



**PENGARUH TIPE SEMEN TERHADAP UMUR KUAT
LENTUR BETON DI LINGKUNGAN YANG MERUSAK**
PROYEK AKHIR

Diajukan Kepada Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta

Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan

guna Memperoleh Gelar Ahli Madya



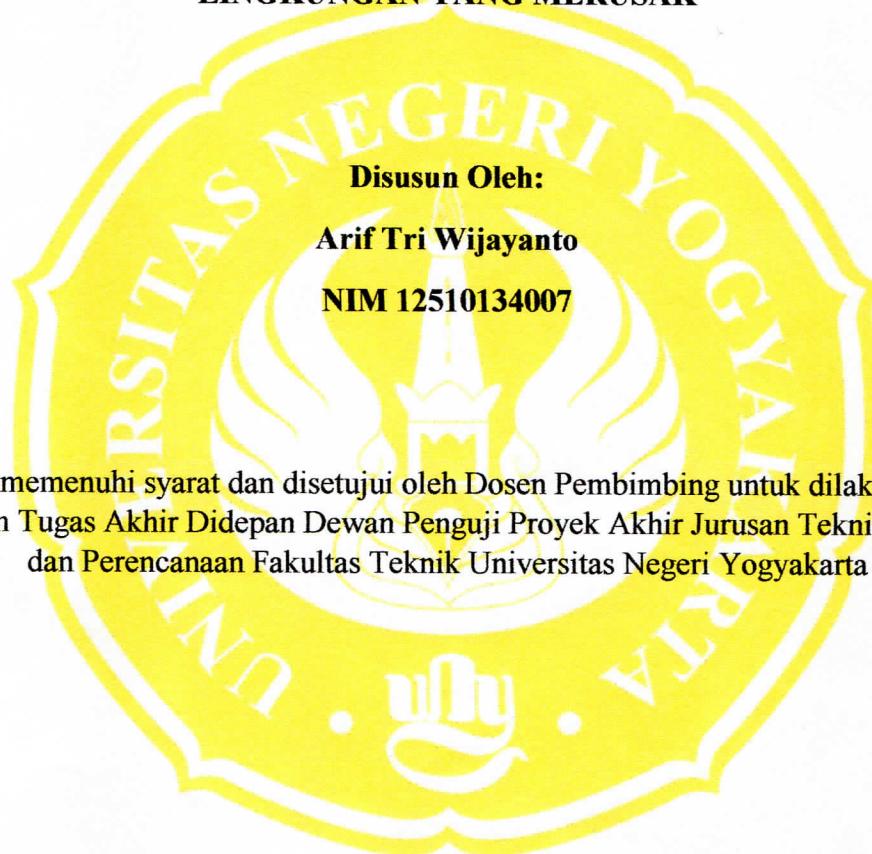
Oleh:
Arif Tri Wijayanto
NIM 12510134007

PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS TEKNIK YOGYAKARTA
2016

HALAMAN PERSETUJUAN

Proyek Akhir yang berjudul

PENGARUH TIPE SEMEN TERHADAP KUAT LENTUR BETON DI LINGKUNGAN YANG MERUSAK



Telah memenuhi syarat dan disetujui oleh Dosen Pembimbing untuk dilaksanakan
Ujian Tugas Akhir Didepan Dewan Pengaji Proyek Akhir Jurusan Teknik Sipil
dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta

Yogyakarta, juni 2016

Dosen Pembimbing,

Pramudiyanto, S.Pd.T.,M.Eng.
NIP. 19790211 200501 1 001

**HALAMAN PENGESAHAN
PROYEK AKHIR**

**PENGARUH TIPE SEMEN TERHADAP UMUR KUAT LENTUR BETON
DI LINGKUNGAN YANG MERUSAK**

Dipersiapkan dan disusun oleh:

**Arif Tri Wijayanto
12510134007**

Telah Dipertahankan di depan Tim Penguji Proyek Akhir Jurusan Pendidikan
Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Negeri Yogyakarta

Pada Tanggal Juni 2016

SUSUNAN DEWAN PENGUJI

Jabatan	Nama Lengkap	Tanda Tangan
1. Ketua Penguji	Pramudiyanto, S.Pd.T., M.Eng	
2. Penguji Utama I	Drs. Pusoko Prapto, MT.	
3. Penguji Utama II	Faqih Ma'arif, S.Pd.T., M.Eng	

Yogyakarta, Juli 2016
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Negeri Yogyakarta,


DR. Widarto, M.Pd.
NIP. 19631230 198812 1 001 

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Arif Tri Wijayanto
NIM : 12510134007
Progam Studi : Teknik Sipil
Judul : Pengaruh Tipe Semen Terhadap Umur Kuat Lentur Beton
Di Lingkungan Yang Merusak

Menyatakan bahwa dalam proyek akhir ini belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar Ahli Madya atau gelar lainnya di sebuah Perguruan Tinggi. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat orang yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali sebagai acuan dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, Juni 2016

Arif Tri Wijayanto
NIM. 12510134007

MOTTO

*Sesungguhnya Allah tidak mengubah keadaan sesuatu
kaum sehingga mereka mengubah keadaan yang ada
pada diri mereka sendiri*

(QS. Ar-Rad 13:11)

*Jangan berhenti untuk bermimpi, jangan berhenti untuk
berharap, jangan berhenti untuk berubah, selama nafas
masih ada, tetaplah berusaha*

(Nazril Ilham)

PERSEMPAHAN

Terucap syukur di seiap langkahku kepada Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya kupersembahkan karya kecilku ini untuk

Kedua orang tuaku tercinta, Timbul Rahyudi (alm) dan Febriyani, yang tiada henti-hentinya mencerahkan kasih saying, serta iringan do'a yang tiada hentinya engkau panjatkan disetiap sujudmu....

Adikku Zul Fikar Ali Rahman, tetap semangat untuk menggapai semua impian dan cita-citamu...

Keluarga dan kerabat tercinta yang tiada hentinya memberikan motivasi dan bimbingan kepada saya

Almamaterku Universitas Negeri Yogyakarta

PENGARUH TIPE SEMEN TERHADAP UMUR KUAT LENTUR BETON DI LINGKUNGAN YANG MERUSAK

Oleh

Arif Tri Wijayanto
NIM 12510134007

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perilaku tipe semen terhadap umur kuat lentur beton berada di lingkungan yang merusak. Setelah proses perawatan, beton direndam dengan larutan NaCl 3% dan pada baja tulangan diberi tegangan sebesar 6 volt.

Pengujian ini menggunakan tipe semen PCC dan tipe semen PPC dengan kuat tekan rencana 25 MPa yang merupakan kuat tekan minimum pada umur beton 28 hari. Pengujian menggunakan variasi umur 7 hari, 14 hari, 28 hari, 56 hari, dan 112 hari menggunakan metode elektrokimia dengan cara mengalirkan tegangan dari *power supply* ke baja tulangan. Benda uji yang di buat berupa balok dengan panjang 500 mm, lebar 100 mm dan tinggi 100 mm dengan jumlah setiap tipe semen 20 benda uji. Baja tulangan berada pada posisi tulangan tarik. Pengujian kuat lentur menggunakan metode *four point bending*.

Hasil kuat tekan beton pada umur 28 hari didapatkan tipe semen PCC sebesar 38,34 MPa dan tipe semen PPC sebesar 38,61 MPa. Hasil kuat lentur beton dengan kuat tekan 38,34 MPa umur 7 hari didapatkan hasil 7,98 MPa, 7,13 MPa, 5,45 MPa, 8,51 MPa, umur 14 hari didapatkan hasil 7,74 MPa, 9,61 MPa, 8,73 MPa, 10,08 MPa, umur 28 hari didapatkan hasil 10,58 MPa, 8,87 MPa, 9,69 MPa, 7,03 MPa, umur 56 hari didapatkan hasil 8,56 MPa, 12,10 MPa, 11,56 MPa, 7,73 MPa, umur 112 hari didapatkan hasil 10,70 MPa, 8,42 MPa, 6,73 MPa, 12,37 MPa. Hasil kuat lentur beton dengan kuat tekan 38,61 MPa umur 7 hari didapatkan hasil 6,65 MPa, 7,38 MPa, 8,52 MPa, 8,57 MPa, umur 14 hari didapatkan hasil 10,30 MPa, 7,54 MPa, 9,04 MPa, 6,45 MPa, umur 28 hari didapatkan hasil 9,04 MPa, 11,36 MPa, 9,42 MPa, 5,51 MPa, umur 56 hari didapatkan hasil 11,58 MPa, 12,60 MPa, 12,38 MPa, 7,52 MPa, umur 112 hari didapatkan hasil 10,25 MPa, 10,67 MPa, 10,91 MPa, 11,09 MPa. Hasil penelitian menunjukkan tipe semen PCC dan PPC pada pengujian kuat lenturnya mengalami peningkatan dan baja tulangan tidak terkorosi.

Kata kunci: Semen, kuat lentur, baja tulangan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah serta karunia-Nya berupa kesehatan dan rasa nikmat yang tiada terbalaskan, sehingga penulis dapat menyelesaikan Proyek Akhir dengan judul **PENGARUH TIPE SEMEN TERHADAP UMUR KUAT LENTUR BETON DI LINGKUNGAN YANG MERUSAK**

Proyek Akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Ahli Madya Teknik pada Program Studi Diploma III Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.

Penulis sangat menyadari bahwa dalam penulisan Proyek Akhir ini tidak akan dapat selesai tanpa bantuan yang diberikan dari pihak, baik berupa bimbingan, motivasi, dorongan, kerjasama, fasilitas maupun kemudahan lainnya. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan penghargaan setinggi-tingginya dan ucapan terimakasih kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis mampu bertahan dan tetap maju.
2. Bapak Timbul Rahyudi (alm) dan Ibu Febriyani, yang telah mendidik dan mengantarkanku sampai pendidikan setinggi ini.
3. Bapak Pramudiyanto, S.Pd.T.,M.Eng., selaku Dosen Pembimbing Proyek Akhir yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penulisan Laporan Proyek Akhir ini.
4. Bapak Drs. Pusoko Prapto, M.T., selaku Penguji yang telah banyak memberikan saran dalam penyelesaian tugas akhir.
5. Bapak Faqih Ma’arif, M.Eng., selaku Penguji yang telah meluangkan waktu untuk berdiskusi dan banyak memberikan pengetahuan dalam penyelesaian tugas akhir.
6. Drs. H. Lutjito, M.T. selaku Koordinator Laboratorium Hidrolik PT. Sipil dan Perencanaan FT UNY, yang telah memberikan izin tempat untuk penulis melakukan pengujian.

7. Sativa, S.T.,M.T., selaku Pembimbing Akademik.
8. Dr. Widarto, M.Pd., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta.
9. Drs. Darmono, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Yogyakarta.
10. Sudarman, S.T., selaku Teknisi Laboratorium Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Negeri Yogyakarta yang telah membantu selama penelitian.
11. Rekan-rekan TIM Tugas Akhir yang berkerjasama menyelesaikan penelitian ini Adik Garjita Putra N, Yusuf yanuar, Richo Agus S, Indira Noviola R, Retno Apriyanti, Kiki Nurahmawati, dan Alfi W serta teman-teman kelas C angkatan 2012 Teknik Sipil D3 FT UNY.
12. Keluarga Kos Pringgading, Adik, Agus, Anton, Dicky, Bhrahma, Fikri, dan Hida, yang telah memberikan semangat, motivasi, dan do'a.
13. Semua dosen dan staff Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan FT UNY, serta semua pihak yang terlibat dalam pembuatan Proyek Akhir yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa isi dari Proyek Akhir ini masih banyak kekurangannya. Untuk itu penulis mengharapkan adanya kritik, saran, dan masukan yang membangun demi kesempurnaan Proyek Akhir ini. Semoga Proyek Akhir ini dapat dipergunakan sebagai salah satu acuan, petunjuk maupun pedoman bagi pembaca dan bermanfaat bagi semua khususnya untuk saya sebagai penulis.

Yogyakarta, Juni 2016

Arif Tri Wijayanto

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
SURAT PERNYATAAN	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMAHAN	vi
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xx
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah.....	4
C. Batasan Masalah.....	4
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	6
BAB II. KAJIAN TEORI	7
A. Beton dan Penyusunnya	7

1. Semen	8
a. Semen portland komposit (PCC)	8
b. Semen portland pozolon (PPC).....	8
2. Agregat	9
a. Agregat halus	10
b. Agregat kasar	11
3. Air.....	13
4. Bahan Tambah.....	14
B. Sifat-sifat Beton.....	15
1. Sifat beton segar	15
2. Sifat beton keras	16
C. Beton bertulang	20
D. Korosi Baja Tulangan.....	21
E. Penelitian Relevan.....	32
BAB III. METODE PENELITIAN	38
A. Metode Proyek Akhir	38
B. Variabel Penelitian	38
1. Variabel Bebas.....	38
2. Variabel Terikat.....	38
3. Variabel Kontrol.....	39
C. Jumlah Benda Uji	40
D. Alat	40
E. Bahan	47

F. Pengujian dan Analisis Data.....	51
G. Pembuatan Benda Uji.....	73
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	88
A. Hasil Pengujian.....	88
1. Pengujian Semen.....	88
2. Pengujian Agregat Halus.....	88
3. Pengujian Agregat Kasar.....	93
4. Pengujian Air	96
5. Proporsi Camputan (<i>Mix Design</i>)	96
6. Kuat Tekan Beton	97
7. Kuat Lentur Beton.....	98
8. Baja Tulangan	103
9. Pola Retak	104
B. Pembahasan.....	110
1. Pengujian Semen	110
2. Pengujian Agregat Halus.....	110
3. Pengujian Agregat Kasar.....	113
4. Pengujian Air.....	115
5. Proporsi Camputan (<i>Mix Design</i>)	115
6. Kuat Tekan Beton.....	116
7. Kuat Lentur Beton	117
8. Baja Tulangan.....	121
9. Pola Retak.....	123

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN	124
A. Simpulan	124
B. Saran.....	125
C. Keterbahasan Hasil Penelitian	125
DAFTAR PUSTAKA	127

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Reaksi anodik, katodik, oksidasi dan hidrasi pada baja tulangan ...	25
Gambar 2. Balok spesimen uji korosi	30
Gambar 3. Tampak samping balok spesimen uji korosi	31
Gambar 4. Variabel penelitian	39
Gambar 5. Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram	41
Gambar 6. Timbangan dengan ketelitian 1 gram	41
Gambar 7. Timbangan.....	42
Gambar 8. Gelas ukur	42
Gambar 9. Oven	43
Gambar 10. Ayakan agregat halus	43
Gambar 11. Ayakan agregat kasar	43
Gambar 12. Bejana.....	44
Gambar 13. Jangka sorong.....	44
Gambar 14. Mesin Los Angeles.....	45
Gambar 15. Mesin pengaduk	45
Gambar 16. Kerucut Abrams	45
Gambar 17. Cetakan beton.....	46
Gambar 18. Bak perendaman	46
Gambar 19. Karung goni.....	47

Gambar 20. Uji garam.....	47
Gambar 21. Semen PCC	48
Gambar 22. Agregat halus.....	48
Gambar 23. Agregat kasar.....	48
Gambar 24. Air.....	49
Gambar 25. Besi tulangan polos diameter 8 mm dan panjang 500 mm	49
Gambar 26. kabel	50
Gambar 27. NaCl	50
Gambar 28. Aquades.....	50
Gambar 29. Diagram alir penelitian.....	52
Gambar 30. Pasir SSD	56
Gambar 31 keadaan air dalam agregat	62
Gambar 32. Grafik faktor air semen	66
Gambar 33. Ketentuan untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat.....	67
Gambar 34. Ketentuan minimum untuk beton bertulang kedap air	68
Gambar 35. Agregat maksimum	71
Gambar 36. Berat jenis beton.....	72
Gambar 37. SSD agregat halus	73
Gambar 38. SSD agregat kasar	73

Gambar 39. Menimbang agregat	73
Gambar 40. Menakar air	74
Gambar 41. Persiapan cetakan	74
Gambar 42. Memasukan agregat halus	75
Gambar 43. Memasukan agregat kasar	75
Gambar 44. Memasukan semen	75
Gambar 45. Memasukkan air	76
Gambar 46. Menuang adukan beton	76
Gambar 47. Pengukuran slump	77
Gambar 48. Pemadatan benda uji.....	78
Gambar 49. Pembongkaran benda uji	78
Gambar 50. Perawatan beton	79
Gambar 51. Bubuk belerang	79
Gambar 52. Memasak bubuk belerang.....	80
Gambar 53. Penuangan cairan belerang.....	80
Gambar 54. Hasil capping.....	80
Gambar 55. Uji tekan	81
Gambar 56. Benda uji balok	81
Gambar 57. Set-up penelitian.....	81
Gambar 58. Penggambaran BMD dengan cara grafis.....	84

Gambar 59. Penampang dan diagram regangan pada balok	85
Gambar 60. Garis-garis perletakan dan pembebanan	86
Gambar 61. Pengujian kuat lentur.....	86
Gambar 62. Grafik Modulus Kehalusan Butir	92
Gambar 63. Grafik kuat lentur dengan mutu beton 38,34 MPa.....	99
Gambar 64. Grafik kuat lentur dengan mutu beton 38,61 Mpa	101
Gambar 65. Grafik pengujian kuat lentur beton tipe PCC dan PPC	102

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Batas gradasi agregat halus	11
Tabel 2. Batas gradasi agregat kasar	12
Tabel 3. Jumlah benda uji	40
Tabel 4. Nilai deviasi standar.....	64
Tabel 5. Penetapan nilai slum (cm).....	68
Tabel 6. Perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton (liter)	69
Tabel 7. Kebutuhan semen minimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus.....	70
Tabel 8. Data pengujian agregat halus	89
Tabel 9. Hasil uji kadar air pasir alami	89
Tabel 10. Hasil uji kadar air pasir SSD.....	90
Tabel 11. Hasil uji kadar lumpur pasir alami	90
Tabel 12. Hasil uji berat jenis agregat halus SSD	91
Tabel 13. Hasil uji bobot isi agregat halus	91
Tabel 14. Data pengujian modulus kehalusan butir (MKB)	92
Tabel 15. Data pengujian agregat kasar	93
Tabel 16. Hasil uji kadar air alami	93
Tabel 17. Hasil uji kadar air SSD.....	94
Tabel 18. Hasil uji kadar lumpur agregat kasar	94

Tabel 19. Hasil uji berat jenis agregat kasar	95
Tabel 20. Hasil uji bobot isi agregat kasar.....	96
Tabel 21. Hasil uji keausan agregat kasar.....	96
Tabel 22. Mix design dengan mutu beton 25 MPa	96
Tabel 23. Data pengujian kuat tekan beton tipe semen PCC	97
Tabel 24. Data pengujian kuat tekan beton tipe semen PPC.....	97
Tabel 25. Data pengujian kuat lentur beton tipe semen PCC	98
Tabel 26. Data pengujian kuat lentur beton tipe semen PPC.....	99
Tabel 27. Data pengujian kuat lentur beton	101
Tabel 28. Selisih berat baja tulangan menggunakan tipe semen PCC	100
Tabel 29. Selisih berat baja tulangan menggunakan tipe semen PPC.....	100
Tabel 30. Pola retak beton menggunakan tipe semen PCC	104
Tabel 31. Pola retak beton menggunakan tipe semen PPC	107

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Pengujian kadar air agregat halus SSD
- Lampiran 2. Pengujian bobot isi gembur agregat halus
- Lampiran 3. Pengujian berat jenis agregat halus SSD
- Lampiran 4. Pengujian kadar lumpur agregat halus
- Lampiran 5. Pengujian bobot isi gembur agregat kasar
- Lampiran 6. Pengujian modulus kehalusan butir agregat halus
- Lampiran 7. Pengujian kadar air agregat kasar alami
- Lampiran 8. Pengujian kadar air agregat kasar SSD
- Lampiran 9. Pengujian berat jenis agregat kasar SSD
- Lampiran 10. Pengujian kadar lumpur agregat kasar
- Lampiran 11. Pengujian keausan agregat kasar
- Lampiran 12. Pengujian kuat tekan beton
- Lampiran 13. Pengujian kuat lentur beton
- Lampiran 14. Perencanaan mix design dengan mutu beton 25 MPa

BAB 1

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Beton bertulang merupakan konstruksi yang begitu populer pada saat ini, sifat kuat tekan beton yang tinggi dan kuat tarik baja tulangan yang kuat membuat beton bertulang lebih mudah diaplikasikan ke semua konstruksi. Tidak hanya dari kekuatan saja, harga material yang murah, mudah dicari dan mudah dibentuk, membuat konstruksi beton bertulang sering digunakan dibandingkan dengan konstruksi yang lain. Oleh karena itu konstruksi bangunan gedung, bangunan air, jalan, dan jembatan baik struktur utama maupun pelengkap hampir keseluruhan menggunakan beton bertulang.

Dalam penggunaannya konstruksi beton bertulang sebagian besar berhubungan langsung dengan lingkungan, baik lingkungan yang normal maupun lingkungan yang merusak. Untuk lingkungan yang normal konstruksi beton tidak memerlukan perawatan yang khusus, dikarenakan lingkungan yang normal tidak berpotensi menurunkan kualitas struktur beton karena tidak ada bahan-bahan yang berbahaya yang bisa bereaksi buruk terhadap beton.

Pada lingkungan yang merusak beton membutuhkan perawatan secara khusus, karena pada lingkungan yang merusak terdapat bahan-bahan yang bereaksi buruk pada beton bertulang, diantaranya asam sulfat (di daerah pertambangan), klorida (di daerah lingkungan yang berdekatan maupun berhubungan langsung dengan air laut), suhu yang rendah (daerah di bawah titik beku), dan lain sebagainya.

Salah satu bentuk lingkungan yang merusak berupa serangan klorida (NaCl) merupakan bentuk serangan yang sering terjadi pada saat konstruksi bersentuhan langsung maupun tidak bersentuhan langsung dengan air laut. Ini menyebabkan terjadinya penurunan kualitas beton bertulang. yang paling berpengaruh terhadap penurunan kualitas adalah baja tulangan, ini disebabkan karena baja melepas elektron dan keberadaan air yang melepas hidroksida maka dinamakan dengan korosi.

Kedua komponen membentuk besi hidrosida yang bereaksi lebih lanjut menjadi kerak. Kerak yang terbentuk pada saat terjadinya korosi memiliki volume yang lebih besar dari volume besi awal (terjadi penambahan ion oksigen dan hydrogen sehingga volume bertambah), kondisi inilah yang mendorong struktur dan mengakibatkan retak pada beton. celah menjadi terbuka yang memungkinkan masuknya klorida dalam poros baja dan memperparah korosi. Jika sampai pada kondisi ini, reaksi akan terus berlanjut dan merusak beton. kerusakan lain yang terjadi pada beton bertulang adalah berupa pengecilan luas penampang dari baja tulangan dan menurunnya kualitas dari baja tulangan tersebut. Dengan menurunnya kualitas baja akibat korosi tersebut tentu saja akan mempengaruhi kekuatan beton yang diperkuatnya.

Korosi baja tulangan merupakan penyebab utama terjadinya kegagalan konstruksi beton bertulang, dikarenakan sudah tidak ada keseimbangan kuat tekan pada beton dan kuat tarik pada baja tulangan. Akibatnya kerugian biaya yang sangat besar karena harus memperbaiki atau mengganti kerusakan.

Menurut Klinghoffer *et al* dalam Pramudiyanto (2011) sebuah estimasi dari Amerika Serikat menyatakan bahwa kerusakan pada jembatan beton bertulang dan tempat parkir karena *de-icing* garam berkisar antara 325-1000 euro per tahun. Sedangkan di Inggris, Departemen Transportasi Mengestimasikan total biaya yang digunakan untuk perbaikan mencapai 1 juta euro “hanya” karena korosi yang terjadi pada jembatan. Jembatan ini merepresentasikan sekitar 10% dari inventaris total yang dimiliki oleh negara Inggris.

Walaupun dalam proses serangan klorida pada konstruksi beton bertulang memerlukan waktu yang begitu lama, akan tetapi serangan klorida sangat merepotkan karena baja tulangan merupakan sebuah bahan yang tidak dapat diperbaiki kembali setelah terkena serangan klorida. Pemilihan bahan, seperti tipe semen dapat mengurangi atau memperlambat terjadinya korosi pada baja tulangan.

Menurut SNI 15-7064-2004 semen portland komposit merupakan bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35 % dari massa semen portland komposit. Menurut SNI 15-0302-2004 semen portland pozolan merupakan suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen portland dengan pozolan halus, yang di produksi dengan menggiling klinker semen portland dan

pozolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dengan bubuk pozolan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozolan 6 % sampai dengan 40 % massa semen portland pozolan. Pemilihan tipe semen seperti tipe semen PCC dan tipe semen PPC dalam penelitian ini berfungsi untuk mengetahui pengaruh karakteristik tipe semen agar dapat diketahui tipe semen yang sesuai dilingkungan yang merusak. Untuk mengurangi estimasi biaya yang dikeluarkan, perlu diketahui tipe semen yang sesuai pada lingkungan yang akan dibangun.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang ada, dapat diidentifikasi suatu permasalahan sebagai berikut:

1. Belum diketahui hasil pengujian kuat lentur beton yang menggunakan tipe semen PCC dan tipe semen PPC pada lingkungan yang merusak.
2. Belum diketahui pengaruh korosi baja tulangan terhadap NaCl 3% dengan varian umur beton.
3. Bagaimana pengaruh penggunaan tipe semen PCC dan tipe semen PPC di lingkungan yang merusak.

C. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini dibatasi oleh beberapa hal, antara lain:

1. Kuat tekan beton yang direncanakan 25 MPa.
2. Agregat halus yang digunakan berasal dari pasir kali progo.
3. Agregat kasar yang digunakan berasal dari gunung merapi.
4. Hasil keausan agregat kasar tidak memenuhi syarat SNI 03-2461-2002.

5. Semen yang digunakan adalah tipe semen PCC jenis normal dan tipe semen PPC jenis IP-U.
6. Baja tulangan yang digunakan polos diameter 8 mm dan panjang 500 mm.
7. Penggunaan garam menggunakan NaCl Pure Analized sebanyak 3%.
8. Umur pengujian selama 7 hari, 14 hari, 28 hari, 56 hari, dan 112 hari.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan masalah yang dapat dijadikan sebagai pokok permasalahan pada penelitian ini sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil pengujian kuat lentur beton yang menggunakan tipe semen PCC dan tipe semen PPC pada lingkungan yang merusak?
2. Bagaimana pengaruh korosi baja tulangan terhadap NaCl 3% dengan varian umur beton?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan tipe semen PCC dan tipe semen PPC di lingkungan yang merusak?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui hasil pengujian kuat lentur beton yang menggunakan tipe semen PCC dan tipe semen PPC pada lingkungan yang merusak.
2. mengetahui pengaruh korosi baja tulangan terhadap NaCl 3% dengan varian umur beton.
3. mengetahui pengaruh penggunaan tipe semen PCC dan tipe semen PPC di lingkungan yang merusak.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui hasil kuat lentur beton dengan menggunakan tipe semen PCC dan tipe semen PPC di lingkungan yang merusak.
2. Dapat menjadi bahan pertimbangan untuk penilitian lebih lanjut dalam bidang teknologi beton.

