

**KAJIAN KOROSI PADA BETON BERTULANG DENGAN
AGREGAT KASAR DARI BETON DAUR ULANG**

TUGAS AKHIR

Diajukan kepada Fakultas Teknik
Universitas Negeri Yogyakarta
untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
guna Memperoleh Gelar Ahli Madya



Oleh
Astri Rostikasari
NIM 10510131025

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
2013**

HALAMAN PENGESAHAN

PROYEK AKHIR

KAJIAN KOROSI PADA BETON BERTULANG DENGAN AGREGAT KASAR DARI BETON DAUR ULANG

Dipersiapkan dan disusun oleh :

ASTRI ROSTIKASARI

10510131025

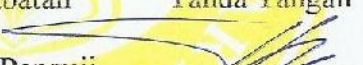
Telah Dipertahankan di Depan Penguji Proyek Akhir

Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta

Pada Tanggal : 9 Juli 2013

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat guna memperoleh gelar Ahli Madya D3.

Dewan Penguji

Nama Lengkap	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
1. Ir. Joko Sumiyanto, M.T.	Ketua Penguji		18/07 2013
2. Pusoko Prapto, M.T.	Penguji Utama 1		18/07 2013
3. Pramudiyanto, M. Eng.	Penguji Utama 2		18/07 2013

Yogyakarta, 22 Juli 2013



Dekan Fakultas Teknik
Universitas Negeri Yogyakarta

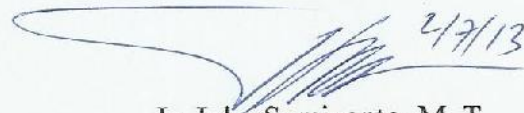
Dr. Moch. Bruri Triyono, M. Pd
NIP. 19560216 198603 1 003

HALAMAN PERSETUJUAN

Proyek Akhir yang berjudul **“KAJIAN KOROSI PADA BETON BERTULANG DENGAN AGREGAT KASAR DARI BETON DAUR ULANG”** ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan.

Yogyakarta, Juli 2013

Dosen Pembimbing



Ir. Joko Sumiyanto, M. T

NIP. 19680207 199512 1 001

SURAT PERNYATAAN

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

Tanda tangan dosen penguji yang tertera dalam halaman pengesahan adalah asli. Jika tidak asli, saya siap menerima sanksi.

Yogyakarta, Juli 2013

Yang menyatakan



Astri Rostikasari

NIM. 10510131025

MOTTO

“Jangan lihat masa lampau dengan penyesalan; jangan pula lihat masa depan dengan ketakutan; tapi lihatlah sekitar kita dengan penuh kesadaran.”

(Mark Twain)

“Karena mimpi berasal dari sebuah harapan, maka kita tidak boleh kalah dengan keadaan.”

(Hitam Putih)

“Kebanggaan kita yang terbesar adalah bukan tidak pernah gagal, tetapi bangkit kembali setiap kali kita jatuh.”

(Muhammad Ali)

“Bekerjalah bagaikan tak butuh uang, mencintailah bagaikan tak pernah disakiti, menarilah bagaikan tak seorang pun sedang menonton.”

(Martin Luther King)

Kupersembahkan laporan proyek akhir ini

Sebagai tanda baktiku kepada :

*Mamah Papah ku tersayang yang tiada henti
dan tak pernah letih untuk selalu memanjatkan do'a
disetiap langkah dan ibadahnya kepada
yang maha kuasa hanya untuk anaknya tercinta,
semangat dan perhatian yang tak pernah putus darinya yang
membuat penulis semangat untuk menyelesaikan laporan ini,
tetesan keringat kalian adalah semangat untukku,*

*Untuk adeku yang manis “Arini Dwi Astrini”
& untuk keluarga besarku di Tasikmalaya – Jawa Barat,
Untuk sahabat-sahabatku yang baik, Yuni, Husna & Anin,
kalian telah banyak membantu dan memberi semangat.*

*Proyek Akhir ini juga penulis persembahkan untuk
Bpk Ir. Joko Sumiyanto, M.T. & Bpk Pramudiyanto M.Eng.
yang selalu membimbing & memberikan arahan kepada penulis
dalam menyusun & menyelesaikan laporan Proyek Akhir ini,*

*Untuk Sugeng Abdul Fitri yang selalu kasih suport,
Teman – teman Teknik Sipil 2010 terutama kelas C,*

Yang selalu memberikan suport kepada penulis,

And say “Ayo Astri kamu pasti bisa.!”

dan tak lupa untuk almamater ku tercinta “UNY”

Penulis hanya bisa mengucapkan terimakasih

atas semua bantuan dan dorongannya,

semoga pahala dan pengorbanannya

diterima Allah Subhanahu wata'ala

Amiennnnnn....

ABSTRAK

Beton merupakan bahan bangunan yang paling banyak digunakan dalam dunia konstruksi, sehingga kebutuhan akan beton sangat dominan di Indonesia. Penggunaan beton jika ada kerusakan akan berakibat meningkatnya jumlah limbah beton sehingga memicu terjadinya pencemaran lingkungan dan merusak ekosistem disekitarnya. Beton mempunyai kuat tekan yang tinggi. Tetapi beton tidak mampu menahan gaya tarik sehingga perlu ditambahkan baja tulangan. Kombinasi beton dan baja tulangan tersebut disebut dengan beton bertulang. Korosi merupakan penyebab utama terjadinya kerusakan pada konstruksi beton bertulang. Kerusakan tersebut antara lain berupa pengecilan luas tampang dari baja tulangan, sehingga mempengaruhi kekuatan beton yang diperkuatnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh korosi baja tulangan pada konstruksi beton bertulang dengan agregat kasar dari beton daur ulang.

Metode yang digunakan dalam pengujian ini adalah *DC Electrochemical Method* dengan teknik arus paksa. Benda uji berbentuk silinder Ø 3" (7,52 cm) dan tinggi 30 cm dengan menggunakan agregat kasar asli dari Purworejo, *recycle* 1, *recycle* 2 dan *recycle* 3, dengan baja tulangan berada ditengah-tengah diameter silinder. Pengujian dilakukan selama 30 hari dengan mengamati potensial benda uji, pH air, pola retak dan karbonasi. Pengukuran laju korosi dan densitas arus korosi dilakukan dengan cara menimbang baja tulangan sebelum dan setelah korosi, sedangkan pengukuran degradasi kapasitas momen dilakukan dengan cara menghitung luas tampang dari baja tulangan sebelum dan setelah korosi, dan pengujian karbonasi dilakukan dengan cara meneteskan/menyemprotkan *indicator phenolphthalein* pada permukaan beton.

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh kecenderungan penurunan laju korosi, densitas arus korosi (I_{corr}), prosentase penurunan berat (ρ), massa aktual korosi (M_{ac}), dan degradasi kapasitas momen (M_n) pada benda uji dengan agregat kasar asli, *recycle* 1, *recycle* 2 dan *recycle* 3. Besarnya penurunan laju korosi adalah 1,6418 gr/m².h, 2,9536 gr/m².h, 0,8628 gr/m².h, dan 0,7117 gr/m².h, penurunan densitas arus korosi (I_{corr}) adalah $1,44 \times 10^{-5}$ mA/cm², $2,58 \times 10^{-5}$ mA/cm², $7,59 \times 10^{-6}$ mA/cm², dan $6,28 \times 10^{-6}$ mA/cm², penurunan prosentase penurunan berat (ρ) adalah 3,7113 %, 6,7212 %, 1,9618 %, dan 1,6371 %, penurunan massa aktual korosi (M_{ac}) adalah 0,0108 gr/mm², 0,0194 gr/mm², 0,0057 gr/mm², dan 0,0047 gr/mm², dan besarnya penurunan nilai degradasi momen dengan lebar balok (b) = 200mm; 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 keseluruh bagian benda uji. Derajat keasaman air (pH) akan meningkat seiring dengan jalannya waktu hingga suatu saat keadaan tersebut akan stabil. Benda uji tidak mengalami serangan karbonasi.

Kata kunci : beton, baja tulangan, korosi baja tulangan, *recycle*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan dan menyusun Proyek Akhir dengan judul **“KAJIAN KOROSI PADA BETON BERTULANG DENGAN AGREGAT KASAR DARI BETON DAUR ULANG”**.

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

Penulis juga menyadari bahwa tanpa bimbingan, bantuan dan dorongan dari berbagai pihak, tugas akhir ini tidak mungkin dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Allah SWT atas limpahan berkah dan rahmat-Nya yang selalu memberikan kemudahan dan petunjuk untuk selalu bersemangat menghadapi semua rintangan kehidupan.
2. Keluarga tercinta (Mamah, Papah, ‘n Ade), yang telah mendukung dan memotivasi serta do’a yang tiada henti mereka panjatkan untuk penulis dalam menyelesaikan laporan Proyek Akhir ini.
3. Bapak Ir. Joko Sumiyanto, MT 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 Pramudiyanto, S. PdT., M. Eng., yang selalu meluangkan waktu untuk berdiskusi dan mengarahkan penulis mulai dari persiapan alat sampai penelitian ini selesai.
5. Bapak Lutjito, M.T, selaku koordinator Laboratorium Hidrolika, FT-UNY, terimakasih telah memberikan tempat untuk penulis melakukan pengujian.
6. Bapak Agus Santoso selaku Ketua Jurusan , Bapak Ikhwanudin selaku sekretaris Jurusan, dan Bapak Didik Purwantoro selaku Kaprodi Teknik Sipil D3 di Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan.
7. Bapak Ir. Endaryanta, M. T. selaku dosen Pembimbing Akademik.
8. Untuk sahabat – sahabat terbaikku Sri Wachyuni (Ucil), Anyntya Fynanti Sabrina (Emak), Nadiatus Sobrina (Kuying), Tsalitsatul Husna (‘Mbok), Puji Sri Lestari (Strob).
9. Rekan seperjuangan yang sama-sama melakukan penelitian di Lab. BB, Dodot, Galang, Bayu, Ragil (Bombom), Mas Deni, Mas Yudi, Mas Anu, Mas Hana, Mba Arum, Mas Bagus, ‘n Ucup.
10. Buat Sugeng Abdul Fitri yang tiada henti memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.
11. Mas Sarsin, Mas Sigit, dan Mas Yudi yang selalu memberikan canda tawa saat di Laboratorium Hidrolika.
12. Semua dosen pengajar Program Studi Diploma Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta.
13. Bapak / Ibu Dosen serta seluruh Staff dan Karyawan Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan, FT – UNY.

14. Seluruh pegawai administrasi yang telah memberikan bantuan dan kemudahan dalam penyelesaian administrasi.
15. Seluruh rekan – rekan semua angkatan khususnya kelas C Program Studi Diploma III Teknik Sipil, Fakultas Teknik, UNY.

Penulis menyadari bahwa isi dari Proyek Akhir ini masih banyak kekurangannya. Hal ini disebabkan keterbatasan pengetahuan dan kurangnya pemahaman penulis. Untuk itu penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun dari bapak dan ibu dosen serta rekan mahasiswa 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, Juli 2013

Astri Rostikasari

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR NOTASI	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
 BAB I PENDAHULUAN	 1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	4
C. Rumusan Masalah	4
D. Batasan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	6
F. Manfaat Penelitian	6
 BAB II DASAR TEORI DAN KAJIAN PUSTAKA	 8
A. Beton dan Penyusunnya	8
1. Semen	9
2. Agregat	12
3. Air	16
B. Sifat-sifat Beton	18
1. Sifat Beton Segar	18
1.1 Kelecakan Beton (<i>Workability</i>)	18
1.2 Pemisahan Kerikil (<i>Segregation</i>)	19
1.3 Pemisahan Air (<i>Bleeding</i>)	19
2. Sifat Beton Keras	20
2.1 Sifat Jangka Pendek	20
2.2 Sifat Jangka Panjang	21
C. Beton Daur Ulang	21

D. Beton Bertulang	23
E. Korosi pada Beton Bertulang	23
1. Pengertian Korosi	23
2. Proses Korosi	24
3. Faktor yang Mempengaruhi	28
4. Laju Korosi	28
5. Densitas Arus Korosi	29
6. Jenis-jenis Korosi	30
F. Balok	31
1. Kuat Lentur Balok Persegi	32
2. Penampang Balok Bertulang	34
3. Pembatasan Penulangan Tarik	36
4. Analisis Balok Terlentur Bertulangan Tarik	38
G. Penelitian Sebelumnya	40
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	41
A. Metode	41
B. Alat	41
C. Bahan	48
D. Prosedur Pengujian	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	64
A. Hasil Pengujian	64
B. Pembahasan	71
BAB V PENUTUP	104
A. KESIMPULAN	104
B. SARAN	105
C. KETERBATASAN PENELITIAN	106
DAFTAR PUSTAKA	107
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Susunan unsur semen portland	9
Tabel 2. Senyawa kimia penyusun semen portland	10
Tabel 3. Karakteristik senyawa penyusun semen portland	11
Tabel 4. Pengaruh sifat agregat pada sifat beton	12
Tabel 5. Batas gradasi agregat halus	14
Tabel 6. Batas gradasi agregat kasar	16
Tabel 7. Hasil pengujian kadar air pasir kondisi alami	65
Tabel 8. Hasil pengujian kadar air pasir kondisi SSD	65
Tabel 9. Hasil pengujian kadar lumpur	66
Tabel 10. Hasil pengujian berat jenis pasir alami	66
Tabel 11. Hasil pengujian berat jenis pasir SSD	67
Tabel 12. Hasil pengujian bobot isi gembur agregat halus	67
Tabel 13. Hasil pengujian bobot isi padat agregat halus	67
Tabel 14. Hasil pengujian MKB agregat halus	68
Tabel 15. Hasil pengujian kadar air agregat kasar alami	69
Tabel 16. Hasil pengujian kadar air agregat kasar SSD	69
Tabel 17. Hasil pengujian berat jenis agregat kasar alami	69
Tabel 18. Hasil pengujian berat jenis agregat kasar SSD	70
Tabel 19. Hasil pengujian kadar lumpur agregat kasar	70
Tabel 20. Hasil pengujian bobot isi gembur agregat kasar	70
Tabel 21. Hasil pengujian bobot isi padat agregat kasar	71
Tabel 22. Hasil pengujian MKB agregat kasar	71
Tabel 23. Hasil pengujian keausan agregat kasar	71
Tabel 24. Hasil pengujian kuat tekan beton	72
Tabel 25. Laju korosi benda uji	72
Tabel 26. Densitas arus korosi	74
Tabel 27. Prosentase kehilangan berat	75
Tabel 28. Massa aktual korosi	76

Tabel 29.	Catatan potensial benda uji	78
Tabel 30.	Catatan derajat keasaman air (pH)	86
Tabel 31.	Hasil pengukuran diameter baja tulangan	91
Tabel 32.	Degredasi kapasitas momen	103

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Proses korosi pada baja tulangan	25
Gambar 2. Volume relatif besi dan oksidanya	26
Gambar 3. Blok tegangan ekivalen Whitney	32
Gambar 4. Blok tegangan untuk perencanaan dan analisis kekuatan	33
Gambar 5. Variasi letak garis netral	35
Gambar 6. Keadaan regangan seimbang	38
Gambar 7. Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram	41
Gambar 8. Timbangan dengan ketelitian 1 gram	42
Gambar 9. Timbangan dengan ketelitian gram	42
Gambar 10. Gelas ukur	43
Gambar 11. Oven	43
Gambar 12. Ayakan agregat halus	43
Gambar 13. Ayakan agregat kasar	44
Gambar 14. Mesin <i>los angeles</i>	44
Gambar 15. Mesin aduk beton atau molen	45
Gambar 16. Kerucut abrams	45
Gambar 17. Cetakan beton	45
Gambar 18. Jangka sorong	46
Gambar 19. Bejana	46
Gambar 20. Palu	46
Gambar 21. <i>Power supply</i>	47
Gambar 22. Bak rendaman	47
Gambar 23. pH meter	47
Gambar 24. <i>Digital multimeter</i>	48
Gambar 25. Semen portland	49
Gambar 26. Agregat halus	49
Gambar 27. Agregat kasar asli	50
Gambar 28. <i>Air aquades</i>	50

Gambar 29.	Baja tulangan	50
Gambar 30.	Garam NaCl	51
Gambar 31.	<i>Indicator phenolphthalein</i>	51
Gambar 32.	Diagram alir penelitian	52
Gambar 33.	Pencampuran air	54
Gambar 34.	Pencampuran agregat kasar	54
Gambar 35.	Pencampuran agregat halus	54
Gambar 36.	Pencampuran semen	54
Gambar 37.	Penuangan adukan beton	55
Gambar 38.	Pengujian <i>slump</i>	55
Gambar 39.	Pembuatan benda uji	56
Gambar 40.	Pembongkaran benda uji	57
Gambar 41.	Benda uji	58
Gambar 42.	<i>set up</i> penelitian	58
Gambar 43.	Perakitan <i>power supply</i>	59
Gambar 44.	Menimbang baja tulangan sebelum korosi.....	59
Gambar 45.	Pengecatan baja tulangan	59
Gambar 46.	Pemasangan klem pada beton	60
Gambar 47.	<i>Setting</i> alat dan potensial	60
Gambar 48.	Persiapan alat dan bahan yang akan digunakan	60
Gambar 49.	Penuangan garam	61
Gambar 50.	Perendaman beton	61
Gambar 51.	Proses pengamatan perubahan potensial dan pH	61
Gambar 52.	Kandungan zat organik pasir	65
Gambar 53.	Grafik MKB pasir	67
Gambar 54.	Laju korosi benda uji	72
Gambar 55.	Densitas arus korosi	73
Gambar 56.	Prosentase penurunan berat	75
Gambar 57.	Massa aktual korosi	76
Gambar 58.	Grafik bacaan potensial beton dengan agregat kasar asli	79
Gambar 59.	Grafik bacaan potensial beton dengan agregat kasar	

	<i>recycle1</i>	80
Gambar 60.	Grafik bacaan potensial beton dengan agregat kasar	
	<i>recycle2</i>	81
Gambar 61.	Grafik bacaan potensial beton dengan agregat kasar	
	<i>recycle3</i>	82
Gambar 62.	Grafik bacaan potensial beton dengan agregat kasar asli, R1, R2, dan R3	83
Gambar 63.	Grafik bacaan pH air masing-masing bak rendaman	87
Gambar 64.	Pola retak beton dengan agregat kasar asli	88
Gambar 65.	Pola retak beton dengan agregat kasar <i>recycle 1</i>	89
Gambar 66.	Pola retak beton dengan agregat kasar <i>recycle 2</i>	89
Gambar 67.	Pola retak beton dengan agregat kasar <i>recycle 3</i>	90
Gambar 68.	Pengujian karbonasi beton	91
Gambar 69.	Degradasi kapasitas momen (<i>linier</i>)	103
Gambar 70.	Degradasi kapasitas momen (<i>logarithmic</i>)	103

DAFTAR NOTASI

Simbol	Keterangan	Satuan
CR	Laju korosi (<i>corrosion rate</i>) (pers. 2-1)	gr/m ² .h
K	Konstanta Untuk mendapatkan nilai CR dalam satuan gr/m ² .h	
w	Kehilangan berat	gr
A	Luas baja tulangan yang terendam	cm ²
T	Waktu korosi	Jam
D	Kepadatan (<i>density</i>) dari baja karbon = 7,86	gr/cm ³
I_{corr}	Densitas arus korosi (pers. 2-2)	mA/cm ²
W_o	Berat baja tulangan sebelum korosi	gr
W_c	Berat baja tulangan setelah korosi	gr
F	Konstanta Faraday = 96487	Amp-sec
d	Diameter baja tulangan	mm
L	Panjang baja tulangan yang terendam	mm
W	Berat ekivalen baja = 27925	gr
t	Waktu terhadap korosi	Sec
$\frac{w}{t}$	Prosentase kehilangan berat (pers. 2-3)	%
M_{ac}	Massa aktual korosi (pers. 2-4)	gr/mm ²
f_y	Tegangan luluh baja tulangan	MPa
f'_c	Kuat tekan beton	MPa
A_s	Luas tampang tulangan	mm ²
b	Lebar balok	mm
d	Tinggi efektif balok	mm
h	Tinggi total penampang balok	mm
$\frac{d}{h}$	Rasio penulangan (pers. 2-6)	
$\frac{\rho}{\rho_{seimbang}}$	Rasio penulangan seimbang	
c_b	Letak garis netral (pers. 2-8)	
a	Blok tekan beton (pers. 2-10)	mm
z	Panjang lengan kopel momen dalam (pers. 2-11)	mm
M_n	Kapasitas momen nominal (pers. 2-12)	kNm

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Pengujian kadar air agregat halus alami
- Lampiran 2. Pengujian kadar air agregat halus SSD
- Lampiran 3. Pengujian berat jenis agregat halus alami
- Lampiran 4. Pengujian berat jenis agregat halus SSD
- Lampiran 5. Pengujian kadar lumpur agregat halus
- Lampiran 6. Pengujian bobot isi gembur agregat halus
- Lampiran 7. Pengujian bobot isi padat agregat halus
- Lampiran 8. Pengujian modulus kehalusan butir (MKB) agregat halus
- Lampiran 9. Pengujian kadar air agregat kasar alami
- Lampiran 10. Pengujian kadar air agregat kasar SSD
- Lampiran 11. Pengujian berat jenis agregat kasar alami
- Lampiran 12. Pengujian berat jenis agregat kasar SSD
- Lampiran 13. Pengujian kadar lumpur agregat kasar
- Lampiran 14. Pengujian bobot isi gembur agregat kasar
- Lampiran 15. Pengujian bobot isi padat agregat kasar
- Lampiran 16. Pengujian keausan agregat kasar
- Lampiran 17. Pengujian keausan agregat kasar setelah korosi
- Lampiran 18. Pengujian modulus kehalusan butir (MKB) agregat kasar
- Lampiran 19. Pengujian kadar air agregat kasar *recycle 1*
- Lampiran 20. Pengujian kadar air agregat kasar *recycle 1* SSD
- Lampiran 21. Pengujian berat jenis agregat kasar *recycle 1*
- Lampiran 22. Pengujian berat jenis agregat kasar *recycle 1* SSD

