

**KAJIAN KUAT TEKAN BETON MUTU TINGGI DI LINGKUNGAN
BERGARAM DENGAN KALSIUM KARBONAT SEBAGAI SUBSTITUSI
SEBAGIAN *PORTLAND CEMENT***

PROYEK AKHIR

Diajukan Kepada Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta

Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan

Guna Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik



Oleh :

Arief Krisna Aji

NIM. 11510134014

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

2014

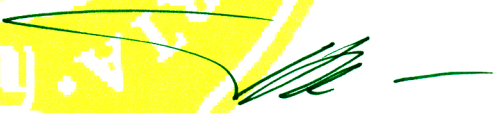
HALAMAN PERSETUJUAN

Proyek akhir yang berjudul “**Kajian Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi Di Lingkungan Bergaram Dengan Kalsium Karbonat Sebagai Substitusi Sebagian Semen**” yang disusun oleh

Nama : Arief Krisna Aji
NIM : 11510134014
Prodi : Teknik Sipil D3
Fakultas : Teknik
Universitas : Universitas Negeri Yogyakarta

Telah selesai disusun dan telah siap untuk diujikan.

Yogyakarta, April 2015
Dosen Pembimbing



Ir. Joko Sumiyanto M.T.
NIP : 19680207 199512 1 001

LEMBAR PENGESAHAN
PROYEK AKHIR
KAJIAN KUAT TEKAN BETON MUTU TINGGI DI LINGKUNGAN
BERGARAM DENGAN KALSIMUM KARBONAT SEBAGAI SUBSTITUSI
SEBAGIAN *PORTLAND CEMENT*

Dipersiapkan dan disusun oleh

Arief Krisna Aji


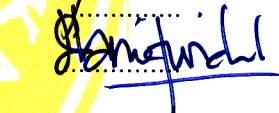
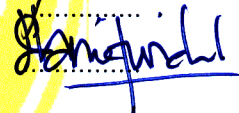
11510134014

Telah Dipertahankan Di depan Penguji Proyek Akhir Jurusan Pendidikan Teknik
Sipil Dan Perencanaan Universitas Negeri Yogyakarta

Pada 28 April 2015

Dan Dinyatakan Telah Memenuhi Syarat Guna Memperoleh Gelar Ahli Madya

SUSUNAN DEWAN PENGUJI

Jabatan	Nama Lengkap	Tanda Tangan
1. Ketua Penguji	Ir. Joko Sumiyanto, M.T.	
2. Penguji Utama 1	Drs. Agus Santosa M.Pd	
3. Penguji Utama 2	Dr. Slamet Widodo	

Yogyakarta, 28 April 2015

Dekan Fakultas Teknik

Universitas Negeri Yogyakarta



Dr. Moch Bruri Triyono, M.Pd

NIP. 19560216 198603 1 003

MOTTO

"Sebaik-Baik Manusia, Adalah Mereka yang Berguna Bagi Orang Lain"

"Sesungguhnya Dibalik Kesulitan, Selalu Ada Kemudahan"

"Kejujuran, Komitmen, Dan Tanggung Jawab"

"Trust Is Earned, Not Given"

HALAMAN PERSEMBAHAN

PROYEK AKHIR ini Aku Persembahkan untuk :

1. Allah SWT, yang senantiasa memberikan petunjuk-Nya dan kemudahan dalam menyelesaikan Proyek Akhir ini.
2. Ibunda tercinta, terima kasih atas segala dukungan baik moril maupun materil serta doa yang selalu mengiringi anakmu ini.
3. Keluarga Besar dan semua saudara-saudara saya, terima kasih atas support, semangat, dan dorongan yang kalian berikan.
4. Ratih Purwandari, yang selalu menemani dan memberi semangat, semoga ini menjadi motivasi untuk meraih segala keinginan dan cita-citamu.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa Proyek Akhir ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya ataupun pendapat yang ditulis dan diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti penulisan karya ilmiah yang lazim.



Yogyakarta, 25 April 2015

Yang menyatakan

Arief Krisna Aji

**KAJIAN KUAT TEKAN BETON MUTU TINGGI DI LINGKUNGAN
BERGARAM DENGAN KALSIUM KARBONAT SEBAGAI SUBSTITUSI
SEBAGIAN *PORTLAND CEMENT***

Oleh : Arief Krisna Aji

NIM : 11510134014

ABSTRAK

Salah satu jenis komponen struktur yang sering digunakan pada bangunan adalah beton. Beton merupakan campuran dari agregat kasar dan agregat halus yang menggunakan pengikat berupa semen dan dipersatukan oleh air dengan perbandingan tertentu. Karena keberadaan semen sebagai bahan vital dalam pembuatan beton, maka diperlukan bahan substitusi pengganti semen yang dari segi harga lebih ekonomis dan dapat digunakan sebagai substitusi sebagian semen. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh KKB sebagai substitusi sebagian semen untuk bahan campuran pembuatan beton terhadap kuat tekan, pengaruh lingkungan bergaram dan pengaruh pencucian agregat halus dan pengaruh gradasi butiran terhadap kekuatan beton.

Benda uji yang digunakan adalah silinder beton dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, Sedangkan bahan yang digunakan terdapat dua variasi agregat halus pasir merapi (alami dan satu kali pencucian) dan 2 variasi agregat kasar (gradasi 1, dan gradasi 2) dari masing-masing variasi akan dibuat benda uji beton dengan substitusi sebagian semen dengan kalsium karbonat buatan (KKB) sebesar 0% dan 5%, sebanyak 16 benda uji yang selanjutnya diuji *Hammer Test* 50 titik pada masing-masing benda uji di usia 7, 28, 60, dan 90 hari perendaman.

Dari penelitian ini dihasilkan: 1) Kuat tekan tertinggi pada usia 90 hari berturut-turut diperoleh dari benda uji dengan notasi H2K1 0% (normal), H1K1 0% (normal), dan H2K1 5% (normal). Dengan nilai kuat tekan 26,44 Mpa, 25,9 Mpa, 23,72 Mpa. 2) Kuat tekan terendah pada usia 90 hari berturut-turut diperoleh dari benda uji dengan notasi H2K2 0% (normal), H2K1 0% (garam), H1K1 0% (garam). Dengan nilai kuat tekan 19,56 Mpa, 19,56 Mpa, 19,58 Mpa. Nilai kuat tekan paling optimum pada usia 90 hari didapatkan dengan variasi campuran H2K1 0%, yakni agregat halus satu kali pencucian dan kerikil gradasi 1.

Kata Kunci : Beton, Kalsium Karbonat, Air Bergaram, *Hammer Test*

HIGH QUALITY CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH STUDY IN SALT ENVIRONMENT WITH CALCIUM CARBONATE AS PARTIAL SUBSTITUTION FOR THE *PORTLAND CEMENT*

By: Arief Krisna Aji

NIM: 11510134014

ABSTRACT

One type of structural components often used in the building is concrete. Concrete is the mixture of coarse aggregates and fine aggregates which used cement as binder and united by the water with a certain ratio. Because of the presence of cement as a vital ingredient in the manufacture of concrete, it is necessary to replace cement with substitute materials which in terms of price is more economical and can be used as a partial substitution of cement. This study aimed to assess the effect of Calcium carbonate as a partial substitution of cement for the manufacture of concrete to the compressive strength of concrete, salt environment influences and washing of fine aggregate and coarse aggregate gradation to the compressive strength of the concrete.

Test object used is concrete cylinder with a diameter of 150 mm and a height of 300 mm, while the materials used there are two variation of the fine aggregate (natural and washed once) and two variations of coarse aggregate (gradation 1, and gradation 2) of each variation will be made of concrete specimen with partial substitution of cement with calcium carbonate (KKB) of 0% and 5%, a total of 16 specimens were tested for *Hammer Test* on each specimens at the age of 7, 28, 60, and 90 days of immersion.

From this research produced: 1) The highest compressive strength in a row at the age of 90 days was obtained from specimens with notation : H2K1 0% (normal), H1K1 0% (normal), and H2K1 5% (normal). With the compressive strength 26.44 MPa, 25.9 MPa, 23.72 MPa. 2) The lowest compressive strength in a row at the age of 90 was obtained from specimens with notation: H2K2 0% (normal), H2K1 0% (salt), H1K1 0% (salt). With the compressive strength 19.56 MPa, 19.56 MPa, 19.58 MPa. Value optimum compressive strength at the age of 90 days was obtained by variation of the mixture H2K1 0%, ie, washed once fine aggregate and coarse aggregate gradation 1.

Keywords: Concrete, Calcium Carbonate, Salt Water, *Hammer Test*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini yang berjudul **“Kajian Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi di Lingkungan Bergaram Dengan Kalsium Karbonat Sebagai Substitusi Sebagian *Portland Cement*”** dengan lancar dan semoga menjadi salah satu wujud keridhoan-Nya dan dapat bermanfaat bagi pembaca.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan Proyek ini sehingga membutuhkan saran dan kritik yang membangun untuk kemajuan penulis di masa yang akan datang. Proyek Akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh gelar Ahli Madya Teknik dari Universitas Negeri Yogyakarta.

Sehubungan dengan terselesaikannya Proyek Akhir ini, tidak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir. Joko Sumiyanto, M.T. selaku dosen pembimbing Proyek Akhir, terima kasih atas bimbingan dan waktu konsultasi serta sarana dan prasarana yang bapak berikan kepada penulis selama penyusunan Proyek Akhir.
2. Ibu tercinta yang selalu memberikan semangat serta doa yang tak henti-hentinya mengalir dalam setiap langkahku.
3. Drs. Agus Santoso. M.Pd. selaku Ketua Jurusan Pendidikan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta dan selaku Dosen Penguji 1.
4. Dr. Slamet Widodo selaku Dosen Penguji 2.
5. Sudarman, S.Pd. selaku teknisi Laboratorium Bahan Bangunan atas fasilitas dan arahan yang bapak berikan selama pelaksanaan Proyek Akhir..
6. Seluruh teman-teman kelas C 2011, khususnya Atmo, Sidiq, Ervian, Tegar, Tomi, Putri, Wulan, dan Dhila atas semua bantuan yang diberikan kepada penulis.
7. Rekan-rekan Tim CERTC, Mas Wahyu, Mbak Yuni, Mas Anjar, Mbak Nadia, Mbak Husna, Mas Bombom, Mas Lukman dan Najib yang senantiasa memberikan semangat kepada penulis.

Penulis berusaha menyelesaikan Proyek Akhir ini semaksimal mungkin, mengingat keterbatasan kemampuan dan pengetahuan yang penulis miliki, sehingga saran dan kritik yang bersifat membangun selalu penulis harapkan.

Akhir kata penyusun berharap agar Proyek Akhir ini dapat bermanfaat. Semoga Allah SWT meridhoi semua amal perbuatan kita. Amin

Yogyakarta, 25 April 2015

Penyusun

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
MOTTO.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
PERNYATAAN.....	vi
ABSTRAK.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	2
C. Batasan Masalah.....	3
D. Rumusan Masalah.....	3
E. Tujuan Penelitian.....	4
F. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II. LANDASAN TEORI DAN KAJIAN PUSTAKA.....	5
A. Beton.....	5
B. <i>Hammer Test</i>	15
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN.....	17
A. Metode.....	17
B. Lokasi Dan Waktu Penelitian.....	17
C. Sampel Pengujian.....	17
D. Alat Dan Bahan.....	18
E. Prosedur Penelitian.....	29

F. Pengujian Bahan.....	30
G. Pembuatan Benda Uji.....	38
BAB IV. HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN.....	44
A. Hasil Pengujian.....	44
B. Pembahasan.....	58
BAB V. PENUTUP.....	66
A. Kesimpulan.....	66
B. Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA.....	68
LAMPIRAN.....	70

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Ayakan Kerikil.....	18
Gambar 2. Ayakan Pasir.....	19
Gambar 3. Timbangan Ketelitian 0,01 gram.....	19
Gambar 4. Timbangan Ketelitian 1 gram.....	20
Gambar 5. Timbangan Kodok.....	21
Gambar 6. Bejana.....	21
Gambar 7. Mesin <i>Los Angeles</i>	22
Gambar 8. Gelas Ukur.....	22
Gambar 9. Oven.....	23
Gambar 10. Botol Susu.....	23
Gambar 11. Cetakan Silinder.....	24
Gambar 12. Molen.....	25
Gambar 13. Kerucut Abraham dan Alat Pemadat.....	25
Gambar 14. Agregat Halus.....	27
Gambar 15. Kerikil Gradasi 1.....	27
Gambar 16. Kerikil Gradasi 2.....	27
Gambar 17. Semen Portland.....	28
Gambar 18. Kalsium Karbonat Buatan.....	28
Gambar 19. Pengujian <i>Hammer Test</i>	43
Gambar 20. Grafik kadar lumpur terhadap jenis agregat halus.....	46
Gambar 21. Grafik gradasi agregat halus.....	48
Gambar 22. Grafik gradasi agregat kasar K1.....	52
Gambar 23. Grafik gradasi agregat kasar K2.....	53
Gambar 24. Grafik gradasi agregat kasar K1 dan K2.....	54
Gambar 25. Grafik Uji <i>Hammer Test</i> KKB 0% di air normal.....	60
Gambar 26. Grafik Uji <i>Hammer Test</i> KKB 0% di air bergaram (25%).....	61
Gambar 27. Grafik Uji <i>Hammer Test</i> KKB 5% di air normal.....	61
Gambar 28. Grafik Uji <i>Hammer Test</i> KKB 5% di air bergaram (25%).....	62

Gambar 29. Grafik Uji <i>Hammer Test</i> KKB 0% dan 5%	
di air normal.....	63
Gambar 30. Grafik Uji <i>Hammer Test</i> KKB 0% dan 5%	
di air bergaram.....	64
Gambar 31. Grafik Uji <i>Hammer Test</i> KKB 0% & 5%	
di air normal dan bergaram (25%)	65

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Jenis Beton Menurut Kuat Tekan.....	13
Tabel 2. Sampel Pengujian.....	18
Tabel 3. Hasil pengujian kadar air agregat halus alami (H1).....	44
Tabel 4. Hasil pengujian kadar air agregat halus alami (H1) SSD.....	45
Tabel 5. Hasil pengujian kadar air agregat halus cucian 1 (H2) SSD.....	45
Tabel 6. Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus alami (H1).....	45
Tabel 7. Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus alami (H1) SSD.....	46
Tabel 8. Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus cucian 1 (H2) SSD....	46
Tabel 9. Hasil pengujian kadar lumpur masing-masing agregat halus.....	46
Tabel 10. Hasil pengujian berat jenis agregat halus (H1) SSD.....	47
Tabel 11. Hasil pengujian berat jenis agregat halus cucian 1 (H2) SSD.....	47
Tabel 12. Modulus kehalusan butir agregat halus.....	48
Tabel 13. Hasil pengujian bobot isi gembur agregat halus.....	49
Tabel 14. Hasil pengujian bobot isi padat agregat halus.....	49
Tabel 15. Hasil pengujian kadar air alami agregat kasar 1 (K1).....	49
Tabel 16. Hasil pengujian kadar air SSD agregat kasar 1 (K1).....	50
Tabel 17. Hasil pengujian kadar air SSD agregat kasar 2 (K2).....	50
Tabel 18. Hasil pengujian kadar lumpur SSD agregat kasar (K1).....	50
Tabel 19. Hasil pengujian kadar lumpur SSD agregat kasar (K2).....	50
Tabel 20. Hasil pengujian berat jenis agregat kasar SSD (K1).....	51
Tabel 21. Hasil pengujian berat jenis agregat kasar SSD (K2).....	51
Tabel 22. Gradasi agregat kasar (K1).....	52
Tabel 23. Batas rerata gradasi agregat kasar K1.....	52
Tabel 24. Gradasi agregat kasar (K2).....	53
Tabel 25. Batas rerata gradasi agregat kasar K2.....	53
Tabel 26. Modulus Kehalusan Butir Agregat Kasar K1 & K2.....	54
Tabel 27. Hasil pengujian bobot isi agregat kasar K1.....	55
Tabel 28. Hasil pengujian bobot isi agregat kasar K2.....	55