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Beton dan Penyusunnya

Beton adalah campuran dari agregat halus dan agregat kasar (pasir, kerikil, batu pecah, atau sejenis agregat lain) dengan semen, yang dipersatukan dengan air dalam perbandingan tertentu. Beton juga dapat didefinisikan sebagai bahan bangunan dan kontruksi yang sifat-sifatnya dapat ditentukan terlebih dahulu dengan mengadakan perencanaan dan pengawasan yang teliti terhadap bahan-bahan yang dipilih (Wuryati dan Candra, 2001).

Pemilihan bahan juga berpengaruh terhadap lokasi, tidak semua lokasi memiliki karakteristik bahan yang sama, maka perlu adanya pengetahuan mengenai karakteristik masing-masing bahan untuk bisa dibuat sebagai penyusun beton, karena beton pada dasarnya tersusun dari semen, agregat dan air. Jika diperlukan dapat juga ditambah dengan bahan tambah (admixture) untuk mengubah sifat-sifat tertentu dari beton tersebut. Bahan penyusun beton mempunyai fungsi dan pengaruh yang berbeda-beda sesuai dengan perancangan beton yang diinginkan.

Hasil perancangan beton (*mix design*) sangat penting untuk melihat berapa komposisi campuran beton, dan mendapatkan nilai kekuatan dari struktur yang telah direncanakan serta dapat memenuhi aspek ekonomis. Metode perancangan ini pada dasarnya menentukan komposisi dari bahan-bahan penyusun beton untuk kinerja tertentu yang diharapkan.

1. Semen

a. Semen portland komposit (PCC)

Menurut SNI 15-7064-2004 semen portland komposit merupakan bahan pengikat hidrolis hasil penggilingan bersama-sama terak semen portland dan gips dengan satu atau lebih bahan anorganik, atau hasil pencampuran antara bubuk semen portland dengan bubuk bahan anorganik lain. Bahan anorganik tersebut antara lain terak tanur tinggi (*blast furnace slag*), pozolan, senyawa silikat, batu kapur, dengan kadar total bahan anorganik 6% - 35 % dari massa semen portland komposit.

b. Semen portland pozolon (PPC)

Menurut SNI 15-0302-2004 semen portland pozolon merupakan suatu semen hidrolis yang terdiri dari campuran yang homogen antara semen portland dengan pozolan halus, yang di produksi dengan menggiling klinker semen portland dan pozolan bersama-sama, atau mencampur secara merata bubuk semen portland dengan bubuk pozolan, atau gabungan antara menggiling dan mencampur, dimana kadar pozolan 6 % sampai dengan 40 % massa semen portland pozolan.

Pozolan merupakan bahan yang mengandung silika atau senyawanya dan alumina, yang tidak mempunyai sifat mengikat seperti semen, akan tetapi dalam bentuknya yang halus dan dengan adanya air, senyawa tersebut akan bereaksi secara kimia dengan

kalsium hidroksida pada suhu kamar membentuk senyawa yang mempunyai sifat seperti semen

Jenis dan penggunaan semen PPC

- 1) Jenis IP-U yaitu semen portland pozolan yang dapat dipergunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan beton
- 2) Jenis IP-K yaitu semen portland pozolan yang dapat dipergunakan untuk semua tujuan pembuatan adukan beton, semen untuk tahan sulfat sedang dan panas hidrasi sedang.
- 3) Jenis P-U yaitu semen Portland pozolan yang dapat dipergunakan untuk pembuatan beton dimana tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi.
- 4) Jenis P-K yaitu semen Portland pozolan yang dapat dipergunakan untuk pembuatan beton dimana tidak disyaratkan kekuatan awal yang tinggi, serta untuk tahan sulfat sedang dan panas dehidrasi rendah.

2. Agregat

Agregat adalah butiran mineral alami yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar atau beton. Agregat ini kira-kira menempati sebanyak 70% volume mortal atau beton. Walaupun namanya hanya sebagai bahan pengisi, akan tetapi agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat mortal/betonnya, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian penting dalam pembuatan mortal/beton.

(Tjokrodimuljo, 2004)

Menurut Wuryati dan Candra (2001) ditinjau dari besar butirnya, maka agregat dibedakan menjadi tiga, yaitu:

a. Agregat halus

Agregat halus adalah agregat yang semua butirannya menembus ayakan dengan lubang 4,8 mm. Agregat halus dalam beton berfungsi sebagai pengisi rongga-rongga agregat kasar

Penggunaan agregat dalam penggunaanya harus memenuhi persyaratan yang telah ditentukan agar diperoleh beton yang baik.

Menurut SK SNI S-04-1989-F (Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A), agregat untuk bahan bangunan sebaiknya dipilih yang memenuhi syarat sebagai berikut (kecuali agregat khusus, misalnya: agregat ringan, dan sebagainya).

- 1) Butir-butirnya tajam dank eras, dengan indeks kekerasan $\leq 2,2$
- 2) Kekal, tidak mudah pecah tau hancur oleh pengaruh cuaca (terik panas dan hujan). Jika diuji dengan larutan garam natrium sulfat bagian yang hancur 12% dan diuji dengan garam magnesium sulfat bagian yang hancur maksimal 18%.
- 3) Tidak mengandung lumpur lebih dari 5%.
- 4) Tidak mengandung zat organic yang terlalu banyak, yang dibuktikan dengan larutan 3% NaOH, yaitu warna cairan di atas endapan agregat halus tidak boleh lebih gelap daripada warna standar/pembanding.

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

Menurut SNI 03-2834-1992 agregat halus dikelompokan dalam empat zone (daerah) seperti pada Tabel 2.1.

Tabel 1. Batas gradasi agregat halus

Lubang Ayakan (mm)	Per센 Berat Butir yang Lewat Ayakan			
	Zone I	Zone II	Zone III	Zone IV
9,6	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Keterangan:

Zone I = Pasir Kasar Zone III = Pasir Agak Halus

Zone II = Pasir Agak Kasar Zone IV = Pasir Halus

b. Agregat kasar

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

Menurut SK SNI S-04-1989-F (Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A), agregat untuk bahan bangunan sebaiknya dipilih yang

memenuhi syarat sebagai berikut (kecuali agregat khusus, misalnya: agregat ringan, dan sebagainya).

- 1) Butir-butirnya keras dan tidak berpori. Indek kekerasan $\leq 5\%$
- 2) Kekal, tidak mudah pecah tau hancur oleh pengaruh cuaca (terik panas dan hujan). Jika diuji dengan larutan garam natrium sulfat bagian yang hancur 12% dan diuji dengan garam magnesium sulfat bagian yang hancur maksimal 18%.
- 3) Tidak mengandung lumpur lebih dari 1%.
- 4) Tidak boleh mengandung zat-zat reaktif terhadap alkali.
- 5) Butiran agregat yang pipih dan panjang tidak boleh lebih dari 20%.
- 6) Modulus halus butir antara 6-7,10 dan dengan variasi butir sesuai dengan gradasi.
- 7) Ukuran butir maksimal tidak boleh lebih dari: 1/5 jarak terkecil antara bidang-bidang samping cetakan, 1/3 tebal pelat beton, $\frac{3}{4}$ jarak bersih antar tulangan atau berkas tulangan.

Menurut SNI 03-2834-1992 gradasi agregat kasar (kerikil/batu pecah) yang baik sebaiknya masuk dalam batas, batas tersebut tercantum pada tabel 2.2.

Tabel 2. Batas gradasi agregat kasar

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Butir yang Lewat Ayakan	
	5 mm sampai 38 mm	5 mm sampai 18 mm
38	95-100	100
19	35-70	95-100
9,6	10-40	22-55
4,8	0-5	0-10

c. Batu

Batu adalah agregat kasar yang butirannya lebih besar dari 40 mm.

3. Air

Air diperlukan saat pembuatan beton sebagai pemicu proses kimia dari semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Umumnya air yang dapat diminum dapat sebagai campuran untuk beton. Air yang mengandung gula, minyak maupun bahan kimia dapat mempengaruhi kualitas beton, bahkan dapat merubah sifat beton itu sendiri.

Karena pasta semen merupakan hasil reaksi kimia antara semen dengan air, maka bukan perbandingan jumlah air terhadap total berat campuran yang penting, tetapi justru perbandingan air dengan semen atau yang disebut sebagai Faktor Air Semen. Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan menyebabkan proses hidrasi tidak tercapai seluruhnya, sehingga akan mempengaruhi kekuatan beton. Menurut Tjokrodimuljo (2004) Sebaiknya air yang digunakan untuk membuat beton antara lain:

- a. Air harus bersih.
- b. Tidak mengandung banyak lumpur, minyak dan 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 merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
- d. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter. Khusus untuk beton pra-tegang kandungan klorida tidak boleh lebih dari 0,05 gram per liter.
- e. Tidak mengandung senyawa sulfat (sebagai SO_3) lebih dari 1 gram/liter.

4. Bahan tambah

Bahan tambah ialah bahan yang digunakan selain unsur pokok (air, semen, dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton, sebelum, segera, atau selama pengadukan beton. Tujuannya ialah untuk mengubah sifat beton. Bahan kimia pembantu (*chemical admixture*) untuk beton ialah bahantambahan (bukan bahan pokok) yang dicampurkan pada adukan beton, untuk memperoleh sifat-sifat khusus dalam pengerjaan adukan, waktu pengikatan, waktu pengerasan, dan maksud-maksud lainnya (Tjokrodimulyo, 1996). Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan bahan tambah adalah kebutuhan air, kandungan air, konsistensi, *bleeding*, kehilangan air pada waktu beton segar, laju pengerasan, kekuatan tekan dan lentur ketahanan terhadap volume, susut pada saat pengeringan. Pada penelitian ini bahan tambah hanya menggunakan plastiment yaitu sebagai penghambat waktu ikat beton. Penambahan plastiment karena temperature udara sewaktu pengecoran yang tinggi.

B. Sifat-sifat beton

Sifat beton perlu diketahui untuk mendapatkan mutu beton yang diharapkan sesuai rencana semula dan sesuai konstruksi yang akan dikerjakan. Pada saat segar atau sesaat dicetak, beton bersifat plastis dan mudah untuk dibentuk. Sedangkan pada saat mengeras beton mempunyai kekuatan yang cukup untuk menerima beban.

1. Sifat-sifat beton segar

a. Mudah Dikerjakan (*Workability*)

Kemudahan penggerjaan beton merupakan salah satu kinerja utama yang dibutuhkan. Walaupun suatu struktur beton dirancang untuk mendapatkan kualitas yang tinggi, tetapi jika rancangan tersebut tidak bisa diterapkan ataupun sulit dikerjakan di lapangan tentunya hal tersebut menjadi percuma. Kemajuan dari teknologi saat ini telah membawa dampak yang nyata untuk mengatasi masalah tersebut.

Kemudahan penggerjaan dapat dilihat melalui nilai slump yang identik dengan keplastisan beton. Semakin tinggi keplastisannya, beton akan semakin mudah dikerjakan. Unsur–unsur yang mempengaruhinya antara lain:

- 1) Jumlah air pencampur, semakin banyak air semakin mudah untuk dikerjakan.
- 2) Kandungan semen, semakin banyak semen berarti semakin banyak air yang dibutuhkan sehingga nilai keplastisan akan tinggi, jika nilai FAS tetap.

- 3) Gradasi campuran pasir dengan kerikil, tentunya jika sesuai dengan standar maka akan semakin mudah dikerjakan.
- 4) Bentuk butiran agregat kasar, bentuk bulat-bulat dari agregat akan semakin mudah untuk dikerjakan.
- 5) Butiran maksimum.
- 6) Cara pemanasan dan alat yang digunakannya.

b. Pemisahan Kerikil (*Segregation*)

Segregation adalah kecenderungan pemisahan bahan-bahan pembentuk beton. *Segregation* sangat besar pengaruhnya terhadap sifat beton keras. Jika tingkat *segregasi* beton sangat tinggi, maka ketidak sempurnaan konstruksi beton juga tinggi. Hal ini dapat berupa keropos, dan berpori, permukaan tampak bersisik dan juga tidak rata.

c. Pemisahan Air (*Bleeding*)

Bleeding adalah kecenderungan air untuk naik kepermukaan beton selepas dipadatkan. Hal ini disebabkan air naik ke atas sambil membawa semen dan butir-butir halus pasir, yang akhirnya setelah beton mengeras akan terlihat sebagai selaput. Lapisan ini dikenal sebagai *Laitance*. *Bleeding* biasanya terjadi pada campuran beton basah (kelebihan air) atau adukan beton dengan nilai slump tinggi. Proses pemanasan yang berlebihan juga akan menyebabkan terjadinya *bleeding*.

2. Sifat-sifat beton setelah mengeras

Beton keras dapat dikategorikan berkualitas baik jika mempunyai sifat-sifat kuat, awet, kedap air dan memiliki kemungkinan perubahan dimensi yang kecil. Pada saat keras, beton diharapkan mampu memikul beban yang telah direncanakan, sehingga sifat yang utama dimiliki oleh beton adalah kekuatannya.

Ada berbagai alasan untuk melakukan pengujian beton keras:

- a. Pada tingkat dasar untuk mengamati hukum fisik tentang sifat beton. Mencari hubungan antara sifat fisik dan mekanik dari material beton dan sifat elastis dari kekuatan beton keras.
- b. Menentukan sifat mekanis dari beton jenis tertentu untuk penerapan khusus. Uji ini dilakukan dengan simulasi kondisi yang akan dialami oleh beton tersebut.
- c. Bila hukum fisik telah diketahui, perlu dilakukan evaluasi atas konstanta fisik, misalnya modulus elastisitas.
- d. Yang paling umum, informasi rutin atas kualitas beton, dinamakan pengujian kontrol kualitas. Kecepatan dan kemudahan pengujian dapat lebih penting daripada akurasi yang sangat tinggi. (Nugraha, 2007)

Ada beberapa pengujian terhadap beton keras yang sering dilakukan untuk mengetahui kekuatan beton, diantaranya yaitu:

a. Kuat Tekan Beton

Pengertian kuat tekan beton adalah kemampuan dari beton untuk menerima gaya tekan persatuannya luas. Karena kuat tekan beton adalah salah satu kinerja utama dari beton maka sifat ini menjadi sifat yang terpenting didalam kualitas beton. Penentuan kekuatan tekan dapat dilakukan dengan pengujian menggunakan alat uji tekan dan benda uji berbentuk selinder sesuai prosedur SNI 1974:2011. Faktor air semen merupakan faktor utama dalam menentukan kekuatan beton. Air yang terlalu banyak akan menempati ruang dimana pada waktu beton telah mengeras dan terjadi proses penguapan, ruang tersebut akan menjadikan pori. Selain faktor air semen besarnya kuat tekan beton dipengaruhi oleh sejumlah faktor antara lain:

- 1) Jenis semen dan kualitasnya, mempengaruhi kekuatan rata-rata dan kuat batas beton.

- 2) Jenis dan lekuk-lekuk (*relief*) bidang permukaan agregat.

Kenyataan menunjukkan bahwa penggunaan agregat batu pecah akan menghasilkan beton dengan kuat tekan maupun kuat tarik yang lebih besar dari pada kerikil biasa.

- 3) Efisiensi dari perawatan (*currинг*). Kehilangan kekuatan sampai 40 % dapat terjadi bila pengeringan terjadi sebelum waktunya.

Perawatan adalah hal yang sangat penting pada pekerjaan dilapangan dan pada pembuatan benda uji.

- 4) Suhu, pada umumnya kecepatan pengerasan beton bertambah dengan bertambahnya suhu. Pada titik beku kuat hancur akan tetap rendah untuk waktu yang lama.
- 5) Umur pada keadaan yang normal, kekuatan beton bertambah dengan bertambahnya umur, tergantung pada jenis semen, misalnya semen dengan kadar alumina tinggi menghasilkan beton yang kuat hancurnya pada 24 jam sama dengan semen portland biasa pada 28 hari.

Pengerasan berlangsung terus secara lambat sampai beberapa tahun. Nilai kuat tekan beton didapat melalui cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban bertingkat dengan kecepatan peningkatan tertentu atas benda uji silinder beton (diameter 15 cm. tinggi 30 cm) sampai hancur. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi ($f'c$) yang dicapai benda uji umur 28 hari akibat beban tekan selama percobaan.

Nilai kuat tekan beton beragam sesuai dengan umurnya dan biasanya ditentukan waktu beton mencapai umur 28 hari setelah pengecoran. Umumnya pada umur 7 hari kuat beton mencapai 70 % dan pada umur 14 hari mencapai 85 % sampai 90 % dari kuat tekan beton umur 28 hari.

b. Kuat Lentur

Beton Kuat lentur beton merupakan parameter utama yang harus diketahui dan dapat diberikan gambaran tentang sifat-sifat mekanis

yang lain pada beton tersebut. Secara umum kekuatan beton dipengaruhi oleh kekuatan komponen-komponennya yaitu Pasta semen, rongga, agregat, dan interface antar pasta semen dengan agregat. Dalam pelaksanaanya faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton adalah nilai faktor air semen, derajat kepadatan, umur beton, jenis semen, jumlah semen dan kualitas agregat yang meliputi gradasi, tekstur permukaan, bentuk, kekuatan, kekakuan, serta ukuran maksimum agregat.

Pengujian kuat lentur beton dilakukan menggunakan benda uji berbentuk balok dengan ukuran tinggi 10 cm, lebar 10 cm, dan panjang 53 cm. Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil uji kuat tekan meliputi kondisi ujung benda uji, ukuran benda uji, rasio 28 diameter benda uji terhadap ukuran maksimum agregat, rasio panjang terhadap diameter benda uji, kondisi kelembaban dan suhu benda uji, arah pembebanan terhadap pengecoran, laju penambahan beban pada compression testing machine serta bentuk geometri benda uji.

c. Kuat Tarik Beton

Uji kuat tarik dilakukan dengan memberikan tegangan tarik pada beton secara tidak langsung. Spesimen silinder direbahkan dan ditekan sehingga terjadi tegangan tarik pada beton.

C. Beton bertulang

Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum, yang disyaratkan dengan atau

tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja. (SNI-03-2847-2002). Kuat tarik beton bervariasi antara 8% sampai 15 % dari kuat tekannya. Oleh karena itu untuk memikul kuat tariknya brton menggunakan baja tulangan. Kekuatan beton bertulang diperoleh dengan menggabungkan sifat-sifat beton dan tulangan baja, sehingga didapatkan suatu aksi komposit dari kedua bahan tersebut.

D. Korosi Baja Tulangan

Beton merupakan bahan konstruksi yang paling sering dan banyak digunakan dalam pembuatan struktur bangunan. Beton memiliki banyak keunggulan sebagai material struktur bangunan, diantaranya memiliki kuat tekan yang tinggi (tergantung desainnya), tahan terhadap suhu tinggi (diatas suhu 200° C kuat tekan beton sudah mulai berkurang). Namun seperti material struktur bangunan lainnya (baja dan kayu), beton tidak terlepas dari kerusakan-kerusakan yang dapat mengurangi durabilitasnya. Kerusakan-kerusakan ini dapat disebabkan antara lain oleh kesalahan perencanaan, kesalahan pelaksanaan, kesalahan penggunaan atau karena pengaruh eksternal/lingkungan dimana struktur beton itu berada. Jenis kerusakan yang terjadi pada beton diantaranya, retak, *voids (honey combing, sand streaking, bugholes dan form scabbing)*, *spalling, scaling, erosion, drumminess*, akibat serangan kimia (asam sulfat, reaksi alkali, klorida), serangan fisik (bebani berlebih, suhu, gempa da beban siklis).

Beton yang selama ini dikenal sebagai material yang “tahan karat”, sebenarnya bisa juga mengalami korosi sebagaimana korosi atau karat yang terjadi pada struktur baja. Korosi yang dimaksud disini adalah kerusakan material beton tersebut akibat proses kimia yang terjadi di dalamnya. Tentu saja bentuk korosi beton ini tidak sama dengan korosi yang terjadi pada besi baja. (Pramudiyanto, 2010).

Struktur beton yang rentan terhadap korosi adalah:

1. Struktur yang terletak di lingkungan laut, seperti *platform offshore*, dermaga, *jetty*, dan sebagainya.
2. Struktur yang terletak di dalam tanah, seperti pondasi, basement, terowongan, dan sebagainya.
3. Struktur yang terletak di lingkungan karbon dioksida yang tinggi.

Pada umumnya baja pada beton tidak terkorosi karena beton bersifat alkali. Alkalitas adalah kebalikan dari keasaman. Logam terkorosi pada kondisi asam, sehingga logam tersebut terlindungi dari korosi oleh alkalinitas. Sifat alkali beton adalah beton yang berisi pori-pori mikroskopis yang berisi kalsium, oksida sodium, oksida potassium dan konsentrasi yang tinggi. Hal ini membentuk sebuah hidroksida saat bertemu dengan air, dimana hidroksida tersebut sangat alami, dengan kondisi pH antara 12-13. Komposisi air pori dan pergerakan ion-ion dan gas-gas melalui pori-pori merupakan hal penting saat menganalisis kemungkinan korosi pada struktur beton bertulang.

Kondisi alkali akan mengantarkan pada sebuah keadaan pembentukan lapisan/lembaran pasif pada permukaan baja. Lapisan/lembaran pasif tersebut

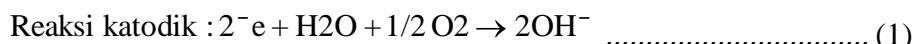
merupakan sebuah film padat yang susah untuk ditembus, dimana sangat mudah dibentuk dan dikelola, menghalangi korosi lebih lanjut pada baja. Lapisan/lembaran yang terbentuk pada baja di beton kemungkinan merupakan bagian dari oksida logam atau hidroksida logam dan mineral bagian dari semen. Lapisan/lembaran pasif yang sebenarnya sangatlah padat, lembaran tipis oksida yang menyebabkan rerata oksidasi (korosi) yang sangat pelan. Terdapat banyak diskusi yang membahas apakah lapisan/lembaran pada beton merupakan lembaran/lapisan pasif sebagaimana yang terlihat tipis dibandingkan dengan lapisan-lapisan pasif lainnya dan lapisan pasif tersebut berisi lebih daripada hanya sekedar oksida metal ataukah lapisan/lembaran tersebut berperilaku seperti lapisan/lembaran pasif sehingga ia disebut demikian.

Ahli dan ilmuwan korosi telah menghabiskan banyak waktunya mencoba untuk menemukan cara-cara untuk menghentikan korosi baja dengan menggunakan lapisan-lapisan pelindung. Logam-logam yang lain seperti zinc, polimer seperti akrilik atau epoksi digunakan untuk menghentikan kondisi korosif mencapai permukaan baja. Lapisan/lembaran pasif merupakan lapisan impian ahli korosi karena hal tersebut terbentuk dengan sendirinya dan akan mempertahankan dan memperbaiki dirinya sendiri sejauh lingkungan pasif (alkali) ada untuk meregenerasi bila terjadi kerusakan. Apabila lingkungan pasif dapat dipertahankan hal tersebut jauh lebih baik daripada lapisan buatan lainnya seperti galvanisasi atau *fusion bonded epoxy* yang dapat rusak, menyebabkan korosi terjadi pada daerah-daerah yang rusak. Namun,

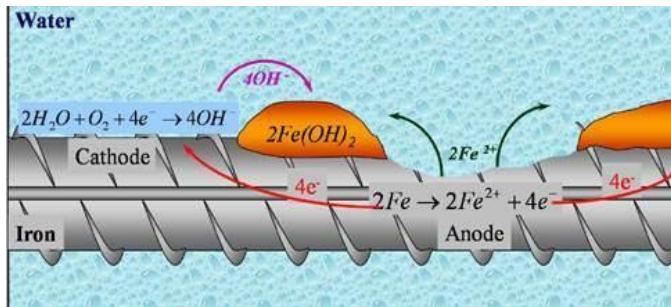
lingkungan pasif tidak selalu dapat dipertahankan. Dua buah kondisi dapat menghancurkan lingkungan pasif pada beton tanpa menyerang beton lebih dahulu. Pertama adalah karbonasi dan yang kedua adalah klorida. (Pramudiyanto, 2010)

1. Proses terjadinya korosi

proses terjadinya korosi yaitu Dua buah elektron ($2e^-$) yang dihasilkan pada reaksi anodik haruslah dikonsumsi di tempat yang lain pada permukaan baja untuk memberikan keneutralan elektrik. Dengan kata lain kita tidak bisa mendapatkan sejumlah besar muatan elektrik pada satu tempat pada baja. Harus terdapat reaksi kimia lain yang mengkonsumsi elektron-elektron. Berikut ini adalah reaksi yang mengkonsumsi air dan oksigen:



Hal ini digambarkan pada gambar 1. Teramati bahwa dihasilkan ion-ion hidroksil pada reaksi katodik. Ion-ion ini meningkatkan alkalinitas lokal dan dengan demikian menguatkan lapisan/lembaran pasif, menangkal efek karbonasi dan ion-ion klorida pada katoda. Perlu dicatat bahwa air dan oksigen diperlukan pada katoda agar korosi muncul.

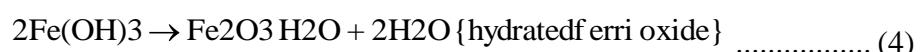
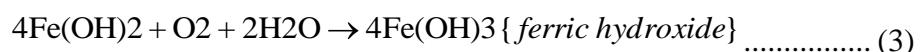


Gambar 1. Reaksi anodik, katodik, oksidasi dan hidrasi pada baja tulangan

(Sumber: broomfield, 2007)

Reaksi anodik dan katodik merupakan langkah pertama pada proses pembentukan korosi. Namun, sebagian dari reaksi-reaksi tersebut merupakan hal yang kritis dalam rangka pemahaman korosi dan digunakan secara luas dalam setiap diskusi korosi dan pencegahan korosi baja pada beton.