- Lampiran 23. Pengujian kadar lumpur agregat kasar *recycle 1*
- Lampiran 24. Pengujian bobot isi gembur agregat kasar *recycle 1*
- Lampiran 25. Pengujian bobot isi padat agregat kasar *recycle 1*
- Lampiran 26. Pengujian keausan agregat kasar *recycle 1*
- Lampiran 27. Pengujian keausan agregat kasar setelah korosi *recycle 1*
- Lampiran 28. Pengujian modulus kehalusan butir (MKB) agregat kasar *recycle 1*
- Lampiran 29. Pengujian kadar air agregat kasar *recycle 2*
- Lampiran 30. Pengujian kadar air agregat kasar *recycle 2* SSD
- Lampiran 31. Pengujian berat jenis agregat kasar *recycle 2*
- Lampiran 32. Pengujian berat jenis agregat kasar *recycle 2* SSD
- Lampiran 33. Pengujian kadar lumpur agregat kasar *recycle 2*
- Lampiran 34. Pengujian bobot isi gembur agregat kasar *recycle 2*
- Lampiran 35. Pengujian bobot isi padat agregat kasar *recycle 2*
- Lampiran 36. Pengujian keausan agregat kasar *recycle 2*
- Lampiran 37. Pengujian keausan agregat kasar setelah korosi *recycle 2*
- Lampiran 38. Pengujian modulus kehalusan butir (MKB) agregat kasar *recycle 2*
- Lampiran 39. Pengujian kadar air agregat kasar *recycle 3*
- Lampiran 40. Pengujian kadar air agregat kasar *recycle 3* SSD
- Lampiran 41. Pengujian berat jenis agregat kasar *recycle 3*
- Lampiran 42. Pengujian berat jenis agregat kasar *recycle 3* SSD
- Lampiran 43. Pengujian kadar lumpur agregat kasar *recycle 3*
- Lampiran 45. Pengujian bobot isi gembur agregat kasar *recycle 3*
- Lampiran 46. Pengujian bobot isi padat agregat kasar *recycle 3*

- Lampiran 47. Pengujian keausan agregat kasar *recycle 3*
- Lampiran 48. Pengujian keausan agregat kasar setelah korosi *recycle 3*
- Lampiran 49. Pengujian modulus kehalusan butir (MKB) agregat kasar *recycle 3*
- Lampiran 50. Perancangan adukan beton agregat kasar asli
- Lampiran 51. Perancangan adukan beton agregat kasar *recycle 1*
- Lampiran 52. Perancangan adukan beton agregat kasar *recycle 2*
- Lampiran 53. Perancangan adukan beton agregat kasar *recycle 3*
- Lampiran 54. Hasil uji *slump*
- Lampiran 55. Catatan beda potensial benda uji asli, *recycle 1*, *recycle 2*, *recycle 3*
- Lampiran 56. Catatan derajat keasaman (pH) air
- Lampiran 57. Analisis laju korosi (CR)
- Lampiran 58. Analisis densitas arus korosi (I_{corr})
- Lampiran 59. Analisis prosentase penurunan berat
- Lampiran 60. Analisis massa aktual korosi (M_{ac})
- Lampiran 61. Lembar konsultasi

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang paling banyak digunakan dalam dunia konstruksi, baik pada bangunan yang bersifat struktural maupun bangunan non struktural. Sebagai bahan bangunan beton mempunyai berbagai kelebihan. Kelebihan tersebut antara lain dapat dibentuk sesuai dengan keinginan, mempunyai kuat tekan yang tinggi, tahan terhadap temperatur tinggi, beton tahan aus dan tahan bakar sehingga biaya pemeliharaan relatif murah. Disamping kelebihan tersebut beton juga mempunyai kekurangan. Kekurangan tersebut antara lain beton yang sudah dibentuk sulit untuk diubah, pelaksanaan pekerjaan membutuhkan ketelitian yang tinggi, beton dianggap tidak mampu untuk menahan gaya tarik sehingga perlu ditambahkan baja tulangan sebagai penahan gaya tarik, dan beton bersifat getas (tidak daktil) sehingga harus dihitung dan diteliti secara seksama agar setelah dikombinasikan dengan baja tulangan menjadi bersifat daktil. Kombinasi beton dengan baja tulangan tersebut disebut dengan beton bertulang.

Beton bertulang merupakan konstruksi yang sudah tidak asing di bidang teknik sipil. Bangunan sipil seperti gedung, jembatan, bangunan air, beton bertulang sering digunakan sebagai struktur utama maupun struktur pelengkap.

Penggunaan beton dalam jumlah besar dalam dunia konstruksi akan memicu penambahan batuan sebagai salah satu pembentuk beton. Hal ini menyebabkan turunnya jumlah sumber daya alam yang tersedia untuk kebutuhan beton.

Keterbatasan kemampuan alam menyediakan material pembentuk beton merupakan salah satu persoalan yang sangat penting. Disisi lain, banyak bangunan yang terpaksa dibongkar, karena bencana alam, seperti gempa, mengalami kerusakan atau bangunan sudah tidak layak huni. Selain itu, pada zaman sekarang, dunia konstruksi lebih memilih sisi praktis termasuk penggunaan beton siap pakai (*ready mix*) untuk konstruksi bangunan, akan tetapi dalam pelaksanaan sering terjadi kelebihan *supply* dan dibuang.

Pembuangan limbah tersebut memerlukan biaya dan tempat pembuangan, selain itu limbah tersebut hanya akan menjadi sampah sehingga dapat merusak alam dan merusak keseimbangan ekosistem yang berada di sekitarnya.

Untuk memanfaatkan limbah beton tersebut agar tidak menjadi sampah dan tidak merusak keseimbangan ekosistem, maka beton tersebut perlu di daur ulang untuk dijadikan agregat alternatif yang dapat menggantikan agregat alam di dalam campuran beton.

Beton daur ulang merupakan campuran yang diperoleh dari proses ulang material beton sebelumnya. Tentu agregat daur ulang ini mempunyai

kualitas yang berbeda dibandingkan dengan agregat asli, ini karena agregat daur ulang memiliki kandungan semen yang tinggi.

Pada kondisi lingkungan yang ekstrem (korosif), kualitas struktur beton bertulang menjadi lebih cepat menurun dibandingkan saat berada pada lingkungan yang normal. Salah satu penyebab menurunnya kekuatan beton bertulang adalah korosi pada baja tulangan. Secara umum, tulangan didalam beton tidak akan terkorosi, karena beton bersifat basa atau alkali yang memiliki pH tinggi, yakni antara 12-13 yang terjadi saat semen tercampur dengan air. Karena sifat alkali ini, dipermukaan tulangan dalam beton terbentuk sebuah lapisan pasif yang menyebabkan tulangan beton terlindung dari pengaruh luar. Tulangan beton baru bisa terkorosi bila lapisan pasif ini rusak (pH beton menurun), lingkungan menjadi penyebab utama terjadinya korosi, seperti keberadaan oksigen, air, dan ion agresif (seperti klorida) yang dapat merusak beton. Korosi terjadi saat baja melepas elektron dan keberadaan air yang melepas hidroksida. Kedua komponen membentuk besi hidroksida 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 hidrogen 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 sudah 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.

B. Identifikasi Masalah

Beberapa permasalahan yang berkaitan dengan kajian korosi pada beton bertulang dengan agregat kasar dari beton daur ulang adalah sebagai berikut:

1. Belum diketahui nilai laju korosi baja tulangan.
2. Belum diketahui nilai densitas arus korosi baja tulangan.
3. Belum diketahui degradasi momen akibat korosi.
4. Belum diketahui persentase penurunan berat akibat korosi baja tulangan.
5. Belum diketahui massa aktual korosi akibat korosi baja tulangan.
6. Belum diketahui bacaan potensial benda uji yang menggunakan agregat kasar daur ulang.
7. Belum diketahui bacaan pH air masing-masing bak rendaman benda uji yang menggunakan agregat kasar daur ulang.
8. Belum diketahui pola retak yang terjadi pada beton yang menggunakan agregat kasar daur ulang.
9. Belum diketahui beton yang menggunakan agregat kasar daur ulang terkena serangan karbonasi.
10. Belum diketahui korosi yang terjadi murni karena serangan klorida ataukah karena karbonasi.

C. Rumusan Masalah

Beton bertulang yang dibuat dari beton daur ulang sebagai agregat kasar ini akan diuji:

1. Berapa nilai laju korosi setiap baja tulangan?
2. Berapa nilai densitas arus korosi setiap baja tulangan?
3. Berapa nilai degradasi momen pada beton dengan agregat kasar dari beton daur ulang?
4. Berapa persentase penurunan berat pada setiap baja tulangan?
5. Berapa massa aktual korosi setiap baja tulangan?
6. Bagaimana bacaan potensial benda uji pada beton yang menggunakan agregat kasar dari beton daur ulang?
7. Bagaimana bacaan pH air pada masing-masing bak rendaman beton yang menggunakan agregat kasar dari beton daur ulang?
8. Bagaimana pola retak yang terjadi?
9. Apakah beton yang baja tulangannya sudah terkorosi terkena serangan karbonasi?
10. Apakah korosi yang terjadi murni karena serangan klorida ataukah karena karbonasi?

D. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini dibatasi oleh beberapa hal, antara lain :

1. Kuat tekan beton (f_c') yang digunakan besarnya adalah 40 MPa.
2. Besarnya nilai *slump* yang direncanakan ± 10 cm.
3. Agregat kasar (kerikil) yang digunakan adalah agregat buatan yang berasal dari pecahan beton.

4. Cement Portland yang digunakan adalah semen Tipe 1 dengan merk Holcim kemasan 40 Kg.
5. Baja tulangan yang digunakan polos diameter 8 mm.
6. Dalam proses pembuatan beton silinder yang digunakan adalah PVC Ø 3" dan tinggi 30 cm.
7. Setingan voltase berada pada kisaran 6 volt.
8. Penggunaan garam menggunakan NaCl *Pure Analized* sebanyak 3% dari volume air yang dibutuhkan.
9. Air yang digunakan adalah air destilasi *Pure H₂O*.
10. Selama proses pengamatan berlangsung benda uji berada dalam ruangan.
11. Hanya mempertimbangkan tulangan memanjang atau tulangan pokok untuk balok tulangan tunggal (tarik saja).

E. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui proses korosi baja tulangan pada beton bertulang dengan agregat kasar dari beton daur ulang.
2. Mengetahui nilai laju korosi baja tulangan pada konstruksi beton bertulang dengan agregat kasar dari beton daur ulang.
3. Mengetahui nilai densitas arus korosi baja tulangan pada konstruksi beton bertulang dengan agregat kasar dari beton daur ulang.
4. Mengetahui persentase kehilangan berat akibat korosi.
5. Mengetahui kapasitas momen nominal yang dapat ditahan oleh beton dengan agregat kasar dari beton daur ulang.

6. Mengetahui derivasi grafik laju korosi baja tulangan.
7. Mengetahui derivasi grafik densitas arus korosi baja tulangan.
8. Mengetahui derivasi grafik bacaan potensial benda uji.
9. Mengetahui derivasi grafik bacaan pH air bak rendaman.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini antara lain adalah untuk:

1. Memanfaatkan kembali limbah beton yang sudah tidak terpakai lagi.
2. Memperoleh informasi tentang pengaruh korosi pada beton bertulang dengan agregat kasar dari beton daur ulang.
3. Memperoleh informasi bagaimana pola retak yang terjadi pada beton.
4. Memperoleh informasi tentang jenis agregat kasar yang digunakan terhadap laju korosi dan densitas arus korosi baja tulangan pada beton bertulang dengan agregat kasar dari beton daur ulang.
5. Memperoleh informasi tentang jenis agregat kasar yang digunakan terhadap kapasitas momen nominal beton bertulang dengan agregat kasar dari beton daur ulang.

BAB II

DASAR TEORI DAN KAJIAN PUSTAKA

A. Beton dan Penyusunnya

Beton adalah bahan bangunan yang paling luas dipakai di seluruh dunia. Hal tersebut dikarenakan sifat plastis yang ada pada beton yang memungkinkan untuk mencetak beton sesuai dengan bentuk yang diinginkan. Hal lainnya adalah kekuatan beton yang tinggi terhadap tekanan. Beberapa hal tersebutlah yang menjadikan beton menjadi bahan bangunan yang sangat banyak digunakan.

Beton merupakan campuran antara semen portland atau semen hidrolik lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan membentuk massa yang padat (SK.SNI T-15-1990-02:1).

Pada beton yang baik, setiap butir agregat seluruhnya terbungkus dengan mortar. Demikian pula halnya dengan ruang antar agregat, harus terisi oleh mortar. Jadi kualitas mortar pasta atau mortar menentukan kualitas beton.

Nilai kuat tekan beton relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya, dan beton merupakan bahan yang bersifat getas. Kuat tarik yang dimiliki beton hanya berkisar antara 9-15% dari kuat tekannya (Dipohusodo I, 1994:1) karenanya sering kali dalam perencanaan kuat tarik beton dianggap sama dengan nol. Dengan menambahkan baja tulangan pada daerah tarik pada

beton, maka kelemahan tarik beton dapat ditanggung oleh baja tulangan yang memiliki kuat tarik yang lebih besar.

1. Semen

Menurut SNI 0013-1981, *Portland Cement* merupakan bahan perekat dalam campuran beton hasil penghalusan klinker yang senyawa utamanya terdiri dari material *calcareous* seperti *limestone* atau kapur dan material *argillaceous*, seperti besi oksida, serta silica dan alumnina yang berupa lempung.

Fungsi semen dalam beton adalah sebagai bahan aktif yaitu bahan perekat antara agregat yang satu dengan yang lainnya. Semen yang ada pada beton akan bereaksi dengan air kemudian akan membentuk pasta semen. Pasta semen ini selain berfungsi sebagai perekat juga berfungsi sebagai pengisi rongga-rongga di antara agregat, setelah itu semen dan agregat akan menjadi suatu massa yang kompak atau padat (Tjokrodinuljo, 2007).

Tabel 1. Susunan Unsur Semen Portland

Jenis Bahan	Persen (%)
Batu Kapur (CaO)	60 – 65
Pasir Silikat (SiO_2)	17 – 25
Tanah Liat (Al_2O_3)	3 – 8
Bijih Besi (Fe_2O_3)	0,5 – 6
Magnesia (MgO)	0,5 – 4
Sulfur (SO_3)	1 – 2
Soda / Potash ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)	0,5 – 1

Secara garis besar ada empat macam senyawa kimia utama yang menyusun semen portland, seperti tercantum dalam Tabel 2.

Tabel 2. Senyawa Kimia Penyusun Semen Portland

Mineral – mineral Klinker	Rumus Kimia	Rumus Singkatan
Trialsium Silikat	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_3S
Dikalsium Silikat	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C_2S
Trialsium Aluminat	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A
Tetra Kalsium Alumina Ferit	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF

Senyawa tersebut menjadi kristal – kristal yang saling mengikat ketika menjadi klinker. Komposisi C_3S dan C_2S adalah 70 % – 80 % dari berat semen dan merupakan bagian yang paling dominan memberikan sifat semen (Tjokrodinulldjo, 1992). Semen dan air saling bereaksi atau disebut juga proses hidrasi dan hasilnya dinamakan hidrasi semen. Senyawa C_3S lebih cepat bereaksi jika terkena air dan menghasilkan panas dari pada senyawa C_2S . Kedua senyawa utama tersebut membutuhkan air sekitar 21 % - 24 % dari beratnya untuk bereaksi. Senyawa C_3S membebaskan kalsium hidroksida hampir tiga kali dari yang dibebaskan oleh C_2S . Jika kandungan C_3S lebih banyak maka akan terbentuk kekuatan awal yang tinggi dan panas yang tinggi, sebaliknya jika kandungan C_2S lebih banyak maka akan terbentuk semen dengan kekuatan awal yang rendah dan ketahanan serangan kimia yang tinggi.

Senyawa ketiga, C_3A , bereaksi secara *exothermis* dan bereaksi sangat cepat, memberikan kekuatan awal yang sangat cepat pada 24 jam pertama. Unsur ini sangat berpengaruh pada nilai panas hidrasi tertinggi, baik pada awal maupun saat pengerasan. Semen C_3A lebih dari 10 % tidak akan tahan terhadap serangan sulfat. Semen yang kandungan C_3A -

nya tinggi, jika terkena sulfat yang terdapat dalam air atau tanah akan mengeluarkan C_3A yang bereaksi dengan sulfat dan mengembang sehingga mengakibatkan retak – retak pada betonnya (Tjokrodimuljo, 1992).

Senyawa keempat, C_4AF , kurang begitu besar pengaruhnya terhadap kekerasan dalam semen atau beton sehingga kontribusinya dalam peningkatan kekuatan kecil. Komposisi kandungan senyawa yang dibutuhkan dalam semen portland menurut standart ASTM C-150 (ASTM C-150 Vol.04.02: 1995, 92) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik Senyawa Penyusun Semen Portland

Nilai	(C_3S)	(C_2S)	(C_3A)	(C_4AF)
Penyemenan	Baik	Baik	Buruk	Buruk
Kecepatan Reaksi	Sedang	Lambat	Cepat	Lambat
Pelepasan Panas Hidrasi	Sedang	Sedikit	Banyak	Sedikit

Dari uraian diatas terdapat perbedaan penetrasi senyawa kimia yang akan menyebabkan perbedaan sifat semen. Kandungan senyawa yang terdapat dalam semen akan membentuk karakteristik dan jenis semen. Peraturan Beton (SKBI.1.4.53.1989) dalam usulannya dihalaman 1, membagi semen portland menjadi lima jenis (SK.SNI T-15-1990-03:2) yaitu :

- a. Tipe I, semen portland yang dalam penggunaannya tidak memerlukan persyaratan khusus seperti jenis – jenis lainnya.
- b. Tipe II, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.

- c. Tipe III, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan kekuatan awal yang tinggi dalam fase permulaan setelah pengikatan terjadi.
- d. Tipe IV, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan panas hidrasi yang rendah.
- e. Tipe V, semen portland yang dalam penggunaannya memerlukan ketahanan yang tinggi terhadap sulfat.

2. Agregat

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

Agregat aduk dan beton dapat juga didefinisikan sebagai bahan yang dipakai sebagai pengisi atau pengkurus, dipakai bersama dengan bahan perekat, dan membentuk suatu massa yang keras, padat bersatu, yang disebut adukan beton.

Di dalam beton, agregat, (agregat halus dan agregat kasar) mengisi sebagian besar volume beton, yaitu antar 50% sampai 80%, sehingga sifat-sifat dan mutu agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat dan mutu beton.

Tabel 4. Pengaruh sifat agregat pada sifat beton

Sifat Agregat	Pengaruh pada	Sifat Beton
Bentuk, Tekstur, Gradasi	Beton cair	Kelecekan, pengikatan, pengerasan
Sifat fisik, sifat kimia, mineral	Beton keras	Kekuatan, kekerasan, ketahanan (durability)

Penggunaan agregat dalam beton adalah untuk:

- a. Menghemat penggunaan semen portland;
- b. Menghasilkan kekuatan yang besar pada beton;
- c. Mengurangi susut pengerasan beton;
- d. Mencapai susunan yang padat beton. Dengan gradasi yang baik, maka akan didapatkan beton yang padat;
- e. Mengontrol “*workability*” atau sifat dapat dikerjakan aduk beton. Dengan gradasi yang baik, maka akan didapatkan beton yang mudah dikerjakan atau memiliki “*workability*” yang baik.

Menurut Wuryati S dan Chandra R (2001: 15-16) klasifikasi agregat ditinjau dari besar butirnya dibedakan menjadi tiga, yakni:

1) Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang kesemua butirannya menembus ayakan dengan lubang 4,8 mm. Agregat halus dalam beton berfungsi sebagai pengisi rongga-rongga antara agregat kasar. Agregat halus pada umumnya 25% – 65% volume dari total agregat.

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

- a) Butir-butirnya tajam dan keras.
- b) Kekal, tidak mudah pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca (terik panas dan hujan). Jika diuji dengan larutan garam natrium sulfat bagian yang hancur maksimal 12% dan jika diuji dengan garam magnesium dulfat bagian yang hancur maksimal 18%.
- c) Tidak mengandung lumpur lebih dari 5%.
- d) Tidak mengandung zat organik yang terlalu banyak, yang dibuktikan dengan larutan 3% NaOH, yaitu warna cairan diatas endapan diatas agregat halus tidak boleh lebih gelap daripada warna pembanding standar.
- e) Modulus halus butir memenuhi antara 1,50-3,80.
- f) Khusus untuk beton dengan tingkat keawetan tinggi, agregat halus harus tidak reaktif terhadap alkali.
- g) Agragat halus dari laut/pantai boleh dipakai asal dengan petunjuk lembaga pemeriksaan bahan-bahan yang diakui.

Menurut British Standart, agregat halus dikelompokan dalam empat zone (daerah) seperti dalam Tabel 5.

Tabel 5. Batas Gradasi Agregat Halus (BS)

Lubang Ayakan (mm)	Persen Berat Butir yabg Lewat Ayakan			
	Zone 1	Zone II	Zone III	Zone IV
10	100	100	100	100
4,8	95-100	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 II = Pasir Agak Kasar

Zone III = Pasir Halus

Zone IV = Pasir Agak Halus

2) Agregat Kasar

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

Agregat kasar yang digunakan dalam campuran beton haruslah memenuhi persyaratan yang telah disyaratkan. Menurut SK SNI S-04-1989-F mengenai spesifikasi bahan bangunan agregat kasar, syarat-syarat tersebut adalah :

- a) Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori.
- b) Bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca.
- c) Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, apabila kadar lumpur melampaui 1% maka agregat kasar harus dicuci.
- d) Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang reaktif terhadap alkali.
- e) Modulus halus butir agregat kasar antara 6-7,1 dengan variasi butir sesuai standar gradasi.

Menurut *British Standar* (B.S), gradasi agregat kasar (kerikil/batu pecah) yang baik sebaiknya masuk dalam batas, batas tersebut tercantum dalam Tabel 6.

Tabel 6. Batas Gradasi Agregat Kasar (B.S)

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir lewat Ayakan, Besar Butir Maks		
	40 mm	20 mm	12,5 mm
40	95-100	100	100
20	30-70	95-100	100
12,5	-	-	90-100
10	10-35	25-55	40-85
4,8	0-5	0-10	0-10

3) Batu

Batu adalah agregat dengan besar butirannya lebih besar dari 40 mm.

3. Air

Air merupakan komponen utama dalam pembuatan beton agar terjadi reaksi kimiawi dengan semen, membasahi agregat dan memberikan kemudahan dalam pekerjaan beton. Air yang digunakan untuk campuran beton harus bersih, air yang dapat diminum umumnya dapat digunakan sebagai campuran beton. Air yang mengandung senyawa – senyawa yang berbahaya, yang tercemar garam, minyak, gula, atau bahan lainnya, bila dipakai dalam campuran beton akan menurunkan kualitas beton, bahkan dapat mengubah sifat – sifat beton yang dihasilkan.

Karena pasta semen merupakan hasil reaksi kimia antara semen dengan air, maka buka perbandingan jumlah air terhadap total berat campuran yang penting, tetapi justru perbandingan air dengan semen atau yang biasa disebut dengan faktor air semen (*water cement ratio*). Air yang berlebihan akan menyebabkan banyaknya gelembung air setelah proses hidrasi selesai, sedangkan air yang terlalu sedikit akan mempengaruhi kekuatan beton. Pada dasarnya jumlah air yang diperlukan untuk proses hidrasi tersebut adalah 25% dari berat semen.

