambar L-1.8 Mixer**



**Gambar L-1.9 Alat Pemasatan**



**Gambar L-1.10 Sekop**



**Gambar L-1.11 Sekop Kecil**



**Gambar L-1.12 Nampan**





**Gambar L-1.13 Compressive Testing Machine**



**Gambar L-1.14 Universal Testing Machine**



**Gambar L-1.15 Mesin *Los Angeles***



**Gambar L-1.16 Mesin *Stone Crusher***



**Gambar L-1.17 Alat Bantu Angkut Material**

**Lampiran 2 Gambar Bahan yang Digunakan**



**Gambar L-2.1 Agregat Kasar Clereng**





**Gambar L-2.2 Agregat Kasar Limbah Beton**



**Gambar L-2.3 Agregat Halus**



**Gambar L-2.4 Semen**

**Lampiran 3 Gambar Proses Pembuatan Benda Uji**



**Gambar L-3.1 Proses Pemecahan Limbah Beton**



**Gambar L-3.2 Proses Pencucian Agregat Kasar**



**Gambar L-3.3 Proses Persiapan Alat dan Bahan**





**Gambar L-3.4 Proses Pembuatan Campuran CTB**



**Gambar L-3.5 Proses Pemadatan Campuran CTB dalam Cetakan**



**Gambar L-3.6 Proses Pelepasan CTB dari Cetakan Silinder**



**Gambar L-3.7 Proses Perawatan CTB**



#### Lampiran 4 Proses Pengujian Benda Uji



**Gambar L-4.1 Proses Kaping Benda Uji**



**Gambar L-4.2 Proses Persiapan Pengujian Kuat Tekan**



**Gambar L-4.3 Proses Pengujian Kuat Tekan**







UNIVERSITAT  
جامعة البصرة  
الجامعة العراقية



**Gambar L-4.4 Hasil Proses Pengujian Kuat Tekan**

## Lampiran 5 Data Hasil Pemeriksaan Bahan

### Agregat Halus

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-Rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir mutlak, gram (Bk)	486	487	486,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram	500	500	500
Berat piknometer berisi pasir dan air, gram (Bt)	1038	1041	1039,5
Berat piknometer berisi air, gram (B)	736	738	737
Berat jenis curah ( $Bk/(B+500-Bt)$ )	2,455	2,472	2,463
Berat jenis kering muka ( $500/(B+500-Bt)$ )	2,525	2,538	2,532
Berat jenis semu ( $Bk/(B+Bk-Bt)$ )	2,641	2,647	2,644
Penyerapan air ( $((500-Bk)/(Bk \times 100\%))$ )	2,881	2,669	2,775

### Agregat Kasar Clereng

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-Rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	4916	4909	4912,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram (Bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3138	3165	3151,5
Berat jenis curah ( $Bk/(Bj-Ba)$ )	2,640	2,675	2,658
Berat jenis kering muka ( $Bj/(Bj-Ba)$ )	2,685	2,725	2,705
Berat jenis semu ( $Bk/(Bk-Ba)$ )	2,765	2,815	2,790
Penyerapan air ( $((Bj-Bk)/(Bk \times 100\%))$ )	1,709	1,854	1,781

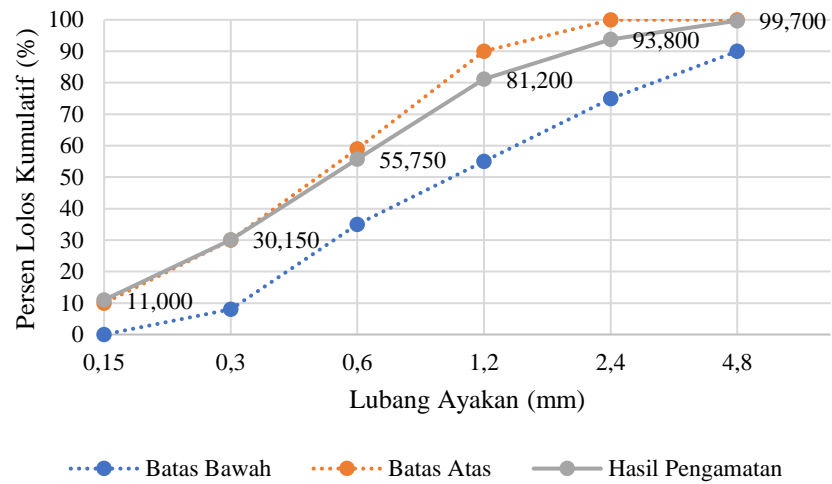
### Limbah Beton

Uraian	Hasil Pengamatan		Rata-Rata
	Sampel 1	Sampel 2	
Berat pasir kering mutlak, gram (Bk)	4927	4924	4925,5
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD), gram (Bj)	5000	5000	5000
Berat kerikil dalam air, gram (Ba)	3079	3084	3081,5
Berat jenis curah (Bk/(Bj-Ba))	2,565	2,570	2,567
Berat jenis kering muka (Bj/(Bj-Ba))	2,603	2,610	2,606
Berat jenis semu (Bk/(Bk-Ba))	2,666	2,676	2,671
Penyerapan air ((Bj-Bk)/(Bk x 100%))	1,482	1,543	1,513

Agregat Halus				
Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40	0	0,000	0,000	100,000
20	0	0,000	0,000	100,000
10	0	0,000	0,000	100,000
4,8	6	0,300	0,300	99,700
2,4	118	5,900	6,200	93,800
1,2	252	12,600	18,800	81,200
0,6	509	25,450	44,250	55,750
0,3	512	25,600	69,850	30,150
0,15	383	19,150	89,000	11,000
Pan	220	11,000		
<b>Jumlah</b>	2000	100,000	228,400	