Bila besi akan larut pada air pori (ion *ferous* Fe^{2+} pada persamaan di atas bersifat larut) kita tidak akan melihat retak dan hancurnya beton. Beberapa tahapan harus muncul agar korosi terbentuk. Hal ini dapat digambarkan dalam beberapa cara dan salah satunya diperlihatkan dimana *ferrous hydroxide* menjadi *ferric hydroxide* dan kemudian *hydrated ferric oxide* atau korosi:



Proses korosi lengkapnya digambarkan pada gambar 1. *Oksida ferric* yang tak terhidrasi (*unhydrated ferric oxide*) Fe_2O_3 memiliki volume sekitar dua kali volume baja yang tergantikan saat padat penuh.

Saat ia terhidrasi dia membengkak lebih besar dan menjadi porus. Hal ini berarti bahwa volumenya meningkat pada lapisan antarmuka baja/beton enam hingga sepuluh kali lipat. Hal ini mengantarkan pada retak dan hancur seperti yang teramat sebagai sebuah konsekuensi korosi baja tulangan pada beton dan korosi merah/coklat yang rapuh dan mengeripik yang terlihat pada tulangan dan noda korosi yang terlihat di retak pada beton. (Pramudiyanto, 2010)

2. Macam-macam korosi

Korosi dibagi menjadi 8 macam yaitu:

a. korosi seragan (*uniform corrosion*)

Kerusakan logam dari permukaannya akibat korosi secara merata karena lingkungan memiliki akses yang sama ke seluruh permukaan logam dan logam tersebut sejenis dari segi melurgi dan komposisi.

b. Korosi Celah

Proses korosi lokal yang terjadi pada celah diantara dua komponen.

c. Korosi Erosi

Proses korosi yang disebabkan akibat gerak relatif antara elektrolit dan permukaan logam. Korosi ini biasanya terjadi karena proses-proses elektrokimia dan efek-efek mekanik seperti abrasi/erosi.

d. Korosi Merata (*general*)

Proses yang terjadi pada suati logam secara menyeluruh.

e. Korosi Intergranular

Proses korosi yang terjadi pada paduan logam akibat terjadinya reaksi unsur logam.

f. Korosi Logam Tak Sejenis (*galvanic*)

Proses korosi yang terjadi karena adanya dua logam tak sejenis dihubungkan dan berada dilingkungan korosif saat terjadi kontak, sedangkan logam lainnya terlindungi dari serangan korosi.

g. Korosi Arus Liar (*stray-current corrosion*)

Proses korosi ini disebabkan oleh adanya arus konvensional yang mengalir dalam arah yang berlawanan dengan aliran elektron, besarnya dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dari luar.

h. Korosi Sumuran (*pitting corrosion*)

Proses korosi lokal yang terjadi pada permukaan yang terbuka akibat pecahnya lapisan pasif.

3. Faktor yang mempengaruhi laju korosi

Umumnya korosi dipengaruhi oleh air, akan tetapi ada beberapa faktor selain air yang mempengaruhi laju korosi antara lain:

a. Faktor Gas Terlarut

1) Oksigen (O_2), adanya oksigen yang terlarut akan menyebabkan korosi pada baja. Kelarutan oksigen dalam air merupakan fungsi dari tekanan, temperatur dan kandungan klorida.

2) Karbondioksida (CO_2), jika karbondioksida dilarutkan dalam air maka akan terbentuk asam karbonat (H_2CO_3) yang dapat menurunkan pH air dan meningkatkan korosifitas.

b. Faktor Temperatur

Penambahan temperatur umumnya menambah laju korosi walaupun kenyataannya kelarutan oksigen berkurang dengan meningkatnya temperatur. Apabila baja pada temperatur yang tidak uniform, maka akan besar kemungkinan terbentuk korosi.

c. Faktor pH

pH netral adalah 7, sedangkan $\text{pH} < 7$ bersifat asam dan korosif, sedangkan $\text{pH} > 7$ bersifat basa juga korosif. Tetapi untuk besi, laju korosi rendah pada pH antara 7 sampai 13. Laju korosi akan meningkat pada $\text{pH} < 7$ dan pada $\text{pH} > 13$.

d. Permukaan Logam

Permukaan logam yang tidak rata memudahkan terjadinya kutub-kutub muatan, yang berperan sebagai anoda dan katoda.

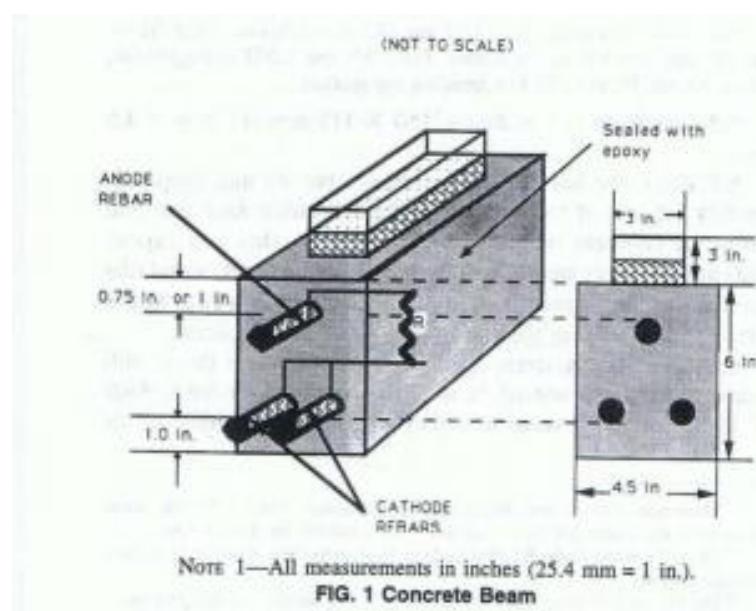
4. Pengujian Laboratorium

Mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Ahmad (2009), korosi baja tulangan umumnya dipercepat dengan menggunakan teknik arus paksa. Metode ini dilakukan untuk menginduksikan suatu derajat dalam suatu rentangan batas waktu tertentu. Metode ini memiliki banyak biaya. Salah satu keuntungan dibandingkan dengan teknik yang lain adalah kemampuannya untuk mengendalikan laju korosi, dimana

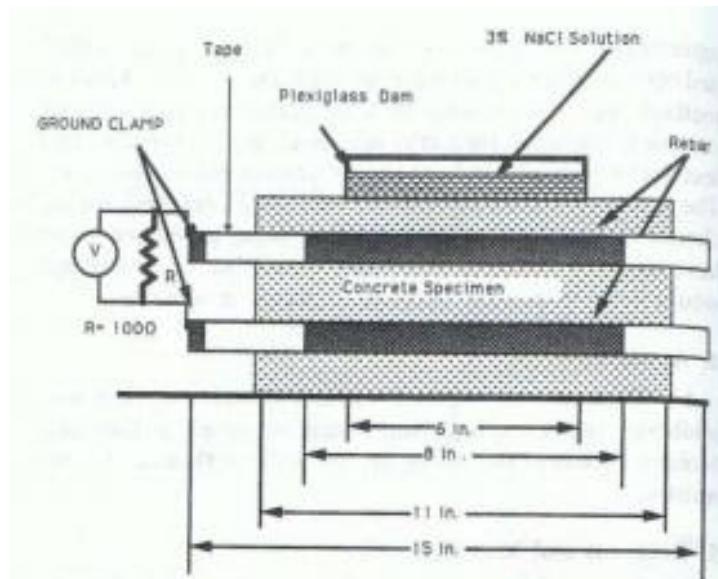
umumnya laju korosi bervariasi karena perubahan resistansi, konsentrasi oksigen, dan suhu. Setiap perubahan dalam salah satu variable tersebut akan sangat berkompenasi dalam laju korosi. Sebagai contoh, perubahan resistansi beton sebagai hasil dari fluktuasi suhu atau evaporasi air pori dapat diimbangi dengan memberikan tegangan yang lebih tinggi, sehingga mempertahankan laju korosi yang diinginkan (tingkat arus paksa).

Meskipun teknik arus paksa memiliki keuntungan dalam hal pengkorsian batang tulangan pada laju konstan yang tinggi, korosi tulangan yang diinduksikan dengan arus paksa tidak menggambarkan korosi tulangan yang terinduksi. Beberapa riset melaporkan bahwa teknik arus paksa telah dipastikan sebagai sebuah metode yang efektif dan cepat pada percepatan korosi terinduksi klorida. Akan tetapi, sifat elektrokimia di balik mekanisme korosinya berbeda dengan korosi yang terinduksi secara alami. Perbedaan utama elektrokimiawi teknik arus paksa dengan sistem korosi alami terletak pada kenaikan tegangan hingga pada sebuah nilai yang lebih besar dari tegangan transpassive, dimana laju korosinya tidak berhubungan dengan sebuah kesetimbangan tegangan gabungan atau tegangan yang diperoleh dari sebuah kondisi yang umum tanpa memberikan sumber energ eksternal. Sehingga, dengan memaksakan tegangan seperti itu akan menghasilkan batang tulangan menjadi dalam keadaan terpolarisasi buatan. (Pramudiyanto, 2011)

ASTM G 109 melibatkan pengukuran arus galvanis antara batang pada satu lapisan atas dan dua batangan pada tingkat bawahnya, untuk beton yang secara siklis direndam pada sodium klorida 3%. Ketika sodium klorida merembes melewati beton, batangan yang atas mulai mengalami korosi, dengan batangan yang berada di bawahnya sebagai katoda. Skema spesimen ditunjukkan pada gambar 2.2. Observasi visual batangan pada penyelesaian uji dibutuhkan sebagai penentu dari ini klorida pada kedalaman batang penguat.



Gambar 2. Balok spesimen uji korosi
(Sumber: ASTM G 109 – 99)



NOTE 1—All measurements in inches (not to scale) (25.4 mm = 1 in.).
FIG. 2 Concrete Beam (Side View)

Gambar 3. Tampak samping balok spesimen uji korosi
(Sumber: ASTM G 109 – 99)

5. Evaluasi Laboratorium

Perilaku korosi pada logam atau lapisan seringkali dievaluasi dalam laboratorium daripada pada lingkungan penggunaan yang sebenarnya karena keterbatasan waktu atau dana. Evaluasi laboratorium umumnya memiliki durasi waktu yang relatif pendek dan seringkali digunakan untuk mempelajari pengaruh lingkungan pada perilaku korosi karena kondisi lingkungan tertentu dapat dikontrol. Kelemahan utama dari uji laboratorium adalah lingkungan penggunaan dan kondisi yang sesungguhnya tidak dapat dievaluasi. Syarat peralatan disimulasikan, yang melibatkan penerimaan asumsi tertentu. Penting ketika menguji dalam laboratorium untuk mengorelasikan data lapangan dengan data laboratorium sehingga validitas informasi laboratorium dapat dihitung.

Air laut alami merupakan lingkungan yang diharapkan untuk uji laboratorium, namun larutan air laut sintetis seringkali dimanfaatkan. Ketika air laut dipindahkan dari lingkungan alaminya, komposisinya akan berubah dan hal ini dapat memberikan dampak yang besar pada hasil tingkat korosi logam. Larutan air laut sintetis yang biasanya digunakan termasuk 3,5% berat sodium klorida (NaCl) dan pengganti air laut per ASTM D1141. Kelemahan penggunaan larutan sintetis adalah, seperti air laut alami yang disimpan (dipisahkan dari lingkungan alaminya) memiliki komposisi yang bervariasi dari air laut alami, dan demikian perilaku korosi pada logam yang dievaluasi dapat terpengaruh secara cukup signifikan. Satu keuntungan menggunakan 3,5 % NaCl adalah deposit kalkarus tidak akan terbentuk dibawah kondisi polarisasi katodik dalam larutan ini. Ini sangatlah berguna dalam evaluasi permukaan fraktur spesimen logam, dimana adanya deposit kalkarus seringkali menghambat pemeriksaan pada permukaan kecuali depositnya dihilangkan, yang dapat merubah permukaan fraktur yang asli. (ASTM D 1141).

E. Penelitian Relevan

Pramudiyanto (2011) melakukan penelitian tentang pengaruh tebal selimut beton normal pada laju korosi baja tulangan. Penelitian tersebut menghasilkan terdapat kecenderungan penurunan laju korosi dan densitas arus korosi (I_{corr}) terhadap kenaikan tebal selimut beton. Besarnya penurunan laju korosi untuk spesimen Ø 1,25", Ø 3", Ø 5" dan Ø 6' berturut-turut yakni

4,440981 mm/yr, 1,633995 mm/yr, 0,026253 mm/yr dan 0 mm/yr. Sedangkan penurunan densitas arus korosi (I_{corr}) untuk specimen $\varnothing 1,25''$, $\varnothing 3''$, $\varnothing 5''$ dan $\varnothing 6''$ berturut-turut yakni $0,000382446 \text{ mA/cm}^2$, $0,000141 \text{ mA/cm}^2$, $2,26 \times 10^{-6} \text{ mA/cm}^2$ dan 0 mA/cm^2 . Profil beda potensial akan menurun sejalan dengan waktu pengujian membentuk kelengkungan hingga mencapai suatu waktu dimana profil beda potensial akan membentuk garis lurus. Pola retak yang terjadi berawal dari daerah pertemuan antara bagian yang terendam dengan bagian yang tidak terendam kemudian merambat ke seluruh bagian spesimen. Spesimen yang mengalami karbonasi oleh spesimen yang berlalu terkorosi, sedangkan spesimen yang masih aman terhadap serangan korosi tidak mengalami karbonasi.

Astri (2013) melakukan penelitian tentang kajian korosi pada beton bertulang dengan agregat kasar dari beton daur ulang. Penelitian tersebut menghasilkan kecenderungan penurunan laju korosi, densitas arus korosi (I_{corr}), prosentase penurunan berat (ρ), masa actual korosi (M_{ac}), dan degradasi kapasitas momen (M_n) pada benda uji dengan agregat asli, *recycle 1*, *recycle 2* dan *recycle 3*. Besarnya penurunan laju korosi adalah $1,6418 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{h}$, $2,9536 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{h}$, $0,8628 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{h}$ dan $0,7117 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{h}$, penurunan densitas arus korosi (I_{corr}) adalah $1,44 \times 10^{-5} \text{ mA/cm}^2$, $2,58 \times 10^{-5} \text{ mA/cm}^2$, $7,59 \times 10^{-6} \text{ mA/cm}^2$, dan $6,28 \times 10^{-6} \text{ mA/cm}^2$, penurunan prosentase berat (ρ) adalah $3,7113 \%$, $6,7212 \%$, $1,9618 \%$, dan $1,6371 \%$ penurunan actual korosi (M_{ac}) adalah $0,0108 \text{ gr/mm}^2$, $0,0194 \text{ gr/mm}^2$, $0,0057 \text{ gr/mm}^2$, dan $0,0047 \text{ gr/mm}^2$, dan besarnya penurunan nilai degradasi momen dengan lebar balok (b) = 200 mm; 300mm;

400mm dan 500mm berturut-turut adalah 230,208 kNm, 216,808 kNm, 130,912 kNm, 0 kNm (runtuh); 776,952 kNm, 731,728 kNm, 441,828 kNm, 0 kNm (runtuh); 1841,66 kNm, 1734,47 kNm, 1047,3 kNm, 0 kNm (runtuh); dan 3597 kNm, 3387,63 kNm, 2045,5 kNm, 0 kNm (runtuh). Bacaan potensial benda uji akan menurun seiring dengan berjalannya waktu pengujian. Pola retak yang terjadi berawal dari daerah pertemuan antara bagian yang terendam kemudian merembet keseluruhan bagian benda uji. Derajat keasaman air (pH) akan meningkat seiring dengan jalannya waktu hingga suatu saat keadaan tersebut stabi. Benda tidak mengalami serangan karbonasi.

Tsalitsatul (2013) Melakukan penelitian tentang kajian korosi pada beton bertulang dengan kalsium karbonat sebagai *replacement* sebagian *portland cement* pada lingkungan bergaram. Penelitian tersebut mengalami kecenderungan penurunan laju korosi, densitas laju korosi, prosentase kehilangan berat, penurunan massa actual dan nilai degradasi momen pada benda uji yang menggunakan prosentase kalsium karbonat 0%, 5%, 7,5%, dan 10%. Besarnya nilai kecenderungan penurunan laju korosi adalah 2,08672 gr/m².h; 2,24618 gr/m²h; 1,98985 gr/m².h dan 1,36635 gr/m².h, penurunan densitas laju korosi adalah $1,783 \times 10^{-5}$ mA/cm², dan $1,664 \times 10^{-5}$ mA/cm². Besarnya penurunan prosentase kehilangan berat adalah 7,9102%; 8,3915%, 7,2505% dan 5,1154%. Besarnya kehilangan masa actual pada korosi adalah 0,0239 gr/mm²; 0,0211 gr/mm²; dan 0,0145 gr/mm². Dan besarnya nilai degradasi kapasitas momen adalah 207,89 kNm; 221,01 kNm; 206,45 kNm; 177,50 kNm; 701,61 kNm; 745 kNm; 696,73 kNm; 599,05 kNm; 1663,08

kNm; 1768,04 kNm; 1651,51 kNm; 1419,98 kNm; dan 3248 kNm; 3453,2 kNm; 3225,6 kNm, 2773,4 kNm. Bacaan potensial cenderung mengalami penurunan dari potensial awal 6 volt. Pola retak yang terjadi pada beton di awali dekat dengan permukaan air, dan retak awal yang terjadi adalah retak rambut.

Putri (2015) Pengembangan pengetahuan ramah lingkungan marak dilakukan kampanye dan diberi keparahan dampak kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh manusia. Salah satu industri yang telah memberikan kontribusi terhadap kerusakan alam dan penyebab pemanasan global adalah efek dari CO₂ karena industri semen. Salah satu cara untuk mengatasi hal ini adalah untuk menghasilkan kualitas semen dipertahankan dan ramah lingkungan. Hal ini dinyatakan dalam CDM (Clean Development Mechanism), yang mengatur pengembangan lebih ramah lingkungan tanpa mengurangi fungsi dari semen itu sendiri. Mengacu pada CDM, dibuat dikenal oleh Portland Composite Cement Semen (PCC), di mana campuran tidak hanya terdiri dari klinker dan gipsum saja, tetapi telah dicampur dengan bahan Pozolan seperti fly ash.

PCC sendiri masih dalam tahap pengembangan, sehingga masih perlu penelitian lebih banyak pada penggunaan jenis semen dalam campuran beton. Selama penelitian baru ini dilakukan untuk mengetahui kuat tekan beton yang menggunakan semen PCC. Oleh karena itu dilakukan penelitian ini bertujuan untuk menentukan kekuatan tekan, kekuatan lentur dan retak pola semen beton

menggunakan PCC dan dibandingkan dengan perilaku kekuatan lentur dan pola fraktur beton semen dengan menggunakan OPC.

Tes yang dilakukan di laboratorium berdasarkan ISO 03 - 2847- 2002. Meliputi uji kekuatan, uji lentur dan observasi retak bertulang pola balok beton tekan dengan kuat tekan 25 MPa rencana. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan dan penggunaan PCC hingga usia 28 hari lebih tinggi dari kekuatan tekan beton dengan OPC semen. Retak pola yang terjadi menunjukkan pola yang sama, sedangkan lentur beton dengan OPC semen memiliki kekuatan lentur lebih tinggi dari blok beton dengan semen PCC.

Rusman (2016) melakukan penelitian tentang kajian kuat lentur beton normal di lingkungan yang merusak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh korosi baja tulangan pada kontruksi beton bertulang yang direndam larutan NaCl 3% selama 56 hari. Pengujian ini guna mengetahui proses laju korosi terhadap baja tulangan. Penelitian beton yang direndam dengan larutan NaCl 3% dan diberi tegangan sebesar 6 volt. Pengujian ini menggunakan kuat tekan rencana 25 MPa yang merupakan kuat tekan minimum pada umur beton 28 hari.

Pengujian menggunakan variasi umur 7 hari, 14 hari, 28 hari dan 56 hari menggunakan metode elektrokimia dengan cara mengalirkan tegangan dari *power supply* ke baja tulangan dan mengamati *voltmeter* apakah terdapat perubahan tegangan. Benda uji yang digunakan balok dengan panjang 500 mm, lebar 100 mm dan tinggi 100 mm sebanyak 16 benda uji. Baja tulangan berada ditengah bagian bawah balok beton.

Dari hasil penelitian diperoleh hasil rata-rata kuat lentur balok selama 7 hari sebesar 3,89 MPa, 14 hari sebesar 4,17 MPa, 28 hari sebesar 4,41 MPa dan 56 hari sebesar 5,50 MPa. Hasil uji kuat lentur maksimal berada pada usia 56 hari yaitu sebesar 5,50 MPa. Hasil baja tulangan dihitung menggunakan metode kehilangan berat. Namun setelah di uji lentur, baja tulangan yang telah di rendam larutan NaCl 3% tidak mengalami korosi.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Metode Proyek Akhir

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen laboratorium. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kuat lentur yang menggunakan tipe semen dan mengamati benda uji selama 112 hari yang di rendam dengan larutan NaCl 3% dan diberi tegangan sebesar 6 volt. Selama proses berlangsung benda uji berada didalam ruangan tertutup. Benda uji yang dihasilkan dari penelitian akan diuji kuat lentur beton.

B. Variabel Penelitian

Menurut Sugiono (2006) variabel penelitian adalah segala sesuatu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari sehingga didapatkan sebuah informasi untuk diambil sebuah kesimpulan.

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang mempengaruhi munculnya variabel terikat. Variabel bebas yang terdapat dalam penelitian ini adalah beton dengan tipe semen PCC dan PPC dan umur pengujian.

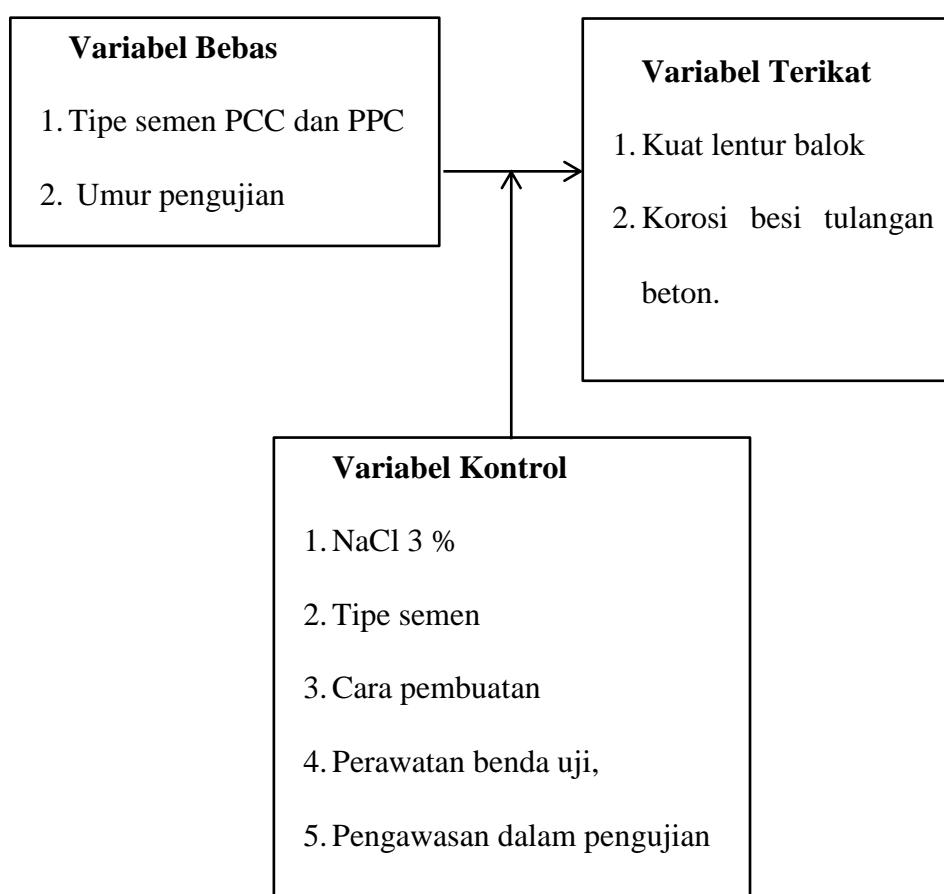
2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena variabel bebas. Variabel terikat yang terdapat dalam penelitian ini adalah kuat lentur balok dan korosi besi tulangan beton.

3. Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel konstan yang digunakan untuk membandingkan variabel lain. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kuat lentur pada beton antara lain:

- a. NaCl 3 %
- b. Tipe semen
- c. Cara pembuatan
- d. Perawatan benda uji
- e. Pengawasan dalam pengujian



Gambar 4. Variabel penelitian

C. Jumlah Benda Uji

Benda uji yang digunakan adalah balok berukuran 500 mm x 100 mm x 100 mm, berikut Tabel 7 tentang benda uji balok:

Tabel 3. Jumlah benda uji

No	Kode Balok	Umur	Jumlah (buah)
1	B _{A11} , B _{A7} , B _{A9} , B _{A3}	7 hari	4
2	B _{B4} , B _{B15} , B _{B13} , B _{B8}	14 hari	4
3	B _{C1} , B _{C18} , B _{C12} , B _{C2}	28 hari	4
4	B _{D5} , B _{D6} , B _{D10} , B _{D17}	56 hari	4
5	B _{E20} , B _{E16} , B _{E19} , B _{E14}	112 hari	4
Jumlah Total			20 buah

Keterangan:

B = Balok

A = Umur 7 hari

B = Umur 14 hari

C = Umur 28 hari

D = Umur 56 hari

E = Umur 112 hari

D. Alat

Beberapa alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat untuk pengujian material dan pembuatan benda uji. Adapun peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Timbangan

a. Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram

Timbangan ini berfungsi untuk menimbang bahan-bahan yang digunakan pada campuran beton (kerikil, pasir, dan semen).

Timbangan ini mampu menimbang beban maksimal 200 gram.



Gambar 5. Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram

b. Timbangan dengan ketelitian 1 gram

Timbangan ini berfungsi untuk menimbang bahan-bahan yang digunakan pada campuran beton (kerikil, pasir, dan semen) pada saat dilakukan pengujian. Timbangan ini mampu menimbang beban maksimal 21,1 kg.



Gambar 6. Timbangan dengan ketelitian 1 gram

c. Timbangan

Timbangan ini digunakan untuk menimbang pasir, krikil dan bahan lain dalam jumlah yang banyak.



Gambar 7. Timbangan

2. Gelas ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengetahui berat jenis agregat halus, agregat kasar dan juga digunakan untuk mengukur jumlah air yang diperlukan dalam pembuatan campuran beton



Gambar 8. Gelas ukur

3. Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan agregat halus dan agregat kasar, digunakan pada pengujian uji kadar air, uji kadar lumpur. Suhu yang digunakan adalah $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.



Gambar 9. Oven

4. Ayakan

a. Ayakan agregat halus

Ayakan ini digunakan untuk mengetahui gradasi pada agregat halus.