Jika semen portland diberi air, maka air akan berangsur-angsur mengadakan persenyawaan dengan senyawa-senyawa semen. Sebagian dari senyawa semen akan larut membentuk gel (agar-agar). Suatu semen yang baru saja bercampur dengan air pasta semen merupakan suatu massa plastis yang terdiri dari butiran semen dan air. Setelah pasta semen mulai mengeras kandungannya bervolume tetap. Hasil pengerasan ini terdiri dari hidrat senyawa-senyawa semen yang ada yang berupa agar-agar, kristal-kristal kapur padam, sedikit senyawa lain, dan butiran semen yang tidak bersenyawa dengan air.

Adanya kotoran dalam air secara umum dapat menyebabkan (Paul Nugraha dan Antoni, 2007:75) :

- a. Gangguan hidrasi pada pengikatan.
- b. Gangguan pada kekuatan dan ketahanan.
- c. Perubahan volume yang dapat menyebabkan keretakan.
- d. Korosi pada tulangan baja maupun kehancuran beton.
- e. Bercak – bercak pada permukaan beton.

Air yang digunakan harus memenuhi persyaratan kualitas air sebagai berikut (Tjokrodimuljo, 1992):

- 1) Tidak mengandung lumpur (benda melayang lainnya) lebih dari 2 gr/lit.
- 2) Tidak mengandung garam – garam yang dapat merusak beton (asam, zat organik, dan sebagainya) lebih dari 15 gr/lit.
- 3) Tidak mengandung klorida (CL) lebih dari 0,5 gr/lit.
- 4) Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1gr/lit.

B. Sifat-sifat Beton (Tatang Wibawa, 2008)

Campuran air, kerikil, pasir dan semen dalam beton setelah dicampur memiliki sifat yang berbeda-beda tergantung cara pembuatannya. Perbandingan campuran, cara mencampur, cara mengangkut, cara mencetak, cara memadatkan, cara merawat sangat mempengaruhi sifat yang ada dalam beton. Pada beton sendiri memiliki dua macam sifat, yaitu sifat beton segar dan sifat beton keras.

1. Sifat Beton Segar

Berikut adalah beberapa sifat pada beton segar :

a. Keleccakan Beton (*Workability*)

Keleccakan beton adalah sifat kekentalan beton segar, antara cair dan padat. Keleccakan beton merupakan ukuran kemudahan beton segar untuk diaduk, diangkut, dituang, dan dipadatkan. Perbandingan bahan-bahan pada campuran beton tersebut akan mempengaruhi sifa-sifat beton segar. Berikut adalah beberapa faktor yang mempengaruhi keleccakan beton segar :

- 1) Banyaknya air yang dipakai dalam campuran beton.
- 2) Penambahan semen kedalam adukan.
- 3) Gradasi campuran agregat kasar dan agregat halus.
- 4) Bentuk butiran agregat.
- 5) Besar buitrان maksimum agregat.
- 6) Cara pemadatan adukan beton menentukan sifat pengerjaan yang berbeda.

b. Pemisahan Kerikil (*Segregation*)

Segregation adalah kecenderungan pemisahan butir-butir agregat kasar terhadap campuran beton segar. *Segregation* ini terjadi karena kohesi tidak cukup untuk menahan partikel dalam suspensi atau campuran, atau karena turunnya butiran agregat ke bagian bawah dari beton segar. Campuran beton yang tersegregasi akan sulit untuk dituang karena menjadi tidak seragam sehingga kualitas beton menjadi jelek.

Kecenderungan pemisahan kerikil ini diperbesar dengan:

- 1) Campuran yang kurus (kurang semen)
- 2) Telalu banyak air.
- 3) Semakin besar butir kerikil.
- 4) Semakin kasar permukaan kerikil.

c. Pemisahan Air (*Bleeding*)

Pemisahan air atau bleeding adalah naiknya air pada campuran beton kepermukaan beton segar. Pemisahan air ini tidak diinginkan karena pada saat air menuju permukaan, air membawa semen dan butiran-butiran halus pasir, yang menyebabkan pada saat beton mengeras terdapat selaput tipis pada permukaan yang disebut *laitance*. Selaput ini akan menjadi penghalang rekatan antara beton di bawahnya dan lapisan beton di atasnya.

Adapun penyebab *bleeding* menurut Neville (1981:224) adalah ketidakmapuan bahan padat campuran untuk menangkap air pencampur. Ketika *bleeding* sedang berlangsung, air campuran

terjebak di dalam kantong-kantong yang terbentuk antara agregat dan pasta semen. Sesudah *bleeding* selesai dan beton mengeras, kantong-kantong menjadi kering ketika berlangsung perawatan dalam keadaan kering. Akibatnya apabila ada tekanan, kantong-kantong tersebut menjadi penyebab mudahnya retak pada beton, karena kantong-kantong hanya berisi udara dan bahan lembut semacam debu halus.

2. Sifat Beton Keras

Sifat mekanis beton keras diklasifikasikan :

a. Sifat jangka pendek atau sesaat, yang terdiri dari :

1) Kekuatan tekan

Kuat tekan beton dipengaruhi oleh :

a) Perbandingan air-semen dan tingkat pematatannya.

b) Jenis semen dan kualitasnya.

c) Jenis dan lekak-lekuk bidang permukaan agregat.

d) Umur (pada keadaan normal kekuatan bertambah sesuai dengan umurnya)

e) Suhu (kecepatan pengerasan beton bertambah dengan bertambahnya suhu)

f) Efisiensi dan perawatan.

2) Kekuatan tarik

Kekuatan tarik beton berkisar seper-delapan belas kuat desak beton pada waktu umurnya masih muda dan berkisar seper-duapuluh sesudahnya.

3) Kekuatan geser

Geser dalam beton selalu diikuti oleh desak dan tarik oleh lenturan.

b. Sifat jangka panjang, yang terdiri dari :

1) Rangkak

Rangkak adalah penambahan terhadap waktu akibat beton yang bekerja. Faktor yang mempengaruhi rangkak adalah kekuatan (rangkak dikurangi bila kenaikan kekuatan semakin besar), perbandingan campuran (bila fas dan volume pasta semen berkurang maka rangkak berkurang), semen, agregat (rangkak bertambah bila agregat makin halus), perawatan, umur (kecepatan rangkam berkurang sejalan dengan umur beton).

2) Susut

Susut adalah berurangnya volume elemen beton jika terjadi kehilangan uap air karena penguapan. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya susut adalah agregat (sebagian penahan susut pasta semen), fas (semakin besar fas semakin besar pula efek susut), ukuran elemen beton (kelajuan dan besarnya susut akan berkurang bila volume elemen betonnya semakin besar), kondisi lingkungan, banyaknya penulangan, bahan tambahan.

C. Beton Daur Ulang

Beton daur ulang merupakan campuran yang diperoleh dari proses ulang material yang sebelumnya. Material tersebut berupa agregat kasar yang berasal dari pecahan limbah beton. Perbedaan sifat fisik dan kimia

pada beton daur ulang menyebabkan perbedaan sifat-sifat material beton yang dihasilkan, seperti menurunnya kuat tekan, kuat tarik dan modulus elastisitasnya (Pradhity, 2009).

Hasil penelitian Rosyadi (2011) memperlihatkan bahwa kuat tekan beton yang dihasilkan dari agregat daur ulang masih cukup baik untuk digunakan.

Agregat daur ulang mengandung mortar sebesar 25 – 45 % untuk agregat kasar dan 70 – 100 % untuk agregat halus. Di samping itu, pada agregat daur ulang terdapat perbedaan kandungan unsur-unsur kimia, yaitu unsur silika (Si) dan kalsium (Ca). Hal ini dikarenakan agregat kasar daur ulang sebelumnya merupakan beton yang telah mengalami reaksi hidrasi, dimana unsur Si dan Ca yang terdapat dalam agregat daur ulang diperoleh dari senyawa kalsium silika hidrat (C-S-H), ettringite (C-A-S-H), dan Ca(OH)_2 pada pasta semen yang masih menempel pada agregat alam. Oleh karena itu, unsur Ca pada agregat daur ulang lebih banyak dari pada unsur Si (Pradhity, 2009).

Beberapa perbedaan kualitas, sifat-sifat fisik dan kimia agregat daur ulang tersebut menyebabkan perbedaan sifat-sifat material yang dihasilkan. Perbedaan sifat-sifat dan perilaku mekanik material beton agregat daur ulang juga berpengaruh pada kinerja dan perilaku mekanik elemen struktur yang dibentuknya, diantaranya adalah kemampuan deformabilitas, nilai daktilitas, nilai kekuan, dan pola retak.

Hasil penelitian Agus Tryono (2011) memperlihatkan bahwa agregat kasar daur ulang mempunyai nilai porositas yang tinggi dan Bagus (2012) memperlihatkan agregat kasar daur ulang mempunyai tingkat keausan yang lebih rendah dari pada agregat alami.

D. Beton Bertulang

Beton bertulang (*reinforced concrete*) adalah suatu bahan bangunan yang kuat, tahan lama, dan dapat dibentuk dalam berbagai bentuk serta ukuran. Beton bertulang adalah bahan komposit yang merupakan gabungan dari dua jenis bahan, yaitu beton (*concrete*) dan tulangan baja (*steel*). Beton merupakan campuran antara kerikil / batu pecah, pasir, air, dan semen (PC) dengan perbandingan berat yang tertentu (*mix design*).

Kuat tarik yang dimiliki beton hanya berkisar antara 9-15% dari kuat tekannya (Dipohusodo I,1994:1). Oleh sebab itu struktur beton direncanakan dengan anggapan bahwa beton sama sekali tidak memikul gaya tarik. Untuk memikul gaya tarik yang ada dipergunakan tulangan baja. Kekuatan beton bertulang diperoleh dengan menggabungkan sifat-sifat dari beton dan tulangan baja, sehingga didapatkan suatu aksi komposit dari kedua bahan tersebut.

E. Korosi pada Beton Bertulang

1. Pengertian Korosi

Korosi didefinisikan sebagai pengrusakan atau kemunduran suatu material yang disebabkan oleh reaksi dengan lingkungan di sekitarnya (Frankydamo, 2007).

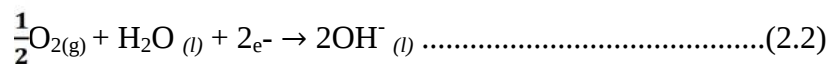
2. Proses Korosi (J. P Broomfield, 2007)

Korosi yang terjadi pada baja (seperti pada baja tulangan dalam beton) merupakan sebuah proses reaksi elektrokimia (*electrochemical reaction*), yang melibatkan transfer elektron dari satu jenis material ke material lain. Reaksi ini terjadi jika ada reaksi anodik atau oksidasi dan reaksi katodik atau reduksi.

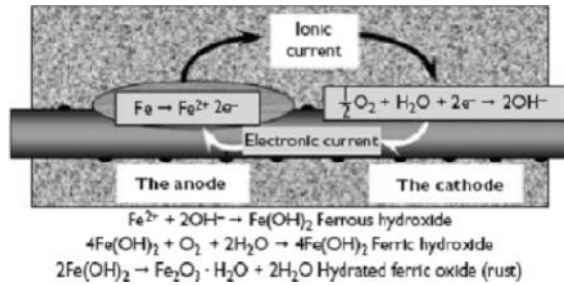
Reaksi anodik pada baja adalah reaksi oksidasi atau penguraian baja menjadi ion. Reaksinya dapat ditulis sebagai berikut:



Dua buah elektron (2e^-) yang dihasilkan pada reaksi anodik haruslah di konsumsi di tempat lain pada permukaan baja untuk menjaga kenetralan elektrik. Berikut ini adalah reaksi yang mengkonsumsi air dan oksigen:

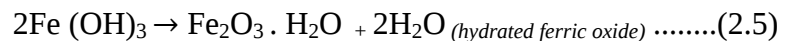
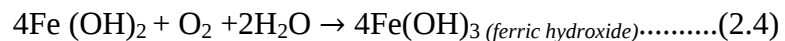
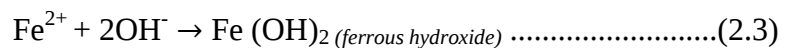


Reaksi anodik(okdasi) dan katodik (reduksi) adalah reaksi-reaksi parsial, yang keduanya harus terjadi secara simultan dan pada tingkat yang sama. Kondisi ini menjadi prinsip dasar korosi, yaitu selama korosi pada metal berlangsung, maka tingkat oksidasi sama dengan tingkat reduksi. Dengan kaat lain produksi jumlah elektron dan konsumsi jumlah elektron adalah sama.

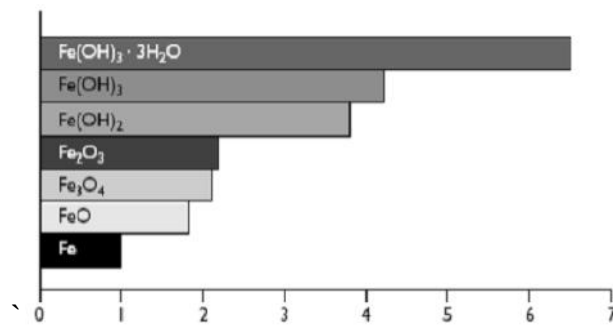


Gambar 1. Proses korosi pada baja tulangan, diambil dari *Corrosion of steel in concrete 2nd edition*, John P. Broomfield:8.

Jika besi atau baja hanya terurai dalam air, yaitu ion Fe^{2+} dalam keadaan larut, retak (*cracking*) dan *spalling* pada beton tidak akan terlihat. Agar korosi terbentuk, harus ada beberapa tahapan reaksi yang terjadi. Reaksi tersebut antara lain: pembentukan *ferrous hydroxide* menjadi *ferric hydroxide* dan kemudian *hydrated ferric oxide* atau korosi:



Oksida besi yang tidak terhidrasi (Fe_2O_3) memiliki volume sekitar dua kali volume baja yang tergantikan saat dalam keadaan baik. Saat terhidrasi, ia akan mengembang lebih besar dan menjadi keropos. Hal ini berarti bahwa volumenya meningkat pada lapisan antar muka baja/beton adalah 2-10 kali, seperti yang terlihat pada Gambar 2. Peningkatan volume ini menyebabkan retak dan *spalling* pada beton, korosi pada baja tulangan dan munculnya noda-noda korosi di daerah beton yang retak.



Gambar 2. Volume relatif besi dan oksidanya diambil dari Mansfield *Corrosion*, 1981, 57(5):301-307.

Korosi aktif pada baja tulangan di dalam beton didahului oleh kerusakan pada lapisan pasif. Lapisan pasif merupakan lapisan tipis (*film*) yang mencegah terjadinya korosi aktif. Lapisan pasif ini tidak menghentikan korosi, tetapi mengurangi nilai korosi pada tingkat yang tidak signifikan. Lapisan pasif tersebut dapat rusak secara lokal atau menyeluruh pada permukaan baja tulangan karena penetrasi ion klorida atau karbonasi.

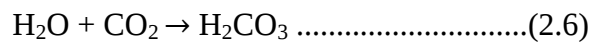
1) Penetrasi Klorida dalam Beton

Sumber zat klorida yang paling signifikan dan secara umum adalah pada lingkungan laut. Klorida mempunyai pengaruh yang kecil pada beton yang telah mengeras, tetapi klorida meningkatkan resiko korosi pada baja tulangan yang terdapat dalam beton tersebut. Ion klorida menyerang lapisan pasif baja tanpa menurunkan pH. Klorida tersebut bertindak sebagai katalisator yang merusak lapisan pasif oksida pada baja tulangan dan mempercepat proses korosi seperti yang terlihat pada gambar dibawah ini. Serangan terhadap klorida ini sulit untuk dihentikan karena tidak ada klorida yang dikonsumsi

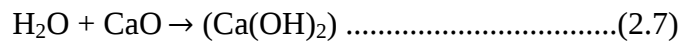
selama proses korosi berlangsung. Pengrusakan lapisan pasif oleh klorida terjadi apabila terdapat konsentrasi klorida yang cukup di permukaan baja tulangan.

2) Karbonasi dalam Beton

Karbonasi terjadi bila gas CO_2 larut dalam air. Proses ini ditulis dalam bentuk reaksi kimia berikut, dimana H_2O dan gas CO_2 bereaksi untuk membentuk asam karbonat.



Semen mengandung 60-65% CaO , ketika proses hidrasi semen terjadi CaO tersebut larut dalam air, dan bereaksi membentuk kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Proses ini ditulis dalam bentuk reaksi berikut:



Beton akan terkarbonasi jika gas karbon dioksida (CO_2) dari udara atau dari air meresap kedalam beton. Tingkat karbonasi tergantung dari porositas dan unsur kelembaban pada beton. Jika beton terlalu kering CO_2 tidak dapat larut dan karbonasi tidak terjadi. Sebaliknya jika beton terlalu basah CO_2 tidak dapat meresap kedalam beton dan karbonasi juga tidak dapat terjadi.

3. Faktor yang Mempengaruhi Kecepatan Korosi (Verlanda N, 2011)

a. Air dan Kelembapan Udara

Air merupakan salah satu faktor penting untuk berlangsungnya proses korosi. Udara yang banyak mengandung uap air (lembap) akan mempercepat berlangsungnya proses korosi.

b. Elektrolit

Elektrolit (asam atau garam) merupakan media yang baik untuk melangsungkan transfer muatan. Hal itu mengakibatkan elektron lebih mudah untuk dapat diikat oleh oksigen di udara.

c. Adanya Oksigen

Pada peristiwa korosi adanya oksigen mutlak diperlukan.

d. Permukaan Logam

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

4. Laju Korosi

Laju korosi (*Corrosion rate*) adalah kecepatan rambatan atau kecepatan penurunan kualitas bahan terhadap waktu. Laju korosi merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur ketahanan terhadap korosi pada suatu material, sehingga nantinya dapat diperkirakan kapan material tersebut dinyatakan layak dan kapan tidak layak. Satuan yang digunakan adalah $\text{gr/m}^2\cdot\text{h}$ (*grams per square metre per hour*).

Menghitung laju korosi pada umumnya menggunakan dua cara, yaitu: metode kehilangan berat dan metode elektrokimia. Metode yang

digunakan untuk menghitung laju korosi dalam penelitian ini adalah metode kehilangan berat. Metode kehilangan berat adalah perhitungan laju korosi dengan mengukur kekurangan berat akibat korosi yang terjadi (Iriansyah Putra, 2010).

Untuk menghitung nilai laju korosi dengan menggunakan metode kehilangan berat, digunakan rumus sebagai berikut:

$$CR = \frac{(K \times W)}{(A \times T \times D)} \dots\dots\dots(2-1)$$

dimana :

CR = laju korosi (*corrosion rate*) ($\text{gr/m}^2.\text{h}$)

K = konstanta ($1,0 \times 10^4 \times D \text{ gr/m}^2.\text{h}$)

W = kehilangan berat (gr)

A = luas baja tulangan yang terendam (cm^2)

T = waktu terhadap korosi (h)

D = densitas dari baja karbon ($7,86 \text{ gr/cm}^3$)

5. Densitas Arus Korosi (Shamsad, Ahmad, 2009)

Densitas arus korosi (*Corrosion current density*) adalah ukuran kerapatan arus korosi suatu benda yang dinyatakan dalam miliAmpere per satuan luas. Densitas arus korosi dihitung dengan menggunakan rumus:

$$I_{corr} = \frac{(W_0 - W_c) \cdot F}{\pi d L W t} \dots\dots\dots(2-2)$$

dimana :

I_{corr} = Densitas arus korosi (mA/cm^2)

W_0 = berat tulangan sebelum korosi (gr)

W_c = berat tulangan setelah korosi (gr)

F = konstanta Faraday's (96487 Amp-sec)

d = diameter baja tulangan (mm)

L = panjang baja tulangan yang terendam (mm)

W = berat equivalent baja, diambil dari rasio berat atom besi (27925 gr)

t = waktu terhadap korosi (sec)

Tingkatan terhadap korosi juga dinyatakan dalam persentase kehilangan berat (ρ), dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\rho = \frac{(W_0 - W_c)}{W_0} \times 100\% \dots\dots\dots(2-3)$$

Karat per satuan luas permukaan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$M_{ac} = \frac{W_0 - W_c}{\pi d L} \dots\dots\dots(2-4)$$

dimana :

M_{ac} = Massa aktual dari karat per luas area permukaan tulangan (gr/mm²)

6. Jenis-jenis korosi (Panda, 2012)

a. Korosi Sumuran (*pitting corrosion*)

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

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

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

c. Korosi Celah

Merupakan korosi lokal yang terjadi pada celah diantara dua komponen.

d. Korosi Logam Tak Sejenis (*galvanic*)

Merupakan korosi yang disebabkan adanya dua logam tak sejenis dihubungkan dan berada dilingkungan korosif saat terjadi kontak, sehingga salah satu dari logam tersebut akan mengalami korosi, sedangkan logam lainnya akan terlindungi dari serangan korosi.

e. Korosi Merata (*uniform corrosion*)

Merupakan korosi yang terjadi secara serentak diseluruh permukaan logam, oleh karena itu pada logam yang mengalami korosi merata akan terjadi pengurangan dimensi yang relatif besar per satuan waktu.

f. Korosi Erosi

Merupakan 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.

g. Korosi Intergranular

Merupakan bentuk korosi yang terjadi pada paduan logam akibat terjadinya reaksi antar unsur logam tersebut.

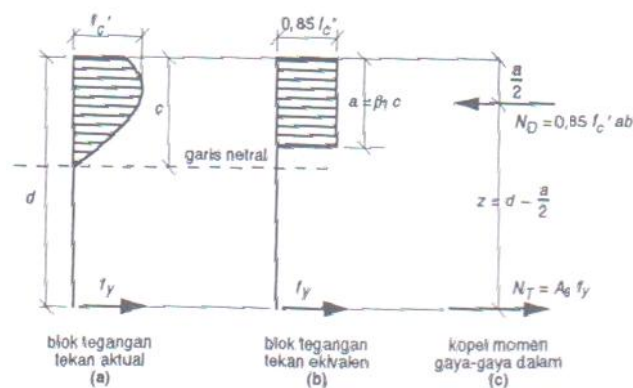
F. Balok

Suatu gelagar balok terbentang sederhana menahan beban yang mengakibatkan lentur, akan terjadi deformasi (regangan) lentur di dalam balok tersebut. Dalam kejadian momen lentur positif, regangan tekan terjadi

di bagian atas dan regangan tarik terjadi di bagian bawah penampang. Regangan tersebut mengakibatkan tegangan-tegangan yang harus di tahan oleh balok. Agar stabilitas terjamin, batang balok sebagai bagian dari sistem yang menahan lentur harus kuat menahan regangan tekan dan tarik tersebut. Untuk memperhitungkan kemampuan dan kapasitas dukung komponen struktur terlentur (balok, plat, dinding, dsb), sifat utama bahwa bahan beton kurang mampu menahan tegangan tarik akan menjadi dasar pertimbangan. Dengan cara memperkuat dengan batang tulangan baja pada daerah dimana tegangan tarik bekerja akan didapat apa yang dinamakan struktur beton bertulang. Tulangan baja dipasang di daerah tegangan tarik bekerja, di dekat serat terbawah, maka balok tersebut disebut balok bertulangan tarik saja.