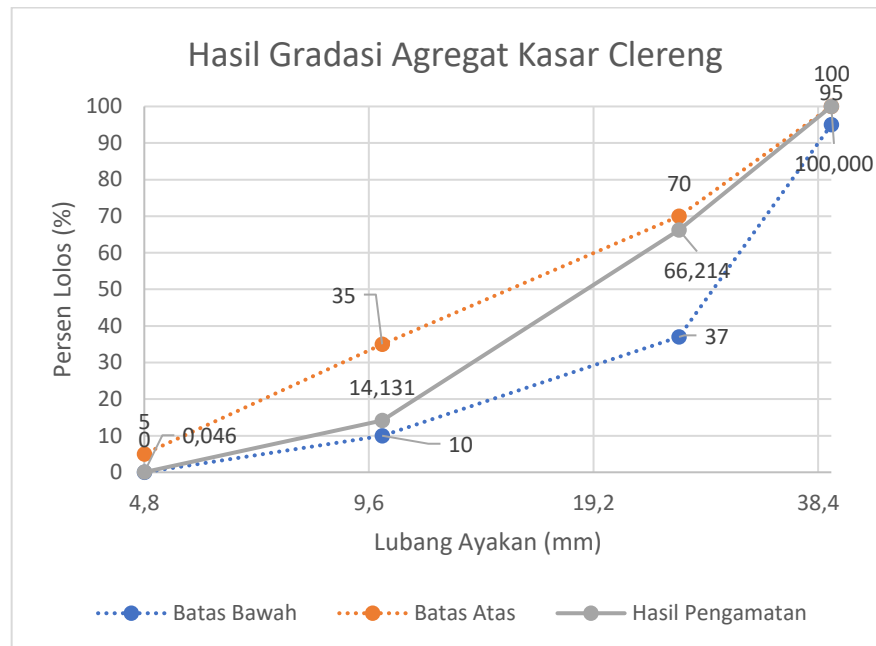


### Gradasi Agregat Halus Daerah II

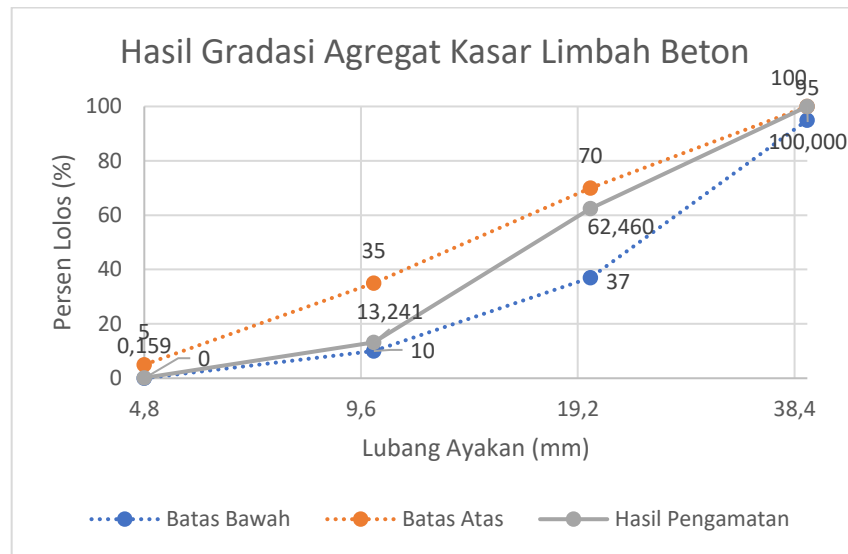


Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)
40.00	0	0	0	100,000
20.00	674	33,786	33,786	66,214
10.00	1039	52,083	85,869	14,131
4.80	281	14,086	99,954	0,046
2.40	0	0	99,954	0,046
1.20	0	0	99,954	0,046
0.60	0	0	99,954	0,046
0.30	0	0	99,954	0,046
0.15	0	0	99,954	0,046
Sisa	0,91	0,046		
Jumlah	1994,91	100	719,381	