Gambar 10. Ayakan agregat halus

b. Ayakan agregat kasar

Ayakan ini digunakan untuk mengetahui gradasi pada agregat kasar.



Gambar 11. Ayakan agregat kasar

5. Bejana

Bejana digunakan untuk pengujian bobot isi agregat halus maupun agregat kasar.



Gambar 12. Bejana

6. Jangka Sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur dimensi bejana dan benda uji dengan ketelitian 0,01 mm.



Gambar 13. Jangka sorong

7. Mesin *Los Angeles*

Mesin *Los Angeles* digunakan untuk menguji keausan pada agregat kasar, dengan cara mesin ini berputar sebanyak 500 putaran dan di dalamnya terdapat 11 kelereng baja.



Gambar 14. Mesin *Los Angeles*

8. Mesin pengaduk

Mesin pengaduk digunakan untuk mencampur bahan pembuatan beton hingga homogen. Alat ini menggunakan tenaga listrik.



Gambar 15. Mesin pengaduk

9. Kerucut *Abrams*

Kerucut Abrams digunakan untuk mengetahui hasil pembuatan beton dan mengukur nilai *slump*.



Gambar 16. Kerucut *Abrams*

10. Cetakan beton

Cetakan yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan ukuran 10cm x 10cm x 52cm serta cetakan silinder dengan ukuran diameter 15 cm dan tinggi 30 cm



Gambar 17. Cetakan beton

11. Bak perendaman

Bak perendaman digunakan untuk merendam bagian balok beton yang akan di uji. Bak Perendaman ini mempunyai ukuran 7,5 cm x 7,5 cm x 15 cm.



Gambar 18. Bak perendaman

12. Karung goni

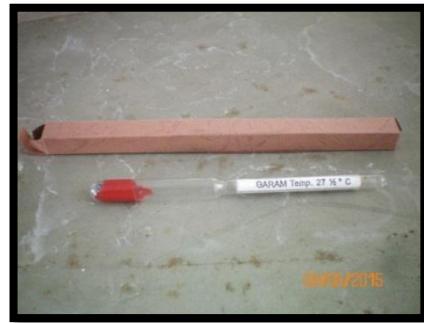
Karung goni digunakan untuk perawatan benda uji agar tetap lembab.



Gambar 19. Karung goni

13. Uji garam

Uji garam digunakan untuk mengetahui kadar garam yang terkandung pada air perendeman.



Gambar 20. Uji garam

14. Alat Lain.

Alat Lain yang digunakan pada penelitian ini adalah sendok, ember, cetok, piring, kotak seng, kabel roll, kuas, dll.

E. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Semen

Semen yang digunakan adalah tipe semen PCC



Gambar 21. Semen PCC

2. Agregat

a. Agregat halus

Agregat halus yang digunakan berasal dari sungai progo



Gambar 22. Agregat halus

b. Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah agregat kasar berupa batu pecah atau split dari merapi



Gambar 23. Agregat kasar

3. Air

Air yang digunakan untuk bahan campuran pembuatan beton adalah air yang berasal dari laboratorium bahan bangunan Fakultas Teknik UNY.



Gambar 24. Air

4. Besi tulangan

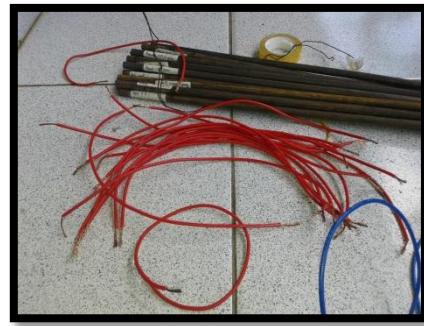
Besi tulangan yang digunakan pada pengujian ini adalah besi polos berdiameter 8 mm dan panjang 500 mm.



Gambar 25. Besi tulangan polos diameter 8 mm dan panjang 500 mm

5. Kabel

Kabel berfungsi untuk menyalurkan listrik ke besi tulangan



Gambar 26. kabel

6. NaCl

NaCl digunakan untuk menguji benda uji, kadar yang digunakan sebanyak 3% dari jumlah air yang dibutuhkan.



Gambar 27. NaCl

7. Aquades

Aquades digunakan untuk merendam benda uji. Dalam pengujian ini aquades ditambahkan NaCl sebanyak 3%.



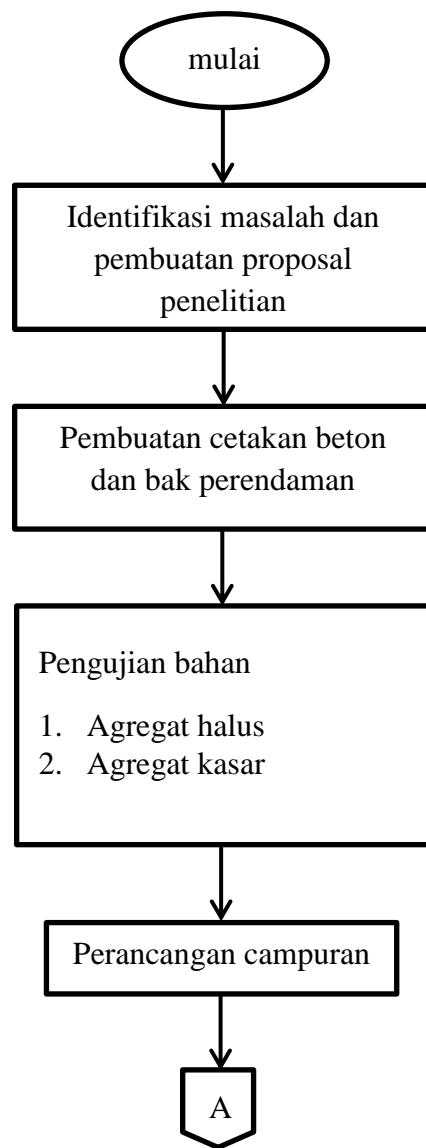
Gambar 28. Aquades

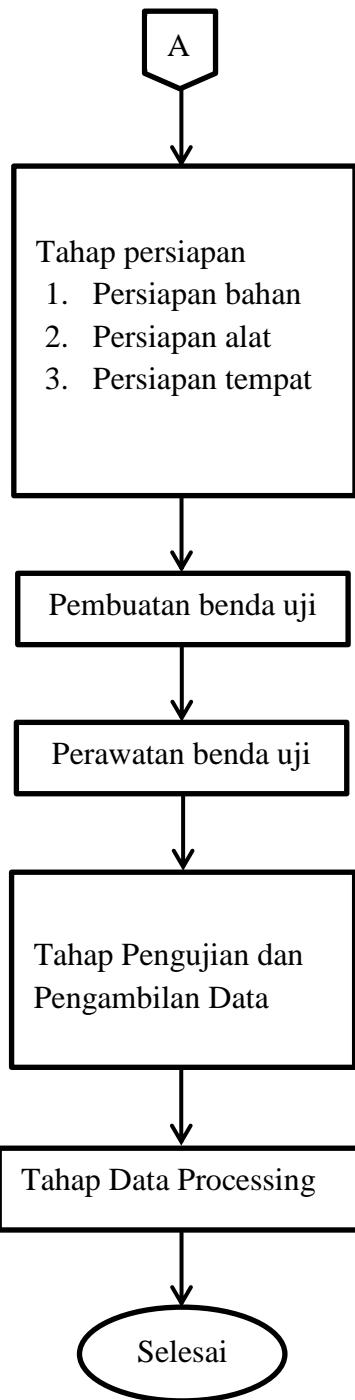
F. Pengujian Dan Analisis Data

1. Tahap Penelitian

Tahap penelitian ini ditunjukkan dalam diagram alir seperti pada gambar.

Berikut:





Gambar 29. Diagram alir penelitian

2. Pengujian Agregat Halus

a. Uji kadar air

Alat yang digunakan:

- 1) Timbangan ketelitian 0.01 gram
 - 2) Sendok
 - 3) Piring
 - 4) Oven

Bahan yang digunakan:

- 1) Pasir
 - 2) Air

Langkah kerja

- 1) Menimbang pasir 150 gram sebanyak 3 kali (berat A).
 - 2) Menempatkan bahan pada piring dan memberi nama, masukkan oven dengan suhu $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam.
 - 3) Mengambil pasir dari oven, kemudian timbang (berat B).
 - 4) Menghitung kadar air

- ### 5) Menghitung kadar rata-rata

b. Uji kadar lumpur

Alat yang digunakan:

- 1) Timbangan ketelitian 0.01 gram.
 - 2) Sendok.

- 3) Piring.
 - 4) Oven.

Bahan yang digunakan:

- 1) Pasir
 - 2) Air

Langkah kerja

- 1) Mengambil pasir sebanyak satu piring penuh.
 - 2) Memasukkan ke dalam oven dengan suhu $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam.
 - 3) Mengambil pasir dari oven, timbang sebanyak 150 gram sebanyak 3 kali (berat A).
 - 4) Mencuci pasir sampai bersih hingga air tidak berubah warna.
 - 5) Memasukkan kembali ke dalam oven dengan suhu $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam.
 - 6) Mengambil pasir dari oven, kemudian timbang (berat B).

$$K_{\text{I}} = \frac{A-B}{B} \times 100\% \quad (7)$$

- $\mathbf{Q}_2 \in \mathbf{M}_{n-1, n-1}$ is a symmetric

$$KL_{\text{rate-rate}} = \frac{KL1 + KL2 + KL3}{3} \quad (8)$$

Ressources éducatives

Algebraic Topology 1

- 1) Timbangan ketelitian 0.01 gram.
 - 2) Gelas ukur.

- 3) sendok

Bahan yang digunakan:

- 1) Pasir
 - 2) Air

Langkah kerja

- 1) Menimbang pasir sebanyak 100 gram sebanyak 3 kali.
 - 2) Mengisi gelas ukur dengan air sebanyak 300 ml.
 - 3) Memasukkan pasir kedalam gelas ukur
 - 4) Mengaduk pasir sampai tidak ada gelembung.
 - 5) Mengukur kenaikan volume air.
 - 6) Menghitung berat jenis

d. Pengujian kadar air pasir SSD

Alat yang digunakan:

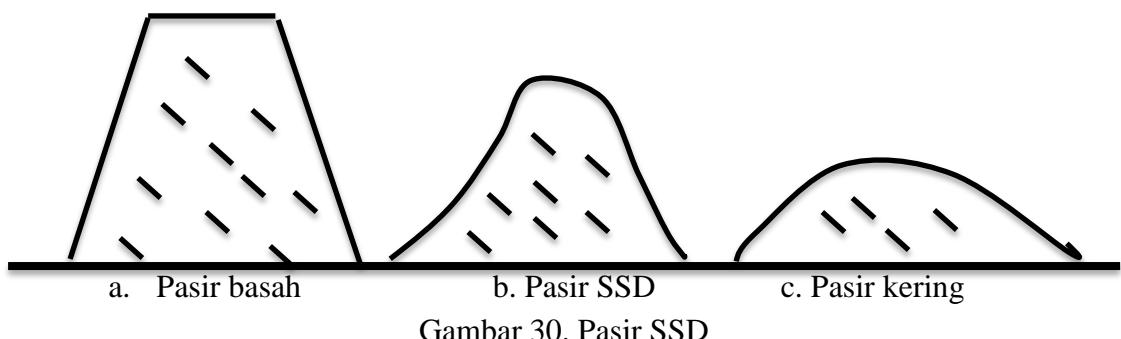
- 1) Timbangan ketelitian 0.01 gram.
 - 2) Piring.
 - 3) Sendok.
 - 4) Oven.
 - 5) Kerucut terpancung (*conic*).

Bahan yang digunakan:

- 1) Pasir.
 - 2) Air.

Langkah kerja:

- 1) Merendam pasir kedalam air selama 24 jam.
 - 2) Mengangkat pasir yang sudah di rendam dan di angin-anginkan di Loyang yang bersih.
 - 3) Menunggu pasir hingga hampir kering kemudian siapkan kerucut terpanjang.
 - 4) Memasukkan pasir kedalam kerucut terpanjang sebanyak 3 lapis, setiap lapis di tumbuk sebanyak 25 kali.
 - 5) Menambahkan pasir hingga melampaui bibir kerucut kemudian di tumbuk sebanyak 1 kali, dan diratakan.
 - 6) Mengangkat krucut secara perlahan, pasir dikatakan SSD jika keadaan seperti gambar berikut:



Gambar 30. Pasir SSD
(sumber: Imam, 2011)

- 7) Menimbang pasir 150 gram sebanyak 3 kali (misal berat A)
 - 8) Masukkan pasir kedalam oven dengan suhu $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam.
 - 9) Menimbang pasir yang sudah di oven (misal berat B)
 - 10) Menghitung kadar air pasir SSD

- 11) Menghitung kadar air rata-rata

$$\text{KA rata-rata} = \frac{\text{KA1} + \text{KA2} + \text{KA3}}{3} \dots \quad (11)$$

e. Pengujian bobot isi gembur

Alat yang digunakan:

- 1) Timbangan
 - 2) Jangka sorong.
 - 3) Bejana.

Bahan yang digunakan:

- 1) Pasir
 - 2) Air

Langkah kerja:

- 1) Menimbang bejana dalam keadaan kosong.
 - 2) Memasukkan pasir kedalam bejana sampai penuh, kemudian ditimbang kembali.
 - 3) Berat jenis dihitung dengan rumus:

Berat pasir = berat keseluruhan – berat bejana

- 4) Menghitung volume bejana dengan menggunakan jangka sorong dalam satuan dm.
 - 5) Bobot isi pasir dihitung:

f. Pengujian modulus kehalusan butir (MKB)

Alat yang digunakan:

- 1) Timbangan dengan ketelitian 0.01 gram.
 - 2) Ayakan pasir.

3) Piring

4) kuas

bahan yang digunakan:

1) pasir

langkah kerja

1) mengambil pasir dalam keadaan kering, kemudian menimbang sebanyak 1 kg.

2) memasukkan pasir ke dalam ayakan yang sudah diurutkan

3) kemudian ayak selama 3 menit, setelah itu putar ayakan 90° dan diayak lagi selama 2 menit.

4) Memindahkan pasir yang di ayakan ke piring yang diberi tanda sesuai ukuran ayakan dengan kuas agar tidak tersisa di ayakan.

5) Menimbang berat pasir sesuai nomor ayakan.

6) Menghitung presentase tembus komulatif untuk menentukan gradasi agregat halus.

7) Menghitung modulus kehalusan butir.

3. Pengujian Agregat Kasar

a. Uji kadar air

Alat yang digunakan:

1) Timbangan ketelitian 0.01 gram

2) Sendok

3) Piring

4) Oven

Bahan yang digunakan:

- 1) kerikil
 - 2) Air

Langkah kerja

- 1) Menimbang kerikil 200 gram sebanyak 3 kali (berat A).
 - 2) Menempatkan kerikil pada piring dan memberi nama, kemudian masukkan oven dengan suhu $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam.
 - 3) Mengambil kerikil dari oven, kemudian timbang (berat B).
 - 4) Menghitung kadar air

$$KA = \frac{A-B}{B} \times 100 \% \quad \dots \dots \dots \quad (14)$$

- ### 5) Menghitung kadar rata-rata

b. Uji kadar lumpur

Alat yang digunakan:

- 1) Timbangan ketelitian 0.01 gram.
 - 2) Sendok.
 - 3) Piring.
 - 4) Oven.

Bahan yang digunakan:

- 1) kerikil
 - 2) Air

Langkah kerja

- 1) Mengambil kerikil sebanyak satu piring penuh.

- 2) Memasukkan ke dalam oven dengan suhu $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam.
 - 3) Mengambil kerikil dari oven, timbang sebanyak 200 gram sebanyak 3 kali (misal berat A).
 - 4) Mencuci pasir sampai bersih hingga air tidak berubah warna.
 - 5) Memasukkan kembali ke dalam oven dengan suhu $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam.
 - 6) Mengambil kerikil dari oven, kemudian timbang (misal berat B).
 - 7) Menghitung kadar lumpur.
 - 8) Menghitung kadar lumpur.

- 9) Menghitung kadar rata-rata

$$\text{KL rata-rata} = \frac{KL1 + KL2 + KL3}{3} \dots \quad (17)$$

c. Pengujian berat jenis kerikil

Alat yang digunakan:

- 1) Timbangan ketelitian 0.01 gram.
 - 2) Gelas ukur.
 - 3) sendok

Bahan yang digunakan:

- 1) kerikil
 - 2) Air

Langkah kerja

- 1) Menimbang kerikil sebanyak 200 gram sebanyak 3 kali.
 - 2) Mengisi gelas ukur dengan air sebanyak 300 ml.
 - 3) Memasukkan kerikil kedalam gelas ukur
 - 4) Mengaduk kerikil sampai tidak ada gelembung.
 - 5) Mengukur kenaikan volume air.
 - 6) Menghitung berat jenis

d. Pengujian kadar air kerikil SSD

Alat yang digunakan:

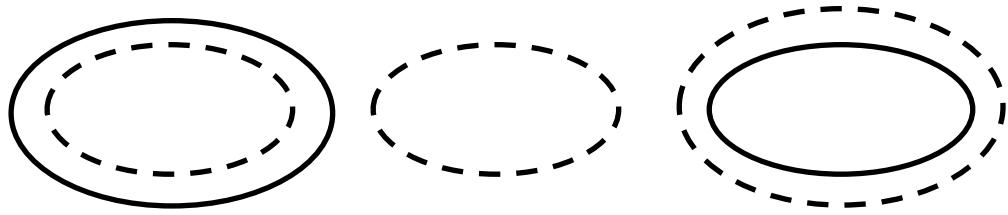
- 1) Timbangan ketelitian 0.01 gram.
 - 2) Piring.
 - 3) Kain lap
 - 4) Baskom
 - 5) Oven

Bahan yang digunakan:

- 1) Kerikil.
 - 2) Air.

Langkah kerja:

- 1) Merendam kerikil kedalam air selama 24 jam.
 - 2) Kerikil di lap sampai keadaan SSD. Kerikil yang sudah SSD



Gambar 31 keadaan air dalam agregat
 (sumber: Wuryati, 2001)

- 3) Menimbang kerikil SSD
 - 4) Masukkan kerikil kedalam oven dengan suhu $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam.
 - 5) Menimbang kerikil yang sudah di oven (misal berat B).
 - 6) Menghitung kadar air pasir SSD

- 7) Menghitung kadar air rata-rata

$$\text{KA rata-rata} = \frac{\text{KA1} + \text{KA2} + \text{KA3}}{3} \quad \dots \dots \dots \quad (20)$$

e. Keausan Kerikil

Alat yang digunakan:

- 1) Timbangan
 - 2) Mesin Los Angeles dan kelereng baja
 - 3) Ayakan 20 mm; 15 mm; 10 mm; 1,7 mm
 - 4) Mangkuk
 - 5) Oven

Bahan yang digunakan

1) Kerikil

2) Air

Langkah Kerja

- 1) Menyiapkan kerikil yang lolos diayakan 20 mm dan tertinggal di ayakan 15 mm sebanyak 3 kg (kerikil 1)
- 2) Menyiapkan kerikil yang lolos diayakan 15 mm dan tertinggal di ayakan 10 mm sebanyak 3 kg (kerikil 2)
- 3) Kerikil 1 dan kerikil 2 dimasukkan kedalam oven selama ± 24 jam dengan suhu $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$
- 4) Menimbang kerikil 1 dan kerikil 2 masing-masing 2,5 kg.
- 5) Memasukkan kerikil dan kelereng baja kedalam mesin *Los Angeles*, putar sebanyak 500 kali
- 6) Mengambil kerikil dari mesin *Los Angeles* kemudian mengayak dengan saringan tembus 1,7 mm.
- 7) Mencuci kerikil yang sudah di ayak dengan air hingga bersih
- 8) Kerikil telah dicuci kemudian dimasukkan ke dalam oven selama ± 24 jam dengan suhu $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$
- 9) Menimbang kerikil yang sudah dioven
- 10) Menghitung keausan kerikil dengan rumus:

$$\text{Keausan kerikil} = \frac{\text{Berat tertinggal}}{\text{Berat awal}} \times 100\% \text{ (harus } \geq 50\%) \quad (21)$$

4. Perencanaan Adukan Beton

Tata cara ini meliputi persyaratan umum dan persyaratan teknis perencanaan proporsi campuran beton untuk digunakan sebagai salah satu

acuan bagi para perencana dan pelaksana dalam merencanakan proporsi campuran beton

- a. Kuat beton yang disyaratkan/direncanakan ditentukan dengan kuat desak beton pada umur 28 hari (f'_c). Kuat desak yang disyaratkan ditetapkan sesuai dengan persyaratan perencanaan stuktur dan kondisi setempatnya.
 - b. Penetuan deviasi standart (s). ditentukan berdasarkan tingkah mutu pengendalian pelaksanaan campuran beton.

Tabel 4. Nilai deviasi standar

No	Tingkat Pengendalian Mutu Pekerjaan	MPa
1	Memuaskan	2,8
2	Sangat baik	3,5
3	Baik	4,2
4	Cukup	5,6
5	Jelek	7,0
6	Sangat jelek	8,4

- c. Perhitungan nilai tambah (margin/M)

Jika nilai tambah dihitung berdasarkan nilai standar deviasi (sd), maka dilakukan dengan rumus $M = k \cdot sd$ (22)

d. Menetapkan kuat tekan beton rata-rata yang direncanakan dengan rumus sebagai berikut:

$$F'_{cr} = f'_c + M (23)$$

e. Penetuan jenis semen Portland

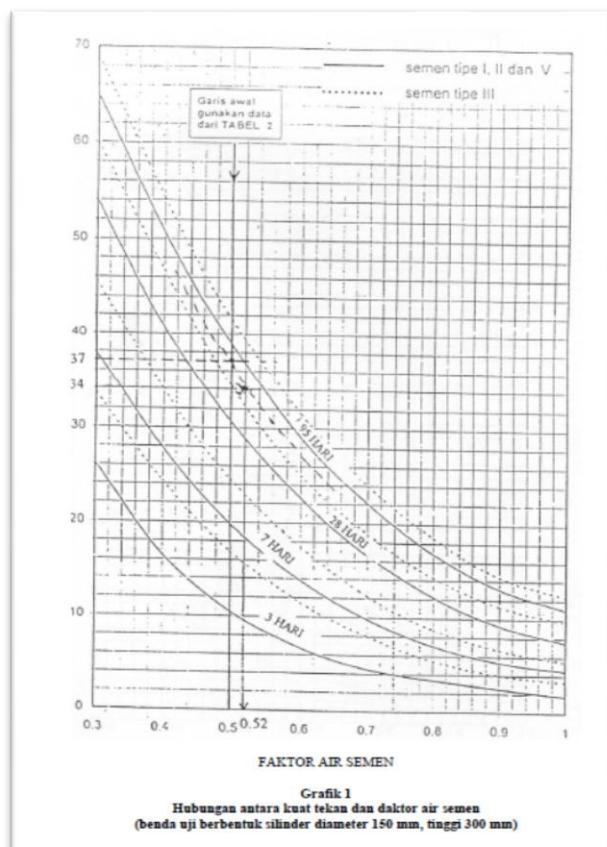
Menurut SNI 15-2094-2004 di Indonesia PC dibedakan menjadi 5 jenis, yaitu: I, II, III, IV dan V. untuk beton normal atau di daerah yang tidak ada pengaruh keasaman dll

f. Penetapan jenis agregat

Jenis agregat yang akan digunakan ditetapkan, apakah akan menggunakan pasir alam dan kerikil alam, ataukah pasir alam dan batu pecah (*cushed aggregate*)

g. Tetapkan air semen dengan salah satu cara berikut:

- 1) Berdasarkan jenis semen yang dipakai dan kuat tekan rata-rata silinder beton yang direncanakan pada umur 28 hari, ditetapkan nilai fas dengan grafik 1 Kita lihat nilai f'_{cr} . Kita lihat pada grafik arah sumbu Y (daerah kuat tekan rata-rata) pada titik F'_{cr} , ditarik kekanan hingga memotong grafik garis type semen umur 28 hari
- 2) Dari titik potong tersebut ditarik garis vertical ke bawah hingga memotong garis dasar (sumbu x) yang merupakan daerah nilai faktor air semen (fas)
- 3) Membaca hasilnya.



Gambar 32. Grafik faktor air semen
(Sumber: 03-2834-2000)

h. Penetapan FAS maksimum

Agar beton tidak cepat rusak maka ditetapkan nilai fas maksimum, dengan cara mengambil nilainya berdasarkan tabel 3.3. jika nilai fas maksimum ini yang digunakan. Misal bangunan didirikan di daerah yang tidak terlindung oleh hujan dan terik matahari langsung

Tabel 3.1. Persyaratan faktor air semen maksimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus

Jenis Pembetonan	Fas Maksimum
Beton di dalam ruang bangunan a. Keadaan keliling non korosif b. Keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosi	0,60 0,52
Beton di luar ruang bangunan	

Jenis Pembetonan	Fas Maksimum
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,55 0,60
Beton yang masuk ke dalam tanah a. Mengalami keadaan basah dan kering bergantian b. Mendapatkan pengaruh sulfat dan alkali dari tanah	0,55 Gambar 3.30.
Beton yang selalu berhubungan dengan air tawar / payau / laut	Gambar 3.31.

Kadar ganguan sulfat	Konsektasi Sulfat Sebagai SO ₃			Tipe semen	Kandungan semen minimum ukuran nominal agregat maksimum (Kg/M ³)			Factor air semen
	Dalam tanah	Total SO ₃ (%)	SO ₃ dalam campuran Air : Tanah = 1:1 g/l		Sulfat (SO ₃) Dalam air Tanah g/l	40 mm	20 mm	
1	Kurang dari 0,2	Kurang dari 1,0	Kurang dari 0,3	Tipe 1 dengan atau tanpa Pozolan (15-40%)	30	300	350	0,50
2	0,2-0,5	1,0-1,9	0,3-1,2	Tipe 1 dengan atau tanpa Pozolan (15-40%)	290	330	350	0,50
				Tipe 1 Pozolan (15-40%) atau Semen Portland Pozolan	270	310	360	0,55
				Tipe II atau Tipe V	250	290	340	0,55
3	0,5-1	1,9-3,1	1,2-2,5	Tipe 1 Pozolan (15-40%) atau Semen Portland Pozolan	340	380	430	0,45
				Tipe II atau Tipe V	290	330	380	0,50
4	1,0-2,0	3,1-5,6	2,5-5,0	Tipe II atau Tipe V	330	370	420	0,45
5	Lebih dari 2,0	Lebih dari 5,6	Lebih dari 5,0	Tipe II atau Tipe V Lapisan pelindung	330	370	420	0,45

Gambar 33. Ketentuan untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat.
(Sumber: 03-2834-2000)

Jenis beton	Kondisi lingkungan yang berhubungan dengan	Factor air semen maksimum	Tipe semen	Kandungan semen minimum (kg/m ³)	
				Ukuran nominal Maksimum agregat	
				40 mm	20 mm
Bertulang atau Pra tegang	Air tawar	0,50	Tipe – V	280	300
	Air payau	0,45	Tipe I + Pozolan (15-40%) atau Semen Portland Pozalen		
	Air laut	0,50	Tip ell atau Tipe V	340	380
		0,45	Tipe ll atau Tipe V		

Gambar 34. Ketentuan minimum untuk beton bertulang kedap air
(Sumber: 03-2834-2000)

i. Penentuan nilai slum

Nilai slum dapat ditentukan sebelumnya atau tidak ditentukan.