1. Kuat Lentur Balok Persegi

Whitney telah mengusulkan bentuk persegi panjang sebagai distribusi tegangan beton tekan ekivalen. Usulan ini telah digunakan secara luas karena bentuknya berupa persegi panjang yang memudahkan dalam penggunaannya untuk perencanaan maupun analisis.



Gambar 3. Blok Tegangan Ekvivalen Whitney.

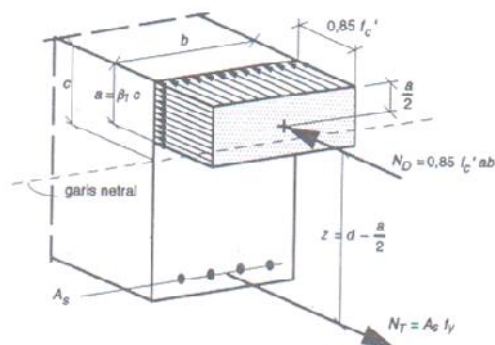
Berdasarkan bentuk empat persegi panjang, seperti pada Gambar 3., intensitas tegangan beton rata-rata ditentukan sebesar $0,85f_c'$ dan dianggap bekerja pada daerah tekan dari penampang balok selebar b dan sedalam a , yang mana besarnya ditentukan dengan rumus:

$$a = \beta_1 c \dots\dots\dots(2-5)$$

dimana : c = jarak serat tekan terluar ke garis netral

β_1 = konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat beton.

Standar SK SNI T-15-1991-03 menetapkan nilai β_1 diambil 0,85 untuk $f_c' \leq 30$ MPa, berkurang 0,008 untuk setiap kenaikan 1 MPa kuat beton, dan nilai tersebut tidak boleh kurang dari 0,65. Gambar 4. menunjukkan isometrik hubungan *gaya-gaya dalam*. Dengan menggunakan distribusi tegangan bentuk persegi empat ekivalen serat anggapan-anggapan kuat rencana yang diberlakukan, dapat ditentukan besarnya kuat lentur ideal M_n dari balok beton bertulangan empat persegi dengan penulangan tarik saja.



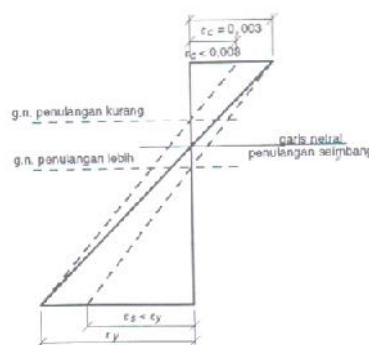
Gambar 4. Blok tegangan ekivalen untuk perencanaan dan analisis kekuatan.

2. Penampang Balok Bertulangan Seimbang, Kurang, dan Lebih

Untuk letak garis netral tertentu, perbandingan antara regangan baja dengan regangan beton maksimum dapat ditetapkan berdasarkan distribusi regangan linier. Sedangkan letak garis netral tergantung pada jumlah tulangan baja tarik yang dipasang dalam suatu penampang, sehingga blok tegangan tekan beton mempunyai kedalaman cukup agar tercapinya keseimbangan gaya-gaya, dimana resultante tegangan tekan seimbang dengan resultante tegangan tarik ($\sum H = 0$). Apabila pada penampang tersebut luas baja tariknya ditambah, kedalaman blok tegangan beton tekan akan bertambah pula, maka letak garis netral akan bergeser ke bawah lagi. Apabila jumlah tegangan baja tarik sedemikian sehingga letak garis netral pada posisi dimana akan terjadi secara bersamaan regangan luluh pada baja tarik dan regangan beton tekan maksimum 0,003, maka penampang tersebut bertulangan seimbang. Kondisi keseimbangan regangan menempati posisi penting karena merupakan pembatas antara dua penampang balok beton bertulang yang berbeda cara hancurnya.

Apabila penampang balok beton bertulang terdapat jumlah tulangan baja tarik lebih dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan, penampang balok tersebut *bertulangan lebih (overreinforced)*. Berlebihnya tulangan baja tarik mengakibatkan garis netral bergeser ke bawah, lihat Gambar 5. hal tersebut mengakibatkan beton akan mencapai regangan maksimum 0,003 sebelum tulangan baja tariknya luluh. Apabila penampang balok tersebut dibebani momen lebih besar lagi, yang berarti

regangannya semakin besar sehingga kemampuan regangan beton terlampaui, maka akan berlangsung keruntuhan dengan beton hancur secara mendadak tanpa diawali dengan gejala-gejala peringatan terlebih dahulu. Sedangkan apabila suatu penampang balok beton bertulang mengandung jumlah tulangan baja tarik kurang dari yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan, penampang tersebut disebut *bertulangan kurang (underreinforced)*.



Gambar 5. Variasi letak garis netral.

Letak garis netral akan lebih naik sedikit daripada keadaan seimbang, lihat Gambar 5., dan tulangan baja tarik akan mendahului mencapai regangan luluhnya (tegangan luluhnya) sebelum beton mencapai regangan maksimum 0,003. Pada tingkat keadaan ini, bertambahnya beban akan mengakibatkan tulangan baja mulur (memanjang) cukup banyak sesuai dengan perilaku bahab baja (lihat diagram $f-\epsilon$ baja), dan berarti bahwa baik regangan beton maupun baja terus bertambah tetapi gaya tarik yang bekerja pada tulangan baja tidak bertambah besar. Dengan demikian berdasarkan keseimbangan gaya-gaya horisontal $\sum H = 0$, gaya beton tekan tidak mungkin bertambah sedangkan tegangan tekannya terus

meningkat berusaha mengimbangi beban, sehingga mengakibatkan luas daerah tekan beton pada penampang menyusut (berkurang) yang berarti posisi garis netral akan berubah bergerak naik. Proses tersebut berlanjut sampai suatu saat daerah beton tekan yang terus berkurang tidak mampu lagi menahan gaya tekan dan hancur sebagai efek sekunder. Cara hancur demikian, yang sangat dipengaruhi oleh peristiwa meluluhnya tulangan baja tarik berlangsung meningkat secara bertahap. Setelah baja mencapai titik luluh, lendutan balok meningkat tajam sehingga dapat merupakan tanda awal dari kehancuran. Meskipun tulangan baja berperilaku duktail (liat), tidak akan tertarik lepas dari beton sekalipun pada waktu terjadi kehancuran.

3. Pembatasan Penulangan Tarik

Dengan demikian ada dua macam cara hancur, yang pertama kehancuran diawali meluluhnya tulangan baja tarik berlangsung secara perlahan dan bertahap sehingga sempat memberikan tanda-tanda keruntuhan, sedangkan betuk kehancuran diawali hancurnya beton tekan terjadi secara mendadak tanpa sempat memberikan peringatan. Tentu saja cara hancur yang pertama yang lebih disukai karena dengan adanya tanda peringatan, resiko akibatnya dapat diperkecil. Untuk itu standar SK-SNI T-15-1991-03 menetapkan pembatasan penulangan yang perlu diperhatikan. Pada pasal 3.3.3 ditetapkan bahwa jumlah tulangan baja tarik tidak boleh melebihi 0,75 dari jumlah tulangan baja tarik yang diperlukan untuk mencapai keseimbangan regangan.

$$A_s \leq 0,75 A_{sb}$$

Apabila jumlah batas penulangan tersebut dapat dipenuhi akan memberikan jaminan bahwa kehancuran daktail dapat berlangsung dengan diawali meluluhnya tulangan baja tarik terlebih dahulu dan tidak akan terjadi kehancuran getas yang bersifat mendadak.

Ungkapan pembatasan jumlah penulangan tersebut dapat pula dihubungkan dalam kaitannya dengan *rasio penulangan* (ρ) atau kadang-kadang disebut *rasio baja*, perbandingan antara jumlah luas penampang tulangan baja tarik (A_s) terhadap luas efektif penampang (lebar b x tinggi efektif d),

$$\rho = \frac{A_s}{bd} \dots\dots\dots(2-6)$$

Apabila pembatasan dilakukan, dimana rasio penulangan maksimum yang diijinkan dibatasi dengan 0,75 kali rasio penulangan keadaan seimbang (ρ_b), sehingga :

$$\rho_{maks} = 0,75 \rho_b \dots\dots\dots(2-7)$$

Letak garis netral pada keadaan seimbang dapat ditentukan dengan menggunakan segitiga sebanding dari diagram regangan.

$$\frac{c_b}{0,003} = \frac{d}{\left(0,003 + \frac{f_y}{E_s}\right)}$$

dengan memasukan nilai $E_s = 200.000$ MPa, maka:

$$c_b = \frac{0,003 (d)}{\left(0,003 + \frac{f_y}{200.000}\right)}$$

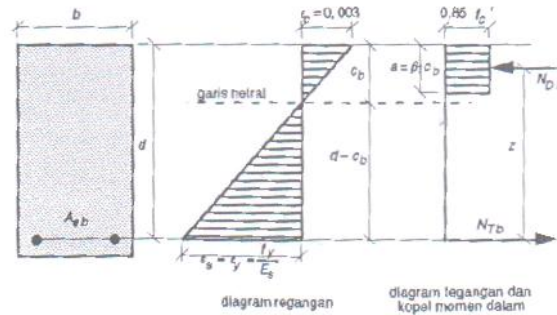
$$c_b = \frac{600 (d)}{(600 + f_y)} \dots\dots\dots(2-8)$$

dan karena $\sum H = 0$ dan $N_{Db} = N_{Tb}$, maka:

$$(0,85.f_c'). \beta_1 . c_b . b = A_{sb} . f_y$$

$$c_b = \frac{A_{sb} \cdot f_y}{(0,85 \cdot f'_c) \cdot \beta_1 \cdot b}$$

$$A_{sb} = \rho_b b d$$



Gambar 6. Keadaan Regangan Seimbang.

$$c_b = \frac{\rho_b b d f_y}{(0,85 \cdot f'_c) \cdot \beta_1 \cdot b}$$

$$c_b = \frac{\rho_b d f_y}{(0,85 \cdot f'_c) \cdot \beta_1} \dots \dots \dots (2-9)$$

Dengan menggunakan persamaan (2-8) dan (2-9), dapat dicari ρ_b

$$\rho_b = \frac{(0,85 \cdot f'_c \cdot \beta_1)}{f_y} \cdot \frac{600}{(600 + f_y)} \dots \dots \dots (2-10)$$

Dari persamaan terakhir diatas, untuk mendapatkan nilai ρ_b dapat digunakan daftar yang dibuat berdasarkan berbagai kombinasi nilai f'_c dan f_y .

4. Analisis Balok Terlentur Bertulangan Tarik Saja

Analisis penampang balok terlentur dilakukan dengan terlebih dahulu mengetahui dimensi unsur-unsur penampang balok yang terdiri dari jumlah dan ukuran tulangan baja tarik (A_s), lebar balok (b), tinggi efektif (d), tinggi total (h), f'_c , dan f_y , sedangkan yang dicari kekuatan balok ataupun manifestasi kekuatan dalam bentuk yang lain, misalnya menghitung M_n atau memeriksa kehandalan dimensi penampang balok tertentu terhadap beban yang bekerja, atau menghitung jumlah beban yang

dapat dipikul balok. Dilain pihak, proses perencanaan balok terlentur adalah menentukan satu atau lebih unsur dimensi penampang balok yang belum diketahui, atau menghitung jumlah kebutuhan tulangan tarik dalam penampang berdasarkan mutu bahan dan jenis pembebanan yang sudah ditentukan. Penting sekali mengenal perbedaan dua pekerjaan dan permasalahan tersebut dengan baik, masing-masing memiliki langkah penyelesaian yang berbeda. Berikut urutan analisis kuat balok bertulangan tarik saja:

- a. Buat daftar hal-hal yang diketahui
- b. Tentukan apa yang harus dicari (pekerjaan analisis umumnya mencari M_R , M_n , beban hidup atau mati yang dapat didukung).

- c. Hitung rasio penulangan :

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

- d. Bandingkan hasilnya dengan $0,75 \rho_b$ atau ρ_{maks} juga terhadap ρ_{min} untuk menentukan apakah penampang tersebut memenuhi syarat.

- e. Hitung kedalaman blok tegangan beton tekan:

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \dots\dots\dots(2-10)$$

- f. Hitung panjang lengan kopel momen dalam,

$$z = d - \frac{1}{2} a \dots\dots\dots(2-11)$$

- g. Hitung momen tahanan (momen dalam) ideal M_n :

$$M_n = N_{TZ} = A_s \cdot f_y \cdot z, \text{ atau}$$

$$M_n = N_{DZ} = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot z$$

$$M_R = \phi M_n \dots\dots\dots(2-12)$$

G. Penelitian Sebelumnya

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 spesimen Ø 1,25", Ø 3", Ø 5" dan Ø 6" berturut-turut yakni 0,000382446 mA/cm², 0,000141 mA/cm², 2,26x10⁻⁶ mA/cm² dan 0 mA/cm². 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 merembet ke seluruh bagian spesimen. Spesimen yang mengalami karbonasi didominasi oleh spesimen yang telah terkorosi, sedangkan spesimen yang masih aman terhadap serangan korosi tidak mengalami karbonasi.

Penelitian ini mengkaji tentang korosi pada beton bertulang dengan agregat kasar dari beton daur ulang yang belum pernah dilakukan sebelumnya.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode

Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu penelitian dengan tujuan untuk menyelidiki hubungan sebab akibat antara satu sama lain dan membandingkan hasilnya. Penelitian dapat berjalan dengan sistematis dan lancar serta tujuan yang diinginkan tidak terlepas dari metode penelitian yang disesuaikan dengan prosedur, alat, dan jenis penelitian.

B. 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 yang digunakan memiliki ketelitian sampai 0,01 gram. Timbangan ini digunakan untuk menimbang bahan penyusun campuran beton (krikil, pasir, dan semen) pada saat dilakukan pengujian.



Gambar 7. Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram.

b. Timbangan dengan ketelitian 1 gram.

Timbangan ini digunakan untuk menimbang bahan-bahan penyusun beton (air, kerikil, pasir, dan semen) dan menimbang benda uji berupa silinder.



Gambar 8. Timbangan dengan ketelitian 1 gram.

c. Timbangan

Timbangan ini digunakan untuk menimbang pasir dan kerikil dalam jumlah banyak dan digunakan untuk menimbang pengujian bobot isi agregat kasar dan agregat halus.



Gambar 9. Timbangan.

2. Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur kebutuhan jumlah air yang diperlukan dalam satu campuran adukan beton. Dalam penelitian ini gelas ukur juga digunakan untuk pengujian berat jenis agregat halus dan agregat kasar.



Gambar 10. Gelas Ukur.

3. Oven

Oven digunakan untuk menguji kandungan kadar air, kadar lumpur dalam agregat halus dan agregat kasar yang digunakan dalam penelitian. Pengovenan dilakukan selama 24 jam dengan suhu 105°C .



Gambar 11. Oven.

4. Ayakan

a. Ayakan Agregat Halus

Ayakan ini digunakan untuk mengetahui gradasi pada agregat halus.



Gambar 12. Ayakan Agregat Halus.

b. Ayakan Agregat Kasar

Ayakan ini digunakan untuk mengetahui gradasi pada agregat kasar.



Gambar 13. Agregat Kasar.

5. Mesin *Los Angeles*

Mesin Los Angeles digunakan untuk menguji keausan agregat kasar. Mesin ini akan berputar sebanyak 500 putaran dan dilengkapi 11 butir kelereng baja.



Gambar 14. Mesin *Los Angeles*.

6. Mesin aduk beton atau molen

Mesin aduk beton digunakan untuk mencampur dan mengaduk bahan penyusun beton. Alat ini bergerak berputar dengan menggunakan tenaga listrik.



Gambar 15. Mesin Molen.

7. Kerucut abrams

Kerucut Abrams digunakan untuk mengukur kelecakan adukan beton dan mengukur nilai *slump*.



Gambar 16. Kerucut Abrams.

8. Meteran

Meteran digunakan untuk mengukur tingginya nilai *slump*. Nilai *slump* adalah perbedaan permukaan beton segar dengan kerucut abrams.

9. Cetakan Beton

Cetakan beton yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan Pipa PVC diameter 3" dan tinggi 30 cm.



Gambar 17. Cetakan Beton.

10. Jangka Sorong

Jangka sorong digunakan untuk mengukur dimensi benda uji.

Pengukuran dilakukan terhadap diameter dan tinggi benda uji.



Gambar 18. Jangka Sorong.

11. Bejana

Bejana ini digunakan untuk pengujian bobot isi agregat kasar dan agregat halus.



Gambar 19. Bejana.

12. Palu

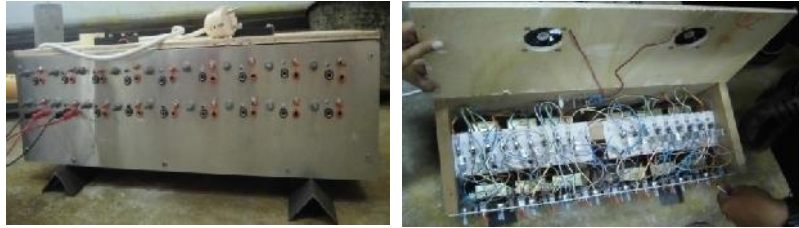
Palu ini digunakan untuk memecahkan beton untuk dijadikan sebagai agregat kasar daur ulang dalam pencampuran beton.



Gambar 20. Palu.

13. Power Supply

Alat ini digunakan untuk mempercepat laju korosi pada baja tulangan yang ada pada beton.



Gambar 21. Power Suplly.

14. Bak Rendaman

Bak rendaman digunakan untuk merendam beton selama proses elektrokimia terjadi.



Gambar 22. Bak Rendaman.

15. pH meter

Alat ini digunakan untuk mengukur kesadahan air dari masing-masing bak rendaman.



Gambar 23. pH meter.

16. *Digital multimeter*

Alat ini digunakan untuk mengukur perubahan potensial pada masing-masing benda uji.



Gambar 24. *Digital multimeter.*

17. Alat lainnya

Alat lainnya yang digunakan dalam penelitian ini adalah penggaris, ember, kuas, cetok, sendok, mangkuk, piring seng, kotak seng, dll.

C. Bahan

Untuk kelancaran penelitian beberapa bahan yang digunakan untuk mencapai maksud dan tujuan penelitian. Adapun bahan yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Semen Portland

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen Tipe 1 dengan merk Holcim kemasan 40 kg. Pengamatan secara visual terhadap kemasan tertutup rapat, bahan butiran halus serta tidak terjadi penggumpalan.



Gambar 25. Semen Portland.

2. Agregat

a. Agregat Halus (pasir)

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini diambil dari Sungai Krasak. Sebelum digunakan agregat halus ini terlebih dahulu di uji kadar air, kadar lumpur, kadar zat organik, berat jenis, Modulus halus Butir (MKB).



Gambar 26. Agregat Halus.

b. Agregat Kasar (kerikil)

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini merupakan terdiri dari agregat kasar asli yang berasal dari Purworejo dan agregat kasar daur ulang yang berasal dari pecahan beton sebelumnya. Sebelum digunakan agregat halus ini terlebih dahulu di uji kadar air, kadar lumpur, kadar zat organik, berat jenis, Modulus halus Butir (MKB).



Gambar 27. Agregat Kasar.

3. Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini air destilasi jenis *Aquades pure H₂O* yang dibeli di toko Alfa Kimia.



Gambar 28. Air *Aquades*.

4. Baja Tulangan

Pada penelitian ini digunakan baja tulangan polos diameter 8 mm.



Gambar 29. Baja Tulangan.

5. Garam

Pada penelitian ini digunakan NaCl *Pure Analyzed* sebanyak 3% dari jumlah air yang dibutuhkan. Penggunaan garam ini bertujuan untuk mempercepat laju korosi. Garam ini dibeli di toko Alfa Kimia.



Gambar 30. Garam NaCl.

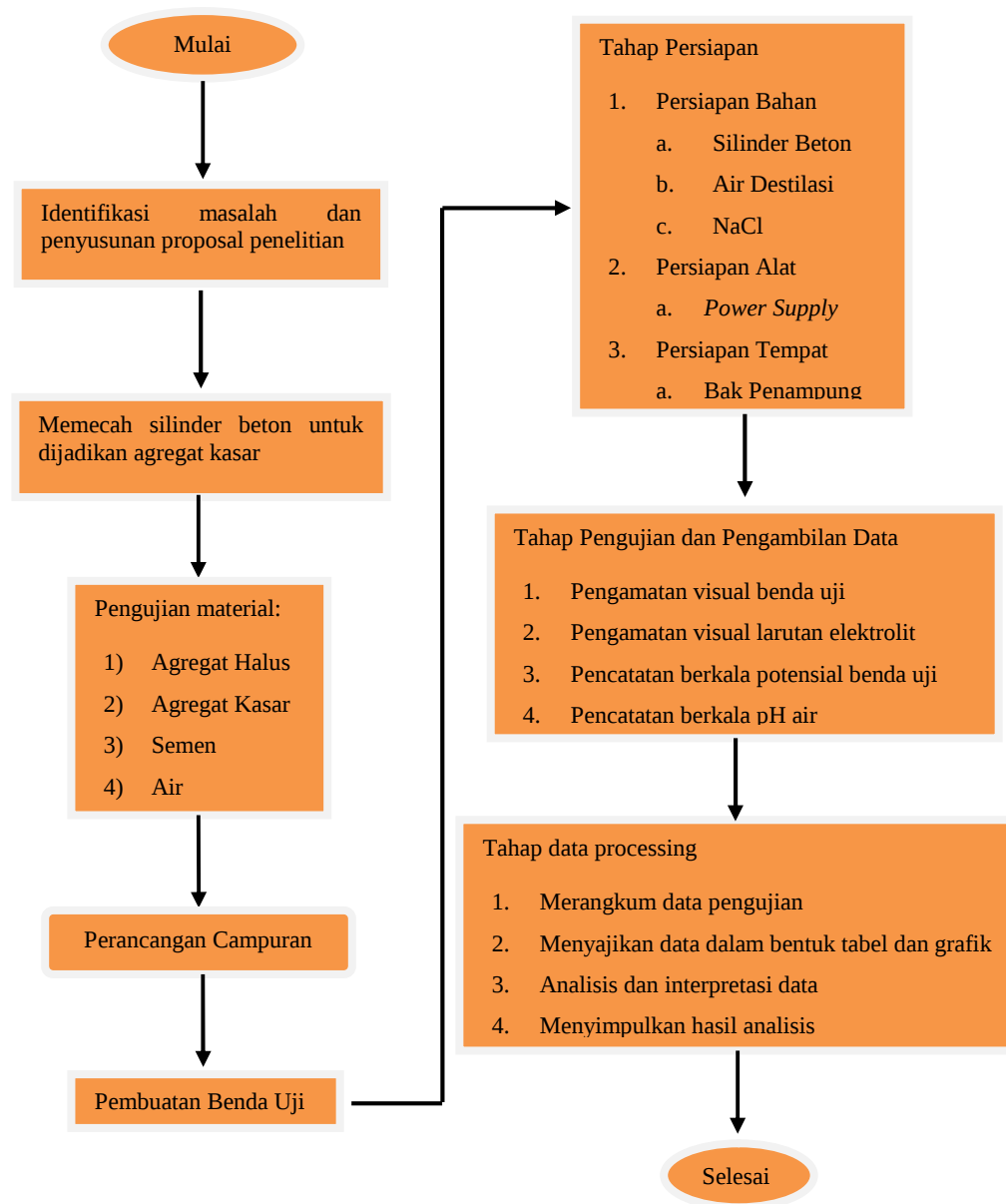
6. *Indicator Phenolphthalein*

Indicator phenolphthalein digunakan untuk mengetahui karbonasi pada permukaan benda uji. Apabila benda uji berubah warna menjadi ungu setelah ditetesi dengan cairan *phenolphthalein*, maka beton tersebut belum atau tidak terkena serangan karbonasi, tetapi apabila beton tersebut tidak berubah warna setelah ditetesi cairan *phenolphthalein*, maka beton tersebut sudah terkena serangan karbonasi.