Tabel 29. Keausan agregat kasar.....	55
Tabel 30. Gradasi Kalsium Karbonat Buatan.....	55
Tabel 31. Rerata 50 titik Uji <i>Hammer Test</i> KKB 0% direndam di air normal.....	57
Tabel 32. Rerata 50 titik Uji <i>Hammer Test</i> KKB 0% direndam di air bergaram (25%).....	57
Tabel 33. Rerata 50 titik Uji <i>Hammer Test</i> KKB 5% direndam di air normal.....	57
Tabel 34. Rerata 50 titik Uji <i>Hammer Test</i> KKB 5% direndam di air bergaram (25%).....	57
Tabel 35. Rerata 50 titik Uji <i>Hammer Test</i> KKB 0% direndam di air normal.....	59
Tabel 36. Rerata 50 titik Uji <i>Hammer Test</i> KKB 0% direndam di air bergaram (25%).....	59
Tabel 37. Rerata 50 titik Uji <i>Hammer Test</i> KKB 5% direndam di air normal.....	59
Tabel 38. Rerata 50 titik Uji <i>Hammer Test</i> KKB 5% direndam di air bergaram (25%).....	60

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus 1.....	70
Lampiran 2. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus 2.....	71
Lampiran 3. Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus 1 Alami.....	72
Lampiran 4. Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus 1 SSD.....	73
Lampiran 5. Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus 2.....	74
Lampiran 6. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus 1 Alami.....	75
Lampiran 7. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus 1 SSD.....	76
Lampiran 8. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus 2.....	77
Lampiran 9. Hasil Pengujian MKB Agregat Halus.....	78
Lampiran 10. Grafik Gradasi Agregat Halus.....	79
Lampiran 11. Hasil Pengujian Bobot Isi Gembur Agregat Halus.....	80
Lampiran 12. Hasil Pengujian Bobot Isi Padat Agregat Halus.....	81
Lampiran 13. Hasil Pengujian Berat Jenis SSD Agregat Kasar 1.....	82
Lampiran 14. Hasil Pengujian Kadar Air Alami Agregat Kasar 1.....	83
Lampiran 15. Hasil Pengujian Kadar Air SSD Agregat Kasar 1.....	84
Lampiran 16. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar 1.....	85
Lampiran 17. Hasil Pengujian Bobot Isi Agregat Kasar 1.....	86
Lampiran 18. Hasil Pengujian MKB Agregat Kasar 1.....	87
Lampiran 19. Batas Gradasi Agregat Kasar 1.....	88
Lampiran 20. Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar.....	89
Lampiran 21. Hasil Pengujian Berat Jenis SSD Agregat Kasar 2.....	90
Lampiran 22. Hasil Pengujian Kadar Air SSD Agregat Kasar 2.....	91
Lampiran 23. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar 2.....	92
Lampiran 24. Hasil Pengujian Bobot Isi Agregat Kasar 2.....	93
Lampiran 25. Hasil Pengujian MKB Agregat Kasar 2.....	94
Lampiran 26 Batas Gradasi Agregat Kasar 2.....	95
Lampiran 27. Gradasi Kalsium Karbonat Buatan.....	96
Lampiran 28. Formulir Perancangan Adukan Beton.....	97
Lampiran 29. <i>Hammer Test</i>	99

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Salah satu jenis komponen struktur yang sering digunakan pada bangunan adalah beton. Beton merupakan campuran dari agregat kasar dan agregat halus yang menggunakan pengikat berupa semen dan dipersatukan oleh air dengan perbandingan tertentu.

Dalam perkembangannya, kekuatan beton sangat dipengaruhi oleh desain campuran bahan penyusun, terutama semen. Semen adalah bahan pengikat hidrolis berupa bubuk halus yang dihasilkan dengan cara menghaluskan *klinker*, dengan batu gips sebagai bahan tambahan.

Bahan baku pembuatan semen adalah bahan-bahan yang mengandung kapur, silika, alumina, oksida besi, dan oksida-oksida lain. (Wuryati, 2001:1)

Semen merupakan bahan vital dalam pembuatan beton dan sifatnya yang tidak terbarukan menjadikan harga semen semakin mahal dari waktu ke waktu, oleh karena hal itu, maka diperlukan bahan substitusi pengganti semen yang dari segi harga lebih ekonomis dan dari sifat material dapat digunakan sebagai substitusi semen tanpa mengurangi mutu beton tersebut.

Bahan substitusi yang dapat digunakan sebagai pengganti sebagian semen adalah kalsium karbonat buatan yang selanjutnya akan disingkat KKB. KKB merupakan bahan dengan harga lebih murah dari semen karena bisa dihasilkan dari limbah padat berupa cangkang telur, kerang, dan sebagainya. KKB digunakan

sebagai substitusi sebagian semen karena Kalsium Karbonat merupakan bahan penyusun utama dalam pembuatan semen portland yaitu hingga 60-65% dari bahan penyusun lainnya seperti silika, alumina, magnesia dan oksida besi (Tjokrodimuljo, K., 2007).

Selain semen, hal yang dapat mempengaruhi kekuatan beton dari waktu ke waktu adalah karena kondisi lingkungan, perilaku beton bisa dipengaruhi oleh lingkungan, misalnya beton dalam ruang bangunan, beton di luar bangunan yang tidak terlindung dari cuaca, kondisi beton yang masuk ke dalam tanah, dan di lingkungan terendam air, baik itu air tawar maupun air laut.

Dalam penelitian ini akan dikaji pengaruh KKB sebagai substitusi sebagian semen untuk bahan campuran pembuatan beton terhadap kuat tekan, pengaruh lingkungan bergaram dan pengaruh pencucian agregat halus dan pengaruh gradasi butiran terhadap kekuatan beton.

Pembuatan benda uji beton dalam penelitian ini menggunakan cetakan silinder dengan ukuran tinggi 300 mm dan diameter lebar 150 mm. Sedangkan bahan yang digunakan terdapat dua variasi agregat halus pasir merapi (alami dan satu kali pencucian) dan 2 variasi agregat kasar (gradasi 1, dan gradasi 2) dari masing-masing variasi akan dibuat benda uji beton dengan substitusi sebagian semen dengan kalsium karbonat buatan (KKB) sebesar 0% dan 5% Kemudian direndam dengan air bergaram selama 90 hari dan selanjutnya diuji *hammer test* pada umur 7, 28, 60, dan 90 hari perendaman.

B. Identifikasi Masalah

Dari latar belakang yang sudah diuraikan, maka dapat diidentifikasi beberapa permasalahan, antara lain sebagai berikut:

1. Belum diketahui pengaruh lingkungan bergaram terhadap kuat tekan beton yang dihasilkan dari variasi pencucian dan gradasi tersebut
2. Belum diketahui kuat tekan beton tersebut dalam keadaan terendam air garam pada umur beton tertentu.
3. Belum diketahui nilai kuat tekan yang paling optimum untuk beton dengan KKB di lingkungan air bergaram

C. Batasan Masalah

Pada penelitian ini, terbatas pada beberapa hal, antara lain :

1. Menggunakan Agregat kasar split dari purworejo.
2. Variasi agregat kasar adalah gradasi 1 dan gradasi 2.
3. Variasi agregat halus adalah pasir merapi alami dan satu kali pencucian.
4. Presentase kalsium karbonat buatan 0% dan 5%
5. Pengujian *hammer test*.
6. Alat *Hammer test* tidak terkalibrasi.
7. F.a.s tidak dikendalikan

D. Rumusan Masalah

Dari latar belakang, identifikasi masalah, dan batasan masalah, dapat dirumuskan beberapa permasalahan sebagai berikut :

1. Berapa nilai kuat tekan tinggi beton dari variasi beton diatas
2. Berapa nilai kuat tekan terendah beton dari variasi beton diatas
3. Bagaimana pengaruh perendaman dengan air garam terhadap nilai kuat tekan beton.
4. Bagaimana pengaruh KKB 5% dalam campuran beton terhadap nilai kuat tekan beton.

E. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh variasi yang digunakan terhadap kekuatan beton yang terendam air garam.
2. Mengetahui variasi yang mempunyai kuat tekan paling optimum dalam pengujian *hammer test* usia beton 90 hari.
3. Mengetahui apakah KKB 5% sebagai substitusi semen dapat digunakan dalam pembuatan beton.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah :

1. Memanfaatkan limbah padat sebagai bahan pembuatan beton.
2. Memperoleh pengetahuan tentang nilai kuat tekan beton dalam keadaan terendam air garam dengan variasi diatas.

3. Memperoleh pengetahuan tentang hubungan kadar KKB, kadar lumpur, modulus kehalusan butir terhadap nilai kuat tekan beton yang terendam air garam.

BAB II

LANDASAN TEORI DAN KAJIAN PUSTAKA

A. Beton

Dalam bidang bangunan yang dimaksud dengan beton adalah campuran dari agregat halus dan agregat kasar dengan semen yang dipersatukan oleh air dalam perbandingan tertentu. Beton juga didefinisikan sebagai bahan bangunan dan konstruksi yang sifat-sifatnya dapat ditentukan terlebih dahulu dengan mengadakan perencanaan dan pengawasan yang teliti terhadap bahan-bahan yang dipilih (Wuryati, 2001:1)

Untuk menjamin agar beton yang dihasilkan memenuhi persyaratan yang diminta, dianjurkan agar pertama-tama menguji terlebih dahulu agregat yang digunakan. Faktor-faktor yang mempengaruhi mutu beton diantaranya adalah: Mutu bahan batuan, mutu/jenis semen, faktor air semen, gradasi/susunan butir bahan batuan, pelaksanaan pembuatan beton, *curing* (pematangan) beton, yaitu perawatan beton untuk mencapai usia kuat tekan yang diinginkan.

Beton keras yang baik adalah beton yang kuat, tahan lama, awet, kedap air, tahan aus, dan kembang susutnya kecil.

1. Bahan Penyusun Beton

A. Agregat

Agregat adalah butiran mineral yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar (aduk) dan beton. Agregat aduk dan beton dapat juga

didefinisikan sebagai bahan yang dipakai sebagai pengisi, dipakai bersama dengan bahan perekat dan membentuk suatu massa yang keras, padat bersatu, yang disebut adukan beton.

Agregat yang digunakan untuk pembuatan beton antara lain :

1) Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang semua butirannya menembus ayakan dengan lubang 4,8 mm

Penggunaan agregat halus untuk campuran pembuatan beton haruslah memenuhi persyaratan yang telah ditentukan agar diperoleh beton yang baik. menurut SK SNI S-04-1989-F Mengenai spesifikasi bahan bangunan agregat halus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- a) Butir-butirnya tajam, dan keras dengan indeks kekerasan $\leq 2,2$
- b) Kekal, tidak mudah pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca (terik matahari dan hujan). Jika diuji dengan larutan garam natrium sulfat bagian yang hancur maksimal 12 persen, jika dengan garam magnesium sulfat maksimum 18 persen.
- c) Tidak mengandung lumpur (butiran halus yang lewat ayakan 0,06 mm) lebih 5%.
- d) Tidak mengandung zat organik yang terlalu banyak, yang dibuktikan dengan larutan 3% NaOH, yaitu warna cairan diatas endapan diatas agregat halus tidak boleh lebih gelap daripada warna standar pembanding.

- e) Modulus halus butir memenuhi antara 1,50 - 3,80 dan sesuai dengan variasi butir sesuai standar gradasi.
- f) Khusus untuk beton untuk tingkat keawetan tinggi, agregat halus harus tidak reaktif terhadap alkali.
- g) Agregat halus dari laut/pantai, boleh dipakai asal dengan petunjuk lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.

2) Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat dengan butiran-butiran tertinggal di atas ayakan dengan lubang 4,8mm, tetapi lolos ayakan 40mm

Berikut adalah merupakan syarat-syarat dari agregat kasar yang baik untuk dipergunakan dalam campuran beton berdasarkan SK SNI S-04-1989-F

- a) Butiran-butirannya keras dan tidak berpori.
- b) Tidak boleh mengandung zat-zat yang reaktif terhadap alkali.
- c) kekal atau tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca (terik matahari dan hujan). Jika diuji dengan larutan garam natrium sulfat bagian yang hancur maksimal 12 %, jika dengan garam magnesium sulfat maksimum 18 %.
- d) Tidak mengandung lumpur (butiran halus yang lewat ayakan 0,06 mm) lebih dari 1%.
- e) Butiran agregat yang pipih dan lonjong tidak boleh lebih dari 20 %.
- f) Modulus halus butir antara 6-7, 10 dan dengan variasi butir yang sesuai standar gradasi

- g) Ukuran butir maksimum tidak boleh melebihi dari : $\frac{1}{5}$ jarak terkecil antara bidang-bidang cetakan, $\frac{1}{3}$ tebal pelat beton, $\frac{3}{4}$ jarak bersih antar tulangan.

B. Semen Portland

Semen portland adalah semen hidrolis yang dihasilkan dengan cara menghaluskan *klinker* yang terutama dari silikat-silikat kalsium yang bersifat hidrolis dan gips sebagai bahan pembantu [Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan Bangunan Bukan Logam), SK-SNI-S-04-1989-F].

Fungsi semen ialah bereaksi dengan air menjadi pasta semen. Pasta semen berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat agar terjadi suatu massa yang padat/kompak. Selain itu pasta semen juga untuk mengisi rongga-rongga diantara butir agregat.

Menurut tipenya semen Portland berdasarkan SK SNI S-04-1989-F mengenai spesifikasi bahan bangunan bagian A (bahan bangunan bukan logam), dapat dibedakan menjadi lima macam sesuai dengan tujuan pamaaiannya, yaitu :

- a) Tipe I : Semen Portland untuk penggunaan umum yang tidak memerlukan persyaratan khusus. Seperti pada jenis jenis lain.
- b) Tipe II : Semen Portland yang penggunaannya memerlukan ketahanan sulfat dan panas hidrasi sedang.
- c) Tipe III : Semen Portland yang penggunaannya menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
- d) Tipe IV : Semen Portland untuk konstruksi dengan syarat panas hidrasi rendah

- e) Tipe V : Semen Portland untuk konstruksi dengan syarat sangat tahan terhadap sulfat.

Penelitian ini menggunakan semen Holcim serbaguna SNI 15-7064-2004, atau semen Tipe I.

C. Air

Air merupakan bahan yang diperlukan pada pembuatan beton untuk memicu terjadinya proses kimiawi semen, membasahi agregat, dan memberikan kemudahan dalam pengerjaan beton (*Workability*). Untuk dapat bereaksi dengan semen Portland, air yang diperlukan adalah sekitar 25-30 persen saja dari berat semen Portland (Tjokrodinuljo, K., 2007). Penggunaan air berlebihan dapat mengakibatkan beton menjadi porous sehingga kekuatannya menjadi rendah.

Air sebagai bahan bangunan sebaiknya memenuhi syarat-syarat SK SNI S-04-1989, Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A berikut :

- a) Air harus bersih.
- b) Tidak mengandung lumpur, minyak, benda melayang lainnya yang dapat dilihat secara visual. Benda-benda tersuspensi ini tidak boleh lebih dari 2 gram per liter.
- c) Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam-asam, zat organik dsb) lebih dari 15 gram/liter.
- d) Tidak mengandung khlorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter. Khusus untuk beton prategang kandungan khlorida tidak boleh lebih dari 0,05 gram per liter.
- e) Tidak mengandung senyawa sulfat (SO_3) lebih dari 1 gram/liter.

Air untuk campuran adukan beton haruslah memenuhi syarat diatas agar beton yang diperoleh memiliki kekuatan yang baik dan kemungkinan adanya kotoran dapat dikurangi.

D. Kalsium Karbonat

Semen diperoleh dengan cara membakar secara bersamaan campuran *calcareous* (mengandung kalsium karbonat) dan *argillaceous* (mengandung alumina) dengan perbandingan tertentu (Tjokrodinuljo K, 2004).