Penetapan nilai slump dilakukan dengan mempertimbangkan atas dasar pelaksanaan pembuatan, cara mengangkat (alat yang digunakan), penuangan (pencetakan), pemasatan, maupun jenis stukturnya.

Nilai slump yang diinginkan dapat diperoleh dari tabel 3 berikut:

Tabel 5. Penetapan nilai slump (cm)

Pemakaian Beton	Maksimum	Minimum
Dinding, plat pondasi dan pondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Fondasi telapak tidak bertulang, kaison, dan stuktur dibawah tanah	9,0	2,5
Pelat, balok, kolom dan dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan masal	7,5	2,5

j. Penetapan butir maksimum

Untuk menetapkan besar butir agregat maksimum dilakukan berdasarkan nilai terkecil dari ketentuan berikut:

- 1) Jarak bersih minimum antar baja tulangan atau berkas baja tulangan, atau tendon pra-tegang dikalikan tiga perempat
 - 2) Sepertiga kali tebal plat
 - 3) Seperlima jarak terkecil antara bidang samping dari cetakan

k. Jumlah air yang diperlukan per meter kubik, berdasarkan ukuran maksimum agregat, jenis agregat, dan slum yang diinginkan, lihat tabel 10 Bila agregat halus dan kasar dipakai jenis yang berbeda maka menggunakan rumus $A = 0,67Ah + 0,33Ak$ (24)

Dengan:

$A = \text{Banyaknya air yang dibutuhkan (liter)}/m^3 \text{ beton}$

A_h = Banyaknya air yang dibutuhkan menurut agregat halus

Ak = Banyaknya air yang dibutuhkan memnurut agregat kasar

Tabel 6. Perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton (liter)

Besar ukuran maks. kerikil (mm)	Jenis batuan	Slump (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Alami	150	180	205	225
	Batu pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Batu pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

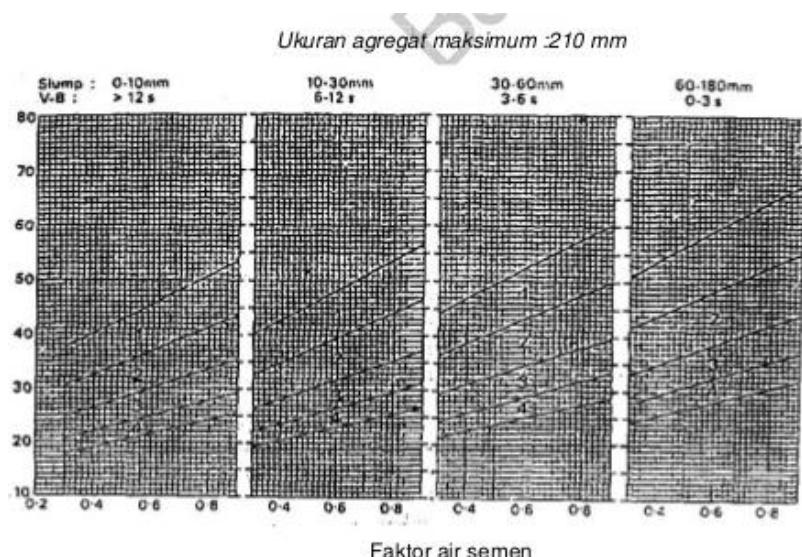
1. Hitungan berat semen yang diperlukan, berat semen per meter kubik beton dihitung dengan membagi jumlah air, Tergantung mana nilai yang lebih kecil.
- m. Hitungan berat semen minimum: kebutuhan semen minimum ditetapkan dengan tabel 3.6. kebutuhan semen minimum ini diperlukan untuk menghindari kerusakan akibat lingkungan khusus.

Tabel 7. Kebutuhan semen minimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus

Jenis Pembetonan	Semen minimum
Beton di dalam ruang bangunan <ol style="list-style-type: none"> a. Keadaan keliling non korosif b. Keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosi 	275 325
Beton di luar ruang bangunan <ol style="list-style-type: none"> a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung 	325 275
Beton yang masuk ke dalam tanah <ol style="list-style-type: none"> a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti b. Mendapatkan pengaruh sulfat dan alkali dari tanah 	325 Gambar 3.30.
Beton yang selalu berhubungan dengan air tawar / payau / laut	Gambar 3.31

- n. Penyesuaian kebutuhan semen: bila kebutuhan semen yang diperoleh ternyata lebih sedikit daripada kebutuhan semen minimum maka kebutuhan semen harus dipakai yang minimum (yang nilainya lebih besar)
- o. penyesuaian jumlah air atau faktor air semen: jika jumlah semen ada perubahan, maka nilai faktor air semen berubah. Dan hitung ulang

- p. Penentuan daerah gradasi agregat halus: berdasarkan gradasi (hasil analisis ayak) agregat halus yang akan dipakai sesuai dengan hasil analisis ayak masuk daerah yang mana (zone 1, 2, 3, 4)
 - q. Perbandingan agregat halus dan kasar, penetapan dilakukan dengan melihat butir maksimum agregat kasar, nilai slum, fas dan daerah gradasi (zone) agregat halus. Lihat gambar 3.32.



Grafik 14 Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran butir maksimum 20 mm

Gambar 35. Agregat maksimum
(Sumber: 03-2834-2000)

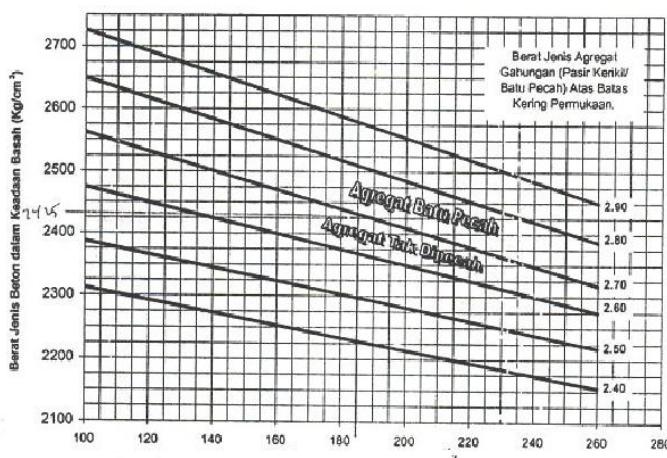
- r. Berat jenis agregat campuran: dihitung berdasarkan rumus:

Dengan:

P = Presentase pasir terhadap agregat campuran

K = Persentase kerikil terhadap agregat campuran

- s. Penentuan berat jenis beton: dengan data berat jenis agregat campuran dan kebutuhan air tiap meter kubik betonnya maka dapat di lihat pada grafik 2 dapat diperkirakan berat jenis betonnya.



Gambar 36. Berat jenis beton
(Sumber: 03-2834-2000)

- t. Kebutuhan agregat campuran dihitung dengan cara mengurangi berat beton per meter kubik dikurangi kebutuhan air dan semen
- u. Hitung berat agregat halus yang diperlukan, Kebutuhan agregat halus dihitung dengan cara mengalikan kebutuhan agregat campuran dengan prosentase berat agregat halusnya.
- v. Hitung agregat kasar yang diperlukan, dengan cara mengurangi agregat campuran dengan agregat halus.

G. Pembuatan benda uji

1. Menyiapkan alat dan bahan

a. Membuat SSD agregat halus



Gambar 37. SSD agregat halus

b. Membuat SSD agregat kasar



Gambar 38. SSD agregat kasar

c. Menimbang agregat halus, agregat kasar, dan semen.



Gambar 39. Menimbang agregat

- d. Menakar air.



Gambar 40. Menakar air

- e. Menyiapkan besi tulangan yang sudah ditimbang dan menyatukan dengan kabel.
- f. Menyiapkan molen, loyang, krucut abrams, meteran, cetok, kabel listrik.
- g. Menyiapkan cetakan balok dan cetakan silinder, kemudian diolesi oleh oli.



Gambar 41. Persiapan cetakan

2. Pembuatan beton.

- a. Memasang kabel listrik, kemudian menyalakan molen, kemudian membasahi molen, agar bahan-bahan tidak menempel pada pinggiran molen.

b. Memasukkan bahan satu persatu secara berurutan dan sedikit demi sedikit. Ini bertujuan agar bahan tersebut tercampur secara merata, adapun urutan-urutan dalam masukkan bahan kedalam molen adalah sebagai berikut:

- 1) Memasukan agregat halus.



Gambar 42. Memasukan agregat halus

- 2) Memasukan agregat kasar.



Gambar 43. Memasukan agregat kasar

- 3) Memasukan semen.



Gambar 44. Memasukan semen

- 4) Memasukkan sebagian air.



Gambar 45. Memasukkan air

- c. Menuang adukan dari mesin molen ke Loyang.

Setelah pencampuran air, agregat kasar, agregat halus, dan semen sudah merata/homogen, adukan dituang ke Loyang yang sudah dipersiapkan di bagian bawah mesin molen.



Gambar 46. Menuang adukan beton

- d. Pengukuran nilai *slump*.

Setelah adukan berada di loyang, kemudian adukan siap diuji slump. Proses pemasukan adukan kedalam kerucut abrams Pada 1/3 tinggi kerucut abrams ditumbuk sebanyak 25 kali, pada 2/3 tinggi kerucut abrams ditumbuk kembali sebanyak 25 kali. Kemudian diisi penuh kemudian di tumbuk sebanyak 25 kali. Setelah proses penumbukan sebanyak 75 kali, kerucut abrams di tunggu 30 detik

kemudian di angkat secara vertikal. Kemudian penurunan adukan beton diukur dari tinggi kerucut *abrams*.



Gambar 47. Pengukuran *slump*

e. Pencetakan benda uji

Pada saat bersamaan dengan pengukuran nilai *slump*, adukan juga dimasukkan kedalam cetakan untuk dicetak menjadi beton balok dan beton silinder. Proses pemasukan adukan kedalam cetakan balok dan cetakan silinder sama seperti pada saat memasukkan adukan kedalam kerucut abrams, untuk yang cetakan balok di beri tulangan yang sudah diberi nama. Pada 1/3 tinggi cetakan adukan ditumbuk sebanyak 25 kali, pada 2/3 tinggi cetakan ditumbuk kembali sebanyak 25 kali. Kemudian diisi penuh kemudian di tumbuk sebanyak 25 kali. Setelah proses penumbukan sebanyak 75 kali, cetakan diisi penuh dan diratakan sampai halus agar sesuai dengan ukuran panjang pengujian. Setelah proses pencetakan selesai, kemudian disimpan dan dirawat.



Gambar 48. Pemadatan benda uji

3. Pembongkaran cetakan

Setelah beton di dalam cetakan didiamkan selama 1 hari, kemudian cetakan di bongkar.



Gambar 49. Pembongkaran benda uji

4. Perawatan Beton

Setelah beton di lepas dari cetakan kemudian beton dilakukan perawatan. Ini dilakukan agar ikatan air, semen, dan agregat menjadi sempurna. Perawatan beton dilakukan Laboratorium Hidraulika, Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, UNY selama 28 hari dengan cara menutupi benda uji dengan karung goni dengan keadaan basah.



Gambar 50. Perawatan beton

5. *Capping* (pelapisan permukaan beton silinder)

Beton dilakukan pengujian tekan ketika berumur minimal 28 hari.

Sebelum diuji, beton di timbang, diukur diameternya, dan tingginya.

Kemudian dilakukan pengujian. Jika permukaan atas tidak rata, maka beton di caping dahulu, ini berfungsi agar beton bisa menerima beban secara merata. Adapun cara mengcapping sebagai berikut:

- Menyiapkan bahan dan alat



Gambar 51. Bubuk belerang

- Memanaskan kompor kemudian memasak belerang di mangkuk.



Gambar 52. Memasak bubuk belerang

- c. Belerang yang sudah mencair, kemudian di masukkan kedalam cetakan yang sudah di siapkan beton.



Gambar 53. Penuangan cairan belerang

- d. Tunggu sampai belerang mongering, kemudian beton diangkat dari cetakan.



Gambar 54. Hasil *capping*

6. Uji kuat tekan beton

Setelah beton silinder di *capping*, kemudian beton siap di uji. Beton diuji kuat tekan dengan menggunakan mesin *Compressive Testing Machine* di

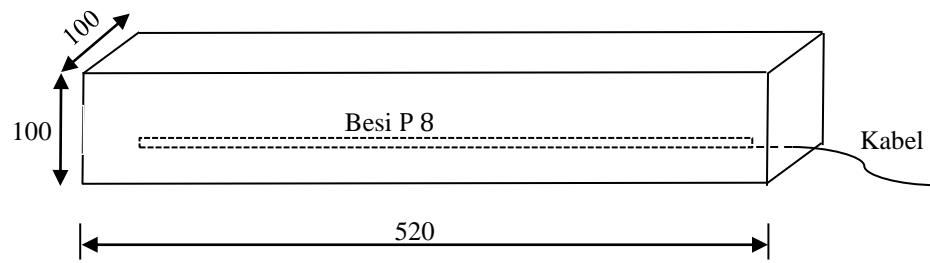
Laboratorium Bahan Bangunan, Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, UNY.



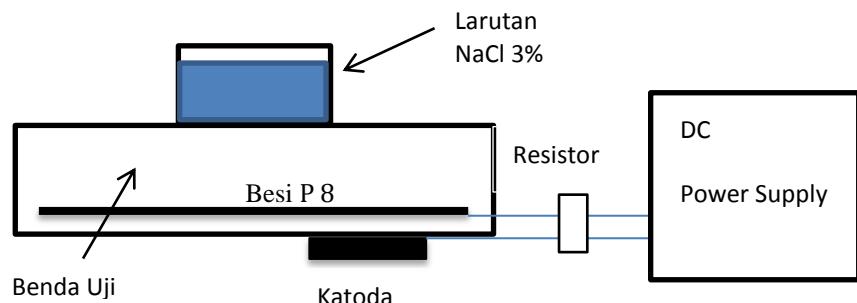
Gambar 55. Uji tekan

7. Benda Uji dan *Set-up* Penelitian

Benda uji dan *set-up* penelitian disajikan dalam gambar dibawah ini:



Gambar 56. Benda uji balok



Gambar 57. *Set-up* penelitian

8. Tahap Penelitian

Pengujian korosi dilakukan dengan cara memberikan arus listrik dengan ukuran tertentu, waktu tertentu, dan merendamnya menggunakan air garam dengan kadar tertentu. Adapun langkah pengujian sebagai berikut:

- a. Membuat bak perendaman
- b. Membuat kstoda dan memasangnya dengan kabel
- c. Membuat air perendaman dengan *aquades* dan NaCl 3%
- d. Memasang beton dengan bak perendaman
- e. Menyatukan tulangan baja dengan resistor dan katoda
- f. Menyetel mesin *Power Supply* dengan daya 6 volt
- g. Mengisi bak perendaman dengan air perendaman
- h. Merangkai beton ke mesin.
- i. Menghitung umur pengujian setelah benda uji terpasang dengan *power supply*.
- j. Merawat dan mengamati serta menjaga agar daya tetap 6 volt.
- k. Setelah sampai umur di tetapkan, beton di lepas dan dibersihkan.
- l. Beton digambar garis persatu sentimeter horizontal dan vertikal untuk alat bantu menggambar pola retak.
- m. Menyiapkan beton ke laboratorium bahan untuk di uji.
- n. Menguji benda uji.

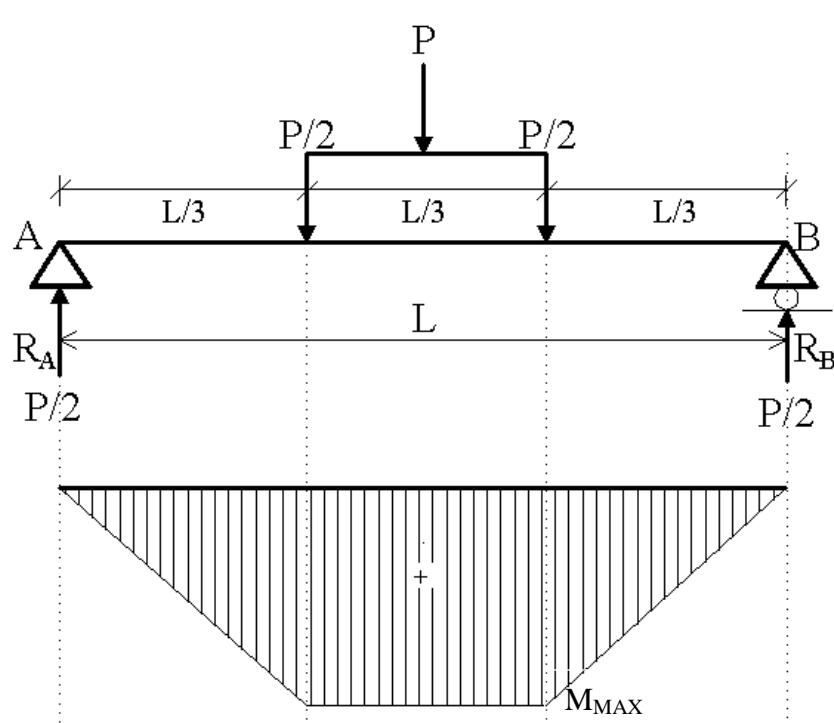
9. Analisis Data

a. Pengujian Kuat lentur

Menurut SNI-4431-2011 kuat lentur beton merupakan kemampuan balok beton yang diletakan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan kepadanya, sampai benda uji patah, dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya per satuan luas. Pengujian kuat lentur dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan, Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik UNY. Pengujian kuat lentur benton ini dilakukan pada umur beton 7, 14, 28, dan 56 hari, berikut langkah-langkah pengujian:

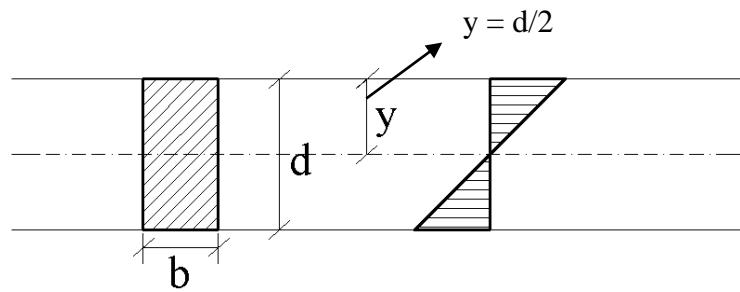
- 1) Menyiapkan balok beton yang telah selesai dari proses laju korosi.
- 2) Menggambar pola retak pada sisi bagian kanan dan kiri balok beton.
- 3) Pengujian kuat lentur dilakukan menggunakan mesin kuat lentur (*Universal Testing Machine*).
- 4) Meletakan benda uji dan menyetel tumpuan pada alat, lalu menekan tombol untuk menghidupkan mesin.
- 5) Apabila beton sudah mengalami retakan, kemudian memotret dan menggambar pola retak yang terjadi pada beton.
- 6) Setelah proses pengujian kuat lentur selesai, benda uji dipecah untuk melihat baja tulangan yang ada di dalamnya.

- 7) Menimbang berat baja tulangan kembali untuk mendapatkan selisih berat sebelum dan setelah pengujian. Selisih berat baja tulangan tersebut akan digunakan sebagai data untuk mendapatkan nilai laju korosi.
 - 8) Pengujian ini menggunakan metode pembebahan 4 titik (*four point bending*). Menghitung kuat lentur benda uji menggunakan rumus:



Gambar 58 Penggambaran BMD dengan cara grafis

Menurut gambar diatas dapat digunakan persamaan, sebagai berikut:



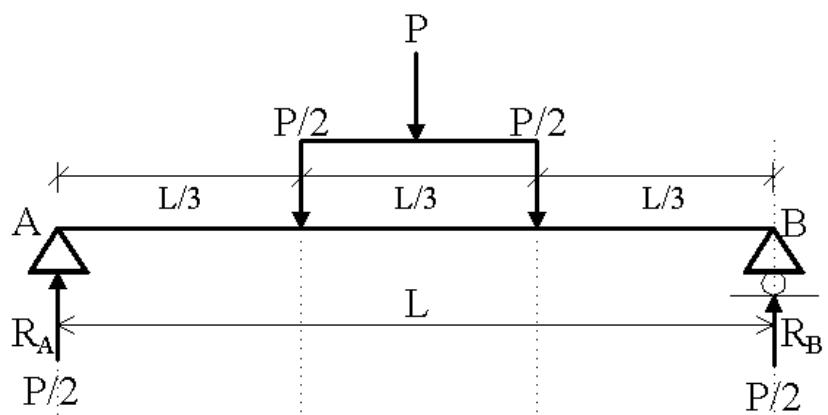
Gambar 59. Penampang dan diagram regangan pada balok

Dari gambar diatas, didapat sebagai berikut:

Berikut persamaan *four point bending*:

$$\sigma = \frac{\frac{PL}{6} \times d}{\frac{1}{12} \times b \times d^3}$$

$$\sigma = \frac{PL \times d}{12b \times d^3} \times 12$$



Gambar 60. Garis-garis perletakan dan pembebanan
 (Sumber: ASTM C78/C78M)

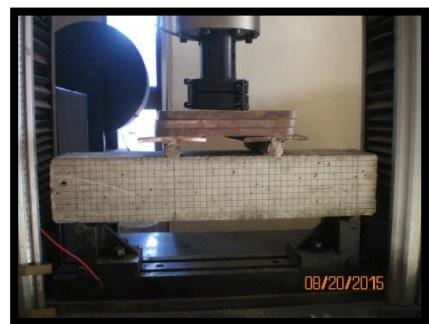
Keterangan gambar:

L adalah jarak (bentang) antara dua garis perletakan (mm).

b adalah lebar tampak lintang benda uji (mm).

h adalah tinggi tampak lintang benda uji (mm).

P adalah beban tertinggi yang ditunjukan oleh mesin uji (N).



Gambar 61. Pengujian kuat lentur

b. Analisis data

Setelah benda uji dilakukan pengujian dan pengambilan data, kemudian lakukan perhitungan dengan menggunakan rumus:

Rumus kuat lentur $\sigma = \frac{PL}{bd^2}$ (31)

Dimana:

σ : Kuat lentur (N/mm^2)

P : Gaya tekan (N)

L : Panjang bentang antara 2 tumpuan (mm)

b : Lebar balok (mm)

d : Tinggi balok (mm)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian

Sebelum dilakukan pembuatan spesimen benda uji, semua bahan yang akan digunakan terlebih dulu dilakukan pengujian sesuai prosedur, setelah itu membuat benda uji dan mengujinya. Pengujian ini dilaksanakan di Laboratoriun Bahan Bangunan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta. Adapun hasil pengujian bahan tersebut antara lain:

1. Pengujian Semen

Pengujian semen dilakukan dengan pengamatan secara langsung.

Dari pengamatan dihasilkan bahwa kemasan zak semen dalam keadaan utuh dan baik, kondisi semen dalam keadaan tidak menggumpal maupun mengeras.