Gambar 31. *Indicator phenolphthalein*.

D. Prosedur Pengujian



Gambar 32. Diagram alir penelitian.

1. Pembuatan Benda Uji

Dalam pembuatan benda uji ada beberapa langkah pekerjaan yang harus dilakukan dengan penuh ketelitian. Dalam pencampuran beton, bahan-bahan dicampur sesuai dengan kebutuhan atau takaran sesuai dengan *mix design* (lihat lampiran *mix design*). Adapun langkah-langkah pembuatan benda uji yaitu:

a. Menyiapkan alat dan bahan

- 1) Membuat SSD Agregat Kasar dan agregat halus
- 2) Menimbang bahan
- 3) Menyiapkan silinder
- 4) Menyiapkan sumber air dan aliran listrik
- 5) Menyiapkan molen, kerucut abrams, penumbuk, meteran dan kotak seng.

b. Proses pencampuran atau pengadukan

- 1) Menyalakan molen, kemudian membasahi molen, kotak seng, kerucut abrams hal ini dilakukan agar memudahkan pencampuran bahan (bahan tidak menempel di pinggiran molen yang menyebabkan campuran menjadi tidak homogen).
- 2) Memasukkan material satu persatu secara berurutan dan dimasukkan sedikit demi sedikit, hal ini bertujuan agar adukan dalam molen tercampur dengan merata, adapun urutan urutan memasukkan material yaitu mulai dari:
 - 1) Memasukkan sebagian air



Gambar 33. Pencampuran air.

2) Memasukkan sebagian agregat kasar



Gambar 34. Pencampuran agregat kasar.

3) Memasukkan sebagian agregat halus



Gambar 35. Pencampuran agregat halus.

4) Memasukkan sebagian semen



Gambar 36. Pencampuran semen.

Setelah urutan-urutan pencampuran bahan dilakukan, adukan yang sudah ada di mesin adukan di cek apakah untuk kebutuhan air sudah cukup atau belum, kalau adukan terlihat sudah homogen maka air tidak dimasukkan semuanya dan sisa air ditimbang.

3) Menuang adukan dari mesin pengaduk ke kotak seng

Setelah campuran agregat kasar, agregat halus, semen dan air sudah homogen mesin molen dimatikan kemudian adukan dituang ke kotak seng yang sudah disiapkan di bawah mesin pengaduk.



Gambar 37. Penuangan adukan beton.

4) Pengukuran nilai Slump



Gambar 38. Pengujian slump.

5) Pencetakan Benda Uji

Pada saat bersamaan dengan pengukuran nilai slump, adukan juga dimasukkan kedalam silinder untuk dicetak menjadi beton silinder. Proses memasukkan adukan kedalam silinder sama pada saat memasukkan adukan kedalam kerucut abrams 1/3 ditumbuk ditumbuk 25 kali, memasukkan baja tulangan kedalam silinder beton, tepat berada ditengah-tengah, tambahkan lagi sampai 2/3 ditumbuk kembali sebanyak 25 kali, dan diisi penuh kemudian ditumbuk 25 kali lagi. Setelah proses penumbukan sebanyak 75 kali selesai adukan di dalam silinder di penuhkan agar dapat dihaluskan dengan penumbuk bentuk silinder yang dihasilkan permukaannya menjadi bagus dan rata dan tidak perlu dilakukan pengkapingan. Setelah proses pencetakan selesai, beton yang ada di dalam silinder didiamkan selama 24 jam hal ini bertujuan untuk proses pembentukan benda uji. Pada proses tersebut silinder beton di diamkan di tempat yang terlindung dari sengatan sinar matahari langsung agar proses pengeringan dapat berjalan bertahap dan beton yang dihasilkan nantinya juga tidak retak-retak.



Gambar 39. Pembuatan benda uji.

6) Pembongkaran Silinder

Setelah beton di dalam silinder didiamkan selama 24 jam, maka silinder beton dibuka dengan cara membelah pralon dengan menggunakan *cutter*.



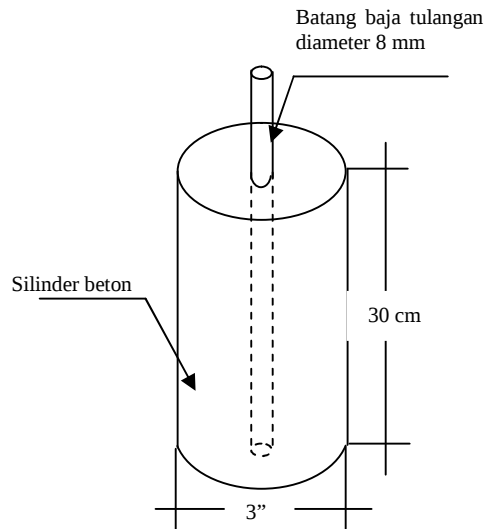
Gambar 40. Pembongkaran silinder benda uji.

7) Perawatan Beton

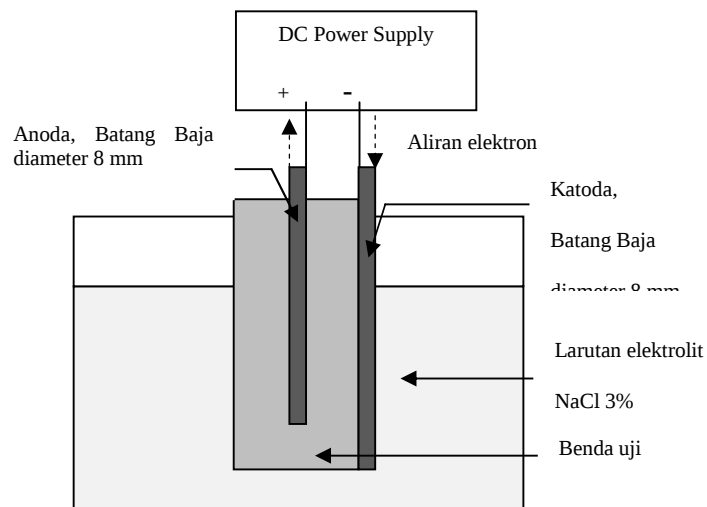
Perawatan beton adalah tahap akhir dalam setiap pekerjaan beton, yaitu pekerjaan agar permukaan beton segar selalu dalam keadaan lembab (Tjokrodimulyo, 2007). Dalam penelitian ini perawatan dilakukan dengan cara merendam beton pada bak perendaman selama 3 hari di dalam ruangan tertutup, agar tidak terkontaminasi dengan suhu udara luar.

2. Benda Uji dan *Set-Up* Penelitian

Benda uji dan *Set-Up* penelitian disajikan dalam gambar dibawah ini:



Gambar 41. Benda Uji.



Gambar 42. *Set up* penelitian.

3. Tahapan penelitian

Pengujian korosi dilakukan dengan memberikan arus dan tegangan pada benda uji pada rentangan waktu tertentu. Secara berkala perubahan

tegangan dicatat. Pengamatan visual juga dilakukan untuk mengetahui perubahan fisik yang terjadi pada benda uji.

a. Mempersiapkan dan merakit *power supply*.



Gambar 43. Perakitan *Power Supply*.

b. Menimbang baja tulangan.



Gambar 44. Menimbang baja tulangan sebelum korosi.

c. Baja tulangan bagian bawah dicat setinggi ± 1 cm, hal ini bertujuan agar tidak terjadi korosi dari bagian bawah.



Gambar 45. Pengecatan baja tulangan.

d. Setelah beton siap, pasang klem pada baja tulangan yang ada pada beton dan luar beton.



Gambar 46. Pemasangan klem pada beton.

- e. Setting alat dan potensial dikisaran 6 volt.



Gambar 47. Setting alat dan voltase.

- f. Menyiapkan bak rendaman yang bersih dari kotoran, air destilasi pure H_2O sesuai dengan kebutuhan yang telah diperhitungkan, dan garam $NaCl$ *pure analyzed* sebanyak 3% dari volume air.



Gambar 48. Persiapan alat dan bahan yang akan digunakan.

- g. Memasukan air destilasi kedalam bak rendaman setinggi 20,25 cm (sesuai hitungan).

- h. Menuangkan garam kedalam air, kemudian dilarutkan dengan cara mengaduk sampai garam tersebut larut.



Gambar 49. Penuangan garam.

- i. Memasukan beton kedalam bak rendaman yang sudah terisi air garam, kemudian menghubungkannya dengan *power supply*.



Gambar 50. Perendaman beton.

- j. Mengamati dan mencatat perubahan potensial menggunakan volt meter dan derajat keasaman (pH) air masing-masing air rendaman menggunakan pH meter setiap pagi, siang dan sore hari hingga beton pecah.



Gambar 51. Proses pengamatan perubahan potensial dan pH air.

- k. Setelah beton sudah jenuh air dan beton sudah banyak yang retak, proses pengamatan dihentikan, dan beton diangkat dari air dan dipotret untuk melihat perubahan yang terjadi setelah korosi.
- l. Benda uji dipecah untuk melihat baja tulangan yang ada didalamnya.
- m. 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 (*corrosion rate*) dan densitas arus korosi (*corrosion current density*).

BAB IV

ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian

Bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan beton sebelum digunakan dilakukan pengujian terlebih dahulu. Pengujian tersebut dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan, Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan, FT-UNY.

Adapun hasil pengujian dari pengujian tersebut antara lain :

1. Data Pengujian Bahan

a. Pengujian Semen

Pengujian terhadap semen dilakukan dengan cara pengamatan langsung. Pengamatan pertama adalah pada kemasan atau zak semen, dari pengamatan tersebut diketahui bahwa kemasan atau zak semen dalam keadaan baik. Pengamatan kedua adalah pada kondisi isi semen, dari hasil pengamatan diketahui bahwa kondisi isi semen baik, tidak menggumpal atau mengeras. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semen dalam kondisi baik dan layak unyuk digunakan.

b. Pengujian Air

Pengujian air dilakukan dengan cara pengamatan secara langsung. Dari pengamatan tersebut diketahui bahwa air dalam kondisi baik karena secara fisik air terlihat bening (tidak berwarna) dan tidak terlihat adanya lumpur atau kotoran. Sehingga air layak digunakan untuk pembuatan benda uji.

c. Pengujian Agregat Halus

Pada pengujian agregat halus ini meliputi pengujian :

1) Kadar Air Pasir

Pengujian kadar air ini digunakan untuk mengetahui kadar air yang terkandung dalam pasir Krasak. Pengujian ini dilakukan pada kondisi agregat halus alami dan kondisi agregat halus SSD.

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

Tabel 7. Hasil Pengujian Kadar Air Pasir Dalam Kondisi Alami

No.	Berat awal (gram)	Berat kering (gram)	Kadar air (%)
1.	200	198,68	0,6644
2.	200	198,39	0,8115
3.	200	198,35	0,8319
Rata-rata			0,7693

Sedangkan pada pengujian kadar air agregat halus dalam kondisi SSD diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 8. Hasil Pengujian Kadar Air Pasir Alam Kondisi SSD

No.	Berat awal (gram)	Berat kering (gram)	Kadar air SSD (%)
1.	200	197,01	1,5177
2.	200	196,81	1,6209
3.	200	197,18	1,4302
Rata-rata			1,5229

2) Pengujian Kadar Lumpur

Pengujian kadar lumpur ini digunakan untuk mengetahui kandungan lumpur yang terkandung dalam pasir Krasak. Pada pengujian kadar lumpur ini diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 9. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Pasir Alam

No.	Berat awal (gram)	Berat kering (gram)	Kadar lumpur (%)
1.	100,05	99,97	0,8000
2.	100,13	99,92	0,2102
3.	100,10	99,87	0,2303
Rata-rata			0,1735

3) Kadungan Zat Organik

Pengujian kandungan zat organik bertujuan untuk mengetahui kandungan zat organik yang terkandung dalam agregat halus. Kadar zat organik pasir, masuk warna standar no.1.



Gambar 52. Kandungan Zat Organik.

4) Berat Jenis Agregat Halus

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan massa agregat halus dengan massa air. Pengujian ini dilakukan pada kondisi agregat halus alami dan kondisi agregat halus SSD.

Pada pengujian berat jenis agregat halus dalam kondisi alami diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 10. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus Alami

No.	Berat Pasir (gr)	Volume (mL)	Berat Jenis (gr/mL)
1.	100	40	2,50
2.	100	40	2,50
3.	100	40	2,50
Rerata			2,50

Sedangkan pada pengujian berat jenis agregat halus dalam kondisi SSD diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 11. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus SSD

No.	Berat Pasir (gr)	Volume (mL)	Berat Jenis (gr/mL)
1.	200	72,5	2,7586
2.	200	72,5	2,7586
3.	200	75	2,6667
Rerata			2,728

5) Bobot Isi

Bobot isi atau berat satuan agregat digunakan untuk menghitung berat agregat yang dikonversi kedalam satuan bejana. Pada pengujian ini dilakukan dalam kondisi gembur dan padat. Dari hasil pengujian diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 12. Hasil Pengujian Bobot Isi Gembur Agregat Halus

Berat bejana (kg)	Berat bejana+pasir (kg)	Volume bejana (liter)	Bobot isi gembur (kg/liter)
10,91	31,12	14,413	1,402

Tabel 13. Hasil Pengujian Bobot Isi Padat Agregat Halus

Berat bejana (kg)	Berat bejana+pasir (kg)	Volume bejana (liter)	Bobot isi padat (kg/liter)
10,91	32,24	14,413	1,480

6) Modulus Kehalusan Butir

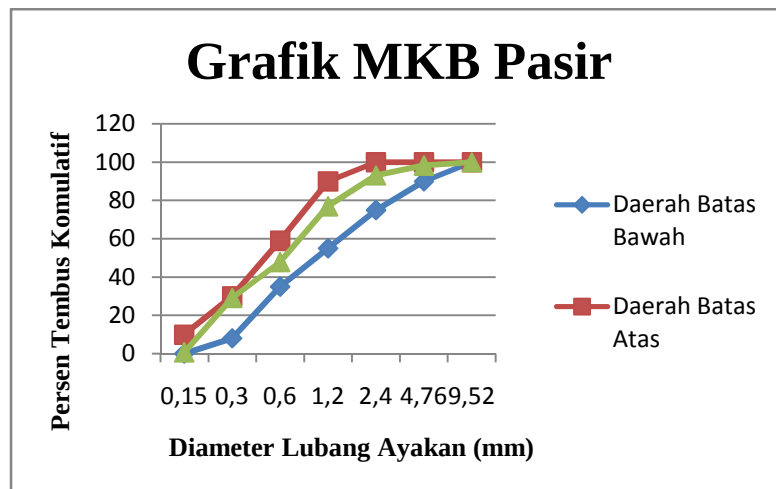
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kekasaran agregat halus yang digunakan untuk pencampuran beton. Pada pengujian modulus kehalusan butir ini diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 14. Hasil Pengujian Modulus Kehalusan Butir

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Persen Tertinggal (%)	Persentase Tertinggal Kumulatif (%)	Persentase Tembus Kumulatif (%)
9,52	0	0	0	100
4,8	17,39	1,7510	1,7510	88,249
2,4	50,81	5,1161	6,8672	93,1328
1,2	160,08	16,1189	22,986	77,0141
0,6	289,81	29,181	52,167	47,8326
0,3	186,67	18,796	70,964	29,0365
0,15	281,67	28,362	99,325	0,67463
< 0,15	6,7	0,6746	100	-
Σ	993,13	100	354,06	-

$$\begin{aligned}
 \text{MKB} &= \frac{\% \text{ Tertinggal Kumulatif}}{\% \text{ Tertinggal}} \\
 &= \frac{354,06}{100} = 3,5406
 \end{aligned}$$

Agregat halus masuk dalam zone 2, yaitu pasir agak kasar.



Gambar 53. Grafik MKB Pasir.

d. Pengujian Agregat Kasar

1) Kadar Air

Pengujian kadar air ini dilakukan untuk mengetahui kadar air yang terkandung dalam agregat kasar asli, recycle 1, recycle 2,

dan recycle 3. Pengujian ini dilakukan pada kondisi agregat kasar alami dan kondisi agregat halus SSD.

Pada pengujian kadar air agregat kasar ini diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 15. Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar Alami

Jenis Agregat Kasar	Kadar Air Rerata (%)
Alami	1,4477
Recycle 1	2,3368
Recycle 2	3,1776
Recycle 3	4,3187

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

Tabel 16. Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar SSD

Jenis Agregat Kasar	Kadar Air Rerata (%)
Alami	1,9006
Recycle 1	6,0904
Recycle 2	7,4863
Recycle 3	10,5913

2) Berat Jenis

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan massa agregat kasar dengan massa air. Pengujian ini dilakukan pada kondisi agregat kasar alami dan kondisi agregat kasar SSD.

Pada pengujian berat jenis agregat kasar ini diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 17. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar Alami

Jenis Agregat Kasar	Berat Jenis Rerata (%)
Alami	2,5977
Recycle 1	2,4005
Recycle 2	2,5372
Recycle 3	2,3640

Sedangkan pada pengujian berat jenis agregat kasar dalam kondisi SSD diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 18. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar SSD

Jenis Agregat Kasar	Berat Jenis Rerata (%)
Alami	2,6436
Recycle 1	2,4462
Recycle 2	2,3515
Recycle 3	2,3217

3) Kadar Lumpur

Pengujian kadar lumpur ini digunakan untuk mengetahui kandungan lumpur yang terkandung dalam agregat kasar. Pada pengujian kadar lumpur ini diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 19. Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar

Jenis Agregat	Kadar Lumpur (%)
Alami	0,1706
Recycle 1	0,2951
Recycle 2	1,7047
Recycle 3	2,1299

4) Bobot Isi

Bobot isi atau berat satuan agregat digunakan untuk menghitung berat agregat yang dikonversi kedalam satuan bejana. Pada pengujian ini dilakukan dalam kondisi gembur dan padat. Dari hasil pengujian diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 20. Hasil Pengujian Bobot Isi Gembur Agregat Kasar

Jenis Agregat Kasar	Berat Bejana (kg)	Berat Bejana+Kerikil (kg)	Volume Bejana (liter)	Bobot Isi (kg/liter)
Alami	10,91	31,12	14,4149	1,4020
Recycle 1	10,86	27,76	15,2062	1,1114
Recycle 2	10,82	27,1	15,9110	1,0232
Recycle 3	10,64	26,58	16,1287	0,9883

Tabel 21. Hasil Pengujian Bobot Isi Padat Agregat Kasar

Jenis Agregat Kasar	Berat Bejana (kg)	Berat Bejana+Kerikil (kg)	Volume Bejana (liter)	Bobot Isi (kg/liter)
Alami	10,91	31,94	14,4149	1,4589
Recycle 1	10,86	29,14	15,2062	1,2021
Recycle 2	10,82	28,19	15,9110	1,0917
Recycle 3	10,64	28,36	16,1287	1,0987

5) Modulus Kehalusan Butir (MKB)

Pengujian gradasi agregat kasar bertujuan untuk mengetahui ukuran agregat kasar yang akan digunakan dalam pembuatan beton. Dari pengujian gradasi agregat kasar diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 22. Modulus Kehalusan Butir Agregat Kasar

Jenis Agregat	MKB
Asli	9,6650
Recycle 1	9,7553
Recycle 2	9,7560
Recycle 3	9,7444

6) Keausan agregat kasar

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan agregat kasar. Dari pengujian keausan diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 23. Hasil Pengujian Keausan Agregat Kasar.

Jenis Agregat Kasar	Berat Awal Agregat (gram)	Sebelum Direndam di Air Bergaram		Setelah Direndam di Air Bergaram	
		Berat Tertinggal Diatas Ayakan (gram)	Persentase Lolos Ayakan (%)	Berat Tertinggal Diatas Ayakan (gram)	Persentase Lolos Ayakan (%)
Alami	5000	592	11,84	1141	22,82
Recycle 1	5000	1001	20,02	1225	24,50
Recycle 2	5000	1135	22,7	1259	25,18

Recycle 3	5000	1267	25,34	1385	27,70
-----------	------	------	-------	------	-------

7) Kuat Tekan Beton

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan yang dapat dicapai oleh beton pada umur 28 hari dengan agregat kasar dari beton daur ulang. Dari hasil pengujian kuat tekan yang dilakukan, diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 24. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton
(Wachyuni, S., 2013).