Ada dua jenis kalsium karbonat, yaitu kalsium karbonat asli dan buatan. Kalsium karbonat alami adalah kalsium yang diambil langsung dari alam melalui penambangan, dapat berupa kapur batu gamping atau marmer. Sedangkan kalsium karbonat buatan adalah kalsium yang diperoleh dari proses pengolahan limbah seperti kulit telur, cangkang organisme laut, dan batu karang.

Fungsi kalsium karbonat pada beton selain untuk mengurangi pemakaian semen Portland adalah untuk mengurangi kerusakan pada beton yang disebabkan oleh pengaruh asam. Kalsium karbonat (CaCO_3) buatan apabila ditambahkan pada semen sebesar 5% maka akan mempengaruhi proses hidrasi semen (Metschei., T, et. Al, 2007).

2. Sifat Beton Segar

Pada umumnya beton terdiri dari kurang lebih 15% semen, 8% air, 3% udara, dan selebihnya pasir dan kerikil.

Campuran tersebut setelah mengeras mempunyai sifat yang berbeda-beda tergantung pada cara pembuatannya. Perbandingan campuran, cara mencampur, cara mengangkut, cara mencetak, cara memadankan, cara merawat sangat

mempengaruhi sifat-sifat beton. Pada beton sendiri memiliki beberapa macam sifat beton segar. Berikut adalah beberapa sifat pada beton segar :

a) Kemampuan Dikerjakan (*Workability*)

Workability atau dengan kata lain kelecakan beton adalah ukuran kemudahan beton segar untuk diaduk, diangkut, dituang, dan dipadatkan. Berikut adalah beberapa faktor yang mempengaruhi kelecakan beton segar :

- 1) Banyaknya air yang dipakai dalam campuran beton.
- 2) Penambahan semen kedalam adukan.
- 3) Gradasi campuran agregat kasar dan agregat halus.
- 4) Bentuk butiran agregat.
- 5) Besar butir maksimum agregat.

b) Pemisahan Kerikil (*Segregasi*)

Segregasi adalah kecenderungan pemisahan butir-butir agregat kasar terhadap campuran beton segar. Segregasi ini terjadi karena kohesi tidak cukup untuk menahan partikel dalam suspensi atau campuran. Campuran beton yang tersegregasi akan sulit untuk dituang karena menjadi tidak seragam sehingga kualitas beton menjadi jelek.

c). Pemisahan Air (*Bleeding*)

Pemisahan air atau *bleeding* adalah naiknya air pada campuran beton ke permukaan beton segar. Pemisahan air ini tidak diinginkan karena pada saat air menuju permukaan, air membawa semen dan butiran-butiran halus pasir yang menyebabkan pada saat beton mengeras terdapat selaput tipis pada permukaan yang disebut *laitance*. Selaput ini akan

menjadi penghalang rekatan antara beton dibawahnya dan lapisan beton diatasnya.

3. Kekuatan Beton

Kekuatan beton atau kuat tekan beton menurut SNI-03-1974-1990 adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji hancur bila dibebani dengan tekanan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan, dinyatakan dalam *Mega Pascal* atau MPa.

Tabel 1. Jenis Beton Menurut Kuat Tekan

Jenis Beton	Kuat Tekan (MPa)
Beton sederhana (<i>plain concrete</i>)	Sampai 10 MPa
Beton normal	15-30 MPa
Beton prategang	30-40 MPa
Beton kuat tekan tinggi	40-80 MPa
Beton kuat tekan sangat tinggi	>80 MPa

Kekuatan beton ini sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain

A. Faktor Air Semen (f.a.s)

Faktor air semen adalah perbandingan antara berat air dan semen portland dalam campuran adukan beton (Tjokrodinuljo, 2007). Faktor air semen ini sangat berpengaruh karena semakin tinggi faktor air semen semakin rendah kekuatan beton dan sebaliknya apabila faktor air semen rendah maka kekuatan beton akan lebih tinggi.

B. Umur Beton

Kuat tekan beton akan bertambah tinggi sejalan dengan bertambahnya umur sejak beton dicetak. Laju kuat tekan akan naik dengan cepat kemudian semakin lama kenaikan kekuatan tersebut akan melambat. Laju kenaikan beton tersebut dianggap tidak mengalami kenaikan lagi setelah 28 hari.

C. Jenis Semen

Semen portland sendiri menurut Standar Industri Indonesia (SII) memiliki 5 jenis dan sifat misalnya semen dengan kekuatan awal tinggi, semen dengan sifat tahan terhadap sulfat. Dengan adanya jenis dan sifat yang dimiliki masing-masing semen maka keberadaan semen pada campuran beton sangatlah berpengaruh terhadap kekuatan beton.

D. Jumlah Pasta Semen

Pasta semen dalam beton berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat. Pasta semen akan berfungsi maksimal jika seluruh pori antar butir agregat terisi penuh oleh pasta semen, serta seluruh permukaan agregat terselimuti oleh semen. Jika pasta semen tidak terlalu banyak maka rekatan agregat akan kurang kuat karena permukaan agregat tidak diselimuti oleh pasta semen dan sebaliknya bila pasta semen terlalu banyak maka beton hanya akan didominasi oleh pasta semen sehingga kuat tekannya akan menurun.

E. Sifat Agregat

Jumlah agregat dalam adukan sangat besar, yaitu lebih dari 70%, sehingga kuat tekan beton sangat dipengaruhi oleh sifat agregat (Wuryati

S dan Chandra R, 2001). Berikut adalah beberapa sifat agregat yang mempengaruhi kekuatan beton

- 1) Kekasaran permukaan.
- 2) Bentuk agregat
- 3) Keausan agregat

B. Hammer Test (ASTM C 805-02)

Metode ini dapat digunakan untuk menilai keseragaman beton di lapangan, menggambarkan bagian dari struktur yang mempunyai kualitas jelek atau beton yang mengalami kerusakan, serta memperkirakan perkembangan kekuatan beton di lapangan. Metode uji ini dapat juga digunakan untuk memperkirakan kekuatan beton, untuk itu dibutuhkan korelasi antara kekuatan beton dan angka pantul. Hubungan ini harus ditetapkan dari campuran beton dan alat yang telah ditetapkan. Hubungan beton dan angka pantul dibuat dari kekuatan beton yang biasa digunakan.

Untuk campuran beton yang diketahui, angka pantul dipengaruhi oleh beberapa factor antara lain kelembapan pada permukaan bidang uji, metode yang digunakan untuk memperoleh permukaan bidang uji (tipe bahan cetakan dan tipe penyelesaian akhir/finishing), dan kedalaman karbonasi. Faktor-faktor ini harus diperhatikan untuk mempersiapkan hubungan kekuatan dan menginterpretasikan hasil pengujian.

Palu pantul yang berbeda dengan desain nominal beton rencana yang sama dapat memberikan angka pantul yang berbeda antara 1 satuan sampai dengan 3 satuan. Oleh karena itu pengujian harus dilakukan dengan palu pantul yang sama apabila hendak membandingkan hasil. Jika digunakan lebih dari satu palu pantul,

lakukan pengujian pada sejumlah permukaan beton tipikal sehingga dapat digunakan untuk menentukan besarnya perbedaan angka pantul.

1. Daerah pengujian dan hambatan

Elemen beton yang akan diuji harus memiliki tebal minimum 100 mm dan menyatu dengan struktur. Benda uji yang lebih kecil harus diletakkan pada tumpuan kaku. Hindari pengujian pada daerah yang menunjukkan adanya keropos, permukaan beralur (scaling), permukaan kasar atau daerah dengan porositas yang tinggi. Diameter bidang uji minimum 150 mm. Permukaan dengan tekstur yang kasar, lunak atau terkelupas mortarnya harus diratakan. Permukaan bekas cetakan yang sudah rata dan permukaan yang sudah halus tidak perlu digosok sebelum pengujian

Permukaan kering memberikan angka pantul yang lebih tinggi dari pada permukaan basah. Karbonasi pada permukaan juga dapat meningkatkan angka pantul. Apabila terdapat lapisan karbonasi yang tebal pada permukaan beton, lapisan tersebut harus dibuang dengan menggunakan gerinda untuk memperoleh angka pantul yang mewakili bagian dalam beton yang sebenarnya.

Kelembaban beton pada 0 °C (32 F) atau kurang dapat meningkatkan angka pantul. Temperatur pada palu pemantulnya dapat mempengaruhi angka pantul.

Palu pemantul pada 18°C (0°F) dapat mengurangi angka pantul sebanyak 2 atau 3.

Untuk pembacaan yang akan dibandingkan, arah tumbukan baik horizontal, ke bawah, ke atas atau arah lainnya harus sama atau hasil pembacaan dikoreksi dengan faktor koreksi yang sudah ada.

1. Cara uji

- a) Pegang alat dengan kokoh sehingga posisi hulu palu tegak lurus dengan permukaan beton yang diuji.
- b) Tekan alat secara perlahan ke arah permukaan uji sampai palu pantul menumbuk hulu palu. Setelah tumbukan tahan tekanan pada alat dan apabila perlu tekan tombol pada sisi alat untuk mengunci hulu palu pada posisinya.
- c) Baca dan catat angka pantul pada skala untuk angka yang terdekat. Lakukan 10 titik bacaan pada setiap daerah pengujian dengan jarak masing-masing titik bacaan tidak boleh lebih kecil dari 25 mm.
- d) Periksa permukaan beton setelah tumbukan, batalkan pembacaan jika tumbukan memecahkan atau menghancurkan permukaan beton karena terdapat rongga udara, dan ambil titik bacaan yang lain.

2. Perhitungan

Hasil pembacaan yang berbeda lebih dari 6 satuan dari rata-rata 10 titik bacaan diabaikan dan tentukan nilai rata-rata dihitung dari pembacaan data yang memenuhi syarat. Bila lebih dari 2 titik bacaan memiliki perbedaan lebih dari 6 satuan dari nilai rata-rata, maka seluruh rangkaian pembacaan harus dibatalkan dan tentukan angka pantul pada 10 titik bacaan baru pada daerah pengujian.

C. Air Bergaram

Dalam proses hidrasi semen yang bercampur dengan air garam akan terpengaruh ikatan kimianya dengan membentuk fase baru dalam mikrostruktur pasta dan mortar sehingga mempengaruhi sifat mekanis pasta dan mortar terutama pada durabilitasnya. Serangan klorida merupakan penyebab utama dari kerusakan struktur pasta dan mortar yang berpotensi dalam pembentukan mekanisme karat. Ion klorida menyerang film oksida, terbentuk oleh kadar alkali yang tinggi dan dapat melindungi baja. Kadar ion klorida minimal untuk memulai korosi adalah sekitar 0,6 kg/ (Nugraha : 2007). Kandungan larutan benda padat yang tinggi dan air alamiah umumnya dikarenakan tingginya kadar sodium klorida atau sodium sulfat. Konsentrasi 20.000 ppm sodium klorida biasanya dapat ditoleransi untuk beton yang akan terus kering dan potensi reaksi korosinya kecil. Konsentrasi NaCl atau garam dapur sebesar 20000 ppm pada umumnya masih diijinkan.

Air campuran beton yang mengandung 1250 ppm natrium sulfat, dapat digunakan dengan hasil yang memuaskan (Mulyono, 2005).

Dalam proses semen selain menghasilkan senyawa *Calcium Silicate Hydrate* (CSH), yang bersifat sebagai perekat juga menghasilkan kalsium hidroksida yang kelarutannya tinggi dan bersifat basa. Kalsium hidroksida akan bereaksi dengan natrium klorida menghasilkan kalsium klorida dan natrium hidroksida. Senyawa ini sifatnya mudah bereaksi dengan apapun yang ada dalam kandungan air. Disisi lain kalsium hidroksida ini berfungsi untuk melindungi galvanis baja dari korosi atau dengan kata lain agar sifat pasif baja tetap terjaga.

Pada lingkungan bergaram, penetrasi klorida kedalam beton yang berasal dari air bergaram membentuk garam friedel. Garam friedel ini menempati volume yang

besar setelah kristalisasi pada pori-pori daripada senyawa yang ia gantikan. Terbentuknya garam friedel yang merupakan hasil dari pengikatan klorida. Dalam kondisi yang berlebihan, garam friedel ini cukup menguntungkan bagi kuat tekan karena hal ini dapat mengisi pori-pori pada pasta dan mortar sehingga dapat menyebabkan kuat tekannya bertambah tinggi.

D. Penelitian Sebelumnya

1. Galang Taufan P. (2013) Mengkaji kuat tekan beton dengan KKB sebagai substitusi sebagian semen di air laut, lokasi perendaman benda uji di laut Pantai Drini, Kabupaten Gunungkidul, dengan kadar garam 3,7% dengan variasi KKB yang digunakan sebesar 0%, 5%, dan 7,5% mendapatkan hasil pengujian (1) Kuat tekan rerata beton dengan KKB 0% umur 30; 60; 90 hari secara berturut-turut adalah 17,08; 20,22; dan 23,69 MPa (2) Kuat tekan rerata beton dengan KKB 5% umur 30; 60; 90 hari secara berturut-turut adalah 16,25; 18,54; dan 20,4 MPa (3) Kuat tekan rerata beton dengan KKB 7,5% umur 30; 60; 90 hari secara berturut-turut 14,02; 16,29 dan 17,47 MPa.
2. Septianto, D.(2012) melakukan penelitian beton di pantai Sodong, Cilacap, Jawa Tengah yang memiliki kadar garam 5,6% dengan kalsium karbonat sebagai *replacement* sebagian semen dengan kadar 5%. Hasil dari pengujian didapatkan untuk umur 28 hari setelah perendaman dihasilkan kuat tekan dengan mesin uji tekan 14,42 MPa dan *Hammer Test* untuk perendaman 28, 60, dan 90 hari didapatkan hasil masing-masing 21,27; 21,65; dan 20,32 MPa.
3. Penelitian yang dilakukan Fadhilla D.N (2014) mengkaji kuat tekan beton mutu tinggi dengan KKB 5% memperoleh hasil uji tekan rerata masing masing variasi

benda uji sebesar: 1)H1K1 5% rerata 28,341 MPa. 2)H1K2 5% rerata 38,305 MPa. 3)H2K1 5% rerata 37,288 MPa 4) H2K2 5% rerata 40,767 MPa.

Pada penelitian yang dilakukan Galang Taufan P.(2013) dan Septianto, D.(2012) tersebut memiliki keterbatasan salah satunya tidak adanya variasi agregat halus dan kasar yang digunakan, pengembangan dalam penelitian ini terdapat dalam variasi agregat halus dan agregat kasar serta jumlah kadar garam sebesar 25%, kadar garam penelitian sebelumnya 3,4 dan 5,6%, sedangkan dalam penelitian Fadhilla D.(2014) pengujian menggunakan mesin tekan pada usia 7,14 dan 28 hari, pada penelitian ini benda uji direndam di air normal dan air bergaram yang selanjutnya diuji menggunakan metode *hammer test* pada usia 7,28,60,dan 90 hari perendaman.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen.

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Bahan Bangunan jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Negeri Yogyakarta, pada bulan Oktober 2013–Januari 2014

C. Sampel Pengujian

Pembuatan benda uji beton dalam penelitian ini menggunakan cetakan silinder dengan ukuran tinggi 300 mm dan diameter lebar 150 mm. Sedangkan bahan yang digunakan terdapat 2 variasi agregat halus pasir merapi (alami dan cucian 1) dan 2 variasi agregat kasar (gradasi 2 -1 dan gradasi 2-2) dari masing-masing variasi akan dibuat benda uji beton dengan substitusi sebagian semen dengan KKB sebesar 0% dan 5%, kemudian direndam dengan air bergaram, selanjutnya diuji hammer test pada umur 7, 30, 60, dan 90 hari.