2. Pengujian Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat halus yang berasal dari sungai progo. Sebelum digunakan agregat halus diuji terlebih dulu, diantaranya kadar air alami, kadar air SSD, kadar lumpur, berat jenis, bobot isi, dan modulus kehalusan butir. Berikut adalah hasil pengujian agregat halus:

Tabel 8. Data pengujian agregat halus

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
1	Kadar air alami	3,85 %
2	Kadar air SSD	2,87 %
3	Kadar lumpur	0,2 %
4	Berat jenis	2,54 gr/ml
5	Bobot isi	1,328 kg/dm ³
6	Modulus Kehalusan butir	Zone 2

a. Kadar air agregat halus alami

Pengujian kadar air merupakan jumlah air yang terkandung pada suatu agregat. Adapun data yang diperoleh dari pengujian kadar air agregat halus dalam kondisi alami adalah sebagai berikut:

Tabel 9. Hasil uji kadar air pasir alami

No.	Berat Awal (gram)	Berat Kering (gram)	Kadar Air (%)
1	150	145,10	3,38
2	150	143,55	4,49
3	150	144,66	3,69
Rata-rata			3,85

$$\text{Kadar air 1} = \frac{150 - 145,10}{145,10} \times 100\% = 3,38\%$$

$$\text{Kadar air 2} = \frac{150 - 143,55}{143,55} \times 100\% = 4,49\%$$

$$\text{Kadar air 3} = \frac{150 - 144,66}{144,66} \times 100\% = 3,69\%$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{3,38\% + 4,49\% + 3,69\%}{3} \times 100\% = 3,85\%$$

b. Kadar air agregat halus SSD

Adapun data yang diperoleh dari pengujian kadar air agregat halus dalam kondisi SSD adalah sebagai berikut:

Tabel 10. Hasil uji kadar air pasir SSD

No	Berat Awal (gram)	Berat Kering (gram)	Kadar Air (%)
1	150	145,96	2,76
2	150	145,86	2,83
3	150	145,57	3,04
Rata-rata			2,87

$$\text{Kadar air 1} = \frac{150 - 145,96}{145,96} \times 100\% = 2,76\%$$

$$\text{Kadar air 2} = \frac{150 - 145,86}{145,86} \times 100\% = 2,83\%$$

$$\text{Kadar air 3} = \frac{150 - 145,57}{145,57} \times 100\% = 3,04\%$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{2,79\% + 2,83\% + 3,04\%}{3} \times 100\% = 2,87\%$$

c. Kadar lumpur agregat halus

Adapun data dari pengujian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 11. Hasil uji kadar lumpur pasir alami

No	Berat awal (gram)	Setelah dimasukkan oven (gram)	Berat kering (gram)	Kadar lumpur (%)
1	150	145,10	144,72	0,2
2	150	143,55	143,17	0,2
3	150	144,66	144,36	0,2
Rata-rata				0,2

$$\text{Kadar lumpur 1} = \frac{145,10 - 144,72}{144,72} \times 100\% = 0,2\%$$

$$\text{Kadar lumpur 2} = \frac{143,55 - 144,17}{144,17} \times 100\% = 0,2\%$$

$$\text{Kadar lumpur 3} = \frac{144,66 - 144,36}{144,36} \times 100\% = 0,2\%$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{0,2 + 0,2 + 0,2}{3} = 0,2\%$$

d. Berat jenis agregat halus

Adapun data hasil pengujian berat jenis agregat halus dalam kondisi SSD adalah sebagai berikut:

Tabel 12. Hasil uji berat jenis agregat halus SSD

Cawan	Berat pasir (gram)	Volume pasir (ml)	Berat jenis (gr/ml)
1	100	39	2,56
2	100	40	2,50
3	100	39	2,56
Rata-rata			2,54

$$\text{Berat jenis 1} = \frac{100}{39} = 2,56 \text{ gr/ml}$$

$$\text{Berat jenis 2} = \frac{100}{40} = 2,5 \text{ gr/ml}$$

$$\text{Berat jenis 3} = \frac{100}{39} = 2,56 \text{ gr/ml}$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{2,56 + 2,50 + 2,56}{3} = 2,54 \text{ gr/ml}$$

e. Bobot isi agregat halus

Adapun data dari hasil pengujian pengujian bobot isi tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 13. Hasil uji bobot isi agregat halus

Berat bejana (kg)	Berat bejana+pasir (kg)	Volume bejana (liter)	Bobot isi gembur (kg/lt)
10,8	30,4	14,75	1,328

$$\text{Volume bejana} = \pi \cdot 1,275 \cdot 2,89 = 14,75 \text{ dm}^3$$

$$\text{Bobot isi} = \frac{19,6}{14,75} = 1,328 \text{ kg/dm}^3$$

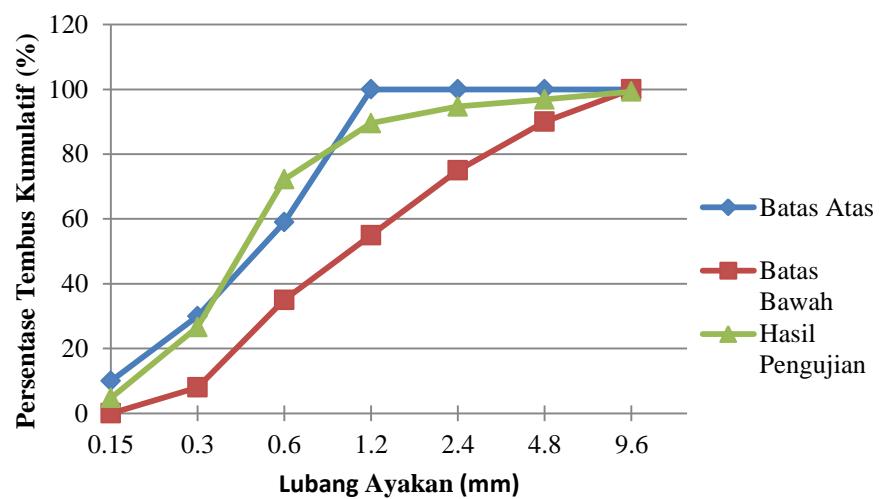
f. Modulus kehalusan Butir

Dari pengujian ini diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 14. Data pengujian modulus kehalusan butir (MKB)

Lubang ayakan (gram)	Berat tertahan (gram)	Tertahan (%)	Komulatif tertahan (%)	Persen lolos (%)
9,6	3,56	0,72	0,72	99,28
4,8	11,89	2,41	3,31	96,87
2,4	11,29	2,2	5,33	94,67
1,2	25,57	5,1	10,43	89,57
0,6	85,52	17,34	27,77	72,23
0,3	224,79	45,59	73,36	26,64
0,15	108,02	21,90	95,26	4,74
< 0,15	22,41	4,54	99,8	0,2
Jumlah	493,05	99,8	315,8	-

$$\text{MKB} = \frac{315,8}{99,8} = 3,16 \text{ (Zona II)}$$



Gambar 62. Grafik Modulus Kehalusan Butir

3. Pengujian Agregat Kasar

Pengujian agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari pecahan batu gunung merapi. Adapun hasil dari pengujian untuk memenuhi persyaratan pembuatan benda uji antara lain:

Tabel 15. Data pengujian agregat kasar

No	Jenis Pengujian	Hasil Pengujian
1	Kadar air alami	0,013 %
2	Kadar air SSD	3,35 %
3	Kadar lumpur	0,93 %
4	Berat jenis	2,5 gr/ml
5	Bobot isi	1,315 g/dm ³
6	Kausan agregat	80,5 %

a. Kadar air agregat kasar alami

Pada pengujian kadar air agregat kasar dalam kondisi alami diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 16. Hasil uji kadar air alami

No	Berat awal (gram)	Berat kering (gram)	Kadar air alami (%)
1	150,001	148,18	0,012
2	150,012	148,09	0,013
3	150	148,11	0,013
Rata-rata			0,013

$$\text{Kadar air 1} = \frac{150,001 - 148,18}{148,18} \times 100\% = 0,012\%$$

$$\text{Kadar air 2} = \frac{150,012 - 149,09}{148,09} \times 100\% = 0,013\%$$

$$\text{Kadar air 3} = \frac{150 - 148,11}{148,11} \times 100\% = 0,013\%$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{0,012 + 0,013 + 0,013}{3} = 0,013\%$$

b. Kadar air agregat kasar SSD

Pada pengujian kadar air agregat kasar dalam kondisi SSD diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 17. Hasil uji kadar air SSD

No	Berat awal (gram)	Berat kering (gram)	Kadar air SSD (%)
1	200	196,5	1,78
2	200	190,92	4,75
3	200	193,16	3,54
Rata-rata			3,35

$$\text{Kadar air 1} = \frac{200 - 196,5}{196,5} \times 100\% = 1,78\%$$

$$\text{Kadar air 2} = \frac{200 - 190,92}{190,92} \times 100\% = 4,75\%$$

$$\text{Kadar air 3} = \frac{200 - 193,16}{193,16} \times 100\% = 3,54\%$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{1,78 + 4,75 + 3,54}{3} = 3,35\%$$

c. Kadar lumpur agregat kasar

Adapun data dari hasil pengujian kadar lumpur agregat kasar adalah sebagai berikut:

Tabel 18. Hasil uji kadar lumpur agregat kasar

No	Berat awal (gram)	Berat kering 1 (gram)	Berat kering 2 (gram)	Kadar lumpur
1	150,001	148,18	146,94	0,84
2	150,012	148,09	147,01	0,73
3	150	148,11	146,31	1,21
Rata-rata				0,93

$$\text{Kadar lumpur 1} = \frac{148,18 - 146,94}{146,94} \times 100\% = 0,84\%$$

$$\text{Kadar lumpur 2} = \frac{148,09 - 147,01}{147,01} \times 100\% = 0,73\%$$

$$\text{Kadar lumpur 3} = \frac{148,11 - 146,31}{146,31} \times 100\% = 1,21\%$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{0,84 + 0,73 + 1,21}{3} = 0,93\%$$

d. Berat jenis agregat kasar

Adapun data dari hasil pengujian berat jenis agregat kasar dalam kondisi SSD adalah sebagai berikut:

Tabel 19. Hasil uji berat jenis agregat kasar

No	Berat kerikil (gram)	Volume air (ml)	Volume + pasir (ml)	Berat jenis (gr/ml)
1	150	300	360	2,5
2	150	300	360	2,5
3	150	300	360	2,5
Rata-rata				2,5

$$\text{Berat jenis 1} = \frac{300 - 360}{360} \times 100\% = 2,5 \text{ gr/ml}$$

$$\text{Berat jenis 2} = \frac{300 - 360}{360} \times 100\% = 2,5 \text{ gr/ml}$$

$$\text{Berat jenis 3} = \frac{300 - 360}{360} \times 100\% = 2,5 \text{ gr/ml}$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{2,5 + 2,5 + 2,5}{3} = 2,5 \text{ gr/ml}$$

e. Bobot isi agregat kasar

Adapun data dari pengujian bobot isi adalah sebagai berikut:

Tabel 20. Hasil uji bobot isi agregat kasar

Berat bejana (kg)	Berat bejana + Pasir (kg)	Volume bejana (liter)	Bobot isi gembur (kg/liter)
10,8	30,2	19,4	1,315

$$\text{Volume} = \pi \cdot r^2 \cdot t = \pi \times 1,275 \times 2,89 = 14,75 \text{ dm}^3$$

$$\text{Bobot isi} = \frac{19,4}{14,75} = 1,315 \text{ kg/dm}^3$$

f. Keausan agregat kasar

Dari pengujian keausan agregat kasar diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 21. Hasil uji keausan agregat kasar

Berat awal (gram)	Berat tertinggal (gram)	Keausan kerikil (%)
5000	2770	80,5

$$\text{Kearausan} = \frac{5000 - 2770}{2770} \times 100\% = 80,5 \% (< 50 \%)$$

4. Pengujian Air

Pengujian air dilakukan dengan mengamati air secara langsung.

Dari pengamatan diketahui bahwa air dalam kondisi baik, tidak terlihat adanya lumpur, kotoran atau kandungan bahan kimia dan secara fisik terlihat bening (tidak berwarna), maka dapat disimpulkan bahwa air tersebut memenuhi syarat untuk campuran pembuatan beton.

5. Proporsi Campuran (Mix design)

Berikut hasil perhitungan *mix design* dengan mutu beton 25 MPa

Tabel 22. *Mix design* dengan mutu beton 25 MPa

Volume	Berat Beton	Air	Semen	Agregat halus	Agregat Kasar
1m3	2262,5	204,9	394,04	598,88	1064,68
1 adukan	35,974	3,258	6,26	95,22	16.93

6. Pengujian Kuat Tekan Beton

- a. Kuat tekan beton dengan menggunakan tipe semen PCC

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan yang dapat dicapai oleh beton yang sudah berumur 28 hari. Dari hasil pengujian kuat tekan yang telah dilakukan diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 23. Data pengujian kuat tekan beton tipe semen PCC

No Benda Uji	Berat benda (kg)	Diameter rerata (mm)	Tinggi (mm)	P (Kg)	Kuat tekan (MPa)	Rerata (MPa)
1	11,89	147,50	303	670000	39.21	38,34
2	11,98	149,25	303	680000	38.87	
3	11,95	148,50	302	640000	36.95	

- b. Kuat tekan beton dengan menggunakan tipe semen PPC

Data yang di ambil dari pengujian sebelumnya yang dilakukan oleh Rusman (2016).

Tabel 24. Data pengujian kuat tekan beton tipe semen PPC

No Benda Uji	Berat benda (kg)	Diameter rerata (mm)	Tinggi (mm)	P (Kg)	Kuat tekan (Mpa)	Rerata (MPa)
1	12,005	148,95	303	720000	41,34	38,61
2	12,195	149,25	300	620000	35,46	
3	14,9	149	297	680000	39,02	

$$\text{Kuat tekan} = \frac{\text{Beban (P)}}{\text{Luas Penampang (A)}} \quad \dots \dots \dots \quad (32)$$

Kuat tekan Benda uji 1 tipe semen PCC

$$P = 570000 \text{ kg}$$

$$A = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 147,50^2 = 17087,32 \text{ mm}^2$$

$$\frac{P}{A} = \frac{670000}{17087.32} = 39,21 \text{ MPa}$$

7. Pengian Kuat Lentur Beton

a. Kuat lentur beton dengan menggunakan tipe semen PCC

Pengujian ini dilakukan pada beton yang telah di beri bak rendaman selama umur 7 hari, 14, hari, 28 hari, 56, dan 112 hari yang diisi dengan larutan NaCl sebanyak 3%. dari data pengujian kuat lentur yang telah dilakukan diperoleh data sebagai berikut.

Tabel 25. Data pengujian kuat lentur beton tipe semen PCC

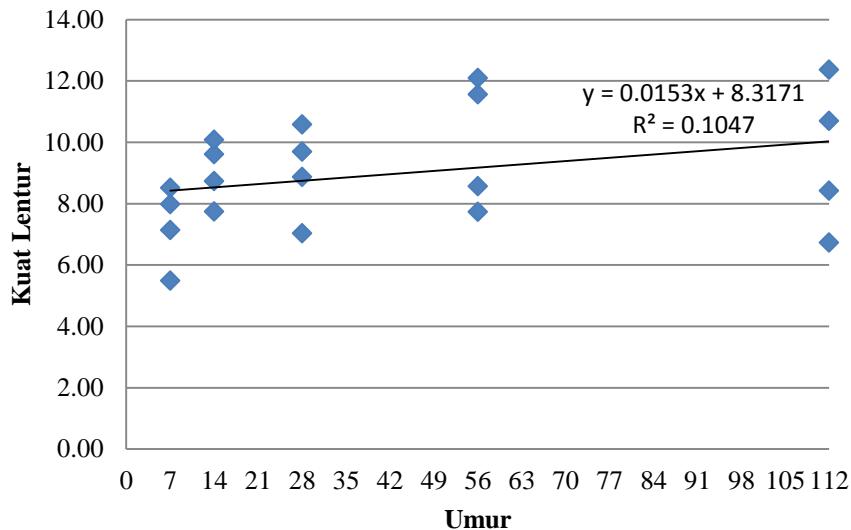
Umur	P (N)	d (mm)	b (mm)	L (mm)	kuat lentur (MPa)
7	17730	100	100	450	7,98
7	15850	100	100	450	7,13
7	12180	100	100	450	5,48
7	18910	100	100	450	8,51
14	17210	100	100	450	7,74
14	21360	100	100	450	9,61
14	19400	100	100	450	8,73
14	22400	100	100	450	10,08
28	23500	100	100	450	10,58
28	19710	100	100	450	8,87
28	21530	100	100	450	9,69
28	15620	100	100	450	7,03
56	19030	100	100	450	8,56
56	26880	100	100	450	12,10
56	25690	100	100	450	11,56
56	17170	100	100	450	7,73
112	23770	100	100	450	10,70
112	18700	100	100	450	8,42
112	14960	100	100	450	6,73
112	27480	100	100	450	12,37

Kuat lentur umur 7 hari dengan kuat tekan 38,34 MPa.

$$= \frac{17730 \times 450}{100 \times 100^2}$$

$$= 7,98 \text{ MPa}$$

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa kuat lentur beton dengan kuat tekan 38,34 MPa dapat digambarkan pada sebuah grafik.



Gambar 63. Grafik kuat lentur dengan mutu beton 38,34 MPa

b. Kuat lentur beton dengan menggunakan tipe semen PPC.

Data yang di ambil dari pengujian sebelumnya yang dilakukan oleh Rusman (2016). Hasil Data pengujian kuat lentur yang telah dilakukan diperoleh data sebagai berikut.

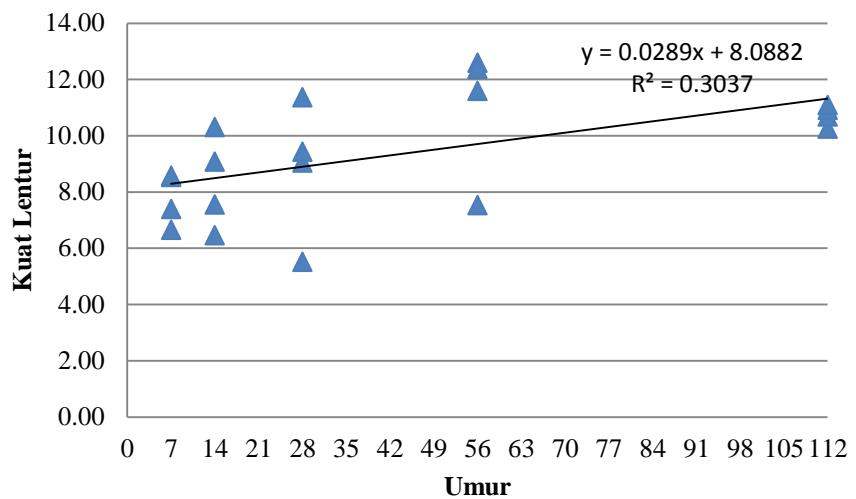
Tabel 26. Data pengujian kuat lentur beton tipe semen PPC

Umur	P (N)	d (mm)	b (mm)	L (mm)	kuat lentur (MPa)
7	14780	100	100	450	6,65
7	16410	100	100	450	7,38
7	18940	100	100	450	8,52
7	19040	100	100	450	8,57
14	22890	100	100	450	10,30
14	16760	100	100	450	7,54
14	20160	100	100	450	9,07

Umur	P (N)	d (mm)	b (mm)	L (mm)	kuat lentur (MPa)
14	14340	100	100	450	6,45
28	20090	100	100	450	9,04
28	25240	100	100	450	11,36
28	20940	100	100	450	9,42
28	12240	100	100	450	5,51
56	25740	100	100	450	11,58
56	27990	100	100	450	12,60
56	27500	100	100	450	12,38
56	16710	100	100	450	7,52
112	22770	100	100	450	10,25
112	23720	100	100	450	10,67
112	24250	100	100	450	10,91
112	24650	100	100	450	11,09

Kuat lentur umur 7 hari dengan kuat tekan 38,61 MPa.

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa kuat lentur beton dengan kuat tekan 38,61 MPa dapat digambarkan pada sebuah grafik.



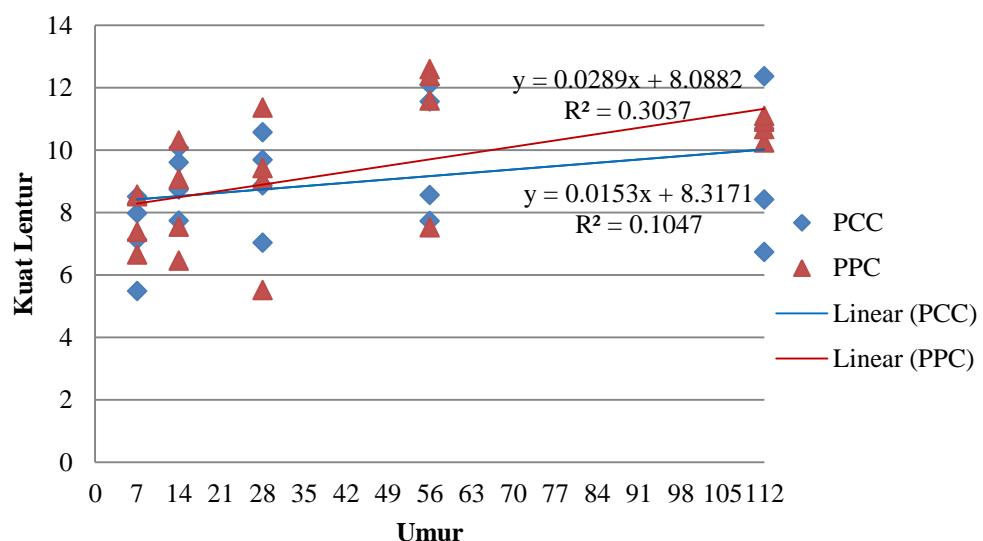
Gambar 64. Grafik kuat lentur dengan mutu beton 38,61 Mpa

- c. Data pengujian dan grafik kuat lentur dengan mutu beton 38,34 Mpa dan 38,61 Mpa

Tabel 27. Data pengujian kuat lentur beton

Kuat rencana (MPa)	Umur beton (Hari)	Kuat lentur (MPa)
38,34	7	7,98
	7	7,13
	7	5,48
	7	8,51
	14	7,74
	14	9,61
	14	8,73
	14	10,08
	28	10,58
	28	8,87
	28	9,69
	28	7,03
	56	8,56
	56	12,10
	56	11,56
	56	7,73
	112	10,70
	112	8,42
	112	6,73
	112	12,37

Kuat rencana (MPa)	Umur beton (Hari)	Kuat lentur (MPa)
38,61	7	6,65
	7	7,38
	7	8,52
	7	8,57
	14	10,30
	14	7,54
	14	9,07
	14	6,45
	28	9,04
	28	11,36
	28	9,42
	28	5,51
	56	11,58
	56	12,60
	56	12,38
	56	7,52
	112	10,25
	112	10,67
	112	10,91
	112	11,09



Gambar 65. Grafik pengujian kuat lentur beton tipe PCC dan PPC

8. Pengujian Baja Tulangan

Berdasarkan hasil pengujian, terlihat bahwa hasil berat awal dan berat akhir 20 buah sampel baja tulangan dengan Ø8 mm dan panjang 500 mm untuk pengujian beton selama 7 hari, 14 hari, 28 hari, 56 hari, dan 112 hari yang direndam menggunakan larutan NaCl 3% adalah tetap atau tidak berubah. Dari hasil pengujian terlihat bahwa baja tulangan tersebut tidak mengalami korosi sedikit pun. Berikut tabel selisih berat baja tulangan.

Tabel 28. Selisih berat baja tulangan menggunakan tipe semen PCC

Umur Pengujian	Kode Besi	Berat awal (gram)	Berat akhir (gram)	Selisih
7 hari	C11	177	177	0
	C7	178	178	0
	C9	175	175	0
	C3	177,5	177,5	0
14 hari	C4	178	178	0
	C15	175,5	175,5	0
	C8	176	176	0
	C13	178	178	0
28 hari	C1	177,5	177,5	0
	C18	179	179	0
	C12	177	177	0
	C10	178	178	0
56 hari	C6	175,5	175,5	0
	C17	177,5	177,5	0
	C5	176	176	0
	C2	179,5	179,5	0
112 hari	C20	178	178	0
	C16	175,5	175,5	0
	C19	177,5	177,5	0
	C14	176	176	0

Tabel 29. Selisih berat baja tulangan menggunakan tipe semen PPC

Umur Pengujian	Kode Besi	Berat awal (gram)	Berat akhir (gram)	Selisih
7 hari	D3	179	179	0
	D5	178,2	178,2	0
	D7	177	177	0
	D9	179	179	0
14 hari	D17	179,5	179,5	0
	D16	180	180	0
	D14	177,5	177,5	0
	D4	179	179	0
28 hari	D1	176	176	0
	D11	179	179	0
	D20	176	176	0
	D12	179	179	0
56 hari	D19	178,5	178,5	0
	D10	179	179	0
	D15	177,5	177,5	0
	D2	165,5	165,5	0
112 hari	D13	178,5	178,5	0
	D6	179	179	0
	D18	178	178	0
	D8	177,5	177,5	0

9. Pola Retak

Pola keretakan pada benda uji dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

Tabel 30. Pola retak beton menggunakan tipe semen PCC

No	Umur	Kode	Gambar	Keterangan
1	7	C11		Retakan pertama pada benda uji C11 panjang 80 mm dan lebar 1 mm
2	7	C7		Retakan pertama pada benda uji C7 panjang 90 mm dan lebar 5 mm

No	Umur	Kode	Gambar	Keterangan
3	7	C9		Retakan pertama pada benda uji C9 panjangnya 110 mm dan lebar 9 mm
4	7	C3		Retakan pertama pada benda uji C3 panjangnya 100 mm dan lebar 20 mm
5	14	C4		Retakan pertama pada benda uji C4 panjangnya 10 mm lebar 0,1 mm
6	14	C15		Retakan pertama pada benda uji C15 panjangnya 110 mm lebar 10 mm
7	14	C13		Retakan pertama pada benda uji C13 panjangnya 100 mm lebarnya 10 mm
8	14	C8		Retakan pertama pada benda uji C8 panjangnya 110 mm lebarnya 15 mm
9	28	C1		Retakan pertama pada benda uji C1 panjangnya 100 mm lebar 20 mm

No	Umur	Kode	Gambar	Keterangan
10	28	C18		Pola retak benda uji C18 panjangnya 120 mm lebarnya 0,7 mm
11	28	C12		Pola retak benda uji C12 panjangnya 110 mm lebarnya 10 mm
12	28	C10		Pola retak benda uji C10 panjangnya 100 mm lebarnya 0,1 m yang merupakan retak rambut
13	56	C5		Pola retak benda uji C5 panjangnya 110 mm lebarnya 7,5 mm
14	56	C6		Pola retak benda uji C6 panjang 90 mm lebar 1 mm
15	56	C2		Pola retak benda uji C2 panjang 100 mm lebar 7 mm
16	56	C17		Pola retake benda uji C17 panjang 100 mm dan lebar 10 mm

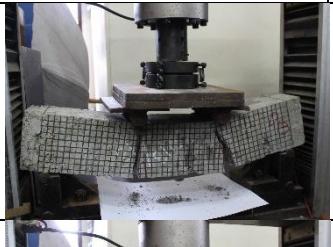
No	Umur	Kode	Gambar	Keterangan
17	112	C20		Pola retak benda uji C20 panjangnya 150 mm lebarnya 7,5 mm
18	112	C16		Pola retak benda uji C16 panjang 100 mm lebar 11mm
19	112	C19		Pola retak benda uji C19 panjang 100 mm lebar 75 mm
20	112	C14		Pola retake benda uji C14 panjang 100 mm dan lebar 13 mm

Tabel 31. Pola retak beton menggunakan tipe semen PPC

No	Umur	Kode	Gambar	Keterangan
1	7	D3		Retakan pertama pada benda uji D3 panjang 100 mm dan lebar 0,5 mm
2	7	D5		Retakan pertama pada benda uji D5 panjang 110 mm dan lebar 0,5 mm

No	Umur	Kode	Gambar	Keterangan
3	7	D7		Retakan pertama pada benda uji D7 panjangnya 70 mm dan lebar 0,1 mm
4	7	D9		Retakan pertama pada benda uji D9 panjangnya 150 mm dan lebar 0,7 mm
5	14	D17		Retakan pertama pada benda uji D17 panjangnya 10 mm lebar 0,1 mm yang merupakan retak rambut
6	14	D16		Retakan pertama pada benda uji D16 panjangnya 150 mm lebar 10 mm
7	14	D14		Retakan pertama pada benda uji D14 panjangnya 140 mm lebarnya 10 mm
8	14	D4		Retakan pertama pada benda uji D4 panjangnya 120 mm lebarnya 0,2 mm
9	28	D1		Retakan pertama pada benda uji D1 panjangnya 145 mm lebar 0,2 mm

No	Umur	Kode	Gambar	Keterangan
10	28	D11		Pola retak benda uji D11 panjangnya 150 mm lebarnya 0,7 mm
11	28	D20		Pola retak benda uji D20 panjangnya 150 mm lebarnya 10 mm
12	28	D12		Pola retak benda uji D12 panjangnya 10 mm lebarnya 0,1 m yang merupakan retak rambut
13	56	D19		Pola retak benda uji D19 panjangnya 150 mm lebarnya 75 mm
14	56	D10		Pola retak benda uji D10 panjang 50 mm lebar 0,1 mm yang merupakan retak rambut
15	56	D15		Pola retak benda uji D15 panjang 150 mm lebar 0,5 mm Pola retak benda uji D18 panjangnya 150 mm lebarnya 70 mm

No	Umur	Kode	Gambar	Keterangan
16	56	D2		Pola retake benda uji D2 panjang 150 mm dan lebar 50 mm
17	112	D13		Pola retak benda uji D13 panjangnya 150 mm lebarnya 75 mm
18	112	D6		Pola retak benda uji D6 panjang 50 mm lebar 0,1 mm yang merupakan retak rambut
19	112	D18		Pola retak benda uji D18 panjangnya 150 mm lebarnya 70 mm
20	112	D8		Pola retake benda uji D8 panjang 150 mm dan lebar 50 mm

B. Pembahasan

1. Pengujian Semen

Pengujian semen dilakukan dengan pengamatan secara langsung.