Beton dengan Agregat	Kuat Tekan (MPa)
Asli	34,328
Recycle 1	28,233
Recycle 2	22,733
Recycle 3	8,927

B. Pembahasan

1. Laju korosi baja tulangan (*corrosion rate*)

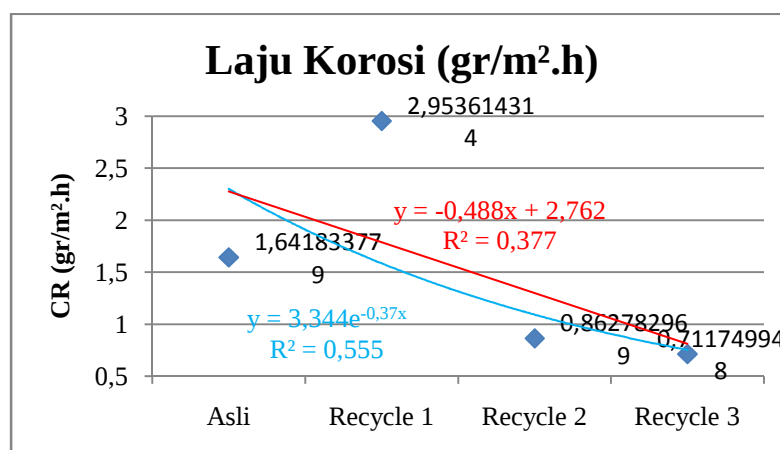
Untuk setiap benda uji, nilai laju korosi (*corrosion rate*) dapat disajikan dalam bentuk tabel berikut:

Tabel 25. Laju korosi benda uji ($\text{gr/m}^2 \cdot \text{h}$)

Benda uji	Asli	Recycle 1	Recycle 2	Recycle 3
1	1,32331	0,89447	NA	1,25358
2	1,68333	2,69185	1,02212	0,75396
3	3,41951	NA	0,99693	0,83218
4	0,9632	7,48449	0,30457	0,10416
5	0,81981	0,74365	1,12751	0,61487
rerata	1,6418	2,9536	0,8628	0,7117

Ket:NA = *Not Available*

*Lampiran 57



Gambar 54. Laju korosi benda uji.

Berdasarkan hasil pengujian, seperti yang terlihat pada Tabel 25. dan Gambar 54. terlihat bahwa laju korosi setiap benda uji mengalami penurunan, kecuali pada benda uji yang menggunakan agregat kasar recycle 1, hal ini karena benda uji sangat keropos, sehingga klorida (Cl^-) dengan mudahnya masuk kedalam beton melalui pori-pori beton yang sangat banyak dan berukuran besar hingga mencapai baja tulangan yang ada didalamnya dan menghancurkan lapisan pasif dari baja tulangan. Sehingga baja tulangan yang ada didalamnya terkorosi dengan cepat dan menyebabkan baja tulangan tersebut menurun kekuatannya. Laju korosi rerata untuk benda uji yang menggunakan agregat kasar asli, recycle 1, recycle 2, dan recycle 3 berturut-turut adalah 1,6418 $\text{gr/m}^2.\text{h}$, 2,9536 $\text{gr/m}^2.\text{h}$, 0,8628 $\text{gr/m}^2.\text{h}$, dan 0,7117 $\text{gr/m}^2.\text{h}$.

Grafik yang menggunakan trendline jenis *exponential* memiliki nilai $R^2 = 0,555$ yang jauh lebih baik dari pada grafik yang menggunakan trendline jenis *linier* yang memiliki nilai $R^2 = 0,377$.

2. Densitas arus korosi (*corrosion current density*)

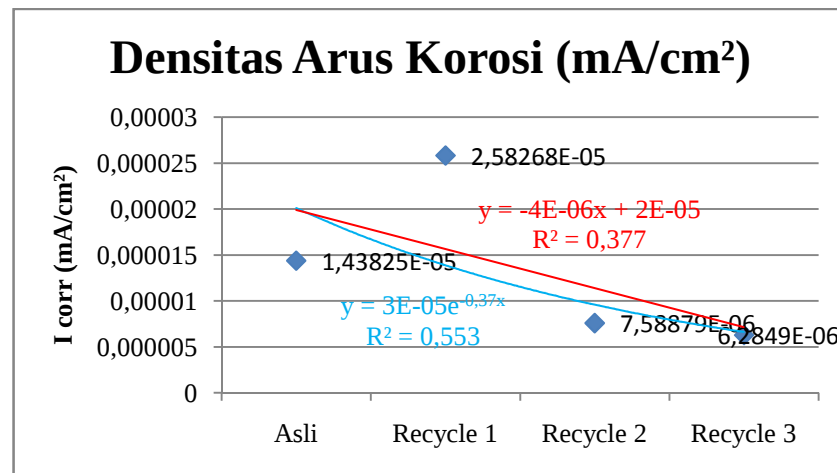
Untuk setiap benda uji, nilai laju korosi (*corrosion current density*) dapat disajikan dalam bentuk tabel berikut:

Tabel 26. Densitas arus korosi (mA/cm²)

Benda uji	Asli	Recycle 1	Recycle 2	Recycle 3
1.	$1,174 \times 10^{-5}$	$8,009 \times 10^{-6}$	NA	$1,104 \times 10^{-5}$
2.	$1,462 \times 10^{-5}$	$2,36 \times 10^{-5}$	$9,024 \times 10^{-6}$	$6,751 \times 10^{-6}$
3.	$2,977 \times 10^{-5}$	NA	$8,616 \times 10^{-6}$	$7,33 \times 10^{-6}$
4.	$8,484 \times 10^{-6}$	$6,515 \times 10^{-5}$	$2,62 \times 10^{-6}$	$9,11 \times 10^{-7}$
5.	$7,306 \times 10^{-6}$	$6,55 \times 10^{-6}$	$1,01 \times 10^{-5}$	$5,39 \times 10^{-6}$
rerata	$1,44 \times 10^{-5}$	$2,58 \times 10^{-5}$	$7,59 \times 10^{-6}$	$6,28 \times 10^{-6}$

Ket: NA = *Not Available*

*Lampiran 58



Gambar 55. Densitas arus korosi.

Grafik yang menggunakan trendline jenis *exponential* memiliki nilai $R^2 = 0,553$ yang jauh lebih baik dari pada grafik yang menggunakan trendline jenis *linier* yang memiliki nilai $R^2 = 0,377$.

Berdasarkan hasil pengujian, seperti yang terlihat pada Tabel 26. dan Gambar 55. terlihat bahwa densitas arus korosi setiap benda uji mengalami penurunan, kecuali pada benda uji yang menggunakan agregat kasar recycle 1, hal ini karena benda uji sangat keropos, sehingga arus

yang masuk kedalam beton untuk menghancurkan baja tulangan yang ada didalam beton ini sangat tinggi, yakni $2,58 \times 10^{-5} \text{ mA/cm}^2$. Densitas laju korosi rerata untuk benda uji yang menggunakan agregat kasar asli, recycle 1, recycle 2, dan recycle 3 berturut-turut 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 $6,28 \times 10^{-6} \text{ mA/cm}^2$.

3. Prosentase Kehilangan Berat

Untuk setiap benda uji, nilai prosentase kehilangan berat (ρ) dapat disajikan dalam bentuk tabel berikut:

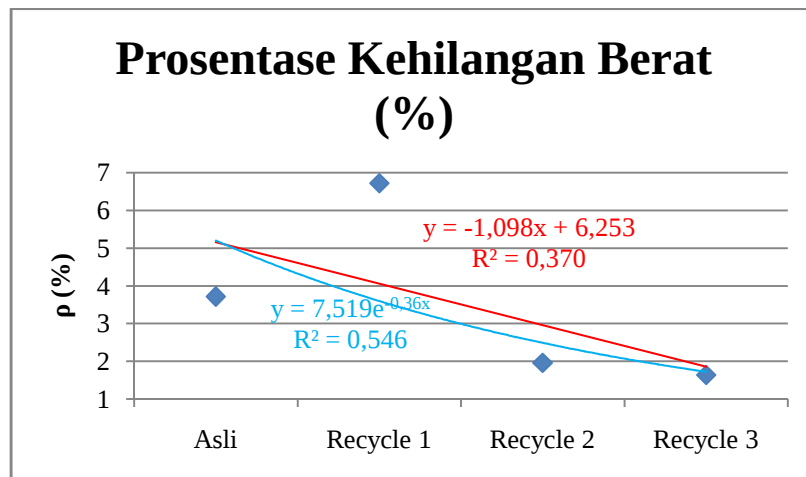
Tabel 27. Prosentase Kehilangan Berat (%)

Benda uji	Asli	Recycle 1	Recycle 2	Recycle 3
1.	3,0587	2,1223	NA	2,8676
2.	3,7409	6,1274	2,3254	1,7841
3.	7,5871	NA	2,1841	1,9076
4.	2,2444	16,9319	0,6583	0,2346
5.	1,9256	1,7030	2,6794	1,3918
rerata	3,7113	6,7212	1,9618	1,6371

Ket:NA = *Not Available*

*Lampiran 59

Berdasarkan hasil pengujian, seperti yang terlihat pada Tabel 27. dan Gambar 56. terlihat bahwa prosentase kehilangan berat setiap benda uji mengalami penurunan, kecuali pada benda uji yang menggunakan agregat kasar recycle 1, karena benda uji untuk beton dengan agregat kasar recycle 1 ini sangat keropos, sehingga klorida (Cl^-) dengan mudahnya masuk kedalam beton melalui pori-pori beton yang sangat banyak dan berukuran besar hingga mencapai baja tulangan dan menghancurkan lapisan pasif dari baja tulangan. Sehingga baja tulangan yang ada didalamnya kehilangan berat yang sangat besar, yakni sebesar 6,7212%. Prosentase penurunan berat rerata untuk benda uji yang menggunakan agregat kasar asli, recycle 1, recycle 2, dan recycle 3 berturut-turut adalah 3,7113 %, 6,7212%, 1,9618%, dan 1,6371%.



Gambar 56. Grafik Prosentase Kehilangan Berat.

Grafik yang menggunakan trendline jenis *exponential* memiliki nilai $R^2 = 0,546$ yang jauh lebih baik dari pada grafik yang menggunakan trendline jenis *linier* yang memiliki nilai $R^2 = 0,370$.

4. Massa Aktual Korosi (M_{ac})

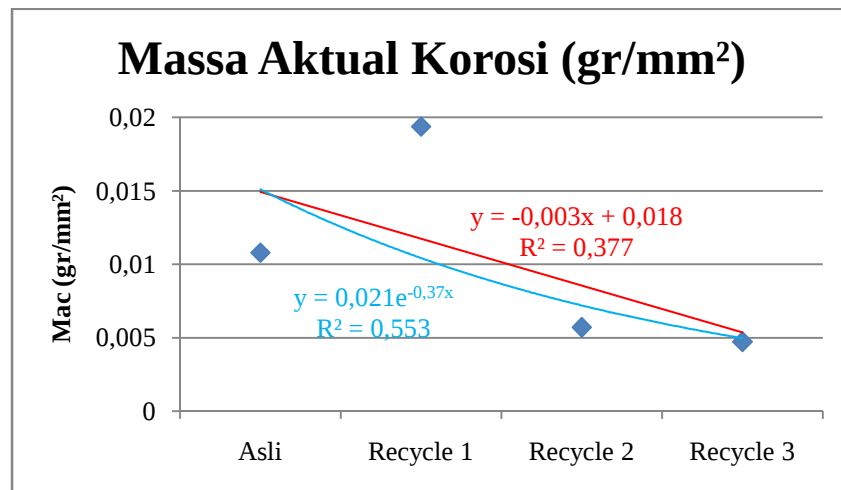
Untuk setiap benda uji, nilai Massa Aktual Korosi (M_{ac}) dapat disajikan dalam bentuk tabel berikut:

Tabel 28. Massa Aktual Korosi (gr/mm^2)

Benda uji	Asli	Recycle 1	Recycle 2	Recycle 3
1.	0,0088	0,006	NA	0,0083
2.	0,011	0,0177	0,0068	0,0051
3.	0,0223	NA	0,0065	0,0055
4.	0,0064	0,0489	0,002	0,0007
5.	0,0055	0,0049	0,0076	0,004
rerata	0,0108	0,0194	0,0057	0,0047

Ket: NA = *Not Available*

*Lampiran 60



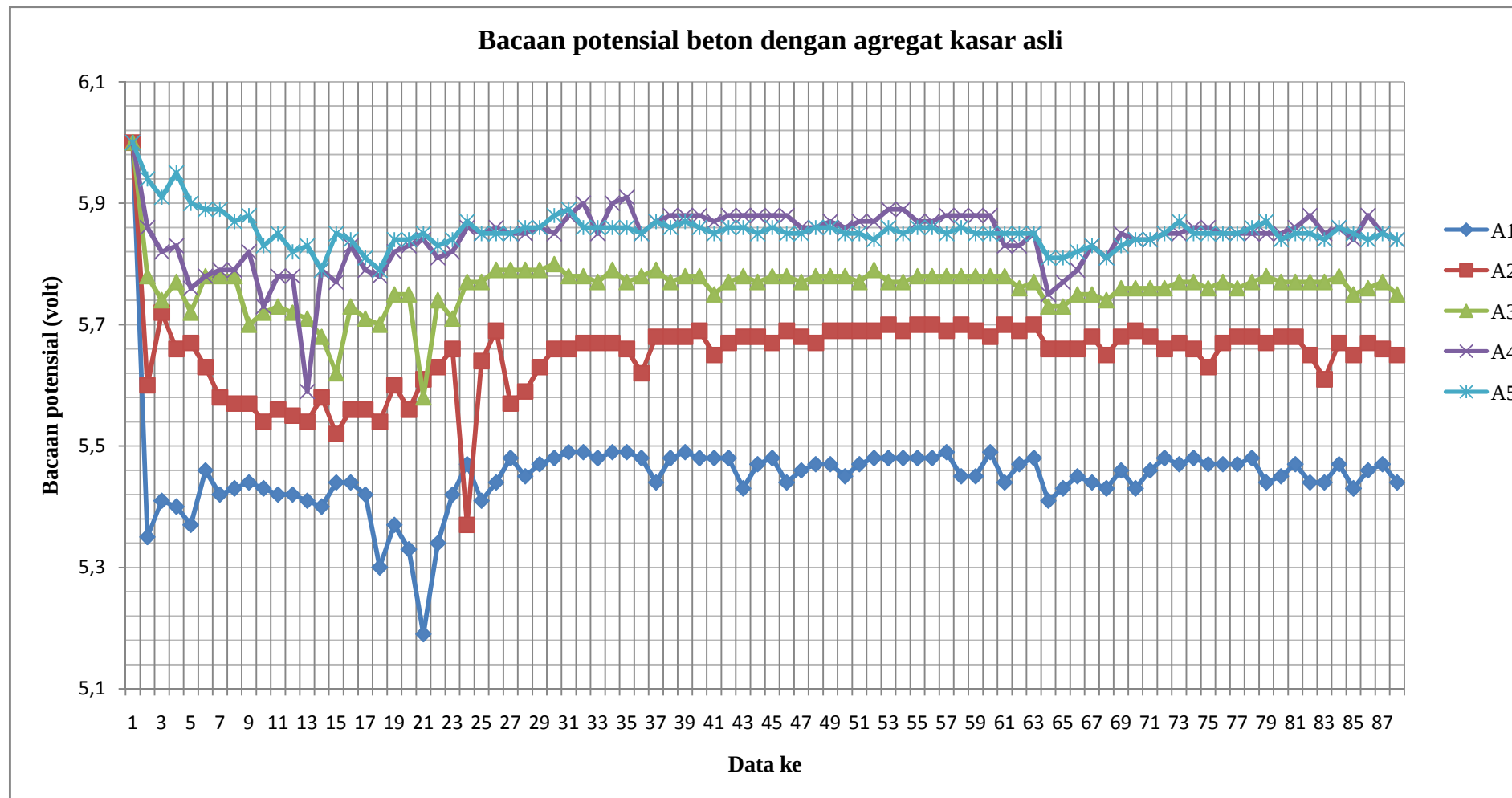
Gambar 57. Grafik Massa Aktual Korosi.

Grafik yang menggunakan trendline jenis *exponential* memiliki nilai $R^2 = 0,553$ yang jauh lebih baik dari pada grafik yang menggunakan trendline jenis *linier* yang memiliki nilai $R^2 = 0,377$.

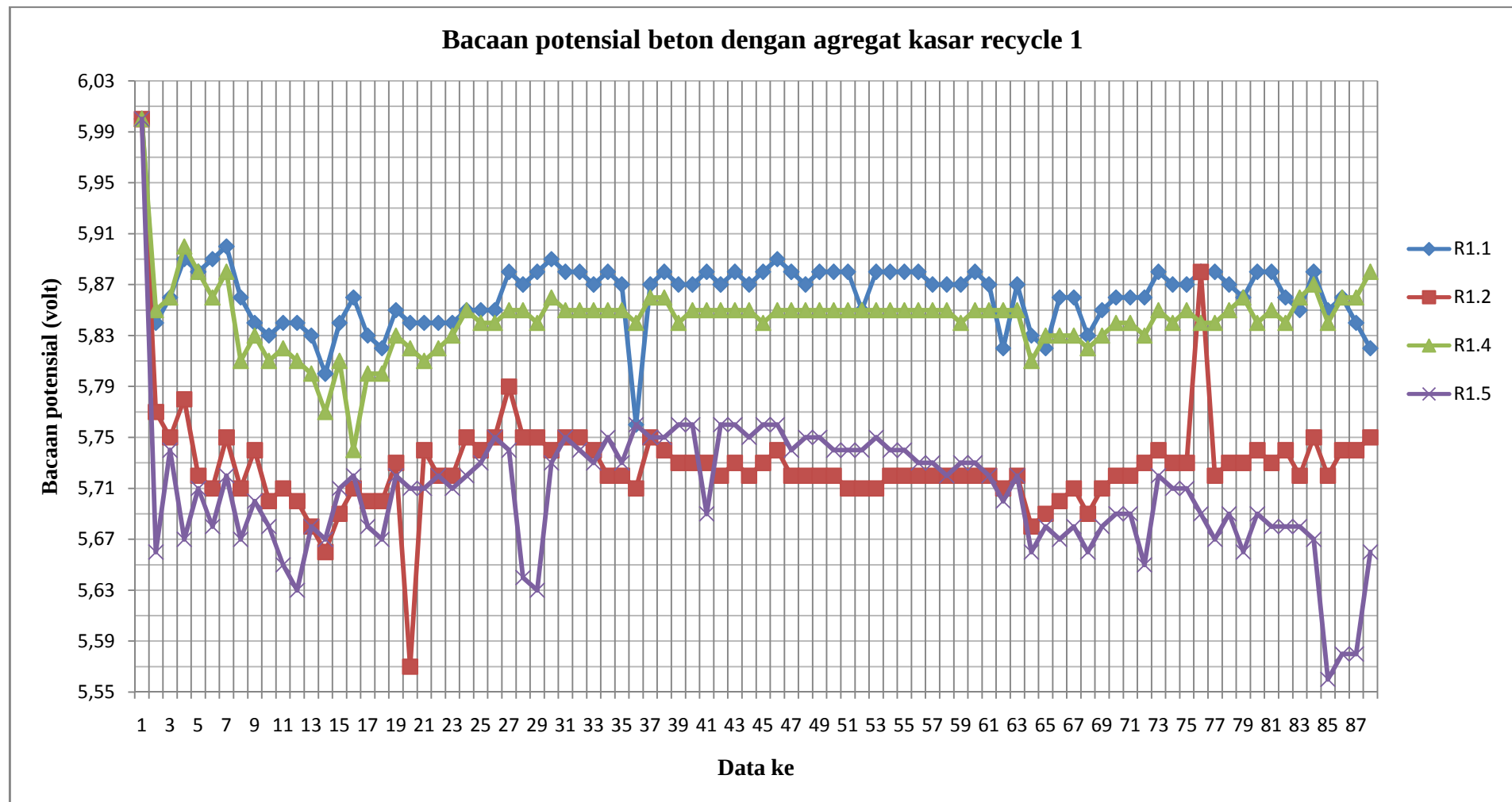
Berdasarkan hasil pengujian, seperti yang terlihat pada Tabel 28. dan Gambar 57. terlihat bahwa massa aktual korosi setiap benda uji mengalami penurunan, kecuali pada benda uji yang menggunakan agregat kasar recycle 1, hal ini karena benda uji sangat keropos. Sehingga sehingga klorida (Cl^-) dengan mudahnya masuk kedalam beton melalui pori-pori beton yang sangat banyak dan berukuran besar hingga mencapai baja tulangan dan menghancurkan lapisan pasif dari baja tulangan. Hal inilah yang mengakibatkan baja tulangan yang ada didalamnya mempunyai nilai massa aktual korosi yang sangat besar, yakni sebesar $0,0194 \text{ gr/mm}^2$. Massa aktual korosi rerata untuk benda uji yang menggunakan agregat kasar asli, recycle 1, recycle 2, dan recycle 3 berturut-turut adalah $0,0108 \text{ gr/mm}^2$, $0,0194 \text{ gr/mm}^2$, $0,0057 \text{ gr/mm}^2$, dan $0,0047 \text{ gr/mm}^2$.