Tabel 2. Sampel Pengujian

Agregat Halus	Agregat Kasar	Kadar KKB (%)	Notasi	Total
Pasir Merapi (Alami)	Gradasi 2-1	0 %	H1K1 0 %	2
		5 %	H1K1 5%	2
	Gradasi 2-2	0 %	H1K2 0%	2
		5 %	H1K2 5%	2
Pasir Merapi (Cuci 1)	Gradasi 2-1	0 %	H2K1 0%	2
		5 %	H2K1 5%	2
	Gradasi 2-2	0 %	H2K2 0%	2
		5 %	H2K2 5%	2
Total				16 buah

D. Alat dan Bahan

1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

a. Ayakan kerikil

Ayakan kerikil digunakan untuk pengujian modulus kehalusan butir agregat kasar dalam pembuatan benda uji. Lubang ayakan kerikil terbesar adalah 50 mm dan terkecil adalah 12,5 mm.



Gambar 1. Ayakan Kerikil

b. Ayakan pasir

Ayakan pasir digunakan untuk pengujian modulus kehalusan butir agregat halus dalam pembuatan benda uji. Lubang ayakan agregat halus terbesar adalah 9,52 mm dan terkecil adalah $<0,15\text{mm}$.



Gambar 2. Ayakan Pasir

c. Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram

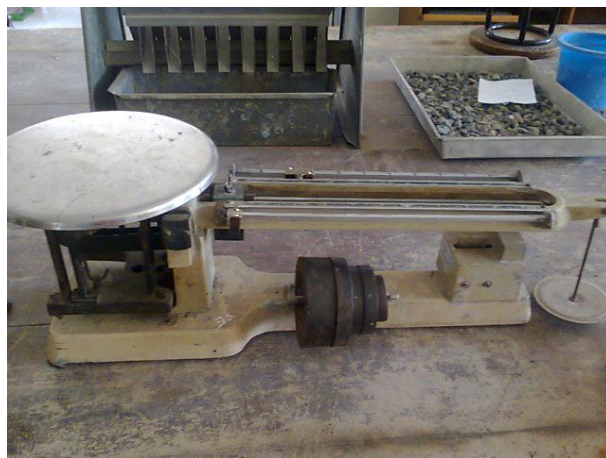
Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram digunakan untuk menimbang material atau bahan pembuatan beton yang bersifat ringan, contohnya dalam pengujian kadar air, berat jenis, dan lain sebagainya.



Gambar 3. Timbangan Ketelitian 0,01 gram

d. Timbangan dengan ketelitian 1 gram

Timbangan dengan ketelitian 1 gram digunakan untuk menimbang material atau bahan pembuatan beton yang bersifat sedang, contohnya dalam pengujian modulus kehalusan butir, los angeles, untuk menimbang semen dan KKB ketika akan membuat benda uji.



Gambar 4. Timbangan dengan ketelitian 1 gram

e. Timbangan kodok

Pada timbangan ini dapat digunakan untuk menimbang material atau bahan pembuat beton yang cukup berat. Contohnya digunakan pada saat pengujian bobot isi agregat kasar dan agregat halus, dapat juga digunakan untuk menimbang material atau bahan pada waktu pembuatan benda uji.



Gambar 5. Timbangan Kodok

f. Bejana

Bejana digunakan untuk pengujian bobot isi agregat kasar dan agregat halus sebelum pembuatan beton.



Gambar 6. Bejana

g. Mesin *Los Angeles*

Mesin *Los Angeles* digunakan untuk pengujian keausan agregat kasar.



Gambar 7. Mesin *Los Angeles*

h. Gelas ukur

Gelas ukur digunakan untuk menakar air pada waktu pembuatan benda uji, dalam pengujian berat jenis agregat kasar atau halus, pengujian kadar lumpur, dan kadar air agregat.



Gambar 8. Gelas ukur

i. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan material atau bahan dalam pengujian agregat halus atau agregat kasar.



Gambar 9. Oven

j. Botol susu

Botol susu digunakan untuk pengujian kadar zat organik pada material agregat halus.



Gambar 10. Botol susu

k. Warna pembanding

Warna pembanding digunakan dalam pengujian kadar zat organik yang berfungsi sebagai warna pembanding.

1. Cetakan silinder

Cetakan Silinder digunakan sebagai alat pembuatan benda uji yang berbentuk silinder dengan tinggi 30 cm dan diameter 15 cm.



Gambar 11. Cetakan silinder

m. Alat pemadat

Alat pemadat digunakan untuk memadatkan beton segar yang akan dicetak pada silinder beton cara memasukkan beton segar kedalam silinder setiap 1/3 bagian silinder kemudian ditumbuk 25 kali. Alat pemadat ini berupa barang besi dengan panjang ± 60 cm.

n. Molen

Mesin molen digunakan untuk mencampur semua bahan atau material yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji.



Gambar 12. Molen

o. Kerucut Abraham

Kerucut Abraham digunakan untuk mengukur kelecakan adukan beton dan mengukur tinggi slump, sedangkan penumbuk digunakan untuk menumbuk adukan beton silinder beton dan kerucut abraham. Alat ini memiliki tinggi 30 cm, diameter bagian atas 10 cm dan diameter bagian bawah 20 cm.



Gambar 13. Kerucut Abraham dan alat pemadat

p. Meteran

Meteran digunakan untuk mengukur tinggi slump pada waktu pembuatan benda uji

q. Cetok

Serok atau cetok digunakan untuk mengambil atau memasukan adukan beton dalam silinder atau kerucut abraham, untuk menakar bahan atau material pada saat pembuatan benda uji.

r. Alat lain

Alat lain yang digunakan dalam penelitian ini adalah sendok, piring, mangkuk, ember, selang, kain lap, dll.

2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

a. Air

Air yang digunakan dalam pembuatan benda uji beton tersebut menggunakan air yang diambil dari Laboratorium bahan bangunan Universitas Negeri Yogyakarta.

b. Agregat halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat halus dari material aliran Gunung Merapi, alami dan 1 kali pencucian.



Gambar 14. Agregat Halus

c. Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah kerikil dari Purworejo. Agregat kasar yang digunakan ada dua variasi yaitu agregat kasar gradasi 1 dan agregat kasar gradasi 2.



Gambar 15. Kerikil Gradasi 1



Gambar 16. Kerikil Gradasi 2

d. Semen Portland

Pada penelitian ini semen yang digunakan adalah semen dengan merek holcim. Berat semen holcim yang digunakan yaitu dengan kemasan 40 kg/zak.



Gambar 17. Semen Portland

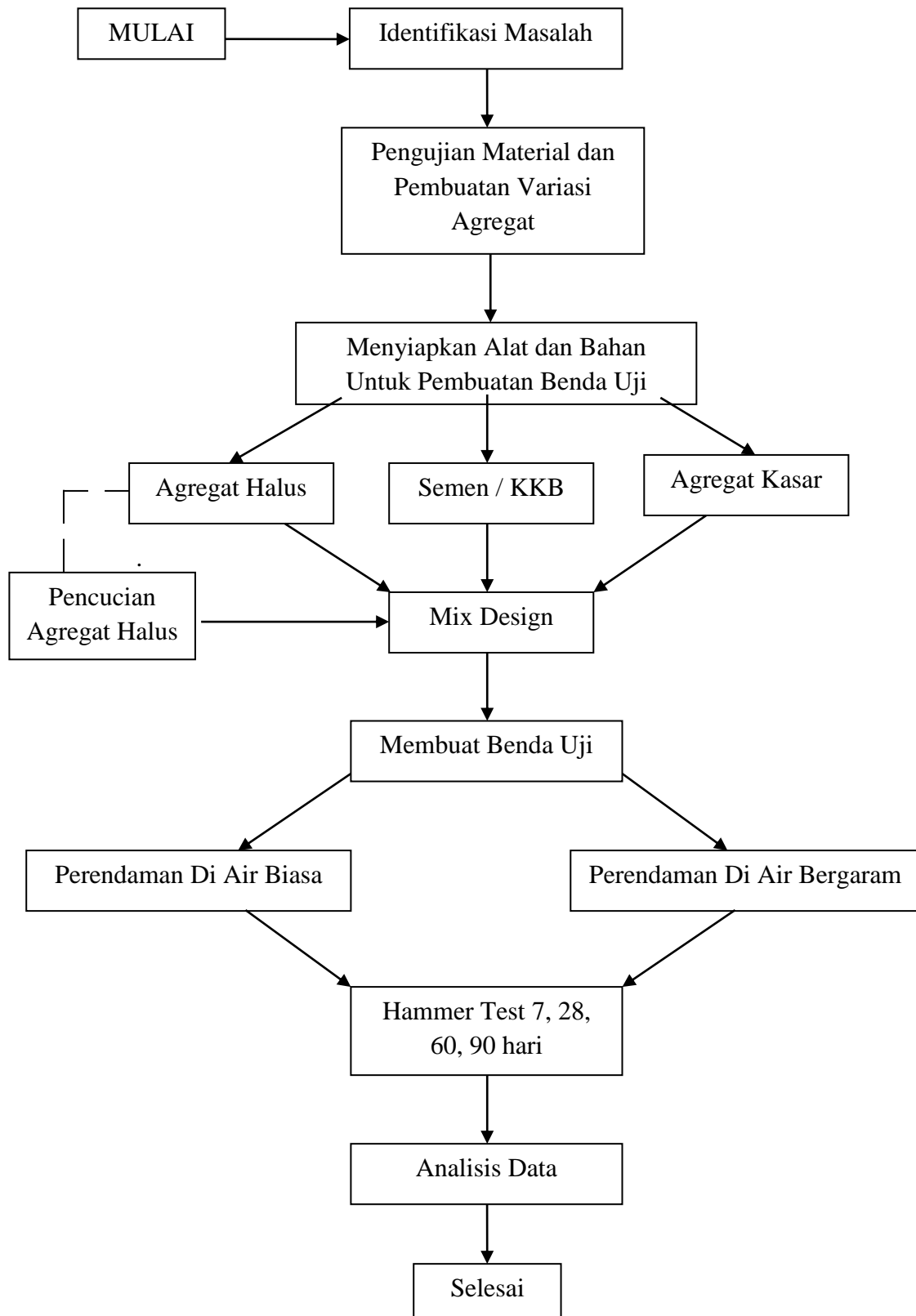
e. Kalsium Karbonat Buatan

KKB berasal dari cangkang kulit telur puyuh, kulit telur mengandung 94% kalsium karbonat, 1% kalsium fosfat, 1% magnesium karbonat dan 4% senyawa organik.



Gambar 18. Kalsium Karbonat Buatan

E. Prosedur Penelitian



F. Pengujian Bahan

Agregat yang digunakan untuk pembuatan benda uji harus memenuhi persyaratan pengujian bahan.

1. Pengujian kadar air agregat (SNI 03-1971-1990)

- 1) Alat : a) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram,
 b) oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$,
 c) talam logam tahan karat berkapasitas cukup besar untuk mengeringkan benda uji.
- 2) Bahan : Pasir dan kerikil
- 3) Langkah-langkah pengujian kadar air agregat:
 - a) Timbang dan catatlah berat talam (W_r).
 - b) Masukkan benda uji kedalam talam kemudian timbang dan catat beratnya (W_2).
 - c) Hitunglah berat benda uji ($W_3 = W_2 - W_1$).
 - d) Keringkan benda uji dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai beratnya tetap.
 - e) Setelah kering timbang dan catat berat benda uji beserta talam (W_4).
 - f) Hitung berat benda uji kering ($W_5 = W_4 - W_1$).
 - g) Hitung kadar air agregat = $\frac{w_3 - w_5}{w_5} \times 100\%$

2. Berat jenis agregat (SNI 03-1969-1990)

- 1) Alat : a) keranjang kawat ukuran 3,35 mm (no 6) atau 2,36 mm

(no 8) dengan kapasitas kira-kira 5 kg,

- b) tempat air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai untuk pemeriksaan. Tempat ini harus dilengkapi dengan pipa sehingga permukaan air selalu tetap,
- c) timbangan dengan kapasitas 5 kg dan ketelitian 0,01 gram dari berat contoh yang ditimbang dan dilengkapi dengan alat penggantung keranjang,
- d) oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanaskan sampai $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$
- e) saringan no 4 (4,75).

2) Bahan : a) kerikil,

b) Air

3) Langkah-langkah pengujian berat jenis agregat:

- a) Cuci benda uji untuk menghilangkan debu atau bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan.
- b) Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.
- c) Dinginkan benda uji pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram.
- d) Rendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama 24 ± 4 jam.

- e) Keluarkan benda uji dari air, lap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang, untuk butiran yang besar pengeringan harus satu persatu.
- f) Timbang benda uji kering permukaan jenuh (BJ)
- g) Letakkan benda uji didalam keranjang, goncangan batunya untuk mengeluarkan udara yang tersekap dan tentukan beratnya didalam air (Ba), dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan kepada suhu standar (25 °C).
- h) Hitung berat jenis dengan rumus $\frac{B_j}{B_j - B_a}$

Keterangan

B_j = berat benda uji kering permukaan jenuh, dalam gram.

B_a = berat benda uji kering permukaan jenuh didalam air, dalam gram.

3. Kadar lumpur agregat

- 1) Alat : a) Oven,
b) Piring dan sendok,
c) Timbangan 0,01 gram
- 2) Bahan : a) pasir
b) Air
- 3) Langkah-langkah pengujian kadar lumpur agregat:

- a) Menyiapkan agregat halus terlebih dahulu dan memasukan kedalam oven sampai agregat halus kering atau kurang lebih 24 jam.
 - b) Menimbang agregat halus yang sudah kering 200 gram sebanyak 3 sampel (A).
 - c) Mencuci sampai bersih agregat halus yang sudah ditimbang, dan masukkan kedalam oven sampai agregat halus kering atau sampai kurang lebih 24 jam.
 - d) Menimbang agregat halus yang sudah di oven dan dicatat hasilnya (B).
 - e) Menghitung kadar lumpur dengan rumus $\frac{A-B}{B} \times 100$.
 A = berat agregat halus
 B = berat agregat halus setelah di oven
 - f) Menghitung rata-rata kadar lumpur.
4. Bobot isi agregat (SNI 03-4804-1998)
1. Bobot isi gembur
 - 1) Alat :
 - a) timbangan dengan ketelitian 0,1 gram kapasitas 2 kg untuk contoh agregat halus, dan ketelitian 1 gram kapasitas 20 kg untuk agregat kasar,
 - b) batang penusuk terbuat dari baja berbentuk batang lurus, berdiameter 16 mm dan panjang 160 mm dan ujungnya dibuat tumpul setengah bundar,

- c) alat penakar berbentuk silinder terbuat dari logam atau bahan kedap air dengan ujung dan dasar yang benar-benar rata,
- d) sekop atau sendok sesuai dengan kebutuhan,
- e) peralatan kalibrasi berupa plat gelas dengan tebal minimum 6 mm dan paling sedikit 25 mm lebih besar dari pada diameter takaran yang dikalibrasi.

2) Bahan : Pasir dan kerikil

3) Langkah-langkah pengujian bobot isi gembur:

- a) Isi penakar dengan agregat memakai sekop atau sendok secara berlebihan dan hindarkan terjadinya pemisahan dari butir agregat.
- b) Ratakan permukaan dengan batang perata.
- c) Tentukan berat penakar dan isinya, dan berat penakar sendiri.
- d) Catat beratnya sampai ketelitian 0,05 kg.
- e) Hitung bobot isi dengan rumus $M = \frac{(G-T)}{V}$ atau $M = (G - T) \times F$

Keterangan:

M = berat isi agregat dalam kg/m^3

T = berat penakar dalam kg

V = volume penakar dalam m^3

2. Bobot isi padat(SNI 03-4804-1998)

1) Alat :

- a) timbangan dengan ketelitian 0,1 gram kapasitas 2 kg untuk contoh agregat halus, dan ketelitian 1 gram kapasitas 20 kg untuk agregat kasar,
- b) batang penusuk terbuat dari baja berbentuk batang lurus, berdiameter 16 mm dan panjang 160 mm dan ujungnya dibuat tumpul setengah bundar,
- c) alat penakar berbentuk silinder terbuat dari logam atau bahan kedap air dengan ujung dan dasar yang rata,
- d) sekop atau sendok sesuai dengan kebutuhan,
- e) peralatan kalibrasi berupa plat gelas dengan tebal minimum 6 mm dan paling sedikit 25 mm lebih besar dari pada diameter takaran yang dikalibrasi.