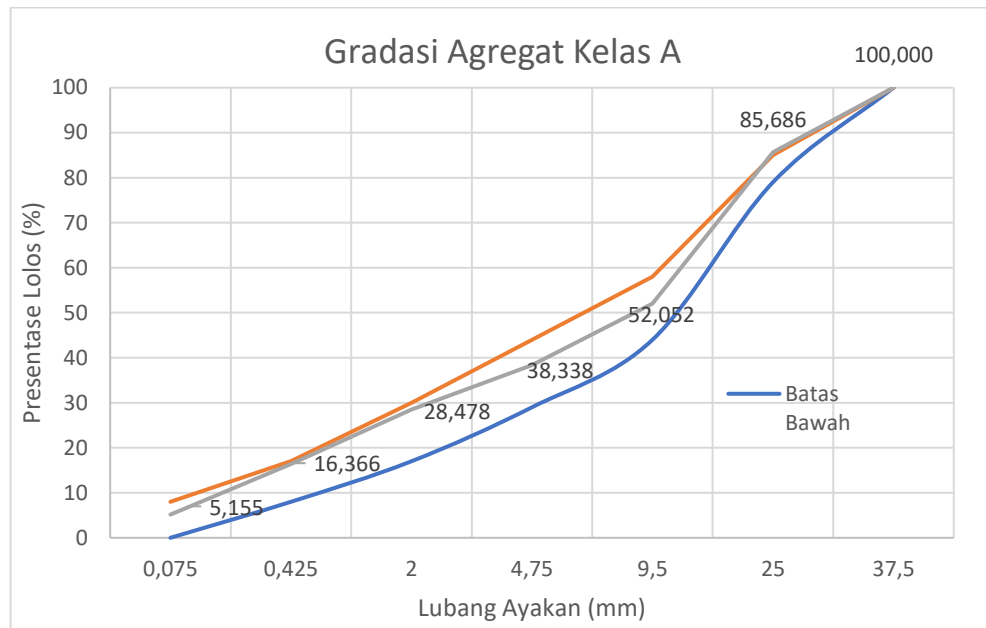




Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gr)	Berat tertinggal (%)	Berat tertinggal kumulatif (%)	Persen lolos kumulatif (%)
40.00	0	0	0	100
20.00	749	37,540	37,540	62,46
10.00	982	49,219	86,759	13,241
4.80	261	13,082	99,841	0,159
2.40	0	0	99,841	0,159
1.20	0	0	99,841	0,159
0.60	0	0	99,841	0,159
0.30	0	0	99,841	0,159
0.15	0	0	99,841	0,159
Sisa	3,18	0,159		
Jumlah	1995,18	100,000	723,343	



<b>Rancangan Agregat Kelas A</b>				
<b>Lubang Ayakan (mm)</b>	<b>Berat Tertinggal (gram)</b>	<b>Berat Tertinggal (%)</b>	<b>Berat Tertinggal Kumulatif (%)</b>	<b>Persen Lolos Kumulatif (%)</b>
37,5	0	0,000	0,000	100,000
25	286	14,314	14,314	85,686
9,5	672	33,634	47,948	52,052
4,75	274	13,714	61,662	38,338
2	197	9,860	71,522	28,478
0,425	242	12,112	83,634	16,366
0,075	224	11,211	94,845	5,155
Pan	103	5,155		
<b>Jumlah</b>	1998	100,000	373,924	



<b>Lolos Saringan No.200 Pasir</b>			
<b>Uraian</b>	<b>Hasil Pengamatan</b>		<b>Rata-Rata</b>
	<b>Sampel 1</b>	<b>Sampel 2</b>	
Berat agregat kering oven (W1), gram	500	500	500
Berat agregat kering oven setelah dicuci (W2), gram	479	485	482
Persentase yang lolos ayakan No.200	4,2	3	3,6

<b>Keausan Agregat Kasar Clereng</b>					
Ukuran Saringan				Jumlah Putaran = 500 Putaran	
Lolos Saringan		Tertahan Saringan		Sampel 1	Sampel 2
mm	inci	mm	inci	gram	gram
75	3	63	2 1/2		
63	2 1/2	50	2		
50	2	37,5	1 1/2		
37,5	1 1/2	25	1		
25	1	19	3/4		
19	3/4	12,5	1/2	2500	2500
12,5	1/2	9,5	3/8	2500	2500
9,5	3/8	6,3	1/4		
6,3	1/4	4,75	No. 4		
4,75	No. 4	2,36	No. 8		
Jumlah berat (A)				5000	5000
Berat tertahan saringan No. 12 sesudah percobaan (B)				4043	4062
Keausan $[(A-B)/A] \times 100$				19,14	18,76
Keausan Rata-Rata (%)				18,95	

<b>Keausan Agregat Limbah Beton</b>					
Ukuran Saringan				Jumlah Putaran = 500 Putaran	
Lolos Saringan		Tertahan Saringan		Sampel 1	Sampel 2
mm	inci	mm	inci	gram	gram
75	3	63	2 1/2		
63	2 1/2	50	2		
50	2	37,5	1 1/2		
37,5	1 1/2	25	1		
25	1	19	3/4		
19	3/4	12,5	1/2	2500	2500
12,5	1/2	9,5	3/8	2500	2500
9,5	3/8	6,3	1/4		
6,3	1/4	4,75	No. 4		
4,75	No. 4	2,36	No. 8		
Jumlah berat (A)				5000	5000
Berat tertahan saringan No. 12 sesudah percobaan (B)				3885	3937
Keausan $[(A-B)/A] \times 100$				22,3	21,26
Keausan Rata-Rata (%)				21,78	

### Hasil Rekapitulasi Kebutuhan Material Variasi Sampel Agregat Kasar

#### Clereng dengan Kadar Semen 3%

Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
CA1	3	5	0,3	0,5	5	5
CA2		5	0,3	0,5	5	5
CA3		5	0,3	0,5	5	5
Jumlah			0,9	1,5	15	15
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
CA4	3	7	0,3	0,7	5	5
CA5		7	0,3	0,7	5	5
CA6		7	0,3	0,7	5	5
Jumlah			0,9	2,1	15	15
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
CA7	3	9	0,3	0,9	5	5
CA8		9	0,3	0,9	5	5
CA9		9	0,3	0,9	5	5
Jumlah			0,9	2,7	15	15
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
CA10	3	11	0,3	1,1	5	5
CA11		11	0,3	1,1	5	5
CA12		11	0,3	1,1	5	5
Jumlah			0,9	3,3	15	15

### Hasil Rekapitulasi Kebutuhan Material Variasi Sampel Agregat Kasar

#### Clereng dengan Kadar Semen 4%

Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
CB1	4	5	0,4	0,5	5	5
CB2		5	0,4	0,5	5	5
CB3		5	0,4	0,5	5	5
Jumlah			1,2	1,5	15	15
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
CB4	4	7	0,4	0,7	5	5
CB5		7	0,4	0,7	5	5
CB6		7	0,4	0,7	5	5
Jumlah			1,2	2,1	15	15
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
CB7	4	9	0,4	0,9	5	5
CB8		9	0,4	0,9	5	5
CB9		9	0,4	0,9	5	5
Jumlah			1,2	2,7	15	15
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
CB10	4	11	0,4	1,1	5	5
CB11		11	0,4	1,1	5	5
CB12		11	0,4	1,1	5	5
Jumlah			1,2	3,3	15	15