5. Beda potensial

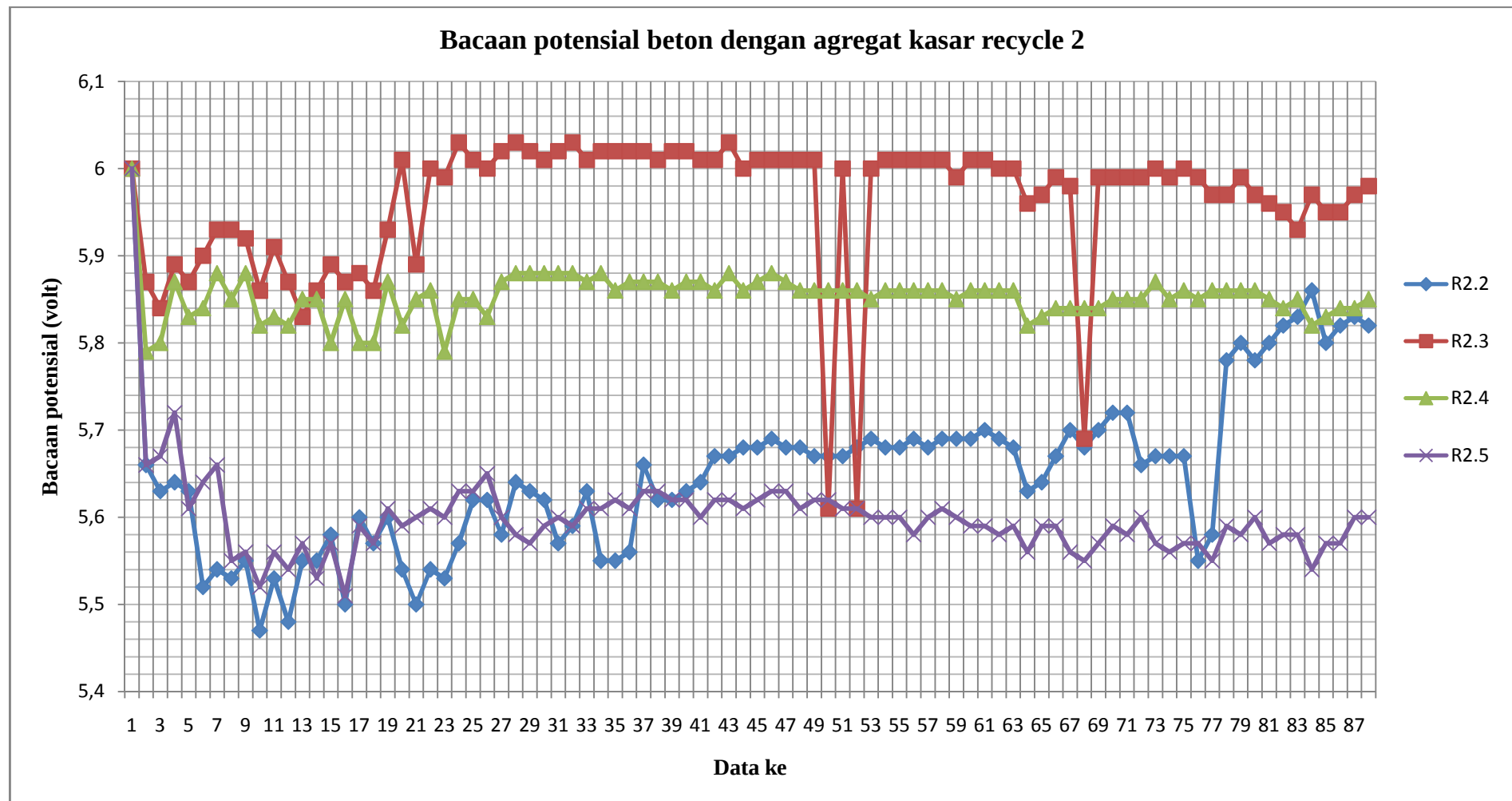
Perubahan potensial setiap benda uji disajikan dalam Tabel 29. dan Gambar 58. s/d Gambar 62., secara umum potensial akan menurun seiring dengan berjalannya waktu. Hal ini karena benda uji telah jenuh air, pori-pori benda uji yang telah terisi kerak korosi, dan baja tulangan yang telah terkorosi. Terlihat pada Gambar 58. s/d Gambar 62. terjadi penurunan potensial dari potensial awal 6 volt, kecuali pada beton dengan agregat kasar daur ulang ke 2, benda uji ke 3 dan pada beton dengan agregat kasar daur ulang ke 3, benda uji ke 2 dan 3, dia mengalami kenaikan dari potensial awal 6 volt.



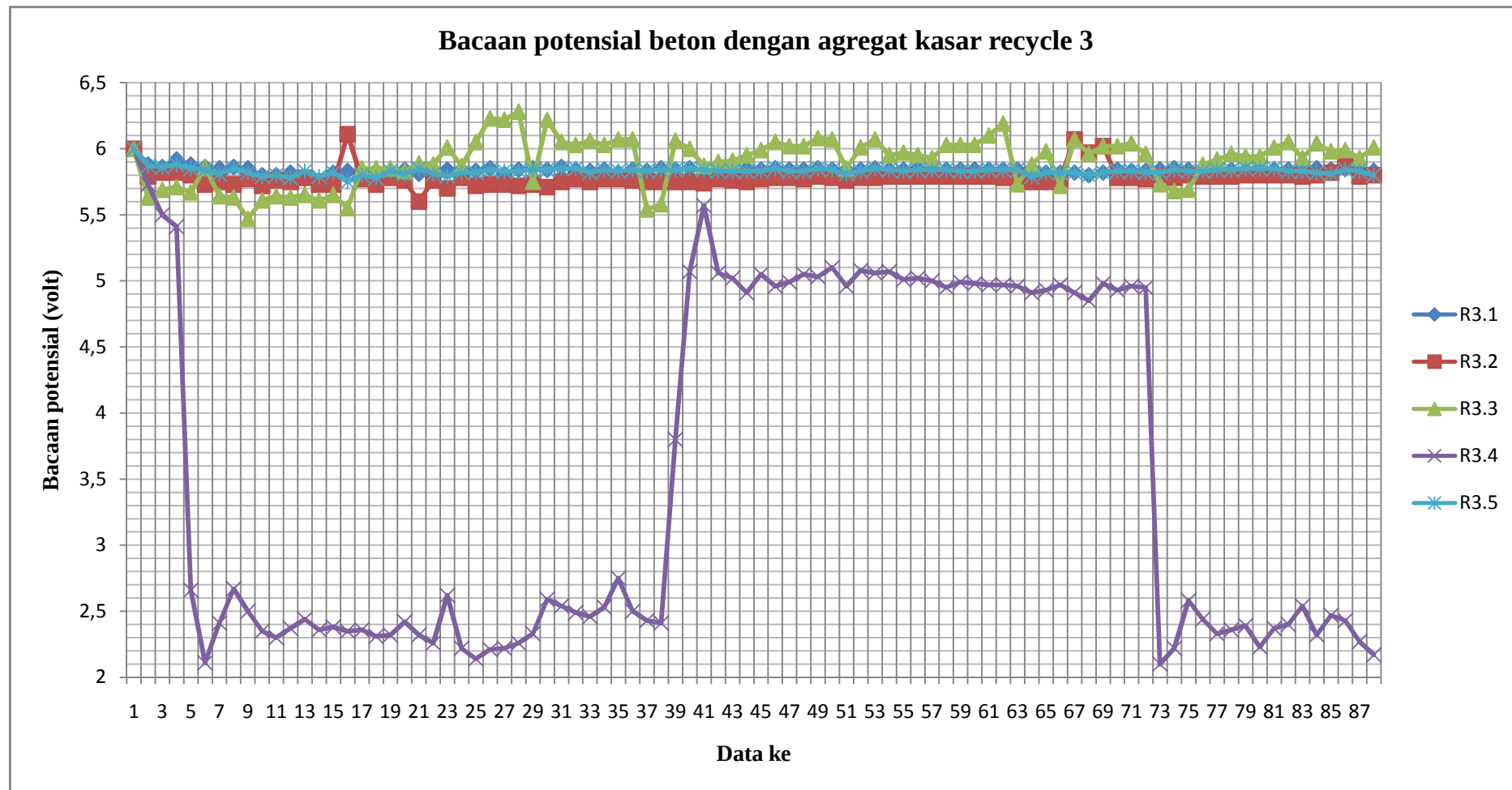
Gambar 58. Grafik bacaan potensial beton dengan agregat kasar asli.



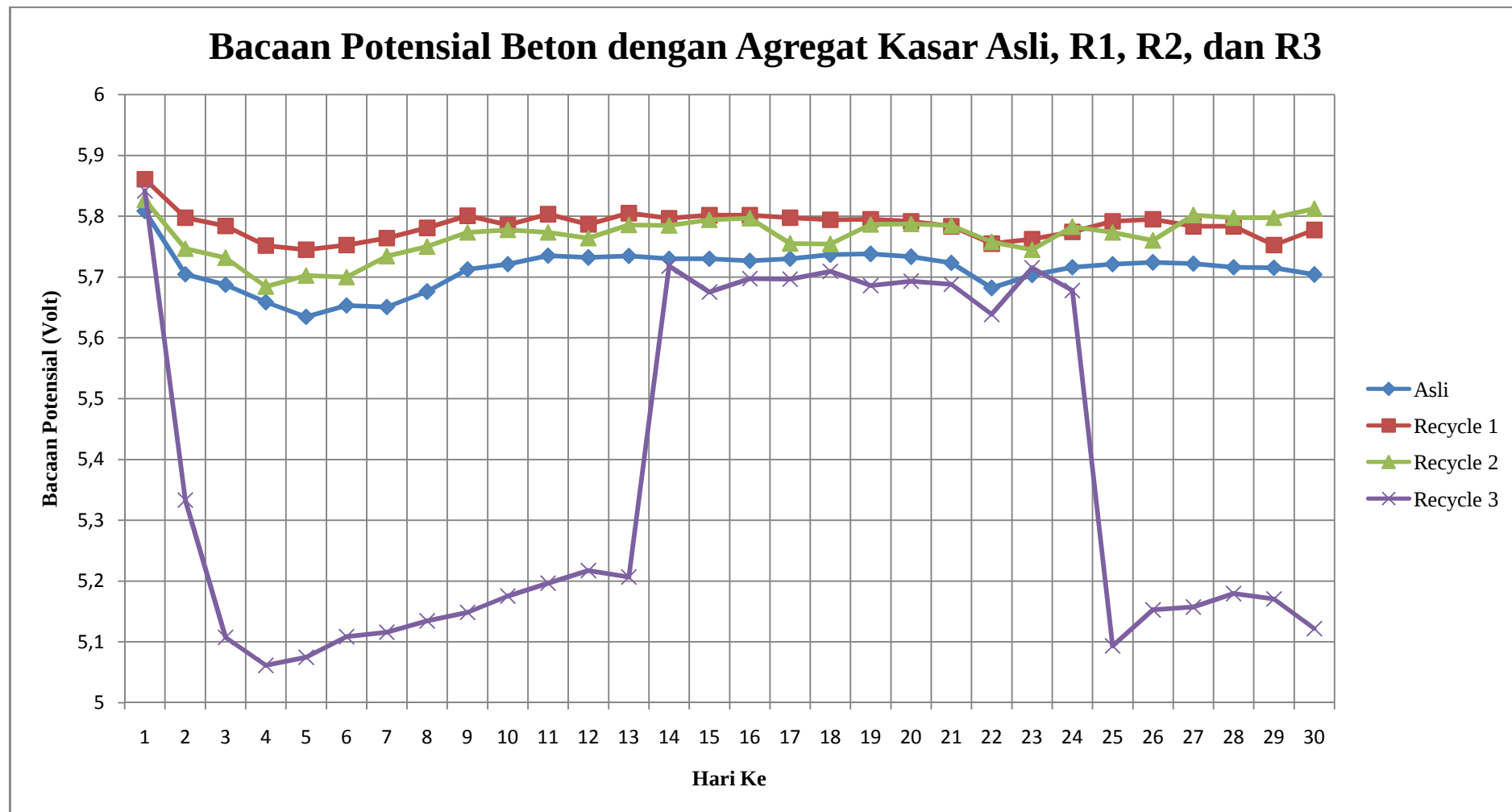
Gambar 59. Grafik bacaan potensial beton dengan agregat kasar recycle 1.



Gambar 60. Grafik bacaan potensial beton dengan agregat kasar recycle 2.



Gambar 61. Grafik bacaan potensial beton dengan agregat kasar recycle 3.



Gambar 62. Grafik Bacaan Potensial Beton dengan Agregat Kasar Asli, R1, R2, dan R3.

6. Derajat keasaman air (pH)

Perubahan pH disajikan dalam Tabel 30. dan Gambar 63. Seperti yang terlihat pada gambar pH air bak rendaman beton dengan agregat kasar asli ia mulai pada pH 11,8, dan meningkat dari waktu ke waktu hingga dihari ke 8 ia stabil pada pH 12,4, kemudian turun pada hari ke 15 di siang hari menjadi 12,3, dihari ke 19 sore hari pH kembali turun menjadi 12,2, dan dihari ke 23 sore hari pH kembali turun menjadi 12,1, pH ini stabil sampai hari terakhir pengujian, yakni hari ke 30.

Sedangkan pH air bak rendaman beton dengan agregat kasar Recycle 1 mulai pada pH 11,8, dan meningkat dari waktu ke waktu hingga dihari ke 12 siang hari ia mulai stabil pada pH 12,4, pH ini stabil sampai hari terakhir pengujian, yakni hari ke 30.

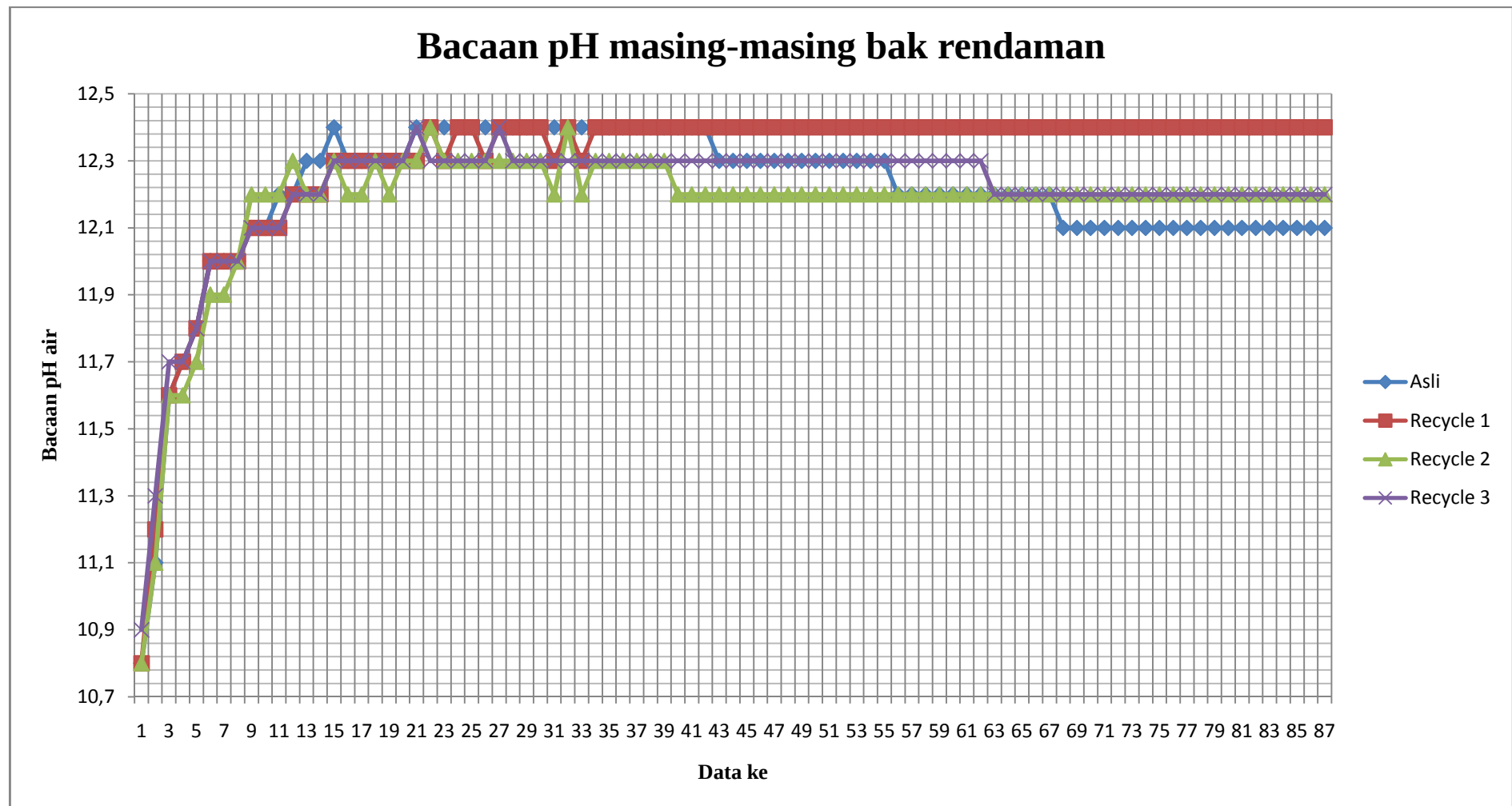
Sedangkan pH air bak rendaman beton dengan agregat kasar Recycle 2 mulai pada pH 11,8, dan meningkat dari waktu ke waktu menjadi 12,3, akan tetapi hari ke 5 di siang hari pH kembali turun menjadi 12,2, meningkat kembali dihari ke 6 pagi hari menjadi 12,3, keadaan ini berlangsung selama beberapa hari hingga pada hari ke 14 siang hari ia mulai stabil pada pH 12,2, pH ini stabil sampai hari terakhir pengujian, yakni hari ke 30.

Sedangkan pH air bak rendaman beton dengan agregat kasar Recycle 3 mulai pada pH 11,9, meningkat dari waktu ke waktu menjadi 12,3 di hari ke 6 pagi hari, meningkat kembali menjadi 12,4 pada hari ke 8 siang hari dan turun kembali menjadi 12,3, meningkat kembali pada

hari ke 10 pagi hari menjadi 12,4 dan turun kembali di siang hari menjadi 12,3, keadaan ini berlangsung sampai hari ke 21 di sore hari, pada hari ke 22 pagi hari pH kembali turun menjadi 12,2 dan stabil sampai hari terakhir pengujian, yakni pada hari ke 30.

Tabel 30. Catatan Derajat Keasaman Air (pH)

Hari ke	Tanggal dd/mm/yy	Derajat Keasaman (pH)												Nama Pencatat
		Bak Rendaman Beton AgregatAsli			Bak Rendaman Beton AgregatRecycle 1			Bak Rendaman Beton AgregatRecycle 2			Bak Rendaman Beton AgregatRecycle 3			
		Pagi	Siang	Sore	Pagi	Siang	Sore	Pagi	Siang	Sore	Pagi	Siang	Sore	
1.	27/02/2013	-	10,8	11,1	-	10,8	11,2	-	10,8	11,1	-	10,9	11,3	Yuni
2.	28/02/2013	11,6	11,7	11,8	11,6	11,7	11,8	11,6	11,6	11,7	11,7	11,7	11,8	Anyntya
3.	01/03/2013	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	11,9	11,9	12,0	12,0	12,0	12,0	Astri
4.	02/03/2013	12,1	12,1	12,2	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	Anyntya
5.	03/03/2013	12,2	12,3	12,3	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	Yuni
6.	04/03/2013	12,4	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,2	12,2	12,3	12,3	12,3	Astri
7.	05/03/2013	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,2	12,3	12,3	12,3	12,3	Husna
8.	06/03/2013	12,4	12,4	12,4	12,3	12,4	12,3	12,3	12,3	12,3	12,4	12,3	12,3	Astri
9.	07/03/2013	12,4	12,4	12,4	12,4	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	Yuni
10.	08/03/2013	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,3	12,3	12,3	12,4	12,3	12,3	Anyntya
11.	09/03/2013	12,4	12,4	12,4	12,4	12,3	12,4	12,3	12,2	12,4	12,3	12,3	12,3	Astri
12.	10/03/2013	12,4	12,4	12,4	12,3	12,4	12,4	12,2	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	Yuni
13.	11/03/2013	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	Husna
14.	12/03/2013	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,3	12,2	12,2	12,3	12,3	12,3	Husna
15.	13/03/2013	12,4	12,3	12,3	12,4	12,4	12,4	12,2	12,2	12,2	12,3	12,3	12,3	Yuni
16.	14/03/2013	12,3	12,3	12,3	12,4	12,4	12,4	12,2	12,2	12,2	12,3	12,3	12,3	Husna
17.	15/03/2013	12,3	12,3	12,3	12,4	12,4	12,4	12,2	12,2	12,2	12,3	12,3	12,3	Husna
18.	16/03/2013	12,3	12,3	12,3	12,4	12,4	12,4	12,2	12,2	12,2	12,3	12,3	12,3	Astri
19.	17/03/2013	12,3	12,3	12,2	12,4	12,4	12,4	12,2	12,2	12,2	12,3	12,3	12,3	Yuni
20.	18/03/2013	12,2	12,2	12,2	12,4	12,4	12,4	12,2	12,2	12,2	12,3	12,3	12,3	Husna
21.	19/03/2013	12,2	12,2	12,2	12,4	12,4	12,4	12,2	12,2	12,2	12,3	12,3	12,3	Anyntya
22.	20/03/2013	12,2	12,2	12,2	12,4	12,4	12,4	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	Yuni
23.	21/03/2013	12,2	12,2	12,1	12,4	12,4	12,4	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	Husna
24.	22/03/2013	12,1	12,1	12,1	12,4	12,4	12,4	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	Astri
25.	24/03/2013	12,1	12,1	12,1	12,4	12,4	12,4	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	Husna
26.	25/03/2013	12,1	12,1	12,1	12,4	12,4	12,4	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	Husna
27.	26/03/2013	12,1	12,1	12,1	12,4	12,4	12,4	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	Astri
28.	27/03/2013	12,1	12,1	12,1	12,4	12,4	12,4	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	Astri
29.	28/03/2013	12,1	12,1	12,1	12,4	12,4	12,4	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	Anyntya
30.	29/03/2013	12,1	-	-	12,4	-	-	12,2	-	-	12,2	-	-	Astri



Gambar 63. Grafik bacaan pH air masing-masing bak rendaman.

7. Pola retak

a. Beton dengan agregat kasar asli

Pola retak yang terjadi pada beton dengan agregat kasar asli ini diawali dari beton yang dekat dengan permukaan air. Dari kelima spesimen yang retak pertama kali adalah beton no.4 dan terjadi di hari ke 15, retak yang muncul baru retak rambut. Spesimen no.5 retak di hari ke 17. Spesimen no.1 baru muncul retak di hari ke 22. Spesimen no.2 dan no.3 tidak mengalami retak sama sekali.



Gambar 64. Pola retak beton dengan agregat kasar asli.

b. Beton dengan agregat kasar *Recycle 1*

Pola retak yang terjadi pada beton dengan agregat kasar *Recycle 1* ini diawali beton yang dekat dengan permukaan air. Dari keempat spesimen yang retak pertama kali adalah beton no.1 dan terjadi di hari ke 13. Pada beton dengan agregat kasar *Recycle 1* ini ada satu spesimen yang sampai akhir pengujian dia tidak mengalami retak sama sekali, akan tetapi setelah dipecah, baja tulangan yang ada didalamnya habis.



Gambar 65. Pola retak beton dengan agregat kasar *recycle 1*.

c. Beton dengan agregat kasar *Recycle 2*

Pola retak yang terjadi pada beton dengan agregat kasar *Recycle 2* ini diawali dari beton yang dekat dengan permukaan air. Dari kelima spesimen yang retak pertama kali adalah beton no.2 dan terjadi di hari ke 13, retak yang muncul baru retak rambut. Spesimen no.2 dan no.5 retak pada hari ke 14. Sedangkan spesimen no.4 baru muncul retak di hari ke 18.



Gambar 66. Pola retak beton dengan agregat kasar *recycle 2*.

d. Beton dengan agregat kasar *Recycle 3*

Pola retak yang terjadi pada beton dengan agregat kasar *Recycle 3* ini diawali dari beton yang dekat dengan permukaan air. Dari kelima spesimen yang retak pertama kali adalah beton no.3 dan terjadi di hari ke 13. Spesimen no.1 muncul retak pada hari ke 14. Spesimen no.2 muncul pada hari ke 17. Spesimen no 4 baru terjadi

retak pada hari ke 24. Pada spesimen no.5 tidak terjadi retakan sama sekali.