2) Bahan : Pasir dan kerikil

3) Langkah-langkah pengujian bobot isi padat:

- a) Isi penakar sepertiga dari volume penuh dan ratakan dengan batang perata.
- b) Tusuk lapisan agregat dengan 25 kali tusukan batang penusuk
- c) Isi lagi sampai volume menjadi dua per tiga penuh kemudian ratakan dan tusuk seperti diatas.
- d) Isi penakar sampai berlebihan dan tusuk lagi.
- e) Ratakan permukaan agregat dengan batang perata.
- f) Tentukan berat penakar dan isinya dan berat penakar itu sendiri.

g) Catat beratnya sampai ketelitian 0,05 kg.

h) Hitung bobot isi dengan rumus $M = \frac{(G-T)}{V}$

Keterangan:

M = berat isi agregat dalam kg/m³

T = berat penakar dalam kg

V = volume penakar dalam m⁻³

5. Modulus kehalusan butir agregat (SNI 03-1968-1990)

1) Alat : a) timbangan, b) satu set saringan, c) oven, d) alat pemisah, e) mesin guncang jaringan, f) talam.

2) Bahan : Pasir dan kerikil

3) Langkah-langkah pengujian modulus kehalusan butir agregat.

a) Benda uji dikeringkan dalam oven, dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, sampai berat tetap.

b) Saring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas.

c) Saringan diguncang dengan tangan atau mesin selama 15 menit kemudian dihitung prosentase berat benda uji yang tertahan di atas masing-masing saringan terhadap berat total benda uji setelah disaring.

d) Menghitung modulus kehalusan butir dengan rumus

$$\frac{\text{persen tertinggal kumulatif}}{100}$$

6. Keausan (SNI 03-2417-1991)

1) Alat :

- a) mesin los angeles,
- b) saringan no.12 (1,70 mm) dan saringan-saringan lainnya,
- c) timbangan dengan ketelitian 0,01 gram,
- d) bola-bola baja dengan diameter rata-rata 4,68 cm ($1 \frac{27}{32}$ inci) dan berat masing-masing antara 390 gram sampai dengan 445 gram,
- e) oven,
- f) alat bantu pan dan kuas.

2) Bahan : kerikil

3) Langkah-langkah pengujian keausan agregat:

- a) Pengujian ketahanan agregat kasar terhadap keausan dapat dilakukan dengan salah satu dari 7 cara berikut:
 - 1. Cara A : Gradasi A, bahan los angeles 37,5 mm sampai tertahan 25 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 500 putaran.
 - 2. Cara B : Gradasi B, bahan lolos 19 mm sampai tertahan 9,5 mm. Jumlah bola 11 buah dengan 500 putaran.
 - 3. Cara C : Gradasi C, bahan lolos 9,5 mm sampai tertahan 4,75 mm (no.4), Jumlah bola 8 buah dengan 500 putaran.
 - 4. Cara D : Gradasi D, bahan lolos 4,75 mm (no.4) sampai tertahan 2,36 mm (no.8). Jumlah bola 6 buah dengan 500 putaran.

5. Cara E : Gradasi E, bahan lolos 75 mm sampai tertahan 37,5 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.
 6. Cara F : Gradasi F, bahan lolos 50 mm sampai tertahan 25 mm. Jumlah bola 12 dengan 1000 putaran.
 7. Cara G : Gradasi G, bahan lolos 37,5 mm sampai tertahan 19 mm. Jumlah bola 12 buah dengan 1000 putaran.
- b) Benda uji dan bola baja dimasukkan kedalam mesin abrasi los angeles.
 - c) Nyalakan mesin dengan kecepatan 30 sampai dengan 33 rpm. Jumlah putaran gradasi A, B, C, dan D 500 putaran dan untuk gradasi E, F, dan G 1000 putaran.
 - d) Setelah selesai pemutaran, keluarkan benda uji dari mesin kemudian saring .
 - e) Dengan saringan no. 12 (1,7 mm); butiran yang tertahan di atasnya dicuci bersih, selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.
 - f) Menghitung keausan dengan rumus $\frac{A-B}{B} \times 100\%$
 A = berat benda uji semula, gram.
 B = berat benda uji tertahan saringan no 12, gram

G. Pembuatan Benda Uji

a. Menyiapkan Alat dan Bahan

- 1) Alat-alat yang akan dipergunakan dipersiapkan untuk mempermudah proses pembuatan benda uji beton.

- 2) Menyiapkan cetakan silinde beton lalu mengolesi dengan oli agar beton tidak melekat pada cetakan.
- 3) Bahan yang akan digunakan ditimbang masing-masingnya sesuai dengan mix desain.
- 4) Untuk penggunaan kalsium karbonat buatan dicampurkan dengan *portland cement* hingga merata.
- 5) Bahan yang telah ditimbang, diletakan di ember dengan cara membagi 2 bagian tiap takarannya. Hal ini untuk mempermudah penuangan pada mesin aduk beton.

b. Proses Pencampuran

- 1) Pencampuran menggunakan mesin *concrete mixer* atau mesin molen. Molen dinyalakan lalu dibasahi permukaan dalam tabungnya supaya ketika pengadukan tidak ada bahan yang menempel sehingga campuran beton lebih mudah menjadi homogen.
- 2) Memasukan sebagian bahan-bahan kedalam molen, dengan urutan memasukkan air terlebih dahulu kemudian memasukan agregat kasar, agregat halus dan yang terakhir memasukan semen.
- 3) Setelah semua bahan dimasukkan, campuran beton segar harus di cek homogen nya.

c. Mengukur Nilai slump

Pengukuran nilai *slump* dilakukan terhadap beton segar yang mewakili campuran beton.

- 1) Menyiapkan kerucut abrams lalu membasahi dengan air.
- 2) Kerucut abrams diletakan diatas pelat dengan posisi yang sejajar pada alasnya.
- 3) Campuran beton segar dituangkan pada kotak seng untuk diuji *slump*.
- 4) Beton segar dimasukkan kedalam kerucut abrams sebanyak 1/3 tinggi kerucut. Kemudian ditusuk menggunakan tongkat penumbuk sebanyak 25 kali. Lalu diulangi pada tiap isian lapisnya hingga kerucut abrams terisi penuh dan diratakan permukaannya.
- 5) Tahan atau pegang kerucut dan didiamkan selama 30 detik
- 6) Mengakot kerucut secara arah vertikal dengan hati-hati sehingga tidak mengenai adukan yang ada di dalamnya.
- 7) Membalik kerucut abrams lalu mengukur tinggi penurunan campuran beton beton segar dan mencatatnya.

d. Mencetak Benda Uji

Setelah campuran beton segar dituang pada kotak seng, beton segar langsung dimasukkan pada cetakan silinder beton dengan cara :

- 1) Memasukkan beton segar ke dalam cetakan menggunakan cetok sebanyak $\frac{1}{3}$ tinggi cetakan lalu ditumbuk 25 kali, dan memasukan lagi $\frac{2}{3}$ tinggi dan ditumbuk 25 kali menggunakan tongkat penumbuk. Pada lapis berikutnya juga demikian diisi hingga penuh lalu ditumbuk 25 kali kemudian diratakan bagian atas permukaannya.
- 2) Setelah cetakan terisi penuh, cetakan diberikan notasi untuk mempermudah analisis.
- 3) Beton segar yang ada pada cetakan disimpan selama 24 jam ditempat yang aman dan tidak terkena sinar matahari langsung untuk proses pengikatan benda uji.

4) Proses Pembongkaran Cetakan

Beton pada cetakan silinder dibuka atau dibongkar setelah beton berumur 24 jam.

5) Perawatan Benda Uji Beton

Perawatan pada benda uji beton yang dimaksud adalah dengan merendam beton yg telah dilepas dari cetakan kedalam bak perendam yang berada di belakang Laboratorium Fakultas UNY. Perendaman ini bermaksud untuk melancarkan proses hidrasi pada beton segar agar proses kehilangan air tidak terlalu cepat yang dapat mengakibatkan retak-retak pada beton.

e. Perendaman dalam air bergaram

Proses perendaman dalam air bergaram menggunakan kadar garam 25%, atau setiap 1 liter air : 0.25 kg garam. Hal ini dilakukan karena berdasarkan pengujian kadar garam pada air laut di daerah tertentu mengandung kadar garam 5-6%. Dalam penelitian ini menggunakan kadar garam sebesar 25% dimaksudkan untuk menguji apakah kuat tekan beton dengan bahan tambah 0% dan 5% kalsium karbonat buatan akan mengalami perubahan kuat tekan beton apabila direndam dengan air yang kadar garamnya lebih tinggi. Garam dengan perbandingan tersebut dimasukkan kedalam air dan diaduk hingga garam larut dan menyatu dengan air.

f. Pengujian Hammer Test (SNI 03-4430-1997)

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *hammer test*. Uji hammer ini bertujuan untuk mengetahui kuat tekan beton pada suatu titik tertentu. menurut Neville pengujian hammer test sangat peka terhadap keadaan lokal permukaan beton.

Misalnya :

- 1) Adanya butiran agregat besar di bawah permukaan beton yang akan memperbesar nilai pantulan sehingga nilai pantulan akan tinggi.
- 2) Adanya pori udara dibawah permukaan beton akan menyebabkan kecilnya nilai pantulan yang diperoleh.

- 3) Pemukulan pada tempat yang sama akan membuat pantulan yang lebih tinggi karena permukaan beton menjadi lebih padat.



Gambar 19. Alat *Hammer Test*

Berikut adalah cara pengujian menggunakan *Hammer Test* :

- 1) Pegang alat dengan kokoh sehingga posisi hulu palu tegak lurus dengan permukaan beton yang diuji.
- 2) Tekan alat secara perlahan ke arah permukaan uji sampai palu pantul menumbuk hulu palu. Setelah tumbukan tahan tekanan pada alat dan apabila perlu tekan tombol pada sisi alat untuk mengunci hulu palu pada posisinya.
- 3) Baca dan catat angka pantul pada skala untuk angka yang terdekat.
- 4) Lakukan 10 titik bacaan pada setiap daerah pengujian dengan jarak masing-masing titik bacaan tidak boleh lebih kecil dari 25 mm.
- 5) Periksa permukaan beton setelah tumbukan, batalkan pembacaan jika tumbukan memecahkan atau menghancurkan permukaan beton karena terdapat rongga udara, dan ambil titik bacaan yang lain.

BAB IV

HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian

Pengujian bahan penyusun beton dilakukan di Laboratorium Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Negeri Yogyakarta, Pengujian terhadap benda uji menggunakan *hammer test* atau palu beton. Pengujian ini disusun dan dianalisis untuk menghasilkan penelitian yang sistematis.

1. Pengujian Bahan

a. Agregat halus

Pengujian agregat halus meliputi kadar air, berat jenis, kadar lumpur, bobot isi, dan modulus kehalusan butir.

1) Kadar Air

Pengujian kadar air bertujuan untuk mengetahui persentase kandungan air yang terkandung dalam pori-pori agregat halus, pengujian ini dilakukan pada agregat halus alami, SSD dan agregat halus cucian 1.

Tabel 3. Hasil pengujian kadar air agregat halus alami (H1)

Berat pasir (A) gram	Berat pasir setelah di oven (B) gram	Kadar air (%) = $\frac{A-B}{B} \times 100$
100	97,34	2,732
100	97,22	2,859
100	97,39	2,679
Kadar air alami rerata		2,757

Tabel 4. Hasil pengujian kadar air agregat halus alami (H1) SSD

Berat pasir (A) gram	Berat pasir setelah di oven (B) gram	Kadar air (%) = $\frac{A-B}{B} \times 100$
100	96,53	3,595
100	95,72	4,471
100	96,17	3,983
Kadar air SSD rerata		4,016

Tabel 5. Hasil pengujian kadar air agregat halus cucian 1 (H2) SSD

Berat pasir (A) gram	Berat pasir setelah di oven (B)	Kadar air (%) = $\frac{A-B}{B} \times 100$
100	99,76	0,240
100	99,76	0,240
100	99,78	0,220
Kadar air cucian 1 rerata		0,236

2) Kadar Lumpur

Pengujian kadar lumpur bertujuan untuk mengetahui presentase lumpur yang terkandung dalam agregat halus. Pengujian kadar lumpur dilakukan 3 sampel pengujian. Dari masing-masing sampel pengujian tersebut diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus alami (H1)

Berat pasir (A) gram	Berat pasir setelah di oven (B)	Kadar lumpur (%) = $\frac{A-B}{B} \times 100$
100	87,55	14,220
100	91,85	8,873
100	86,94	15,021
Kadar lumpur rerata		12,705

Tabel 7. Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus alami (H1) SSD

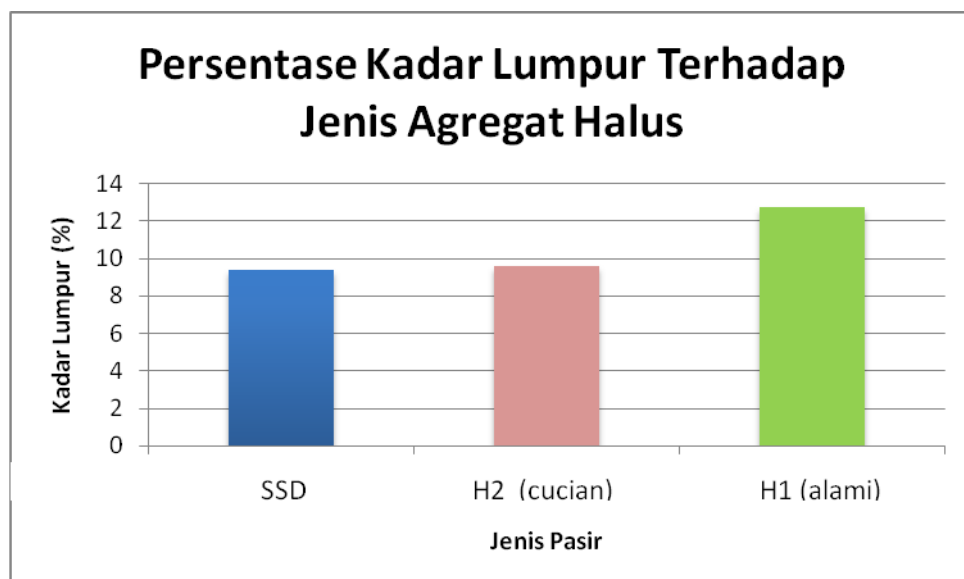
Berat pasir (A) gram	Berat pasir setelah di oven (B)	Kadar lumpur (%) = $\frac{A-B}{B} \times 100$
100	89,52	11,707
100	94,90	5,374
100	90,11	10,975
Kadar lumpur rerata		9,352

Tabel 8. Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus cucian 1 (H2) SSD

Berat pasir (A) gram	Berat pasir setelah di oven (B)	Kadar lumpur (%) = $\frac{A-B}{B} \times 100$
100	90,40	10,619
100	93,31	7,169
100	94,00	8,057
Kadar lumpur rerata		9,615

Tabel 9. Hasil pengujian kadar lumpur masing-masing agregat halus

Jenis Agregat Halus	Kadar Lumpur(%)
Pasir Merapi Alami (H1)	12,705
Pasir Merapi Cucian 1 (H2)	9,615
Pasir Merapi SSD	9,352

**Gambar 20.** Grafik kadar lumpur terhadap jenis agregat halus.

3) Berat jenis

Pengujian berat jenis bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara massa agregat halus dan massa air. Pengujian dilakukan pada 3 sampel dari masing-masing jenis agregat halus. Dari pengujian tersebut diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 10. Hasil pengujian berat jenis agregat halus (H1) SSD

Berat pasir (A) Gram	Volume pasir (B) ml	Berat jenis ($\frac{A}{B}$) ($\frac{gr}{ml}$)
100	36	2,778
100	35	2,857
100	35	2,857
Berat jenis rerata		2,831