### Hasil Rekapitulasi Kebutuhan Material Variasi Sampel Agregat Kasar

#### Clereng dengan Kadar Semen 5%

Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
CC1	5	5	0,5	0,5	5	5
CC2		5	0,5	0,5	5	5
CC3		5	0,5	0,5	5	5
Jumlah			1,5	1,5	15	15
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
CC4	5	7	0,5	0,7	5	5
CC5		7	0,5	0,7	5	5
CC6		7	0,5	0,7	5	5
Jumlah			1,5	2,1	15	15
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
CC7	5	9	0,5	0,9	5	5
CC8		9	0,5	0,9	5	5
CC9		9	0,5	0,9	5	5
Jumlah			1,5	2,7	15	15
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Kerikil (Kg)
CC10	5	11	0,5	1,1	5	5
CC11		11	0,5	1,1	5	5
CC12		11	0,5	1,1	5	5
Jumlah			1,5	3,3	15	15

**Hasil Rekapitulasi Kebutuhan Material Variasi Sampel Agregat Kasar  
Campuran Clereng dan Limbah Beton dengan Kadar Semen 5%**

Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Limbah Beton (Kg)	Berat Kerikil Clereng (Kg)
MX1	5	5	0,5	0,5	5	2,5	2,5
MX2		5	0,5	0,5	5	2,5	2,5
MX3		5	0,5	0,5	5	2,5	2,5
Jumlah			1,5	1,5	15	7,5	7,5
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Limbah Beton (Kg)	Berat Kerikil Clereng (Kg)
MX4	5	7	0,5	0,7	5	2,5	2,5
MX5		7	0,5	0,7	5	2,5	2,5
MX6		7	0,5	0,7	5	2,5	2,5
Jumlah			1,5	2,1	15	7,5	7,5
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Limbah Beton (Kg)	Berat Kerikil Clereng (Kg)
MX7	5	9	0,5	0,9	5	2,5	2,5
MX8		9	0,5	0,9	5	2,5	2,5
MX9		9	0,5	0,9	5	2,5	2,5
Jumlah			1,5	2,7	15	7,5	7,5
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Limbah Beton (Kg)	Berat Kerikil Clereng (Kg)
MX10	5	11	0,5	1,1	5	2,5	2,5
MX11		11	0,5	1,1	5	2,5	2,5
MX12		11	0,5	1,1	5	2,5	2,5
Jumlah			1,5	3,3	15	7,5	7,5

### Hasil Rekapitulasi Kebutuhan Material Variasi Sampel Agregat Kasar

#### Limbah Beton dengan Kadar Semen 5%

Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Limbah Beton (Kg)
LB1	5	5	0,5	0,5	5	5
LB2		5	0,5	0,5	5	5
LB3		5	0,5	0,5	5	5
Jumlah			1,5	1,5	15	15
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Limbah Beton (Kg)
LB4	5	7	0,5	0,7	5	5
LB5		7	0,5	0,7	5	5
LB6		7	0,5	0,7	5	5
Jumlah			1,5	2,1	15	15
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Limbah Beton (Kg)
LB7	5	9	0,5	0,9	5	5
LB8		9	0,5	0,9	5	5
LB9		9	0,5	0,9	5	5
Jumlah			1,5	2,7	15	15
Kode Sampel	Kadar Semen (%)	Kadar Air (%)	Berat Semen (Kg)	Berat Air (Kg)	Berat Pasir (Kg)	Berat Limbah Beton (Kg)
LB10	5	11	0,5	1,1	5	5
LB11		11	0,5	1,1	5	5
LB12		11	0,5	1,1	5	5
Jumlah			1,5	3,3	15	15

### Hasil Rekapitulasi Komposisi Benda Uji Sampel CTB

Kode Benda Uji	Keterangan	Kadar Air	Kadar Semen	Jumlah Benda Uji
CA	3% C, 5% W (Agregat Clereng)	5%	3	3
	3% C, 7% W (Agregat Clereng)	7%	3	3
	3% C, 9% W (Agregat Clereng)	9%	3	3
	3% C, 11% W (Agregat Clereng)	11%	3	3
CB	4% C, 5% W (Agregat Clereng)	5%	4	3
	4% C, 7% W (Agregat Clereng)	7%	4	3
	4% C, 9% W (Agregat Clereng)	9%	4	3
	4% C, 11% W (Agregat Clereng)	11%	4	3
CC	5% C, 5% W (Agregat Clereng)	5%	5	3
	5% C, 7% W (Agregat Clereng)	7%	5	3
	5% C, 9% W (Agregat Clereng)	9%	5	3
	5% C, 11% W (Agregat Clereng)	11%	5	3
MX	5% C, 5% W (Agregat Campuran Clereng dan Limbah Beton)	5%	5	3
	5% C, 7% W (Agregat Campuran Clereng dan Limbah Beton)	7%	5	3
	5% C, 9% W (Agregat Campuran Clereng dan Limbah Beton)	9%	5	3
	5% C, 11% W (Agregat Campuran Clereng dan Limbah Beton)	11%	5	3
LB	5% C, 5% W (Agregat Limbah Beton)	5%	5	3
	5% C, 7% W (Agregat Limbah Beton)	7%	5	3
	5% C, 9% W (Agregat Limbah Beton)	9%	5	3
	5% C, 11% W (Agregat Limbah Beton)	11%	5	3
Total Benda Uji				60

الجامعة الإسلامية  
الاستاذ الدكتور

### Lampiran 6 Data Hasil Pengujian Kuat Tekan CTB

#### Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel CTB Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 3% dan Kadar Air 5%.