Dari pengamatan dihasilkan bahwa kemasan zak semen dalam keadaan utuh dan baik, kondisi semen dalam keadaan tidak menggumpal maupun

mengeras, sehingga dapat diketahui bahwa semen yang digunakan dalam kondisi baik dan layak untuk digunakan.

2. Pengujian Agregat Halus

a. Kadar air agregat halus alami

Pengujian kadar air merupakan jumlah air yang terkandung pada suatu agregat. Dari Tabel 9 tersebut diperoleh rata-rata air sebesar 3,85%. Kadar air pada agregat sangat dipengaruhi oleh jumlah air yang terkandung dalam agregat. Semakin besar selisih antara berat agregat semula dengan berat agregat setelah kering oven, maka semakin banyak pula air yang dikandung oleh agregat tersebut. Jadi dapat diketahui bahwa kadar air agregat halus memenuhi syarat dalam pengadukan beton.

b. Kadar air agregat halus SSD

Pengujian kadar air merupakan jumlah air yang terkandung pada suatu agregat. Dari Tabel 10 tersebut diperoleh rata-rata air sebesar 2,87%. Kadar air pada agregat sangat dipengaruhi oleh jumlah air yang terkandung dalam agregat. Semakin besar selisih antara berat agregat semula dengan berat agregat setelah kering oven, maka semakin banyak pula air yang dikandung oleh agregat tersebut. Jadi dapat diketahui bahwa kadar air agregat halus memenuhi syarat dalam pengadukan beton.

c. Kadar lumpur agregat halus

Pengujian kadar lumpur dilakukan untuk mengetahui kandungan lumpur yang terkandung dalam agregat halus. Agregat halus yang baik untuk beton kadar lumpurnya tidak boleh lebih dari 5%. Dari hasil pengujian pada Tabel 11, kadar lumpur yang terkandung dalam agregat halus adalah 0,2%, kadar lumpur ini lebih kecil dari kadar lumpur yang disyaratkan yaitu 5%. Berarti agregat halus yang digunakan masih memenuhi syarat SNI 02-6820-2002 untuk digunakan dalam pembuatan beton.

d. Berat jenis agregat halus

Pengujian berat jenis merupakan salah satu pemeriksaan terhadap agregat yang diperoleh dari rasio antara massa padat agregat dan massa air saat kondisi agregat dalam keadaan jenuh kering muka. Agregat halus yang baik untuk campuran pembuatan beton berat jenisnya 2,5 – 2,7. Dari hasil pengujian pada Tabel 12 data yang telah disajikan didapat rata-rata berat jenis agregat halus sebesar 2,54 gr/ml. Pengukuran berat jenis agregat halus diperlukan untuk perencanaan campuran dalam menentukan *mix design* beton.

e. Bobot isi agregat halus

Bobot isi atau berat satuan agregat halus bertujuan untuk menghitung berat agregat halus yang dikonversikan kedalam satuan bejana. Pengujian ini dilakukan dalam kondisi gembur. Dari hasil pengujian pada Tabel 13 dapat diketahui bahwa bobot isi pasir yang

kami uji sebesar $1,328 \text{ kg/dm}^3$. Menurut SNI 04-4804-1998 bobot isi yang disyaratkan adalah sebesar 1,1-1,3. Sehingga bobot isi pasir tersebut memenuhi standar dalam pembuatan beton.

f. Modulus kehalusan butir

Pengujian modulus kehalusan butir dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran agregat halus yang akan digunakan untuk membuat beton. Dari hasil perhitungan pada Tabel 14 menunjukan bahwa modulus kehalusan butir pasir progo sebesar 3,16 dan termasuk kedalam zona 2 yaitu pasir agak kasar. Menurut Tjokrodimuljo (2007) modulus halus butir agregat halus berkisar antara 1,5 sampai 3,8. Hasil pengujian ayakan tersebut masuk ke dalam persyaratan.

3. Pengujian Agregat Kasar

a. Kadar air agregat kasar alami

Pengujian kadar air dilakukan untuk mengetahui kadar air yang terkandung pada suatu agregat. Pengujian ini dilakukan pada kondisi agregat kasar alami. Dari hasil pengujian yang ditunjukan pada Tabel 16 tersebut diperoleh rata-rata kadar air sebesar 0,013%. Kadar air pada agregat sangat dipengaruhi oleh jumlah air yang terkandung dalam agregat. Semakin besar selisih antara berat agregat semula dengan berat kering oven maka semakin banyak pula air yang dikandung oleh agregat tersebut. Jadi dapat diketahui bahwa kadar air agregat halus memenuhi syarat dalam pengadukan beton.

b. Kadar air agregat kasar SSD

Pengujian kadar air dilakukan untuk mengetahui kadar air yang terkandung pada suatu agregat. Pengujian ini dilakukan pada kondisi agregat kasar alami. Dari pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 17 tersebut diperoleh rata-rata kadar air sebesar 3,35%. Kadar air pada agregat sangat dipengaruhi oleh jumlah air yang terkandung dalam agregat. Semakin besar selisih antara berat agregat semula dengan berat kering oven maka semakin banyak pula air yang dikandung oleh agregat tersebut. Jadi dapat diketahui bahwa kadar air agregat halus memenuhi syarat dalam pengadukan beton.

c. Kadar lumpur agregat kasar

Pengujian kadar lumpur dilakukan untuk mengetahui kandungan lumpur yang terkandung dalam agrgeat kasar. Agregat kasar yang baik untuk beton kadar lumpurnya tidak boleh lebih dari 1%. Dari pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 18, Kadar lumpur yang terkandung dalam agregat kasar adalah 0,93% kadar lumpur ini lebih kecil dari kadar lumpur yang di syaratkan SNI S-04-1989-F yaitu 1%. Berarti agregat halus yang digunakan masih memenuhi syarat untuk digunakan dalam pembuatan beton.

d. Berat jenis agregat kasar

Pengujian berat jenis agregat kasar bertujuan untuk mengetahui perbandingan massa agregat kasar dengan massa air. Pengujian ini dilakukan pada kondisi agregat kasar SSD. Dari hasil pengujian pada Tabel 19 yang telah disajikan didapat rata-rata berat jenis agregat halus

sebesar 2,5 gr/ml. Pengukuran berat jenis agregat halus diperlukan untuk perencanaan campuran dalam menentukan *mix design*.

e. Bobot isi agregat kasar

Bobot isi atau berat satuan agregat digunakan untuk menghitung berat agregat yang dikonversikan kedalam satuan bejana. Pengujian ini dilakukan dalam kondisi gembur. Dari hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 20 dapat diketahui bahwa bobot isi agregat kasar yang kami uji sebesar $1,315 \text{ kg/dm}^3$. Menurut SNI 03-4904-1998 bobot isi yang di persyaratkan adalah sebesar 1,1-1,3. Sehingga bobot isi pasir tersebut memenuhi standar dalam pembuatan beton.

f. Keausan agregat kasar

Pengujian keausan agregat kasar dilakukan untuk mengetahui kekuatan agregat kasar. Bagian yang hancur bila diuji dengan mesin *Los Angeles* tidak boleh lebih dari 50% berat. Dari hasil pengujian keausan agregat kasar yang ditunjukkan pada Tabel 21 didapat hasil 80,5 %, Dalam persyaratan SNI 03-2461-2002 tentang kerikil dan batu pecah untuk beton bagian hancur bila diuji dengan mesin *Los angeles* tidak boleh lebih dari 50 %. Jadi pengujian keausan agregat kasar tidak memenuhi syarat.

4. Pengujian Air

Pengujian air dilakukan dengan mengamati air secara langsung. Dari pengamatan diketahui bahwa air dalam kondisi baik, tidak terlihat adanya lumpur, kotoran atau kandungan bahan kimia dan secara fisik terlihat

bening (tidak berwarna), maka dapat diketahui bahwa air tersebut memenuhi syarat untuk campuran pembuatan beton.

5. Proporsi Campuran (*Mix design*)

Dalam pembuatan benda uji yang perlu diperhatikan adalah menentukan jumlah takaran/proporsi dalam pembuatan benda uji. Proporsi pada pembuatan benda uji merupakan bagian penting dalam sebuah penelitian karena akan berpengaruh pada baik atau tidaknya suatu beton yang dihasilkan. Dan hasil perencanaan *mix design* dapat dilihat pada Tabel 22.

6. Pengujian Kuat Tekan Beton

a. Kuat tekan beton dengan menggunakan tipe semen PCC

Pengujian kuat tekan ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas tegangan tekan yang dapat diterima oleh beton, kuat tekan rencana ditetapkan 25 MPa, karena merupakan kuat tekan minimum pada umur beton 28 hari. Dari hasil pengujian kuat lentur yang tunjukan pada Tabel 23 didapatkan hasil kuat tekan dengan kuat tekan rencana 25 MPa sebesar 39,21 MPa, 38,87 MPa, dan 36,95 MPa. Kuat tekan terbesar terdapat pada benda uji 1 dengan kuat tekan sebesar 39,21 MPa. Didapatkan rata-rata kuat tekan sebesar 38,34 MPa

Dari kuat tekan rencana yang ditetapkan, setelah dilakukan pengujian dengan 25 MPa berubah menjadi 38,34 MPa. Hasil pengujian kuat tekan mempunyai hasil yang besar dari kuat tekan

rencana dikarenakan dalam pengujian bahan dan pembuatan beton didapatkan kualitas bahan yang baik dan dilakukan dengan baik juga.

b. Kuat tekan beton dengan menggunakan tipe semen PPC

Pengujian kuat tekan ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas tegangan tekan yang dapat diterima oleh beton, kuat tekan rencana ditetapkan 25 MPa, karena merupakan kuat tekan minimum pada umur beton 28 hari. Dari hasil pengujian kuat lentur yang tunjukan pada Tabel 24 didapatkan hasil kuat tekan dengan kuat tekan rencana 25 MPa sebesar 41,34 MPa, 35,46 MPa, 39,02 Mpa. Kuat tekan terbesar terdapat pada benda uji 1 dengan kuat tekan sebesar 41,34 Mpa. Didapatkan rata-rata kuat tekan sebesar 38,61 MPa

Dari kuat tekan rencana yang ditetapkan, setelah dilakukan pengujian dengan rencana 25 MPa berubah menjadi 38,61 MPa. Hasil pengujian kuat tekan mempunyai hasil yang besar dari kuat tekan rencana dikarenakan dalam pengujian bahan dan pembuatan beton didapatkan kualitas bahan yang baik dan dilakukan dengan baik juga.

7. Pengujian Kuat Lentur Beton

kuat lentur beton merupakan kemampuan balok beton yang diletakan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan kepadanya, sampai benda uji patah, dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya per satuan luas (SNI-4431-2011). Pengujian ini menggunakan benda uji berbentuk balok berjumlah 20 buah

dengan ukuran 500 mm x 100 mm x 100 mm. Hasil pengujian kuat lentur dengan kuat tekan faktual maka diperoleh data sebagai berikut:

a. Kuat lentur beton dengan menggunakan tipe semen PCC

Berdasarkan Tabel 25 hasil kuat lentur diatas dapat diketahui bahwa beton dengan kuat tekan 38,34 MPa yang telah direndam menggunakan larutan NaCl 3% selama 7 hari, 14 hari, 28 hari, 56 hari, dan 112 hari, terlihat bahwa hasil kuat lentur beton mengalami ketidakstabilan, hal tersebut dikarenakan pada hasil kuat lentur beton umur 7 hari sampai 56 hari mengalami peningkatan dan di umur 112 hari mengalami penurunan. Penurunan kuat lentur dikarenakan hasil keausan agregat kasar tidak memenuhi standar, kemudian pada saat pembuatan kurang diperhatikan sehingga mempengaruhi kualitas adukan yang dihasilkan, karena setiap benda uji memiliki karakteristik masing-masing. Karakteristik yang dimaksud yaitu dari sifat segregasi. Segregasi adalah terjadi pemisahan butiran kasar dan halus dari campuran beton, terjadinya segregasi akibat campuran yang encer dan faktor lainnya seperti fas. Segregasi sangat besar pengaruhnya terhadap sifat beton keras, jika tingkat segregasi beton sangat tinggi, maka ketidaksempurnaan konstruksi beton tinggi, hal ini dapat berupa keropos, terdapat lapisan yang lemah dan berpori, permukaan nampak bersisik dan tidak merata. Sehingga hal tersebut yang menyebabkan kuat lentur beton menurun. Sedangkan pada Gambar 61. grafik kuat lentur mengalami peningkatan dan memiliki nilai $R^2 = 0,1047$,

meskipun pada setiap benda uji memiliki ketidakstabilan, hal ini dikarenakan pada saat hari libur perawatan benda uji kurang diperhatikan. Kuat lentur beton dengan kuat tekan 38,34 MPa pada grafik tersebut menunjukkan garis trandline linier cenderung mengalami peningkatan.

b. Kuat lentur beton dengan menggunakan tipe semen PPC

Berdasarkan Tabel 26 hasil kuat lentur diatas dapat diketahui bahwa beton dengan kuat tekan 38,61 MPa yang telah direndam menggunakan larutan NaCl 3% selama 7 hari, 14 hari, 28 hari, 56 hari, dan 112 hari, terlihat bahwa hasil kuat lentur beton mengalami ketidakstabilan, hal tersebut dikarenakan pada hasil kuat lentur beton umur 112 hari mengalami penurunan. Penurunan kuat lentur dikarenakan hasil keausan agregat kasar tidak memenuhi standar, kemudian pada saat pembuatan kurang diperhatikan sehingga mempengaruhi kualitas adukan yang dihasilkan, karena setiap benda uji memiliki karakteristik masing-masing. Karakteristik yang dimaksud yaitu dari sifat segregasi. Segregasi adalah terjadi pemisahan butiran kasar dan halus dari campuran beton, terjadinya segregasi akibat campuran yang encer dan faktor lainnya seperti fas. Segregasi sangat besar pengaruhnya terhadap sifat beton keras, jika tingkat segregasi beton sangat tinggi, maka ketidak sempurnaan konstruksi beton tinggi, hal ini dapat berupa keropos, terdapat lapisan yang lemah dan berpori, permukaan nampak bersisik dan tidak merata. Sehingga hal tersebut

yang menyebabkan kuat lentur beton menurun. Sedangkan pada Gambar 62. grafik kuat lentur mengalami peningkatan dan memiliki nilai $R^2 = 0,3037$, meskipun pada setiap benda uji memiliki ketidakstabilan, hal ini dikarenakan pada saat hari libur perawatan benda uji kurang diperhatikan. Kuat tekan 38,61 MPa dan pada grafik tersebut menunjukkan garis trandline linier cenderung mengalami peningkatan.

- c. Data pengujian dan grafik kuat lentur dengan mutu beton 38,34 MPa dan 38,61 MPa

Berdasarkan Tabel 27 hasil kuat lentur tipe semen PCC dan tipe semen PPC mengalami perbedaan peningkatan pada umur 7 hari, 14 hari, 28 hari, 56 hari, dan mengalami menurun di umur 112 hari. Penurunan kuat lentur dikarenakan hasil keausan agregat kasar tidak memenuhi standar, kemudian pada saat pembuatan kurang diperhatikan sehingga mempengaruhi kualitas adukan yang dihasilkan, karena setiap benda uji memiliki karakteristik masing-masing. Karakteristik yang dimaksud yaitu dari sifat segregasi. Segregasi adalah terjadi pemisahan butiran kasar dan halus dari campuran beton, terjadinya segregasi akibat campuran yang encer dan faktor lainnya seperti fas. Segregasi sangat besar pengaruhnya terhadap sifat beton keras, jika tingkat segregasi beton sangat tinggi, maka ketidaksempurnaan konstruksi beton tinggi, hal ini dapat berupa keropos, terdapat lapisan yang lemah dan berpori, permukaan nampak

bersisik dan tidak merata. Sehingga hal tersebut yang menyebabkan kuat lentur beton menurun. Dari data penelitian relevan yang diambil, bahwa hasil penelitian Putri tentang perbandingan perilaku balok beton bertulang dengan menggunakan tipe semen OPC dan tipe semen PCC didapatkan bahwa kuat tekan dan penggunaan PCC hingga usia 28 hari lebih tinggi dari kekuatan tekan beton dengan OPC semen. Retak pola yang terjadi menunjukkan pola yang sama, sedangkan lentur beton dengan OPC semen memiliki kekuatan lentur lebih tinggi dari blok beton dengan semen PCC.

8. Pengujian Baja Tulangan

Pada perhitungan laju korosi pada umumnya ada dua cara, yaitu metode kehilangan berat dan metode elektrokimia. Pada penelitian ini menggunakan metode kehilangan berat. Perhitungan nilai laju korosi dengan menggunakan metode kehilangan berat dilakukan dengan menghitung perubahan berat yang terjadi pada material selama direndam larutan NaCl 3 %. hasil pengujian baja tulangan diperoleh data sebagai berikut:

a. Beton dengan menggunakan tipe semen PCC

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukan pada tabel 28, terlihat bahwa hasil berat awal dan berat akhir 20 buah sampel baja tulangan dengan Ø8 mm dan panjang 500 mm untuk pengujian beton selama 7 hari, 14 hari, 28 hari, 56 hari, dan 112 hari yang direndam menggunakan larutan NaCl 3 % adalah tetap atau tidak berubah. Dari

hasil pengujian terlihat bahwa baja tulangan tersebut tidak mengalami korosi sedikit pun. Hal ini terjadi karena larutan NaCl 3 % tidak dapat meresap dengan baik melalui pori-pori beton.

Dapat diketahui bahwa pengujian yang dilakukan selama 7 hari, 14 hari, 28 hari, 56 hari, dan 112 hari tidak membuktikan terjadinya korosi baja tulangan. Hal ini dikarenakan waktu pengujian yang relatif singkat.

b. Beton dengan menggunakan tipe semen PPC

Berdasarkan hasil pengujian yang ditunjukan pada Tabel 29, terlihat bahwa hasil berat awal dan berat akhir 20 buah sampel baja tulangan dengan Ø8 mm dan panjang 500 mm untuk pengujian beton selama 7 hari, 14 hari, 28 hari, 56 hari, dan 112 hari yang direndam menggunakan larutan NaCl 3% adalah tetap atau tidak berubah. Dari hasil pengujian terlihat bahwa baja tulangan tersebut tidak mengalami korosi sedikit pun. Hal ini terjadi karena larutan NaCl 3% tidak dapat meresap dengan baik melalui pori-pori beton.

Dapat diketahui bahwa pengujian yang dilakukan selama 7 hari, 14 hari, 28 hari, 56 hari, dan 112 hari tidak membuktikan terjadinya korosi baja tulangan. Hal ini dikarenakan waktu pengujian yang relatif singkat. Dari data penelitian relevan yang diambil, bahwa hasil penelitian Pramudiyanto tentang pengaruh tebal selimut beton normal pada laju korosi baja tulangan, Astri yang melakukan penelitian tentang kajian korosi pada beton bertulang dengan agregat kasar dari

beton daur ulang, kemudian dari penelitian Tsalitsatul tentang kajian korosi pada beton bertulang dengan kalsium karbonat sebagai *replacement* sebagian *portland cemen* pada lingkungan beragam. Dari hasil ketiga penelitian diatas mengalami kecenderungan penurunan laju korosi pada baja tulangan.

9. Pola Retak

Pengujian kuat lentur benda uji balok dengan metode *four point bending* selain untuk mengetahui besarnya kuat lentur juga untuk mengetahui lendutan pada benda uji saat pembebanan hingga mengalami kelelahan dan akan terjadi keretakan. Pada permukaan benda uji telah diberi garis kotak berfungsi untuk memudahkan saat melihat keretakan awal dan dapat dilihat pada Tabel 30 dan Tabel 31. Pola retak pada pengujian ini masuk dalam kegagalan tipe retak lentur, ini disebabkan karena beban yang melebihi kemampuan balok.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan pengujian kuat lentur beton yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari kuat tekan rencana yang ditetapkan, setelah dilakukan pengujian dari rencana awal 25 MPa pada pengujian menggunakan tipe semen PCC berubah menjadi 38,34 MPa dan pada pengujian menggunakan tipe semen PPC berubah menjadi 38,61 MPa.

Hasil pengujian kuat lentur beton:

- a. Hasil kuat lentur beton dengan kuat tekan 38,34 MPa pada umur 7 hari didapatkan hasil 7,98 MPa, 7,13 MPa, 5,45 MPa, 8,51 MPa, umur 14 hari didapatkan hasil 7,74 MPa, 9,61 MPa, 8,73 MPa, 10,08 MPa, umur 28 hari didapatkan hasil 10,58 MPa, 8,87 MPa, 9,69 MPa, 7,03 MPa, umur 56 hari didapatkan hasil 8,56 MPa, 12,10 MPa, 11,56 MPa, 7,73 MPa, umur 112 hari didapatkan hasil 10,70 MPa, 8,42 MPa, 6,73 MPa, 12,37 MPa.
- b. Hasil kuat lentur beton dengan kuat tekan 38,61 MPa pada umur 7 hari didapatkan hasil 6,65 MPa, 7,38 MPa, 8,52 MPa, 8,57 MPa, umur 14 hari didapatkan hasil 10,30 MPa, 7,54 MPa, 9,04 MPa, 6,45 MPa, umur 28 hari didapatkan hasil 9,04 MPa, 11,36 MPa, 9,42 MPa, 5,51 MPa, umur 56 hari didapatkan hasil 11,58 MPa, 12,60 MPa, 12,38

MPa, 7,52 MPa, umur 112 hari didapatkan hasil 10,25 MPa, 10,67

MPa, 10,91 MPa, 11,09 MPa.

2. Baja tulangan yang berada di dalam balok beton dan direndam dengan larutam NaCl 3% selama 7 hari, 14 hari, 28 hari, 56 hari, dan 112 hari berturut-turut tidak mengalami korosi, dikarenakan larutan NaCl 3% yang meresap melalui pori-pori beton tidak sampai pada baja tulangan dan kurang lama umur pengujian.
3. Pada pengujian menggunakan tipe semen PPC dan tipe semen PPC didapatkan hasil bahwa hasil uji mengalami peningkatan dan di umur 112 hari mengalami penurunan dikarenakan uji keausan agregat kasar tidak memenuhi syarat dan proses perawatan benda uji kurang maksimal.

B. Saran

1. Pada penelitian ini hanya dipakai beberapa umur rencana diantaranya umur beton 7 hari, 14 hari, 28 hari, 56 hari, dan 112 hari. Untuk mendapatkan hasil yang lebih jelas disarankan untuk menambah rentang waktu pengujian.
2. Diharapkan adanya penelitian lanjutan yang meluas dalam proses kuat lentur beton sehingga dapat mengetahui proses terjadinya korosi.

C. Keterbatasan Hasil Penelitian

1. Pengadukan mortar menggunakan molen yang dilakukan disaat terik matahari tanpa adanya pelindung, sehingga membuat air lebih cepat menguap.

2. Peralatan kerja yang digunakan pada proses pembuatan dan pengujian benda uji di Laboratorium Bahan Bagunan FT UNY, dirasa perlu dilakukan pembaruan mengingat tingkat ketelitian terhadap pembacaan bahan, ataupun benda yang akan diuji tidak presisi yang dapat berdampak pada hasil dan data yang digunakan.
3. Mundurnya jadwal perawatan benda uji yang telah siap untuk perawatan karena libur, sehingga hasil perawatan kurang maksimal

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM C78/C78M -15a : *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*. ASTM International Standard Worldwide., United States of America
- ASTM D 1141 – 98 : *Standard Practice for Substitute Ocean Water*. ASTM International Standard Worldwide., United States of America
- ASTM G 109 – 89 : *Standard Test Method Chemical Admixture on the Corrosion of Embedded Steel Reinforcement in Concrete Exposed to Chloride environments*. ASTM International Standard Worldwide., United States of America
- Badan Standardisasi Nasional. (2004). *Semen Portland komposit*, SNI 15-7064-2004. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum
- Badan Standardisasi Nasional. (2004). *Semen Portland Pozolan*, SNI 15-0302-2004. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum
- Badan Standardisasi Nasional. (20011). *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan benda uji silinder*, SNI 1974:2011. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum
- Broomfield, J. P., 2007, *Corrosion of Steel in Concrete 2nd Edition*. Taylor and Francis., London and New York.
- Paul Nugraha & Antoni. (2007). *Teknologi Beton dan Material, Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Pramudiyanto. (2010). Korosi Baja Tulangan pada Beton, (<http://pramudiyanto.wordpress.com/2010/09/13/korosi-baja-tulangan-pada-beton/>), diakses pada tanggal 03 februari 2016, pada pukul 19.05 wib
- Pramudiyanto, (2011). *Pengaruh Tebal Selimut Beton Normal Pada Laju Korosi Baja Tulangan*. Dosen Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- Putri Yane Prima dan Sandra nevy, (2015). *Perbandigan Perilaku Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan Ordinary Portland Cement (OPC) dan Portland Composite Cement(PCC)*. Staf pengajar Teknik Sipil Universitas Negeri Padang, Sumatra Barat.
- Rusman Noviola Indira, (2016). *Kajian kuat lentur beton normal di lingkungan yang merusak*. Proyek Akhir, Program Studi Diploma Teknik Sipil, Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.

Samekto Wuryati, dan Rahmadiyanto Candra. (2001). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Kanisius

Tjokrodimulyo Kardiono. (2004). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: KMTS FT UGM

Tri Mulyono. (2003). *Teknologi Beton*. Yogyakarta: ANDI

LAMPIRAN



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 55281
Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 Fax. (0274) 586734
Website : <http://ft.uny.ac.id> email : ft@uny.ac.id ;
teknik@uny.ac.id

A. Nama kegiatan

Pengujian Kadar Air Agregat Halus SSD

B. Alat dan Bahan

- | | | |
|----------|---|--|
| 1. Alat | : | a. Piring besi |
| | | b. Sendok |
| | | c. Oven dengan suhu 105°C |
| | | d. Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram |
| 2. Bahan | : | Agregat halus |

C. Hasil Pengujian

No	Berat Awal (gram)	Berat Kering (gram)	Kadar Air (%)
1	150	145,96	2,76
2	150	145,86	2,83
3	150	145,57	3,04
Rata-Rata			2,87

Yogyakarta, Juli 2015

Teknisi Lab. Bahan Bangunan,

Penguji,

Sudarman, S. Pd.