Tabel 11. Hasil pengujian berat jenis agregat halus cucian 1 (H2) SSD

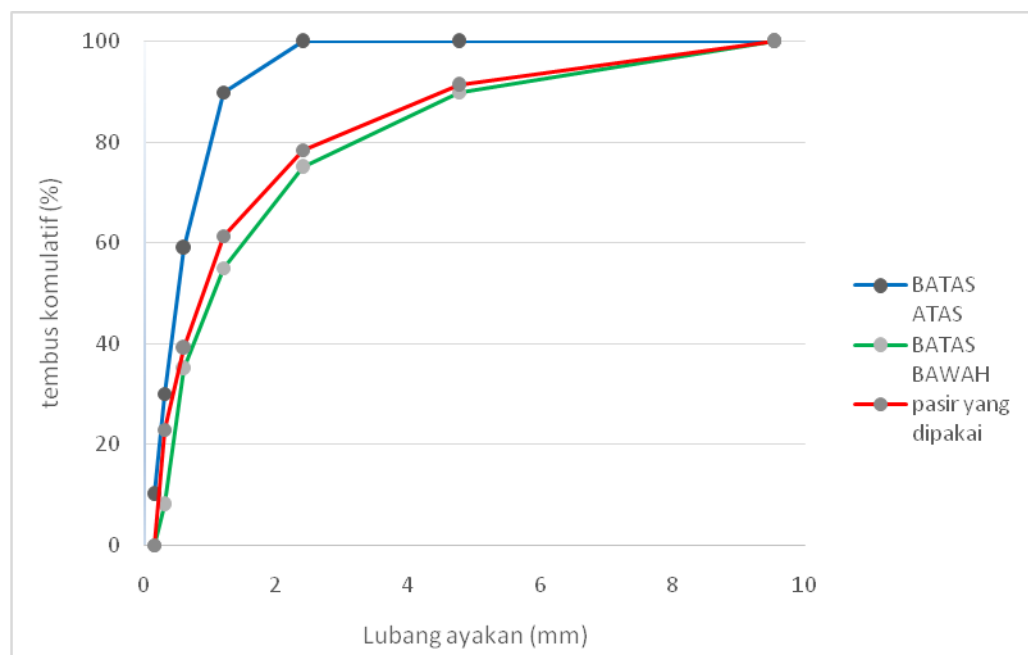
Berat pasir (A) gram	Volume pasir (B) ml	Berat jenis ($\frac{A}{B}$) ($\frac{gr}{ml}$)
100	35	2,857
100	35	2,857
100	35,5	2,817
Berat jenis rerata		2,844

4) Modulus kehalusan butir

Pengujian modulus kehalusan butir bertujuan untuk mengetahui tingkat kekerasan agregat halus yang digunakan dalam pembuatan beton. Modulus kehalusan butir agregat halus berkisar antara 1,5-3,8. Pengujian modulus kehalusan butir agregat halus diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 12.Modulus kehalusan butir agregat halus

Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gram)	Persen tertinggal (%)	Persen tertinggal komulatif (%)	Persen tembus komulatif (%)
9,52	0	0	0	100
4,76	81,500	8,649	8,649	91,351
2,4	120,896	12,830	21,480	78,520
1,2	161,076	17,095	38,574	61,426
0,6	209,876	22,274	60,848	39,152
0,3	153,076	16,246	77,094	22,906
0,15	203,29	21,575	98,669	1,331
<0.15	12,546	1,331	100	-
Σ	942,26	100	307	-

**Gambar 21.**Grafik gradasi agregat halus.

Agregat halus yang digunakan masuk dalam zone 2 atau agregat halus yang tergolong agak kasar. Modulus kehalusan butir yang diperoleh sebesar 3,07.

5) Bobot isi

Bobot isi merupakan berat satuan agregat yang digunakan untuk menghitung berat agregat yang dikonversikan kedalam satuan bejana. Dari pengujian ini diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 13. Hasil pengujian bobot isi gembur agregat halus

Berat bejana (gram)	Berat bejana + pasir	Volume bejana (dm ³)	Bobot isi
10820	35850	14,940	1,675

Tabel 14. Hasil pengujian bobot isi padat agregat halus

Berat bejana (gram)	Berat bejana + pasir	Volume bejana (dm ³)	Bobot isi
10820	38820	14,940	1,800

b. Pengujian agregat kasar

Pengujian yang dilakukan pada agregat kasar penyusun beton meliputi pengujian kadar air, kadar lumpur, berat jenis, bobot isi, gradasi, dan keausan

1) Kadar air

Pengujian Kadar Air dilakukan untuk memperoleh angka persentase dari kadar air agregat kasar. Dari pengujian kadar air diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 15. Hasil pengujian kadar air alami agregat kasar 1 (K1)

Berat pasir (A) gram	Berat pasir setelah di oven (B)	Kadar air (%) = $\frac{A-E}{E} \times 100$
200	199,02	0,492
200	198,74	0,634
200	198,61	0,699
Kadar air alami rerata		0,608

Tabel 16. Hasil pengujian kadar air SSD agregat kasar 1 (K1)

Berat pasir (A) gram	Berat pasir setelah di oven (B)	Kadar air (%) = $\frac{A-B}{B} \times 100$
200	198,11	0,954
200	198,35	0,832
200	198,03	0,995
Kadar air SSD rerata		0,927

Tabel 17. Hasil pengujian kadar air SSD agregat kasar 2 (K2)

Berat pasir (A) gram	Berat pasir setelah di oven (B)	Kadar air (%) = $\frac{A-B}{B} \times 100$
200	198,54	0,735
200	197,61	1,209
200	198,12	0,949
Kadar air alami rerata		0,964

2) Kadar Lumpur Agregat Kasar

Tujuan pengujian kadar lumpur untuk mengetahui persentase lumpur yang terkandung dalam agregat kasar. Dari pengujian tersebut diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 18. Hasil pengujian kadar lumpur SSD agregat kasar (K1)

Berat pasir (A) gram	Berat pasir setelah di oven (B)	Kadar lumpur (%) = $\frac{A-B}{B} \times 100$
250	247,60	0,969
250	246,71	1,334
Kadar lumpur SSD rerata		1,152

Tabel 19. Hasil pengujian kadar lumpur SSD agregat kasar (K2)

Berat pasir (A) gram	Berat pasir setelah di oven (B)	Kadar lumpur (%) = $\frac{A-B}{B} \times 100$
250	246,98	1,223
250	246,66	1,354
Kadar lumpur SSD rerata		1,288

3) Berat Jenis Agregat Kasar

Pengujian berat jenis agregat kasar bertujuan untuk mengetahui perbandingan massa agregat kasar dengan massa air.

Dari pengujian ini diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 20. Hasil pengujian berat jenis agregat kasar SSD (K1)

Berat kerikil (A) gram	Volume kerikil (B) ml	Berat jenis $\frac{A}{B}$
250,57	39,43	2,78
251,29	48,71	2,51
252,94	42,06	2,66
Berat jenis SSD rata-rata		2,65

Tabel 21. Hasil pengujian berat jenis agregat kasar SSD (K2)

Berat kerikil (A) gram	Volume kerikil (B) ml	Berat jenis $\frac{A}{B}$
250,04	94,96	2,63
252,65	92,35	2,65
251,83	93,17	2,65
Berat jenis SSD rata-rata		2,64

4) Gradasi Agregat Kasar

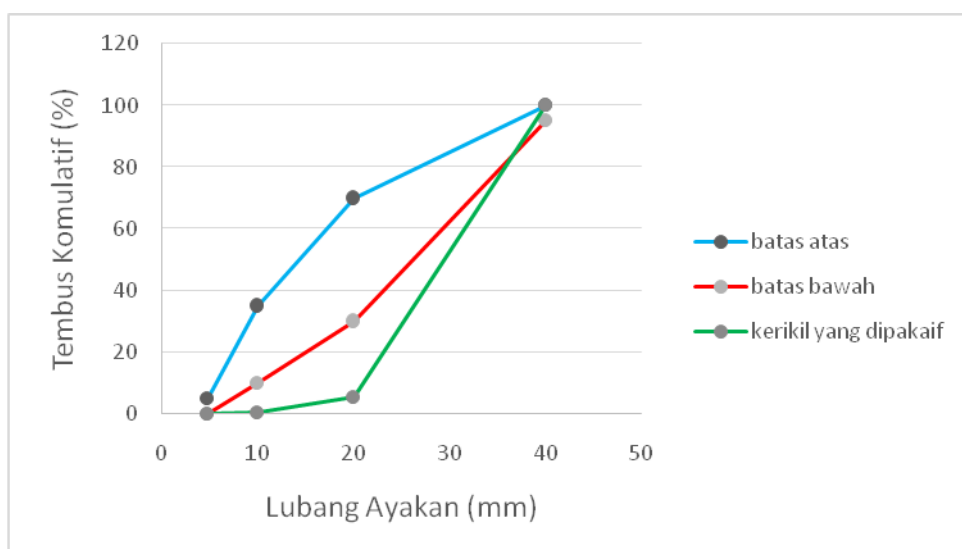
Pengujian gradasi agregat kasar bertujuan untuk mengetahui ukuran butir agregat kasar yang akan di gunakan dalam pembuatan benda uji beton silinder. Dari hasil uji gradasi diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 22. Gradasi agregat kasar (K1)

Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gram)	Persen tertinggal (%)	Persen tertinggal kumulatif (%)	Persen tertinggal kumulatif standart (%)	Persen tembus kumulatif (%)
38,4	0	0	0	0	100
25	0	0	0	-	100
19,2	3722,8	93,16	93,16	93,16	6,84
12,5	100,94	2,53	95,69	-	4,31
9,52	126,72	3,17	98,86	98,86	1,14
4,76	25,51	0,64	99,50	99,50	0,50
2,4	3,04	0,08	99,58	99,58	0,42
1,2	2,82	0,07	99,65	99,65	0,35
0,6	3,61	0,09	99,74	99,74	0,26
0,3	3,75	0,09	99,83	99,83	0,17
0,15	3,94	0,10	99,93	99,93	0,07
<0,15	2,86	0,07	100,00	-	0,00
Σ	3995,99	100	885,93	790,24	-

Tabel 23. Batas rerata gradasi agregat kasar K1

Lubang ayakan (mm)	Persen tembus kumulatif (%)	Persen butir yang lolos ayakan menurut B.S	
		Batas bawah	Batas atas
40	96,12	100	100
20	17,56	95	100
10	4,445	25	55
4,8	0,475	0	10

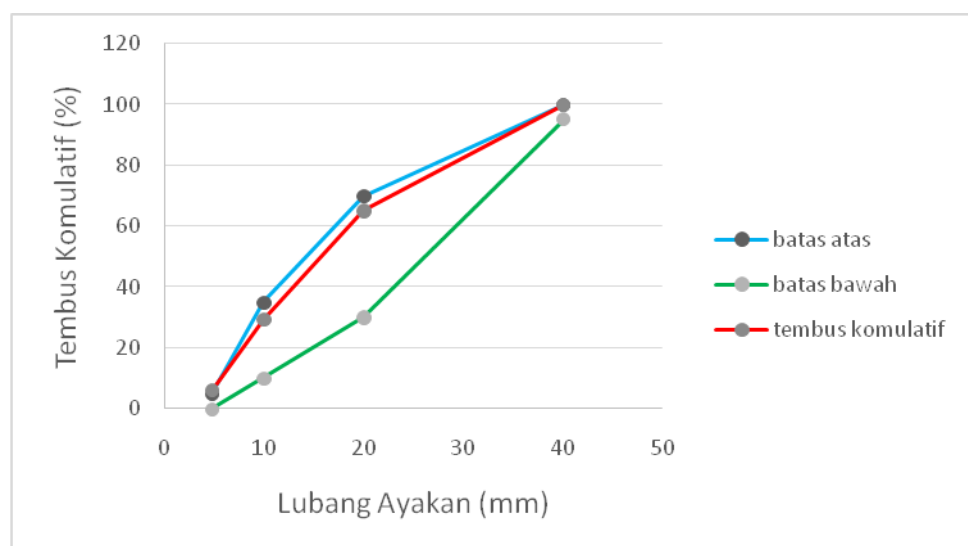


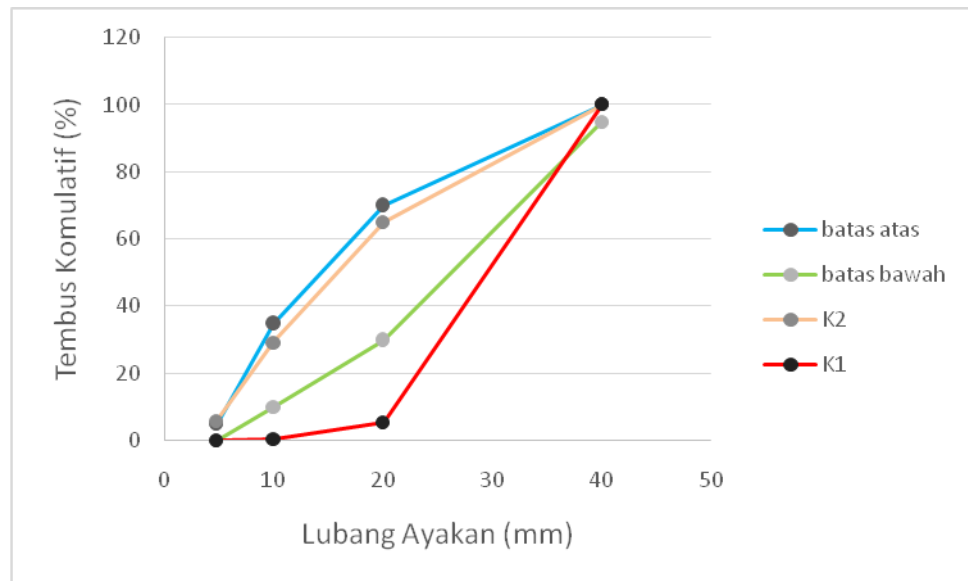
Gambar 22. Grafik gradasi agregat kasar K1**Tabel 24.** Gradasi agregat kasar (K2)

Lubang ayakan (mm)	Berat tertinggal (gram)	Persen tertinggal (%)	Persen tertinggal kumulatif (%)	Persen tertinggal kumulatif standart (%)	Persen tembus kumulatif (%)
38,4	0	0,00	0,00	0,00	100,00
25	0	0,00	0,00	-	100,00
19,2	1210,5	30,27	30,27	30,27	69,73
12,5	410,28	10,26	40,53	-	59,47
9,52	988,41	24,72	65,25	65,25	34,75
4,76	1377,16	34,44	99,69	99,69	0,31
2,4	2,32	0,06	99,75	99,75	0,25
1,2	2,61	0,07	99,81	99,81	0,19
0,6	2,24	0,06	99,87	99,87	0,13
0,3	1,66	0,04	99,91	99,91	0,09
0,15	1,71	0,04	99,95	99,95	0,05
<0,15	1,95	0,05	100,00	-	0,00
Σ	3998,84	100	735,02	694,49	-

Tabel 25. Batas rerata gradasi agregat kasar K2

Lubang ayakan (mm)	Persen tembus kumulatif (%)	Persen butir yang lolos ayakan menurut B.S	
		Batas bawah	Batas atas
40	100	100	100
20	65,089	95	100
10	29,221	25	55
4,8	5,981	0	10



Gambar 23. Grafik gradasi agregat kasar K2.**Gambar 24.** Grafik gradasi agregat kasar K1 dan K2.

Hasil pengujian analisa saringan agregat kasar yang telah dilakukan diperoleh nilai modulus kehalusan butir sebesar agregat kasar K1 sebesar 7,902 dan modulus kehalusan butir sebesar agregat kasar K2 sebesar 6,945.