Kode Sampel	Berat Segar (Kg)	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
CA1	11,196	10,699	3772,89	180,505	20,902	20,834	TIDAK MEMENUHI
CA2	10,453	9,925	3874,86	183,214	21,149		
CA3	10,38	9,88	3772,89	184,495	20,450		

#### Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel CTB Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 3% dan Kadar Air 7%.

Kode Sampel	Berat Segar (Kg)	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
CA4	10,913	10,453	5710,32	178,131	32,057	30,923	TIDAK MEMENUHI
CA5	11,46	10,992	5812,29	186,023	31,245		
CA6	10,648	10,179	5608,35	190,319	29,468		

#### Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel CTB Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 3% dan Kadar Air 9%.

Kode Sampel	Berat Segar (Kg)	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
CA7	10,888	10,301	4282,74	179,949	23,800	24,603	TIDAK MEMENUHI
CA8	10,864	10,314	4282,74	179,553	23,852		
CA9	10,723	10,24	4792,59	183,214	26,158		

**Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel CTB Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 3% dan Kadar Air 11%.**

Kode Sampel	Berat Segar (Kg)	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
CA10	11,505	11,052	2549,25	192,034	13,275	12,075	TIDAK MEMENUHI
CA11	10,626	10,172	2243,34	186,184	12,049		
CA12	10,65	10,133	2039,4	187,072	10,902		

**Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel CTB Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 4% dan Kadar Air 5%.**

Kode Sampel	Berat Segar (Kg)	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
CB1	10,638	10,182	4996,53	178,684	27,963	26,342	TIDAK MEMENUHI
CB2	11,237	10,792	4690,62	178,447	26,286		
CB3	10,52	10,095	4792,59	193,428	24,777		

**Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel CTB Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 4% dan Kadar Air 7%.**

Kode Sampel	Berat Segar (Kg)	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
CB4	11,422	10,939	7239,87	180,425	40,127	38,167	TIDAK MEMENUHI
CB5	10,74	10,276	6526,08	179,553	36,346		
CB6	9,289	8,727	6933,96	182,335	38,029		

**Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel CTB Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 4% dan Kadar Air 9%.**

Kode Sampel	Berat Segar (Kg)	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
CB7	11,465	10,916	5506,38	176,715	31,160	30,210	TIDAK MEMENUHI
CB8	10,99	10,429	5710,32	192,444	29,673		
CB9	10,498	9,998	5404,41	181,379	29,796		

**Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel CTB Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 4% dan Kadar Air 11%.**

Kode Sampel	Berat Segar (Kg)	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
CB10	11,091	10,636	4588,65	179,000	25,635	25,037	TIDAK MEMENUHI
CB11	11,217	10,734	4588,65	183,774	24,969		
CB12	10,886	10,376	4384,71	178,921	24,506		

**Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel CTB Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 5%.**

Kode Sampel	Berat Segar (Kg)	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
CC1	9,844	9,499	8973,36	180,663	49,669	46,878	MEMENUHI
CC2	11,159	10,729	8055,63	179,791	44,806		
CC3	11,515	11,166	8361,54	181,140	46,161		



**Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel CTB Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 7%.**

Kode Sampel	Berat Segar (Kg)	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
CC4	11,207	10,849	9381,24	179,633	52,225	52,708	MEMENUHI
CC5	10,934	10,684	8973,36	178,289	50,330		
CC6	11,125	10,786	9789,12	176,165	55,568		

**Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel CTB Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 9%.**

Kode Sampel	Berat Segar (Kg)	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
CC7	10,818	10,526	8871,39	177,816	49,891	47,721	MEMENUHI
CC8	10,872	10,501	8259,57	180,346	45,798		
CC9	11,265	10,891	8565,48	180,425	47,474		

**Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel CTB Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 11%.**

Kode Sampel	Berat Segar (Kg)	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
CC10	11,28	10,754	8463,51	180,425	46,909	45,333	MEMENUHI
CC11	11,08	10,688	7749,72	178,763	43,352		
CC12	11,472	11,071	8259,57	180,584	45,738		

**Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel CTB Agregat Kasar Campuran Clereng dan Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 5%.**

Kode Sampel	Berat Segar (Kg)	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
MX1	10,875	10,633	6526,08	172,421	37,850	35,993	TIDAK MEMENUHI
MX2	11,162	10,925	6322,14	179,712	35,179		
MX3	10,574	10,471	6220,17	177,973	34,950		

**Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel CTB Agregat Kasar Campuran Clereng dan Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 7%.**

Kode Sampel	Berat Segar (Kg)	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
MX4	10,653	10,233	7953,66	183,934	43,242	41,314	TIDAK MEMENUHI
MX5	11,213	11,049	6730,02	176,322	38,169		
MX6	11,379	11,132	7545,78	177,422	42,530		

**Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel CTB Agregat Kasar Campuran Clereng dan Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 9%.**

Kode Sampel	Berat Segar (Kg)	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
MX7	11,456	11,072	6933,96	178,289	38,892	39,253	TIDAK MEMENUHI
MX8	11,259	10,993	7341,84	176,008	41,713		
MX9	11,343	11,194	6730,02	181,140	37,154		

**Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel CTB Agregat Kasar Campuran Clereng dan Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 11%.**

Kode Sampel	Berat Segar (Kg)	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
MX10	11,381	11,132	5914,26	181,458	32,593	32,148	TIDAK MEMENUHI
MX11	11,113	10,852	5506,38	176,244	31,243		
MX12	11,23	11,089	5914,26	181,379	32,607		

**Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel CTB Agregat Kasar Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 5%.**

Kode Sampel	Berat Segar (Kg)	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
LB1	10,733	10,565	5475	180,902	30,265	30,238	TIDAK MEMENUHI
LB2	10,772	10,592	5450	178,763	30,487		
LB3	10,692	10,447	5375	179,395	29,962		

**Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel CTB Agregat Kasar Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 7%.**

Kode Sampel	Berat Segar (Kg)	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
LB4	10,685	10,373	6350	178,842	35,506	35,497	TIDAK MEMENUHI
LB5	10,843	10,771	6375	177,973	35,820		
LB6	10,913	10,746	6275	178,447	35,165		

**Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel CTB Agregat Kasar Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 9%.**

Kode Sampel	Berat Segar (Kg)	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
LB7	10,797	10,586	5750	180,187	31,911	31,479	TIDAK MEMENUHI
LB8	10,893	10,721	5775	181,061	31,895		
LB9	11,147	10832	5500	179,553	30,632		

**Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel CTB Agregat Kasar Limbah Beton dengan Kadar Semen 5% dan Kadar Air 11%.**

Kode Sampel	Berat Segar (Kg)	Berat Sebelum Diuji (Kg)	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan
LB10	11,231	10,992	5025	179,870	27,937	28,208	TIDAK MEMENUHI
LB11	11,076	10,823	5150	178,842	28,796		
LB12	11,306	11,152	5050	181,061	27,891		

**Hasil Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan CTB**

Kode Sampel	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
CA1	20,90190451	20,8337048	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CA2	21,14942061			
CA3	20,44978929			
CA4	32,05683348	30,9233438	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CA5	31,24497302			
CA6	29,4682249			
CA7	23,79969185	24,60345833	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CA8	23,85218922			
CA9	26,15849391			
CA10	13,27498962	12,07522751	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CA11	12,04902218			
CA12	10,90167074			
CB1	27,96301272	26,34197322	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CB2	26,28583413			
CB3	24,77707281			
CB4	40,12670394	38,16720012	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CB5	36,3461931			
CB6	38,02870333			

### Lanjutan Hasil Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan CTB

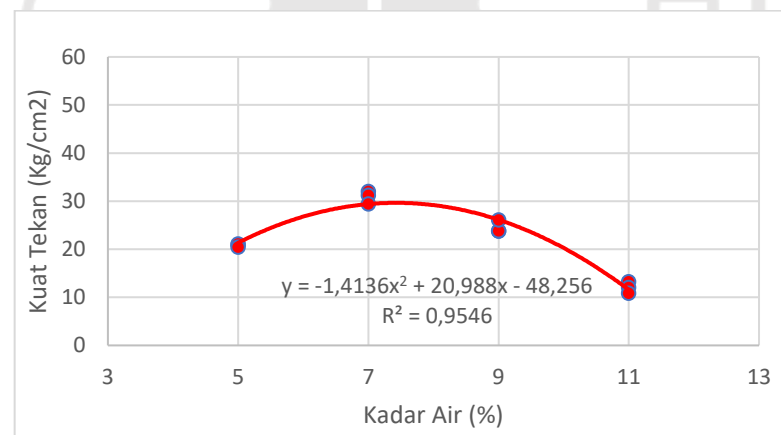
Kode Sampel	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
CB7	31,15973673	30,20956124	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CB8	29,67268853			
CB9	29,79625844			
CB10	25,63497627	25,03681938	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CB11	24,96901704			
CB12	24,50646482			
CC1	49,66894395	46,87836413	MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CC2	44,80554592			
CC3	46,16060253			
CC4	52,22462331	52,7076361	MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CC5	50,33045423			
CC6	55,56783076			
CC7	49,89088301	47,72107486	MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CC8	45,79849466			
CC9	47,47384692			
CC10	46,90868207	45,33294331	MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CC11	43,35204017			
CC12	45,73810768			
MX1	37,84961713	35,9929831	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
MX2	35,17934538			
MX3	34,94998679			
MX4	43,24192951	41,31363811	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
MX5	38,16889532			
MX6	42,53008949			
MX7	38,89171463	39,25279037	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
MX8	41,71300079			
MX9	37,15365569			
MX10	32,59292638	32,14771615	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
MX11	31,24299584			
MX12	32,60722622			
LB1	30,26505385	30,23808003	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
LB2	30,48737489			
LB3	29,96181134			
LB4	35,5062956	35,496936	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
LB5	35,81994797			
LB6	35,16456442			

### Lanjutan Hasil Rekapitulasi Pengujian Kuat Tekan CTB

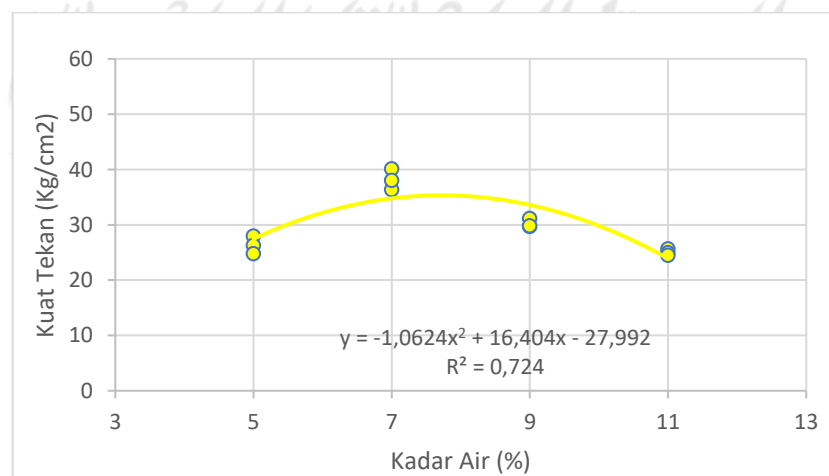
Kode Sampel	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
LB7	31,91125081	31,47940134	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
LB8	31,89538539			
LB9	30,63156781			
LB10	27,93682121	28,20815616	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
LB11	28,79644446			
LB12	27,89120281			