NIP: 19610214 199103 1 001

Arif Tri Wijayanto

NIM.12510134007



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 55281
Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 Fax. (0274) 586734
Website : <http://ft.uny.ac.id> email : ft@uny.ac.id ;
teknik@uny.ac.id

A. Nama Kegiatan

Pengujian Bobot Isi Padat Agregat Halus

B. Alat dan Bahan

- | | | |
|----------|-----------------|-------------|
| 1. Alat | : a. Bejana | c. Cetok |
| | b. Timbangan | d. Penumbuk |
| 2. Bahan | : Agregat halus | |

C. Hasil Pengujian

- Diameter bejana = $25,55 \text{ cm} = 2,55 \text{ dm}$
- Tinggi bejana = $28,98 \text{ cm} = 2,898 \text{ dm}$
- Volume bejana = $\pi \cdot r^2 \cdot t = \pi \cdot 1,275^2 \cdot 2,89 = 14,75 \text{ dm}^3$
- Bobot isi = $\frac{\text{Berat pasir}}{\text{volume}} = \frac{19,6}{14,75} = 1,328 \text{ kg/dm}^3$
- Bejana kosong = $10,8 \text{ kg}$
- Bejana pasir = $30,4 \text{ kg}$
- Berat pasir = $30,4 \text{ kg} - 10,8 \text{ kg} = 19,6 \text{ kg}$

Yogyakarta, Juli 2015

Teknisi Lab. Bahan Bangunan,

Pengudi,

Sudarman, S. Pd.

NIP: 19610214 199103 1 001

Arif Tri Wijayanto

NIM.12510134007



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 55281
Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 Fax. (0274) 586734
Website : <http://ft.uny.ac.id> email : ft@uny.ac.id ;
teknik@uny.ac.id

A. Nama Kegiatan

Pengujian Berat Jenis Agregat Halus SSD

B. Alat dan Bahan

- | | | |
|----------|--------------------|---|
| 1. Alat | : a. gelas Ukur | c. Sendok |
| | b. Piring seng | d. Timbangan dengan ketelitian 0,01gram |
| 2. Bahan | : a. Agregat Halus | |
| | b. Air | |

C. Hasil Pengujian

Cawan	Berat Pasir	V pasir	V air + pasir	Berat Jenis = $\frac{\text{Berat Pasir}}{\text{Volume Pasir}}$ (gr/ml)
1	100 gram	39 ml	339 ml	2,56
2	100 gram	40 ml	340 ml	2,5
3	100 gram	39 ml	339 ml	2,56
	Rerata			2,54

Yogyakarta, Juli 2015

Teknisi Lab. Bahan Bangunan,

Penguji,

Sudarman, S. Pd.

NIP: 19610214 199103 1 001

Arif Tri Wijayanto

NIM.12510134007



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 55281

Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 Fax. (0274) 586734

Website : <http://ft.uny.ac.id> email : ft@uny.ac.id ;
teknik@uny.ac.id

A. Nama Kegiatan

Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

B. Alat dan Bahan

- | | | |
|----------|-----------------|--|
| 1. Alat | : a. Gelas Ukur | d. Oven dengan suhu 105°C |
| | b. Piring Besi | e. Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram |
| | c. Sendok | |
| 2. Bahan | : Agregat Halus | |

C. Hasil Pengujian

No	Berat Awal (A) (gram)	Berat kering (B) (gram)	$Kadar Lumpur = \frac{A-B}{B} \times 100$ (%)
1	150 gram	144,72	0,2
2	150 gram	143,17	0,2
3	150 gram	144,36	0,2
Rerata			0,2

Yogyakarta, Juli 2015

Teknisi Lab. Bahan Bangunan,

Penguji,

Sudarman, S. Pd.

NIP: 19610214 199103 1 001

Arif Tri Wijayanto

NIM.12510134007



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 55281
Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 Fax. (0274) 586734
Website : <http://ft.uny.ac.id> email : ft@uny.ac.id ;
teknik@uny.ac.id

A. Nama Kegiatan

Pengujian Bobot Isi Gembur Agregat Kasar

B. Alat dan Bahan

- | | | |
|--------|--------------|-------------|
| Alat : | a. Bejana | c. Cetok |
| | b. Timbangan | d. Penumbuk |

C. Hasil Pengujian

- Diameter bejana = $25,55 \text{ cm} = 2,55 \text{ dm}$
- Tinggi bejana = $28,98 \text{ cm} = 2,898 \text{ dm}$
- Volume bejana = $\pi \cdot r^2 \cdot t = \pi \cdot 1,275^2 \cdot 2,89 = 14,75 \text{ dm}^3$
- Bobot isi = $\frac{\text{Berat pasir}}{\text{volume}} = \frac{19,4}{14,75} = 1,315 \text{ kg/dm}^3$
- Bejana kosong = $10,8 \text{ kg}$
- Bejana pasir = $30,2 \text{ kg}$
- Berat pasir = $30,4 \text{ kg} - 10,8 \text{ kg} = 19,4 \text{ kg}$

Yogyakarta, Juli 2015

Teknisi Lab. Bahan Bangunan,

Pengudi,

Sudarman, S. Pd.

NIP: 19610214 199103 1 001

Arif Tri Wijayanto

NIM.12510134007



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 55281
Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 Fax. (0274) 586734
Website : <http://ft.uny.ac.id> email : ft@uny.ac.id ;
teknik@uny.ac.id

A. Nama Kegiatan

Pengujian Modulus Kehalusan Butir Agregat Halus

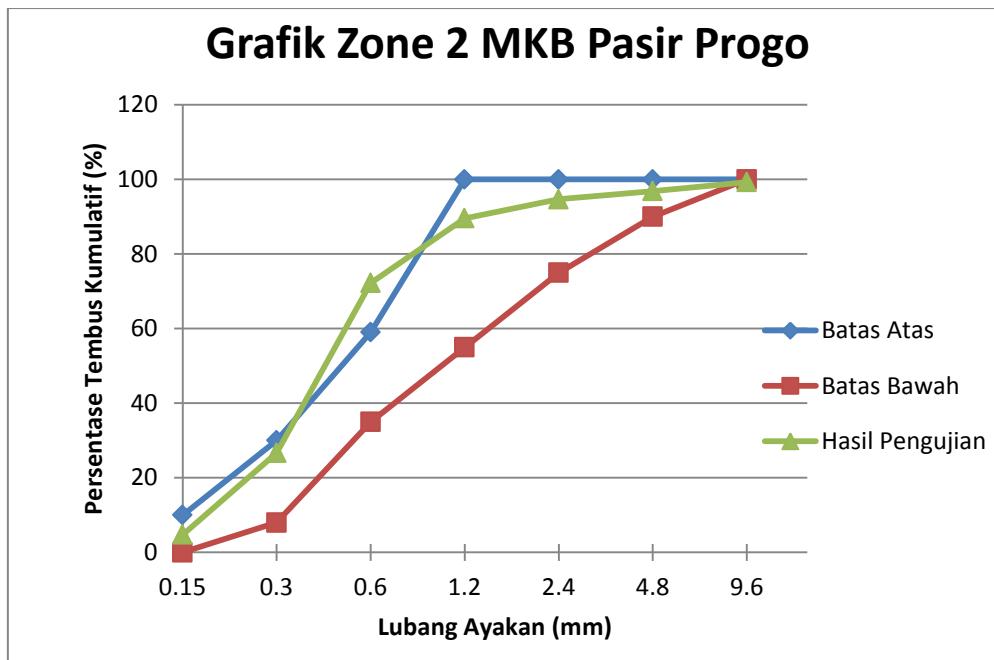
B. Alat dan Bahan

1. Alat : a. Satu set ayakan pasir c. Kuas
b. Piring seng d. Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram
2. Bahan : Agregat Halus

C. Hasil Pengujian

Lubang ayakan (gram)	Berat tertahan (gram)	tertahan (%)	Komulatif tertahan (%)	Persen lolos (%)
9,6	3,56	0,72	0,72	99,28
4,8	11,89	2,41	3,31	96,87
2,4	11,29	2,2	5,33	94,67
1,2	25,57	5,1	10,43	89,57
0,6	85,52	17,34	27,77	72,23
0,3	224,79	45,59	73,36	26,64
0,15	108,02	21,90	95,26	4,74
< 0,15	22,41	4,54	99,8	0,2
jumlah	493,05		315,8	

$$\begin{aligned} \text{MKB} &= \frac{\% \text{ Tertinggal Komulatif}}{\% \text{ Tertinggal}} \\ &= \frac{315,8}{100} = 3,15 \text{ (zona II)} \end{aligned}$$



Yogyakarta, Juli 2015

Teknisi Lab. Bahan Bangunan,

Penguji,

Sudarman, S. Pd.

NIP: 19610214 199103 1 001

Arif Tri Wijayanto

NIM.12510134007



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 55281

Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 Fax. (0274) 586734

Website : <http://ft.uny.ac.id> email : ft@uny.ac.id ;
teknik@uny.ac.id

A. Nama Kegiatan

Pengujian Kadar Air Agregat Kasar Alami

B. Alat dan Bahan

1. Alat :
 - a. Piring besi
 - b. Sendok
 - c. Oven dengan suhu 105°C
 - d. timbangan dengan ketelitian 0,01 gram
2. Bahan : Agregat kasar dari Purworejo

C. Hasil Pengujian

No.	Berat Awal (A) (gram)	Berat Kering (B) (gram)	Kadar Air = $\frac{A-B}{B} \times 100$ (%)
1.	148,18	146,94	0,84%
2.	148,09	147,01	0,73%
3.	148,11	146,31	1,21 %
Rata - rata			

Yogyakarta, Juli 2015

Teknisi Lab. Bahan Bangunan,

Pengaji,

Sudarman, S. Pd.

NIP: 19610214 199103 1 001

Arif Tri Wijayanto

NIM.12510134007



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 55281
Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 Fax. (0274) 586734
Website : <http://ft.uny.ac.id> email : ft@uny.ac.id ;
teknik@uny.ac.id

A. Nama Kegiatan

Pengujian Kadar Air Agregat Kasar SSD

B. Alat dan Bahan

- | | | |
|----------|--------------------|--|
| 1. Alat | :a. Piring besi | d. Oven dengan suhu 105°C |
| | b. Sendok | e. Kain lap |
| | c. Mangkuk | f. timbangan dengan ketelitian 0,01 gram |
| 2. Bahan | : a. Agregat kasar | |
| | b. Air | |

C. Hasil Pengujian

No.	Berat Awal (A) (gram)	Berat Kering (B) (gram)	Kadar Air = $\frac{A-B}{B} \times 100$ (%)
1.	200	196,5	1,78%
2.	200	190,92	4,75%
3.	200	193,16	3,54 %
Rata - rata			3,35 %

Yogyakarta, Juli 2015

Teknisi Lab. Bahan Bangunan,

Penguji,

Sudarman, S. Pd.

NIP: 19610214 199103 1 001

Arif Tri Wijayanto

NIM.12510134007



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 55281

Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 Fax. (0274) 586734

Website : <http://ft.uny.ac.id> email : ft@uny.ac.id ;
teknik@uny.ac.id

A. Nama Kegiatan

Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar SSD

B. Alat dan Bahan

1. Alat :
 - a. Gelas Ukur
 - b. Sendok
 - c. Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram
2. Bahan :
 - a. Agregat Kasar
 - b. Air

C. Hasil Pengujian

Cawan	Berat kerikil	V air + kerikil	V kerikil	Berat Jenis = $\frac{\text{Berat}}{\text{Volume}}$
1	150 gram	360 ml	60 ml	2,5
2	150 gram	360 ml	60 ml	2,5
3	150 gram	360 ml	60 ml	2,5
	Rerata			2,5

Yogyakarta, Juli 2015

Teknisi Lab. Bahan Bangunan,

Penguji,

Sudarman, S. Pd.

NIP: 19610214 199103 1 001

Arif Tri Wijayanto

NIM.12510134007



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 55281
Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 Fax. (0274) 586734
Website : <http://ft.uny.ac.id> email : ft@uny.ac.id ;
teknik@uny.ac.id

A. Nama Kegiatan

Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar

B. Alat dan Bahan

1. Alat :
 - a. Piring besi
 - b. Sendok
 - c. timbangan dengan ketelitian 0,01 gram
 - d. Oven dengan suhu 105°C
2. Bahan :
 - a. Agregat kasar
 - b. Air

C. Hasil Pengujian

No.	Berat Awal (A) (gram)	Berat Kering (B) (gram)	Kadar Lumpur = $\frac{A-B}{B} \times 100$ (%)
1.	148,18	146,94	0,84%
2.	148,09	147,01	0,73%
3.	148,11	146,31	1,21%
Rata - rata			0,91 %

Yogyakarta, Juli 2015

Teknisi Lab. Bahan Bangunan,

Pengudi,

Sudarman, S. Pd.

NIP: 19610214 199103 1 001

Arif Tri Wijayanto

NIM.12510134007



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 55281

Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 Fax. (0274) 586734

Website : <http://ft.uny.ac.id> email : ft@uny.ac.id ;
teknik@uny.ac.id

A. Nama Kegiatan

Pengujian Keausan Agregat Kasar

B. Alat dan Bahan

- | | | |
|--------|-----------------|----------------------------|
| Alat : | a. Mangkuk seng | d. Ayakan 20mm, 15mm, 10mm |
| | b. Timbangan | e. Oven dengan suhu 105°C |
| | c. Cetok | f. Mesin los Angeles |

C. Hasil Pengujian

Berat awal (gram)	Berat tertinggal (gram)	Keausan kerikil (%)
5000	2770	80,5

Yogyakarta, Juli 2015

Teknisi Lab. Bahan Bangunan,

Penguji,

Sudarman, S. Pd.

NIP: 19610214 199103 1 001

Arif Tri Wijayanto

NIM.12510134007



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
FAKULTAS TEKNIK**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta, 55281
Telp. (0274) 586168 psw. 276,289,292 Fax. (0274) 586734
Website : <http://ft.uny.ac.id> email : ft@uny.ac.id ;
teknik@uny.ac.id

A. Nama Kegiatan

Pengujian Kuat Tekan Beton

B. Alat dan Bahan

1. Alat : a. Mesin Uji Tekan
 b. Jangka sorong
 c Timbangan
2. Bahan : Beton Silinder

C. Hasil Pengujian

No Benda Uji	Berat benda (kg)	Diameter rerata (mm)	Tinggi (mm)	P (Kg)	Kuat tekan (Mpa)	Rerata (MPa)
1	11,89	147,50	303	670000	39.21	38,34
2	11,98	149,25	303	680000	38.87	
3	11,95	148,50	302	640000	36.95	

Yogyakarta, Juli 2015

Teknisi Lab. Bahan Bangunan,

Penguji,

Sudarman, S. Pd.

NIP: 19610214 199103 1 001

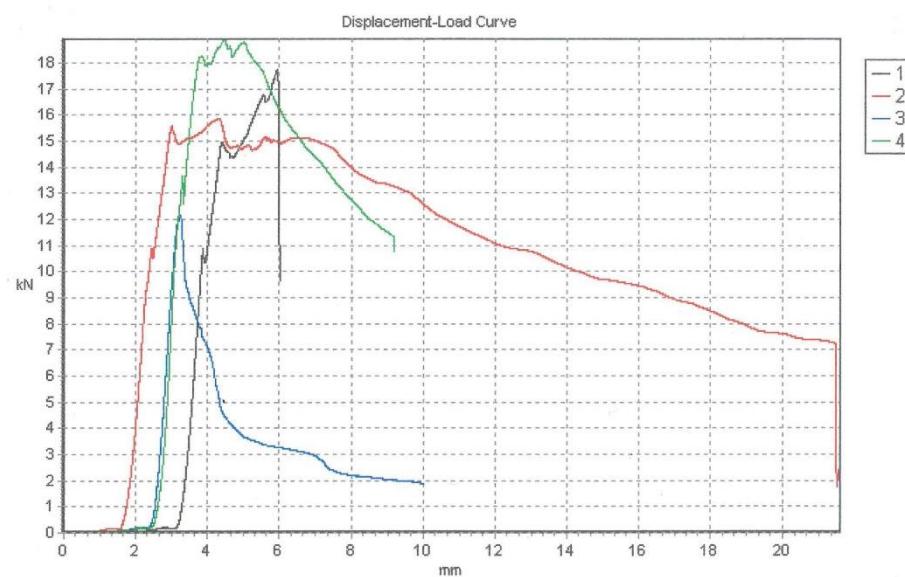
Arif Tri Wijayanto

NIM.12510134007

1. Hasil Pengujian Kuat Lentur dengan Umur Benda Uji 7 hari

Test Report

No.	ID	Area mm ²	L ₀ mm	F _m kN	R _m MPa	F _{eL} kN	R _{eL} MPa	A %
1	/	/	/	17.73	/	10.45	/	/
2	/	/	/	15.85	/	10.58	/	/
3	/	/	/	12.18	/	0.00	/	/
4	/	/	/	18.91	/	12.87	/	/



Tester: _____

Checker: _____

2. Hasil Pengujian Kuat Lentur dengan Umur Benda Uji 14 hari

Test Report

No.	ID	Area mm ²	L ₀ mm	F _m kN	R _m MPa	F _{eL} kN	R _{eL} MPa	A %
1	/	/	/	17.21	/	0.00	/	/
2	/	/	/	21.36	/	10.49	/	/
3	/	/	/	19.40	/	13.19	/	/
4	/	/	/	22.41	/	16.31	/	/

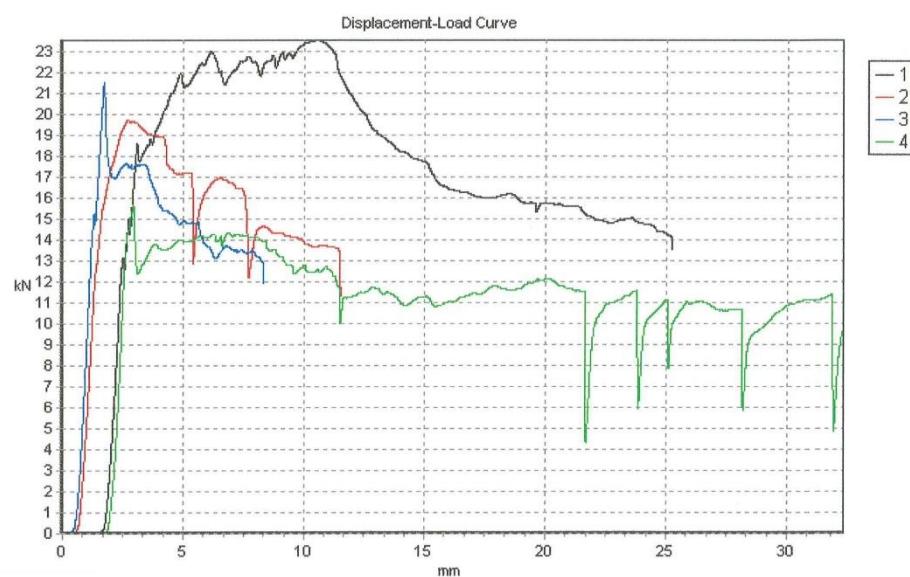


Tester: _____ Checker: _____

3. Hasil Pengujian Kuat Lentur dengan Umur Benda Uji 28 hari

Test Report

No.	ID	Area mm ²	L ₀ mm	F _m kN	R _m MPa	F _{eL} kN	R _{eL} MPa	A %
1	/	/		23.50	/	12.94	/	/
2	/	/		19.71	/	0.00	/	/
3	/	/		21.53	/	15.21	/	/
4	/	/		15.62	/	0.00	/	/



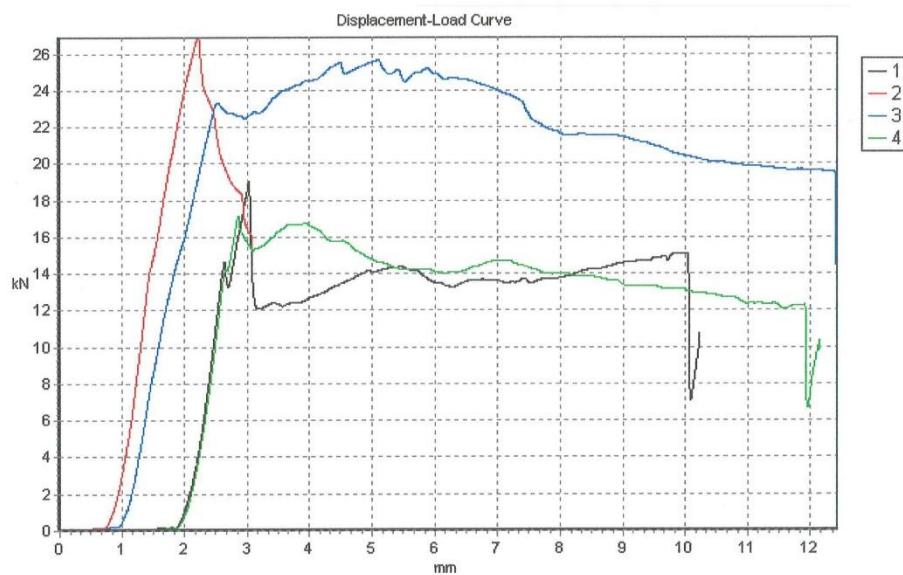
Tester: _____

Checker: _____

4. Hasil Pengujian Kuat Lentur dengan Umur Benda Uji 56 hari

Test Report

No.	ID	Area mm ²	L0 mm	Fm kN	Rm MPa	FeL kN	ReL MPa	A %
1	/	/		19.03	/	13.68	/	/
2	/	/		26.88	/	0.00	/	/
3	/	/		25.69	/	0.00	/	/
4	/	/		17.17	/	14.15	/	/



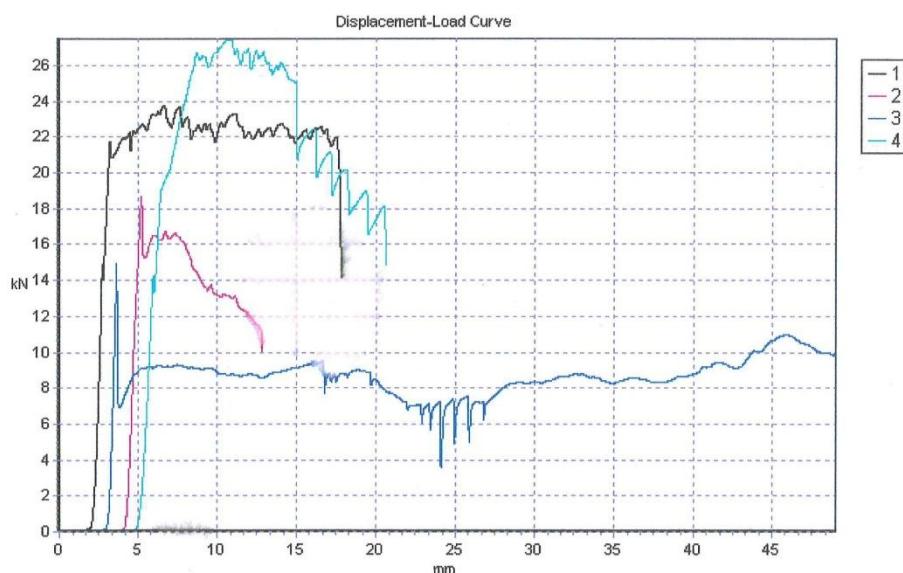
Tester: _____ Checker: _____

5. Hasil Pengujian Kuat Lentur dengan Umur Benda Uji 112 hari

ARIF
112

Test Report

No.	ID	Area mm ²	L ₀ mm	F _m kN	R _m MPa	F _{eL} kN	R _{eL} MPa	A %
1	C20	/	/	23.77	/	13.99	/	/
2	C16	/	/	18.70	/	0.00	/	/
3	C19	/	/	14.96	/	0.00	/	/
4	C14	/	/	27.48	/	14.10	/	/



Tester: _____

Checker: _____

Hasil mix design dengan kuat rencana 25 MPa

MIX DESIGN (RANCANGAN BETON)					
$f'c = 25 \text{ M.Pa}$					
NO	Uraian		Tabel/grafik/perhitungan		Nilai
1	Kuat Tekan Karakteristik umur 28 hari		Ditetapkan		25
2	Deviasi standar (s)		cukup		5,6
3	Nilai Margin/Nilai Tambah		$M = k \cdot sd$		9,184
4	Kekuatan rata-rata yang hendak dicapai		$f_{cr} = f_c + M$		34,184
5	Jenis Semen (PC)		Ditetapkan		1
6	Jenis Agregat halus		Ditetapkan/Alami		alami
	Jenis Agregat kasar		Ditetapkan/Alami/Split		split
7	Faktor air semen,		Grafik 7.8, $F'cr=.....$ umur 28 hr.		0,53
8	Faktor air semen maximum		Tabel 7.12		0,52
9	Slump mempunyai nilai				100
10	Ukuran agregat maksimum		Ditetapkan/ $\frac{3}{4}$ jarak tulangan		20
11	Kadar air bebas		Tabel 7.12 /interpolasi		204,9
12	Kadar semen		11 : 8 =		394,0384615
13	Kadar semen minimum		ditetapkan PBI Tabel 7.15		325
14	Penetapan kadar semen				394,0384615
15	Fas yang disesuaikan				0,52
16	Susunan besar butir agregat hls		Analisa ayak agregat halus		zone 2
17	Prosentase agregat halus		Grafik 7.10		36
18	BJ Agregat Campuran		250,000144		2,50000144
19	Berat jenis beton		Grafik 7.11 (18, 15)		2262,5
20	Kadar agregat gabungan				1663,561538
21	Kadar agregat halus				598,8821538
22	Kadar agregat kasar				1064,679385
Kesimpulan :					
Volume	Berat Beton	Air	Semen	Agregat halus	Agregat Kasar
1m ³	2262,5	204,9	394,0384615	598,882154	1064,679385
1 adukan	35,97375	3,25791	6,265211538	9,52222625	16,92840222

Keterangan:

- Pengambilan Nilai margin = $k \cdot sd = 1,64 \times 5,6 = 9,184$
- $k =$ diperoleh dari nilai angka kepercayaan statistik adalah 95% = 1,64
- Standar deviasi (sd) = diperoleh dari Tabel. 8 sebesar 5,6 (cukup)
- Mencari standar deviasi bisa juga menggunakan cara manual dengan

$$\text{rumus } sd = \sqrt{\frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Keterangan:
 X_i = data sampel
 \bar{x} = rata-rata
 n = jumlah data