Tabel 26. Modulus Kehalusan Butir Agregat Kasar K1 & K2

Jenis Agregat Kasar	MKB
Jenis Agregat Kasar (K1)	7,902
Jenis Agregat Kasar (K2)	6,945

5) Bobot isi

Bobot isi atau berat satuan agregat kasar berfungsi untuk menghitung berat agregat yang dikonversikan kedalam satuan bejana. Dari hasil pengujian ini didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 27. Hasil pengujian bobot isi agregat kasar K1

Berat bejana (gram)	Berat bejana + pasir	Volume bejana (dm ³)	Bobot isi
10860	31340	14,720	1,391

Tabel 28. Hasil pengujian bobot isi agregat kasar K2

Berat bejana (gram)	Berat bejana + pasir	Volume bejana (dm ³)	Bobot isi
10500	31000	15,340	1,336

6) Keausan Agregat Kasar

Keausan agregat kasar berfungsi untuk mengetahui kekuatan agregat kasar. Dari data pengujian ini diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 29. Keausan agregat kasar

Berat awal (A) gram	Berat kering setelah di oven (B)	keausan (%) = $\frac{A-B}{B} \times 100$
5000	4364,9	14,550

c. Pengujian Kalsium Karbonat Buatan

Kalsium karbonat yang digunakan akan diuji gradasinya dengan 2 kali pengujian. Hasil pengujian gradasi dari kalsium karbonat buatan yang akan digunakan diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 30. Gradasi Kalsium Karbonat Buatan

Lubang Ayakan (mm)	Berat Butir Tertinggal (gram)	
	Sampel 1	Sampel 2
1,2	0,50	0,95
0,15	446	403,5
Filler	50,8	69,45
Total	497,3	473,9

d. Pengujian Semen

Semen yang digunakan dalam pembuatan benda uji menggunakan semen type 1 dengan merk Holcim. Pengujian dilakukan secara visual terhadap semen. Pertama, pengamatan terhadap kemasan bungkus semen, kemasan bungkus semen masih dalam kondisi yang baik. Kedua, pengamatan terhadap kondisi semen, dari pengamatan tersebut diketahui bahwa tidak terdapat semen yang menggumpal. Sehingga semen tersebut layak untuk pembuatan benda uji beton.

e. Pengujian Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Laboratorium Bahan Bangunan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Negeri Yogyakarta. Pengujian tersebut dilakukan dengan pengamatan secara langsung. Dari pengamatan tersebut terlihat bahwa kondisi air terlihat bening, tidak berwarna dan tidak terlihat cairan yang berada dalam air.

f. *Hammer Test*

Pengujian kuat tekan beton pada penelitian ini menggunakan *hammer test*. Pengujian *hammer test* dilakukan pada beton yang direndam dalam air biasa dan air bergaram pada usia beton 7, 28, 60, dan 90 hari dengan *replacement* KKB sebesar 0% dan 5%. Hasil pengujian yang diperoleh adalah sebagai berikut

Tabel 31. Rerata 50 titik Uji *Hammer Test* KKB 0% direndam di air normal

Notasi	Umur (Hari)			
	7	28	60	90
H1K1	14.92	24.14	24.48	25.9
H1K2	16.84	20.84	20.8	21
H2K1	15.58	22.04	24.42	26.44
H2K2	18.14	20.6	19.46	29.56

* Catatan : Hasil Uji *Hammer Test* 50 titik untuk setiap benda uji dapat dilihat di lampiran.

Tabel 32. Rerata 50 titik Uji *Hammer Test* KKB 0% direndam di air bergaram (25%)

Notasi	Umur (Hari)			
	7	28	60	90
H1K1	15.66	20.28	19.5	19.58
H1K2	15.6	20.6	21.06	21.88
H2K1	16.28	20.56	19.2	19.56
H2K2	16.76	18.82	20.7	22.84

* Catatan : Hasil Uji *Hammer Test* 50 titik untuk setiap benda uji dapat dilihat di lampiran.

Tabel 33. Rerata 50 titik Uji *Hammer Test* KKB 5% direndam di air normal

Notasi	Umur (Hari)			
	7	28	60	90
H1K1	14.02	20.28	20.56	22.76
H1K2	15.78	19.78	21.5	23.38
H2K1	16.68	20.58	22.82	23.72
H2K2	16.6	20.92	21.86	23.7

* Catatan : Hasil Uji *Hammer Test* 50 titik untuk setiap benda uji dapat dilihat di lampiran.

Tabel 34. Rerata 50 titik Uji *Hammer Test* KKB 5% direndam di air bergaram (25%)

Notasi	Umur (Hari)			
	7	28	60	90
H1K1	15.88	20.46	19.32	21.08
H1K2	14.9	19.2	20.36	19.8
H2K1	15.32	18.66	21.44	20.94
H2K2	16.26	18.02	18.02	20.8

- * Catatan : Hasil Uji *Hammer Test* 50 titik untuk setiap benda uji dapat dilihat di lampiran.

B. Pembahasan

1. Dari pengujian agregat halus yang dilakukan pada penelitian ini diperoleh hasil sebagai berikut :
 - a. Kadar air yang terkandung pada pasir alami sebesar 2.757% sedangkan kadar air yang terkandung pada pasir SSD sebesar 4.016% dan kadar air yang terkandung pada pasir cucian 1 sebesar 0.236%, pasir tersebut termasuk pasir mutu baik karena dalam persyaratan bahan bangunan kadar air pasir tidak boleh lebih dari 5%
 - b. Kadar lumpur yang terkandung pada pasir alami sebesar 12,705% sedangkan kadar lumpur yang terkandung pada pasir SSD sebesar 9.352% dan kadar lumpur yang terkandung pada pasir cucian 1 sebesar 9.615%
 - c. Agregat halus yang digunakan masuk dalam zone 2 atau agregat halus yang tergolong agak kasar. Modulus kehalusan butir yang diperoleh sebesar 3,07.
 - d. Berat jenis pasir alami (H1) 2.821 sedangkan berat jenis pasir cucian 1 (H2) 2.844
2. Dari pengujian agregat kasar yang dilakukan pada penelitian ini diperoleh hasil sebagai berikut :
 - a. Kadar air yang terkandung pada agregat kasar K1 sebesar 0.927% sedangkan kadar air yang terkandung pada agregat kasar K2 sebesar 0.964% kerikil tersebut termasuk kerikil mutu baik karena dalam persyaratan bahan bangunan kadar air pasir tidak boleh lebih dari 1%

- b. Kadar lumpur yang terkandung pada agregat kasar K1 sebesar 1.152% sedangkan kadar lumpur yang terkandung pada agregat kasar K2 sebesar 1.288
 - c. Berat jenis agregat K1 2.65 sedangkan berat agregat K2 2.64
 - d. Uji keausan agregat kasar sebesar 14.550%. sedangkan persyaratan maksimal keausan sebesar 50%
3. Hasil pengujian gradasi kalsium karbonat buatan adalah dari 500 gram, butiran terbanyak tertinggal di ayakan 0.15mm
4. Hasil Pengujian *hammer test* dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 35. Rerata 50 titik Uji *Hammer Test* KKB 0% direndam di air normal

Notasi	Umur (Hari)			
	7	30	60	90
H1K1	14.92	24.14	24.48	25.9
H1K2	16.84	20.84	20.8	21
H2K1	15.58	22.04	24.42	26.44
H2K2	18.14	20.6	19.46	29.56

* Catatan : Hasil Uji *Hammer Test* 50 titik untuk setiap benda uji dapat dilihat di lampiran.

Tabel 36. Rerata 50 titik Uji *Hammer Test* KKB 0% direndam di air bergaram (25%)

Notasi	Umur (Hari)			
	7	30	60	90
H1K1	15.66	20.28	19.5	19.58
H1K2	15.6	20.6	21.06	21.88
H2K1	16.28	20.56	19.2	19.56
H2K2	16.76	18.82	20.7	22.84

* Catatan : Hasil Uji *Hammer Test* 50 titik untuk setiap benda uji dapat dilihat di lampiran.

Tabel 37. Rerata 50 titik Uji *Hammer Test* KKB 5% direndam di air normal

Notasi	Umur (Hari)			
	7	30	60	90
H1K1	14.02	20.28	20.56	22.76
H1K2	15.78	19.78	21.5	23.38
H2K1	16.68	20.58	22.82	23.72

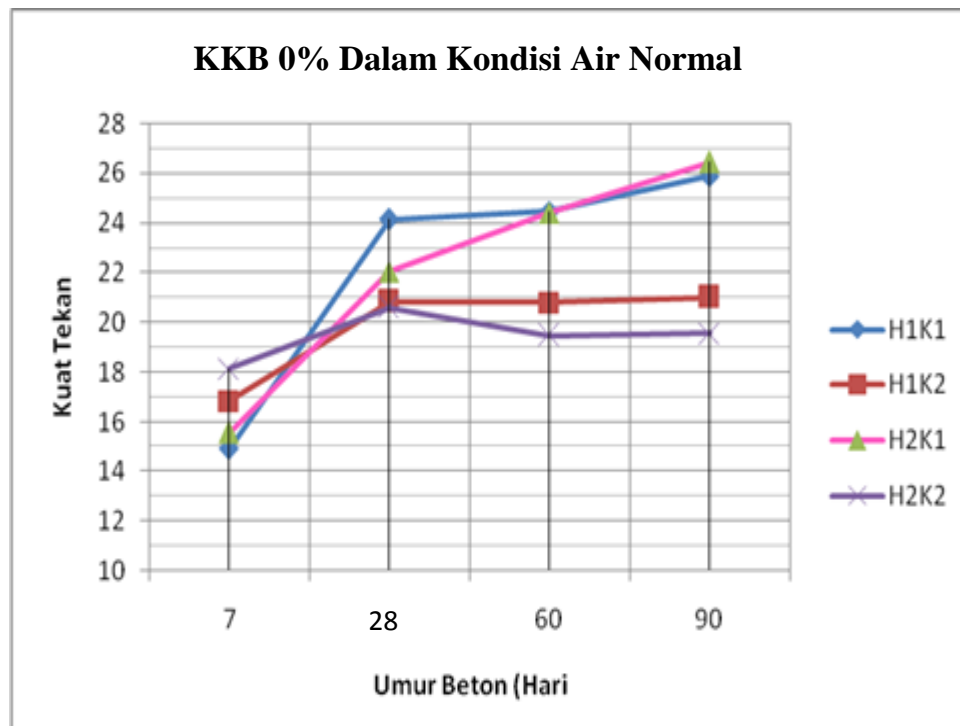
H2K2	16.6	20.92	21.86	23.7
------	------	-------	-------	------

* Catatan : Hasil Uji *Hammer Test* 50 titik untuk setiap benda uji dapat dilihat di lampiran.

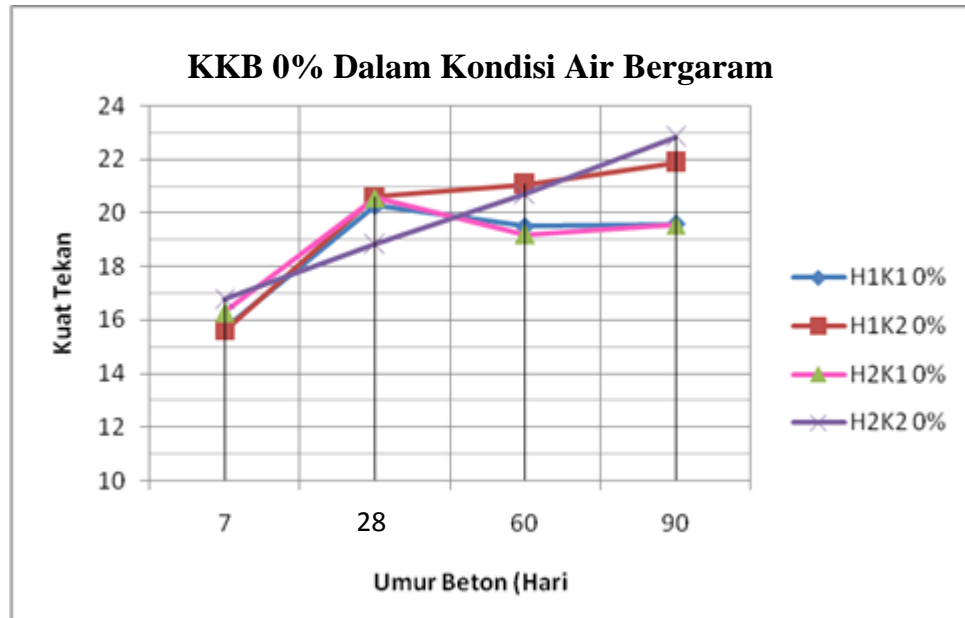
Tabel 38. Rerata 50 titik Uji *Hammer Test* KKB 5% direndam di air bergaram (25%)

Notasi	Umur (Hari)			
	7	30	60	90
H1K1	15.88	20.46	19.32	21.08
H1K2	14.9	19.2	20.36	19.8
H2K1	15.32	18.66	21.44	20.94
H2K2	16.26	18.02	18.02	20.8

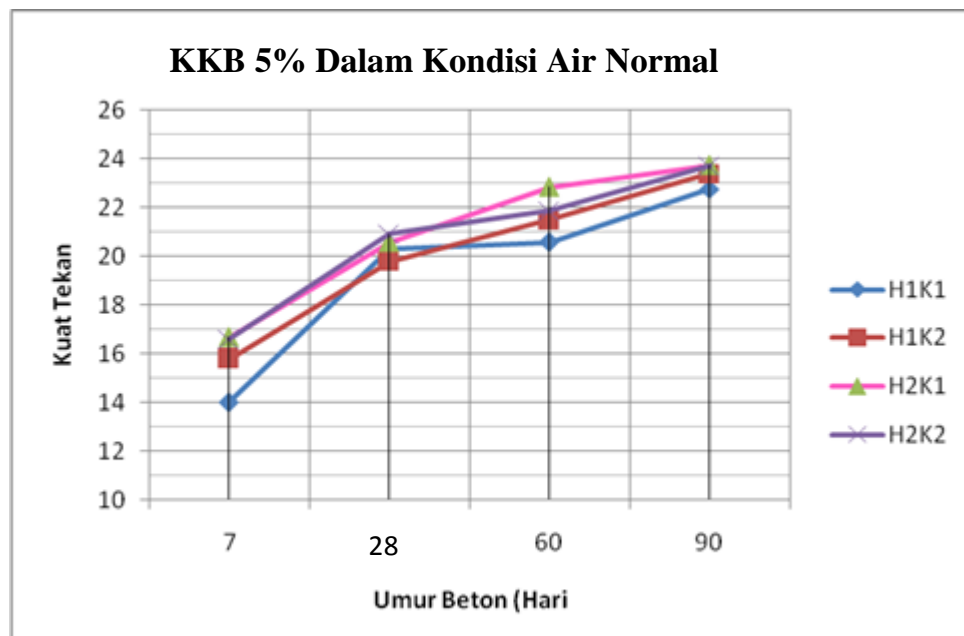
* Catatan : Hasil Uji *Hammer Test* 50 titik untuk setiap benda uji dapat dilihat di lampiran.