### Lampiran 7 Data Hasil Perhitungan Kadar Air Optimum

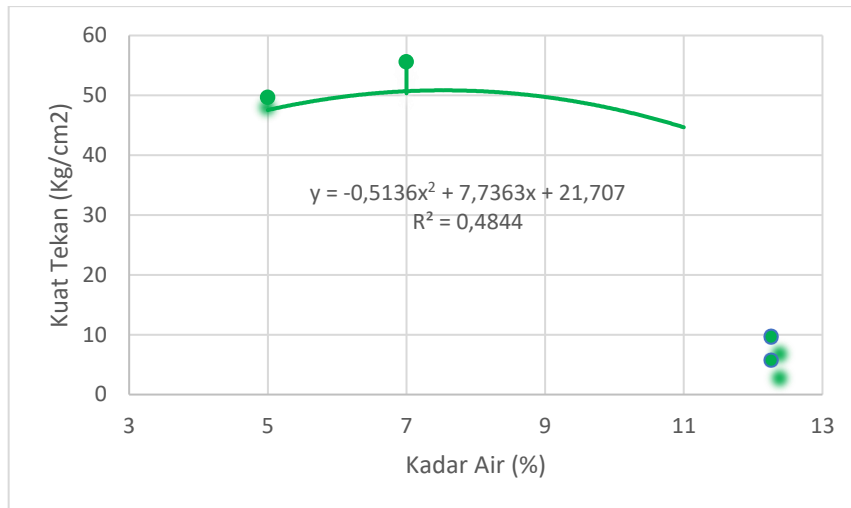
#### Grafik Kadar Air Optimum Sampel CTB Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 3%



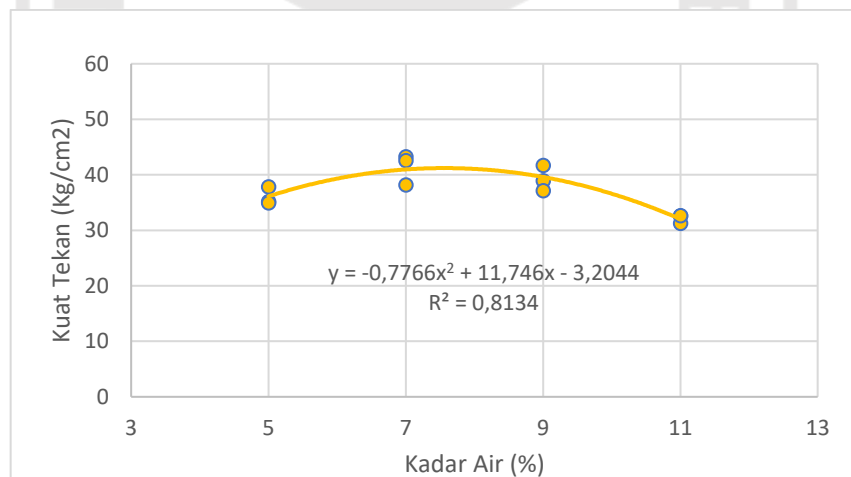
#### Grafik Kadar Air Optimum Sampel CTB Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 4%