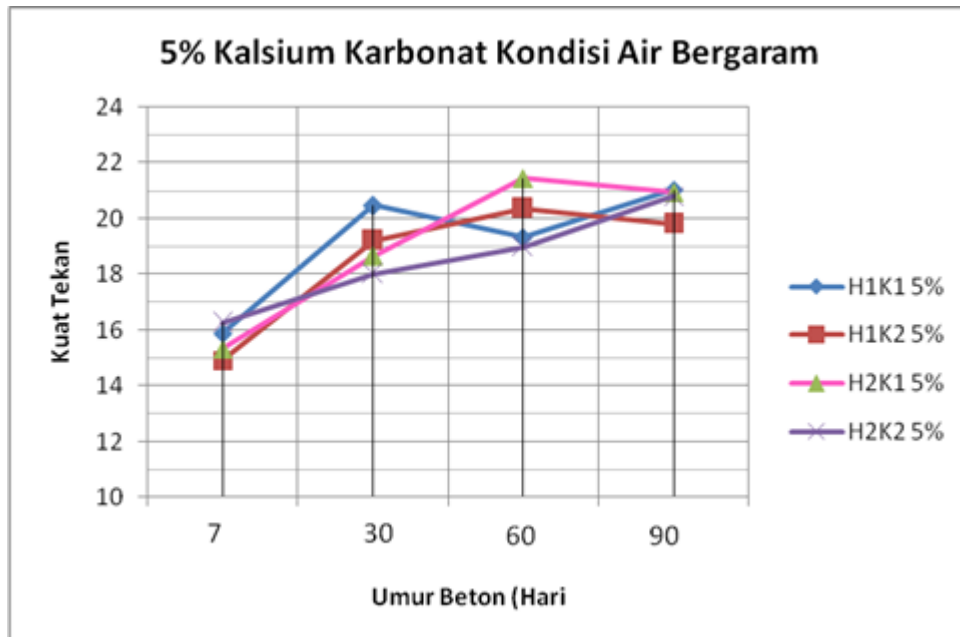
Gambar 25. Grafik Uji *Hammer Test* KKB 0% di air normal



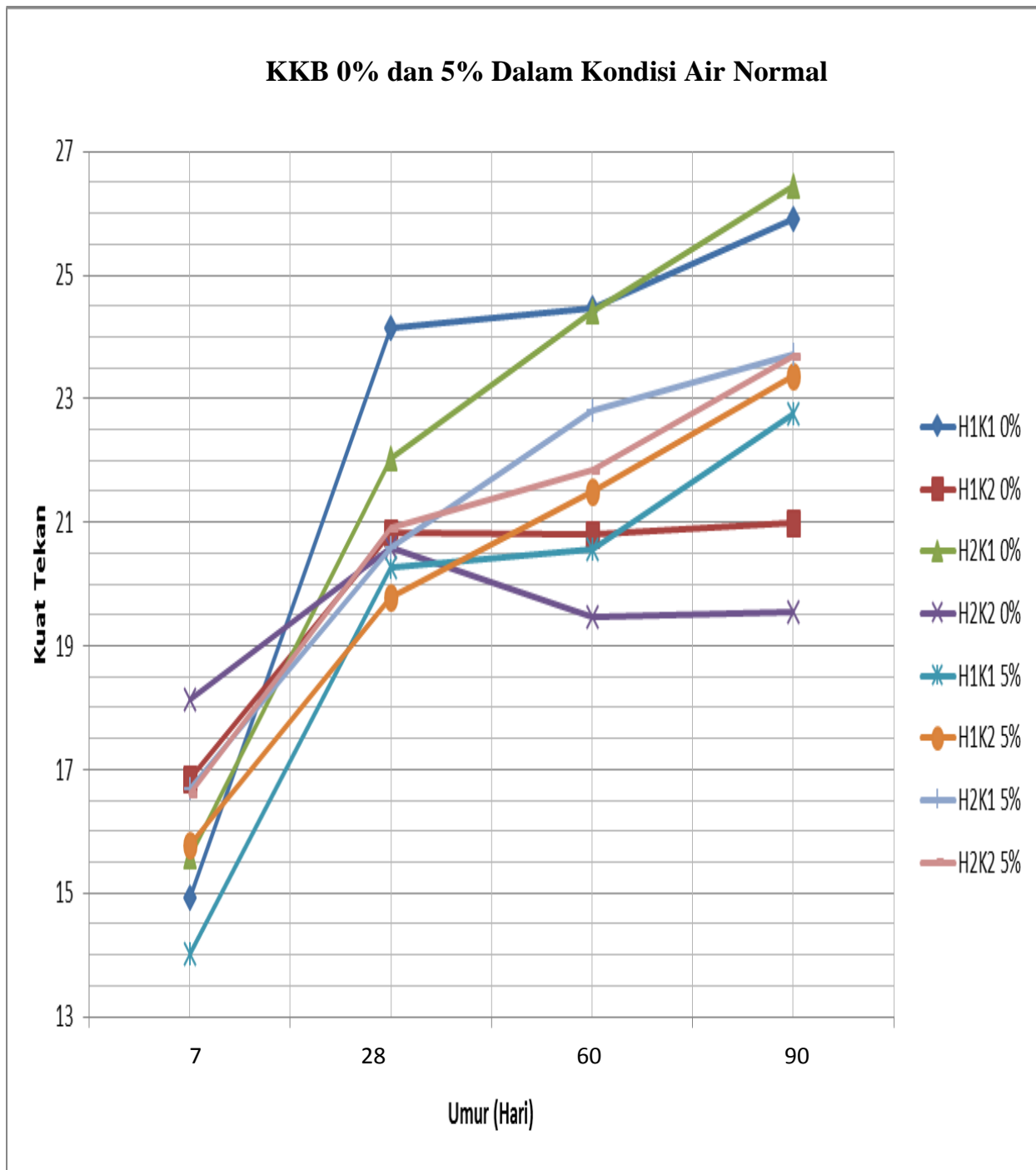
Gambar 26. Grafik Uji *Hammer Test* KKB 0% di air bergaram (25%)



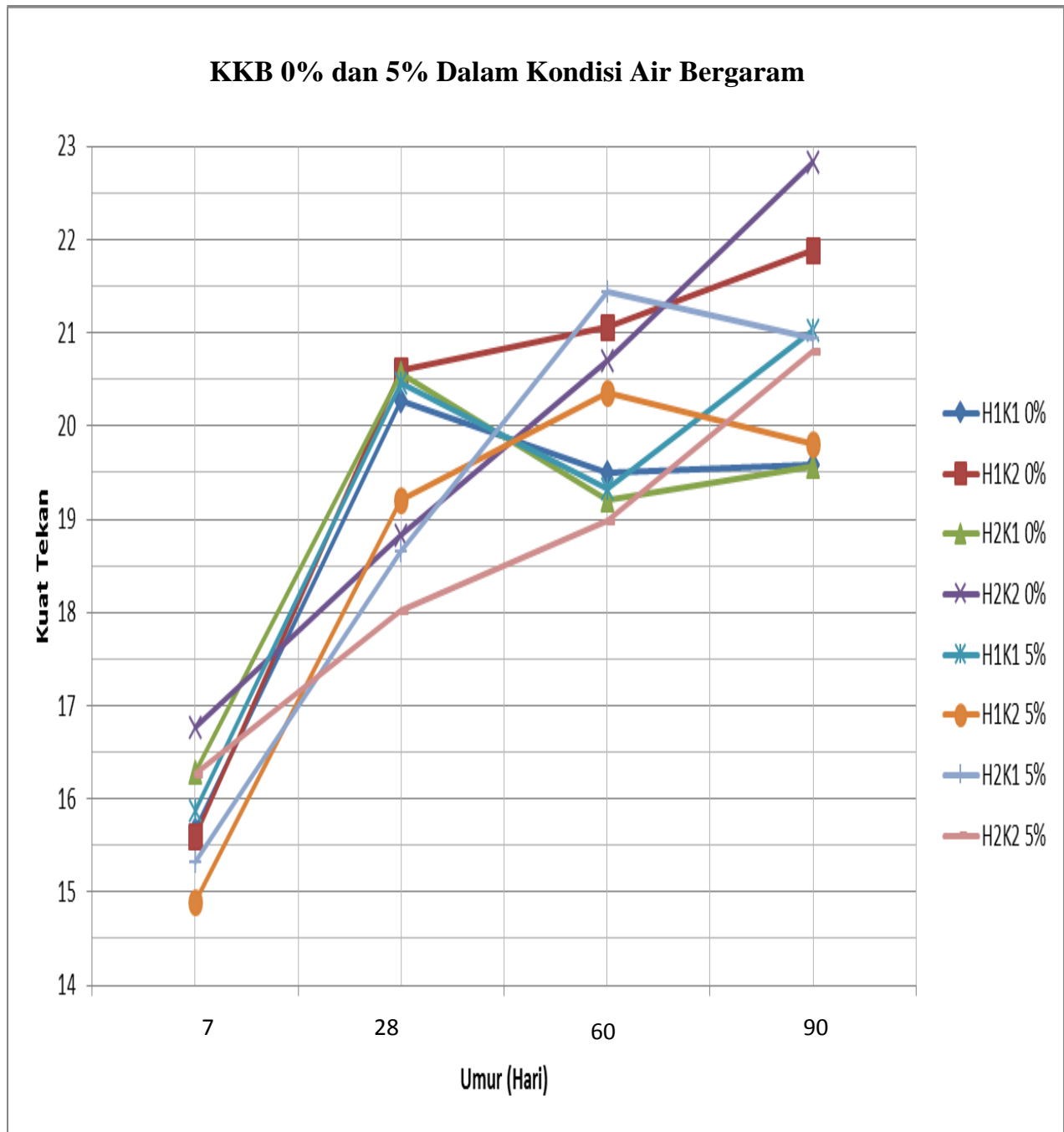
Gambar 27. Grafik Uji *Hammer Test* KKB 5% di air normal



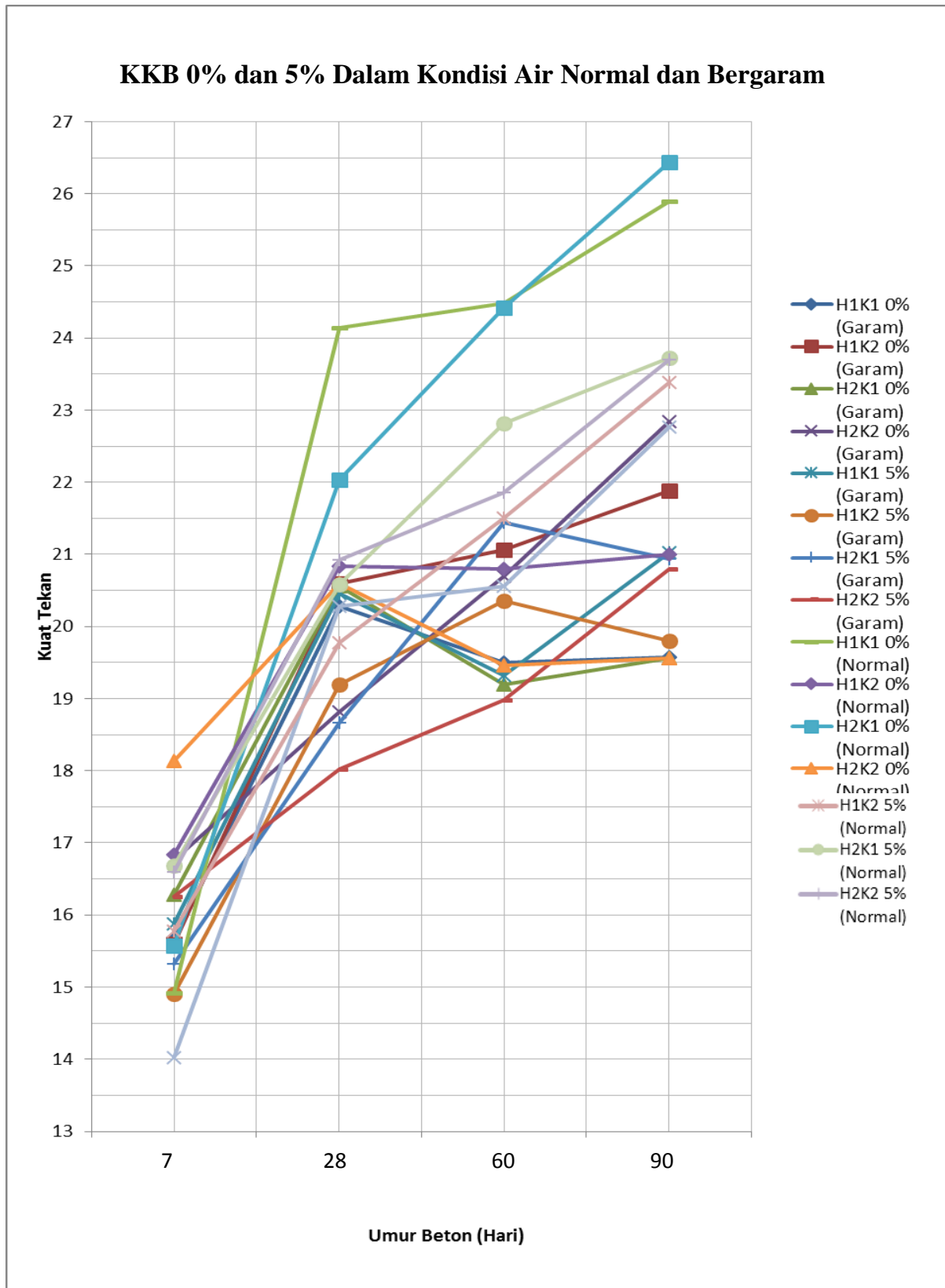
Gambar 28. Grafik Uji *Hammer Test* KKB 5% di air bergaram (25%)



Gambar 29. Grafik Uji *Hammer Test* KKB 0% dan 5% di air normal



Gambar 30. Grafik Uji *Hammer Test* KKB 0% dan 5% di air bergaram



Gambar 31. Grafik Uji *Hammer Test* KKB 0% & 5% di air normal dan bergaram
(25%)

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan analisa data dan pembahasan, diperoleh beberapa kesimpulan, diantaranya yaitu :

1. Kuat tekan tertinggi pada usia 90 hari diperoleh dari benda uji dengan notasi H2K1 0% (normal). Dengan nilai kuat tekan 26,44 MPa.
2. Kuat tekan terendah pada usia 90 hari diperoleh dari benda uji dengan notasi H2K1 0% (garam). Dengan nilai kuat tekan 19,56 MPa.
3. Perendaman dengan air bergaram berpengaruh terhadap nilai kuat tekan benda uji, beton yang direndam dengan air bergaram memiliki kecenderungan kuat tekannya rendah.
4. Penggunaan KKB dengan kadar 5% dari jumlah semen relatif tidak terlalu berpengaruh terhadap kuat tekan benda uji, jadi 5% KKB dapat digunakan sebagai *substitusi* sebagian semen.

B. Saran

1. Perlu adanya variasi sisa limbah yang digunakan dalam pembuatan kalsium karbonat buatan.
2. Perlu dilakukan penelitian yang berkesinambungan untuk mencapai usia tertentu benda uji.
3. Agar hasil penelitian lebih baik, perlu lebih banyak sampel benda uji untuk masing-masing varian benda uji. (>10 benda uji)
4. Perlu adanya pengujian awal menggunakan mesin tekan sebagai komparasi pengujian *hammer test*.

DAFTAR PUSTAKA

- SK SNI T-15-1990-03. 1990. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*.
- SNI 03-1969-2008. 2008. *Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*
- SNI-S-04-1989-F. 1989. *Persyaratan Bahan Umum Bangunan*. Bandung: *Yayasan LPMB*.
- SNI-03-4430-1997. 1997. *Metode Pengujian Elemen Struktur dengan Alat Palu Beton Tipe R dan NR*
- Samekto, Wuryati. 2001. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Kanisius
- Tjokrodinuljo, Kardiyono. 2007. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Gadjah Mada.
- Wijaya, Deny. 2012. *Kajian Kuat Tekan Beton Dengan Kalsium Karbonat Sebagai Substitusi Sebagian Portland Cement*. Yogyakarta: Perpustakaan Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan UNY.
- Septianto, Dwi. 2012. *Kuat Tekan Beton Dengan Kalsium Karbonat Buatan di Lingkungan Air Laut*
- Solikhah, Nur. 2012. *Kajian Kalsium Karbonat Buatan Pada Kuat Tekan Beton di Lingkungan Air Bergaram*.
- Widanka, Buyung W. 2012. *Kajian Kuat Tekan Beton Dengan Kalsium Karbonat Buatan Sebagai Replacement Sebagian Portland Cement*

Putra, Galang T. 2013. Kajian Kuat Tekan Beton Dengan Kalsium Karbonat Buatan Sebagai Substitusi Sebagian *Portland Cement* di Lingkungan Air Laut

Ginting, Reanata K. 2013 Kajian Kuat Tekan Beton Dengan Kalsium Karbonat Sebagai *Replacement* Sebagian *Portland Cement* Pada Lingkungan Ait Bergaram

Cahyono, Dodot. 2013. Kajian Kuat Tekan Beton Dengan Kalsium Karbonat Sebagai *Replacement* Sebagian *Portland Cement* Pada Lingkungan Air Bergaram.

Handaka, R. Bayu. 2014. Kajian Kuat Tekan Beton Berkalsium Karbonat Buatan Dengan Agregat Kasar Keausan Rendah di Lingkungan Laut.