**Grafik Kadar Air Optimum Sampel CTB Agregat Kasar Clereng dengan Kadar Semen 5%**

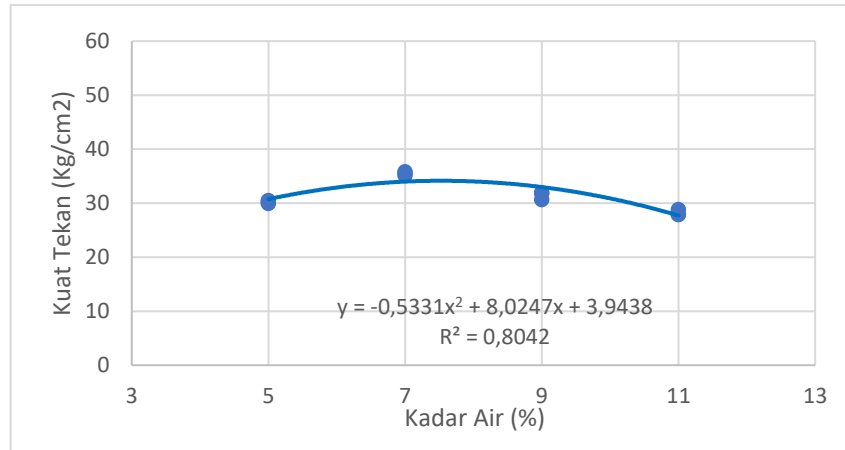


**Grafik Kadar Air Optimum Sampel CTB Agregat Kasar Campuran Clereng dan Limbah Beton dengan Kadar Semen 5%**

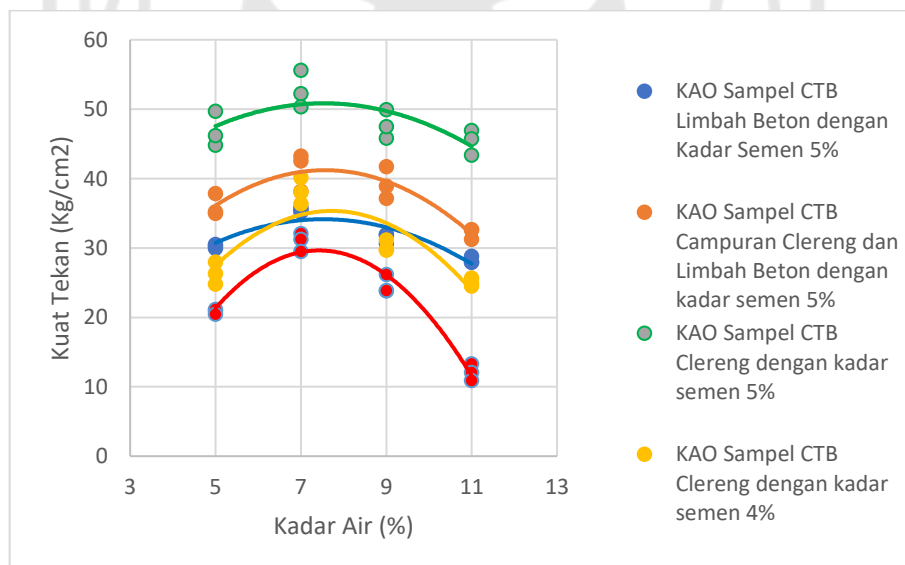




**Grafik Kadar Air Optimum Sampel CTB Agregat Kasar Limbah Beton dengan Kadar Semen 5%**



**Grafik Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kadar Air Optimum Sampel CTB**



**Tabel Hasil Rekapitulasi Perhitungan Kuat Tekan**

Kode Sampel	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Standar Deviasi	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
CA1	3772,89	180,505	20,902	20,834	0,355	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CA2	3874,86	183,214	21,149				
CA3	3772,89	184,495	20,450				
CA4	5710,32	178,131	32,057	30,923	1,324	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CA5	5812,29	186,023	31,245				
CA6	5608,35	190,319	29,468				
CA7	4282,74	179,949	23,800	24,603	1,347	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CA8	4282,74	179,553	23,852				
CA9	4792,59	183,214	26,158				
CA10	2549,25	192,034	13,275	12,075	1,187	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CA11	2243,34	186,184	12,049				
CA12	2039,4	187,072	10,902				
CB1	4996,53	178,684	27,963	26,342	1,594	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CB2	4690,62	178,447	26,286				
CB3	4792,59	193,428	24,777				
CB4	7239,87	180,425	40,127	38,167	1,894	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CB5	6526,08	179,553	36,346				
CB6	6933,96	182,335	38,029				
CB7	5506,38	176,715	31,160	30,210	0,825	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CB8	5710,32	192,444	29,673				
CB9	5404,41	181,379	29,796				
CB10	4588,65	179,000	25,635	25,037	0,567	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CB11	4588,65	183,774	24,969				
CB12	4384,71	178,921	24,506				
CC1	8973,36	180,663	49,669	46,878	2,510	MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CC2	8055,63	179,791	44,806				
CC3	8361,54	181,140	46,161				
CC4	9381,24	179,633	52,225	52,708	2,652	MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CC5	8973,36	178,289	50,330				
CC6	9789,12	176,165	55,568				
CC7	8871,39	177,816	49,891	47,721	2,057	MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CC8	8259,57	180,346	45,798				
CC9	8565,48	180,425	47,474				
CC10	8463,51	180,425	46,909	45,333	1,813	MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
CC11	7749,72	178,763	43,352				
CC12	8259,57	180,584	45,738				

### Lanjutan Tabel Hasil Rekapitulasi Perhitungan Kuat Tekan

Kode Sampel	Beban (Kg)	Luas Penampang (cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan (Kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rerata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Standar Deviasi	Keterangan	Persyaratan Nilai Kuat Tekan
LB1	5475	180,902	30,265	30,238	0,264	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
LB2	5450	178,763	30,487				
LB3	5375	179,395	29,962				
LB4	6350	178,842	35,506	35,497	0,328	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
LB5	6375	177,973	35,820				
LB6	6275	178,447	35,165				
LB7	5750	180,187	31,911	31,479	0,734	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
LB8	5775	181,061	31,895				
LB9	5500	179,553	30,632				
LB10	5025	179,870	27,937	28,208	0,510	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
LB11	5150	178,842	28,796				
LB12	5050	181,061	27,891				
MX1	6526,08	172,421	37,850	35,993	1,612	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
MX2	6322,14	179,712	35,179				
MX3	6220,17	177,973	34,950				
MX4	7953,66	183,934	43,242	41,314	2,747	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
MX5	6730,02	176,322	38,169				
MX6	7545,78	177,422	42,530				
MX7	6933,96	178,289	38,892	39,253	2,301	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
MX8	7341,84	176,008	41,713				
MX9	6730,02	181,140	37,154				
MX10	5914,26	181,458	32,593	32,148	0,784	TIDAK MEMENUHI	45-55 Kg/cm <sup>2</sup>
MX11	5506,38	176,244	31,243				
MX12	5914,26	181,379	32,607				

**Tabel Hasil Rekapitulasi Perhitungan Kadar Air Optimum**

<b>Jenis Agregat</b>	<b>Kadar Semen (%)</b>	<b>Kadar Air Optimum (%)</b>	<b>Kuat Tekan (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Clereng	3	7,424	30,646
	4	7,72	36,239
	5	7,531	50,838
Campuran Clereng dan Limbah Beton	5	7,562	41,2097
Limbah Beton	5	7,526	34,1418