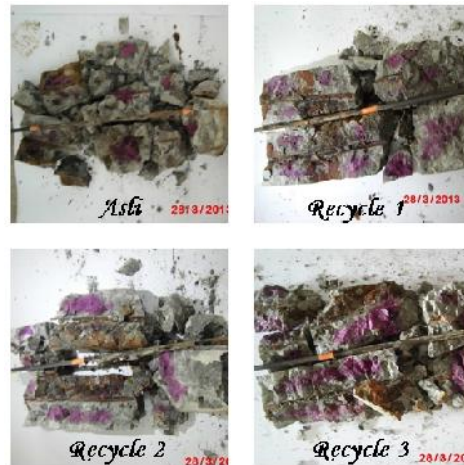


Gambar 67. Pola retak beton dengan agregat kasar *recycle 3*.

8. Karbonasi Beton

Dari 18 benda uji yang diuji tidak ada satupun benda uji yang terkena serangan karbonasi. Pengamatan kualitatif terhadap serangan karbonasi ini dilakukan dengan cara mengamati perubahan warna pada permukaan beton dengan cara meneteskan cairan *phenolphetelein* pada permukaan beton. Apabila permukaan beton berubah warna menjadi ungu setelah ditetesi dengan *phenolphetelein*, maka beton tersebut tidak atau belum terkena serangan karbonasi. Akan tetapi apabila permukaan beton tidak mengalami perubahan warna samasekali, maka beton tersebut sudah terkena serangan karbonasi.

Seperti yang terlihat dalam Gambar 68. beton yang sudah ditetesi dengan cairan *phenolphetelein* berubah warna menjadi ungu, hal itu menandakan bahwa beton yang diuji tidak atau belum terkena serangan karbonasi.



Gambar 68. Pengujian karbonasi beton.

9. Degradasi Kapasitas Momen

Degradasi kapasitas momen dihitung dengan cara mengukur diameter baja tulangan, yakni bagian baja yang sudah terkorosi dan bagian baja yang belum terkorosi, pengukuran dilakukan sebanyak 3 kali, kemudian hasilnya direrata, hasil pengukuran disajikan dalam tabel berikut ini:

Tabel 31. Hasil pengukuran diameter baja tulangan

Benda Uji	Bagian baja yang terkorosi				Bagian baja yang belum terkorosi			
	1	2	3	Rerata	1	2	3	Rerata
A1	6,75	7,25	6,10	6,7	7,25	7,20	7,20	7,216
A2	6,25	6,85	6,35	6,483	7,10	6,85	6,95	6,967
A3	6,40	2,15	2,90	3,187	7,15	6,75	7,05	6,983
A4	6,45	6,40	6,55	6,467	7,25	6,85	7,0	7,067
A5	5,65	6,7	6,55	6,3	7,25	7,05	7,25	7,15
R1.1	6,85	6,95	6,90	6,833	7,25	7,10	7,20	7,183
	6,35	7,10	6,85					
R1.2	5,25	6,85	5,60	5,90	7,10	6,85	7,15	7,033
R1.4	1,65	2,3	2,05	2,325	7,00	6,85	7,10	6,983
	2,60	2,80	2,55					
R1.5	6,75	7,25	6,80	6,933	7,15	6,95	7,10	7,067
R2.2	6,35	6,85	7,20	6,80	6,80	7,10	6,90	6,933
R2.3	6,30	6,85	6,65	6,633	6,80	7,10	6,90	6,933

R2.4	6,45	6,90	6,35	6,567	7,05	6,85	6,80	6,90
R2.5	5,80	7,15	5,75	6,233	7,30	7,00	7,25	7,183
R3.1	6,80	7,40	6,95	6,983	7,20	6,85	7,15	7,067
	6,65	7,25	6,85					
R3.2	7,05	6,50	7,15	6,90	7,30	7,00	7,25	7,183
R3.3	6,45	7,25	6,85	6,85	7,10	7,00	7,10	7,067
R3.4	6,40	7,20	6,65	6,75	7,15	6,95	7,10	7,017
R3.5	5,60	5,35	6,70	5,883	7,15	6,85	7,10	7,033

Setelah didapatkan diameter baja tulangan yang sudah dan belum terkorosi, dilakukan analisis dengan menggunakan rumus pertidaksamaan untuk mendapatkan nilai lengan momen (Z), yang selanjutnya nilai lengan momen (Z) ini akan digunakan untuk mencari nilai degradasi kapasitas momen (M_n), berikut hasil analisisnya,

1. Beton dengan agregat kasar asli

$$A_{sA} \cdot f_y \cdot z \cong 0,85 \cdot f_c' \cdot A \cdot a \cdot b \cdot z$$

$$A_{sA} \cdot f_y \cong 0,85 \cdot f_c' \cdot A \cdot a \cdot b$$

$$a_A = \frac{A_{sA} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot A \cdot b}$$

$$= \frac{\frac{28,745}{39,114} \cdot A_s \cdot f_y}{\frac{34,328}{34,328} \cdot (0,85 \cdot f_c') \cdot b}$$

$$= \frac{0,7349 \cdot A_s \cdot f_y}{(0,85 \cdot f_c') \cdot b}$$

$$= 0,7349 \cdot \frac{A_s \cdot f_y}{(0,85 \cdot f_c') \cdot b}$$

$$= \gamma_A \cdot \frac{A_s \cdot f_y}{(0,85 \cdot f_c') \cdot b}$$

2. Beton dengan agregat kasar Recycle 1

$$A_{sR1}.f_y.z \cong 0,85.f_c'_{R1}.a.b.z$$

$$A_{sR1}.f_y \cong 0,85.f_c'_{R1}.a.b$$

$$\begin{aligned} a_{R1} &= \frac{A_{sR1}.f_y}{0,85.f_c'_{R1}.b} \\ &= \frac{\frac{26,503}{39,225}.A_s.f_y}{\frac{28,233}{34,328}.(0,85.f_c').b} \\ &= \frac{0,67566.A_s.f_y}{0,8224.(0,85.f_c').b} \\ &= 0,8216 \cdot \frac{A_s.f_y}{(0,85.f_c').b} \\ &= \gamma_{R1} \cdot \frac{A_s.f_y}{(0,85.f_c').b} \end{aligned}$$

3. Beton dengan agregat kasar Recycle 2

$$A_{sR2}.f_y.z \cong 0,85.f_c'_{R2}.a.b.z$$

$$A_{sR2}.f_y \cong 0,85.f_c'_{R2}.a.b$$

$$\begin{aligned} a_{R2} &= \frac{A_{sR2}.f_y}{0,85.f_c'_{R2}.b} \\ &= \frac{\frac{33,815}{38,77}.A_s.f_y}{\frac{22,733}{34,328}.(0,85.f_c').b} \\ &= \frac{0,8722.A_s.f_y}{0,6622.(0,85.f_c').b} \\ &= 1,3171 \cdot \frac{A_s.f_y}{(0,85.f_c').b} \end{aligned}$$

$$= \gamma_{R2} \cdot \frac{A_s \cdot f_y}{(0,85 \cdot f_c') \cdot b}$$

4. Beton dengan agregat kasar Recycle 3

$$A_{sR3} \cdot f_y \cdot z \cong 0,85 \cdot f_c'_{R3} \cdot a \cdot b \cdot z$$

$$A_{sR3} \cdot f_y \cong 0,85 \cdot f_c'_{R3} \cdot a \cdot b$$

$$\begin{aligned} a_{R3} &= \frac{A_{sR3} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c'_{R3} \cdot b} \\ &= \frac{\frac{35,103}{39,298} \cdot A_s \cdot f_y}{\frac{8,927}{34,328} \cdot (0,85 \cdot f_c') \cdot b} \\ &= \frac{0,8932 \cdot A_s \cdot f_y}{0,2600 \cdot (0,85 \cdot f_c') \cdot b} \\ &= 3,4354 \cdot \frac{A_s \cdot f_y}{(0,85 \cdot f_c') \cdot b} \\ &= \gamma_{R3} \cdot \frac{A_s \cdot f_y}{(0,85 \cdot f_c') \cdot b} \end{aligned}$$

$$\rightarrow \gamma_A = 0,7349 < \gamma_{R1} = 0,8216 < \gamma_{R2} = 1,3171 < \gamma_{R3} = 3,4354$$

Blok tekan beton terhadap beton asli:

$$a_A = \frac{0,7349}{0,7349} = 1$$

$$a_{R1} = \frac{0,8216}{0,7349} = 1,1179 \ a_A$$

$$a_{R2} = \frac{1,3171}{0,7349} = 1,7922 \ a_A$$

$$a_{R3} = \frac{3,4354}{0,7349} = 4,6746 \ a_A$$

Lengan momen,

$$\begin{aligned}
 Z_A &= d - \frac{a}{2} & Z_{R1} &= d - \frac{a_{R1}}{2} \\
 & & &= d - \frac{1,1179 a}{2} \\
 Z_{R2} &= d - \frac{a_{R2}}{2} & Z_{R3} &= d - \frac{a_{R3}}{2} \\
 &= d - \frac{1,3171 a}{2} & &= d - \frac{3,4354 a}{2}
 \end{aligned}$$

$\rightarrow Z_A > Z_{R1} > Z_{R2} > Z_{R3}$

Kapasitas momen,

$$M_n = A_s \cdot f_y \cdot z \dots \dots \dots (4-1)$$

$$M_{nA} > M_{nR1} > M_{nR2} > M_{nR3}$$

* Degredasi *real* momen tergantung pada tinggi efektif (d), luas tampang tulangan (A_s), mutu baja (f_y), mutu beton (f_c'), dan lebar balok (b).

Bila perbandingan tinggi lebar terhadap tinggi balok yang efisien berkisar antara 1,5 - 2,2. (Dipohusodo, I; 1996), maka:

$$\frac{b}{d} = 1,5 - 2,2 \rightarrow \text{diambil sebagai pendekatan } d = 2b$$

$$m = \frac{f_y}{f_c'} = \text{angka "moduli"} \rightarrow \text{bila digunakan } f_y = 400 \text{ MPa}$$

$A_s = 1,5\% - 3\%$ dari luas tampang tulangan (b.d), diambil $A_s = 2\%$ dari luas tampang beton.

$$A_s = 2\% \cdot b \cdot d$$

$$= 2\% \cdot b \cdot 2b$$

$$A_s = 4\% \cdot b^2$$

$$\begin{aligned}
a_A &= 0,7349 \times \frac{A_s \cdot f_y}{(0,85 \cdot f_c') \cdot b} = 0,7349 \times \frac{4\% \cdot b^2 \cdot m}{0,85 \cdot b} \\
&= 0,7349 \times \frac{4\% \cdot b^2 \cdot \frac{f_y}{f_c'}}{0,85 \cdot b} = 0,7349 \times \frac{4\% \cdot b \cdot \frac{400}{34,328}}{0,85} \\
&= 0,7349 \times \frac{4\% \cdot b \cdot 11,652}{0,85} = 0,403 \cdot b
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
a_{R1} &= 0,8216 \times \frac{A_s \cdot f_y}{(0,85 \cdot f_c') \cdot b} = 0,8216 \times \frac{4\% \cdot b^2 \cdot m}{0,85 \cdot b} \\
&= 0,8216 \times \frac{4\% \cdot b^2 \cdot \frac{f_y}{f_c'}}{0,85 \cdot b} = 0,8216 \times \frac{4\% \cdot b \cdot \frac{400}{28,233}}{0,85} \\
&= 0,8216 \times \frac{4\% \cdot b \cdot 14,168}{0,85} = 0,5478 \cdot b
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
a_{R2} &= 1,3171 \times \frac{A_s \cdot f_y}{(0,85 \cdot f_c') \cdot b} = 1,3171 \times \frac{4\% \cdot b^2 \cdot m}{0,85 \cdot b} \\
&= 1,3171 \times \frac{4\% \cdot b^2 \cdot \frac{f_y}{f_c'}}{0,85 \cdot b} = 1,3171 \times \frac{4\% \cdot b \cdot \frac{400}{22,733}}{0,85} \\
&= 1,3171 \times \frac{4\% \cdot b \cdot 17,595}{0,85} = 1,0906 \cdot b
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
a_{R3} &= 3,4354 \times \frac{A_s \cdot f_y}{(0,85 \cdot f_c') \cdot b} = 3,4354 \times \frac{4\% \cdot b^2 \cdot m}{0,85 \cdot b} \\
&= 3,4354 \times \frac{4\% \cdot b^2 \cdot \frac{f_y}{f_c'}}{0,85 \cdot b} = 3,4354 \times \frac{4\% \cdot b \cdot \frac{400}{8,927}}{0,85} \\
&= 3,4354 \times \frac{4\% \cdot b \cdot 44,808}{0,85} = 7,2439 \cdot b
\end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} Z_A &= d - \frac{a}{2} \\ &= 2b - \frac{0,403 b}{2} \\ &= (2 - 0,2015).b \\ &= 1,7985.b \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{R2} &= d - \frac{a_{R2}}{2} \\ &= d - \frac{1,7922 a}{2} \\ &= 2b - \frac{1,7922 \cdot 1,0906.b}{2} \\ &= (2 - 0,9773) b \\ &= 1,0227 .b \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{R1} &= d - \frac{a_{R1}}{2} \\ &= d - \frac{1,1179 a}{2} \\ &= 2b - \frac{1,1179 \cdot 0,5478.b}{2} \\ &= (2 - 0,3062) b \\ &= 1,6938 .b \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{R3} &= d - \frac{a_{R3}}{2} \\ &= d - \frac{4,6746 a}{2} \\ &= 2b - \frac{4,6746 \cdot 7,2439.b}{2} \\ &= (2 - 16,9312) b \\ &= -14,9312.b \\ &= 0 .b \text{ (diperkirakan sudah runtuh)} \end{aligned}$$

*Bila $b_1 = 200$ mm, maka:

$$\begin{aligned} Z_A &= 1,7985.b \\ &= 1,7985 \cdot 200 \\ &= 359,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, } M_{nA} &= A_s \cdot f_y \cdot z \\ &= 4\% \cdot b^2 \cdot f_y \cdot z \\ &= 4\% \cdot 200^2 \cdot 400 \cdot 359,7 \cdot 10^{-6} \\ &= 230,208 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{R1} &= 1,6938 .b \\ &= 1,6938 \cdot 200 \\ &= 338,76 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Sehingga, } M_{nR1} &= A_s \cdot f_y \cdot z \\
&= 4\% \cdot b^2 \cdot f_y \cdot z \\
&= 4\% \cdot 200^2 \cdot 400 \cdot 338,76 \cdot 10^{-6} \\
&= 216,808 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Z_{R2} &= 1,0227 \cdot b \\
&= 1,0227 \cdot 200 \\
&= 204,55 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Sehingga, } M_{nR2} &= A_s \cdot f_y \cdot z \\
&= 4\% \cdot b^2 \cdot f_y \cdot z \\
&= 4\% \cdot 200^2 \cdot 400 \cdot 204,55 \cdot 10^{-6} \\
&= 130,912 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Z_{R3} &= 0 \cdot b \\
&= 0 \cdot 200 \\
&= 0 \text{ mm (diperkirakan sudah runtuh)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Sehingga, } M_{nR3} &= A_s \cdot f_y \cdot z \\
&= 4\% \cdot b^2 \cdot f_y \cdot z \\
&= 4\% \cdot 200^2 \cdot 400 \cdot 0 \cdot 10^{-6} \\
&= 0 \text{ kNm (diperkirakan sudah runtuh)}
\end{aligned}$$

*Bila $b_2 = 300 \text{ mm}$, maka:

$$\begin{aligned}
Z_A &= 1,7985 \cdot b \\
&= 1,7985 \cdot 300 \\
&= 539,55 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sehingga, } M_{nA} &= A_s \cdot f_y \cdot z \\
 &= 4\% \cdot b^2 \cdot f_y \cdot z \\
 &= 4\% \cdot 200^2 \cdot 400 \cdot 539,55 \cdot 10^{-6} \\
 &= 776,952 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_{R1} &= 1,6938 \cdot b \\
 &= 1,6938 \cdot 300 \\
 &= 508,14 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sehingga, } M_{nR1} &= A_s \cdot f_y \cdot z \\
 &= 4\% \cdot b^2 \cdot f_y \cdot z \\
 &= 4\% \cdot 200^2 \cdot 400 \cdot 508,14 \cdot 10^{-6} \\
 &= 731,728 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_{R2} &= 1,0227 \cdot b \\
 &= 1,0227 \cdot 300 \\
 &= 306,83 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sehingga, } M_{nR2} &= A_s \cdot f_y \cdot z \\
 &= 4\% \cdot b^2 \cdot f_y \cdot z \\
 &= 4\% \cdot 200^2 \cdot 400 \cdot 306,83 \cdot 10^{-6} \\
 &= 441,828 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Z_{R3} &= 0 \cdot b \\
 &= 0 \cdot 300 \\
 &= 0 \text{ mm (diperkirakan sudah runtuh)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sehingga, } M_{nR3} &= A_s \cdot f_y \cdot z \\
 &= 4\% \cdot b^2 \cdot f_y \cdot z
 \end{aligned}$$

$$= 4\%.200^2.400. 0$$

$$= 0 \text{ kNm (diperkirakan sudah runtuh)}$$

*Bila $b_3 = 400 \text{ mm}$, maka:

$$Z_A = 1,7985.b$$

$$= 1,7985. 400$$

$$= 719,4 \text{ mm} \rightarrow \text{sehingga}$$

$$\text{Sehingga, } M_{nA} = A_s.f_y.z$$

$$= 4\% .b^2.f_y.z$$

$$= 4\%.200^2.400. 719,4.10^{-6}$$

$$= 1841,66 \text{ kNm}$$

$$Z_{R1} = 1,6938 .b$$

$$= 1,6938 . 400$$

$$= 677,53 \text{ mm}$$

$$\text{Sehingga, } M_{nR1} = A_s.f_y.z$$

$$= 4\% .b^2.f_y.z$$

$$= 4\%.200^2.400. 677,53.10^{-6}$$

$$= 1734,47 \text{ kNm}$$

$$Z_{R2} = 1,0227 .b$$

$$= 1,0227 . 400$$

$$= 409,1 \text{ mm}$$

$$\text{Sehingga, } M_{nR2} = A_s.f_y.z$$

$$= 4\% .b^2.f_y.z$$

$$= 4\%.200^2.400. 409,1.10^{-6}$$

$$= 1047,3 \text{ kNm}$$

$$Z_{R3} = 0 \cdot b$$

$$= 0 \cdot 400$$

$$= 0 \text{ mm (diperkirakan sudah runtuh)}$$

$$\text{Sehingga, } M_{nR3} = A_s \cdot f_y \cdot z$$

$$= 4\% \cdot b^2 \cdot f_y \cdot z$$

$$= 4\% \cdot 200^2 \cdot 400 \cdot 0$$

$$= 0 \text{ (diperkirakan sudah runtuh)}$$

*Bila $b_4 = 500 \text{ mm}$, maka:

$$Z_A = 1,7985 \cdot b$$

$$= 1,7985 \cdot 500$$

$$= 899,25 \text{ mm}$$

$$\text{Sehingga, } M_{nA} = A_s \cdot f_y \cdot z$$

$$= 4\% \cdot b^2 \cdot f_y \cdot z$$

$$= 4\% \cdot 200^2 \cdot 400 \cdot 899,25 \cdot 10^{-6}$$

$$= 3597 \text{ kNm}$$

$$Z_{R1} = 1,6938 \cdot b$$

$$= 1,6938 \cdot 500$$

$$= 846,91 \text{ mm} \rightarrow \text{sehingga}$$

$$\text{Sehingga, } M_{nR1} = A_s \cdot f_y \cdot z$$

$$= 4\% \cdot b^2 \cdot f_y \cdot z$$

$$= 4\% \cdot 200^2 \cdot 400 \cdot 846,91 \cdot 10^{-6}$$

$$= 3387,63 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
Z_{R2} &= 1,0227 \cdot b \\
&= 1,0227 \cdot 500 \\
&= 511,38 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Sehingga, } M_{nR2} &= A_s \cdot f_y \cdot z \\
&= 4\% \cdot b^2 \cdot f_y \cdot z \\
&= 4\% \cdot 200^2 \cdot 400 \cdot 511,38 \cdot 10^{-6} \\
&= 2045,5 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Z_{R3} &= 0 \cdot b \\
&= 0 \cdot 500 \\
&= 0 \text{ mm (diperkirakan sudah runtuh)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Sehingga, } M_{nR3} &= A_s \cdot f_y \cdot z \\
&= 4\% \cdot b^2 \cdot f_y \cdot z \\
&= 4\% \cdot 200^2 \cdot 400 \cdot 0 \cdot 10^{-6} \\
&= 0 \text{ kNm (diperkirakan sudah runtuh)}
\end{aligned}$$

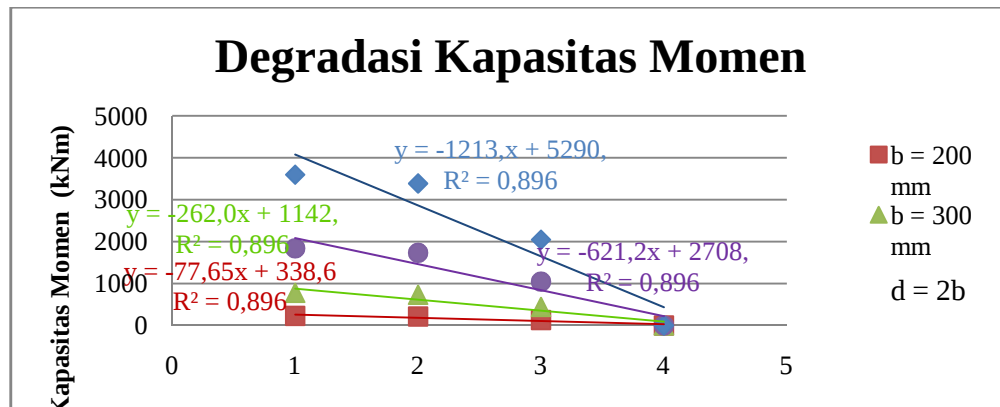
Hasil analisis disajikan dalam Tabel 32. dan Gambar 69 s/d 70. terlihat bahwa beton yang di daur ulang, maka kapasitas momen nominal yang dapat ditahan beton bertulang semakin menurun, bahkan untuk beton *recycle* 3 diperkirakan telah mengalami keruntuhan.

Dalam analisis dimisalkan apabila menggunakan besaran lebar balok (b) yang bervariasi, yakni 200 mm, 300 mm, 400 mm, dan 500 mm. Semakin lebar balok yang digunakan, maka kapasitas momen yang tersedia semakin besar, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 69. dan Gambar 70.

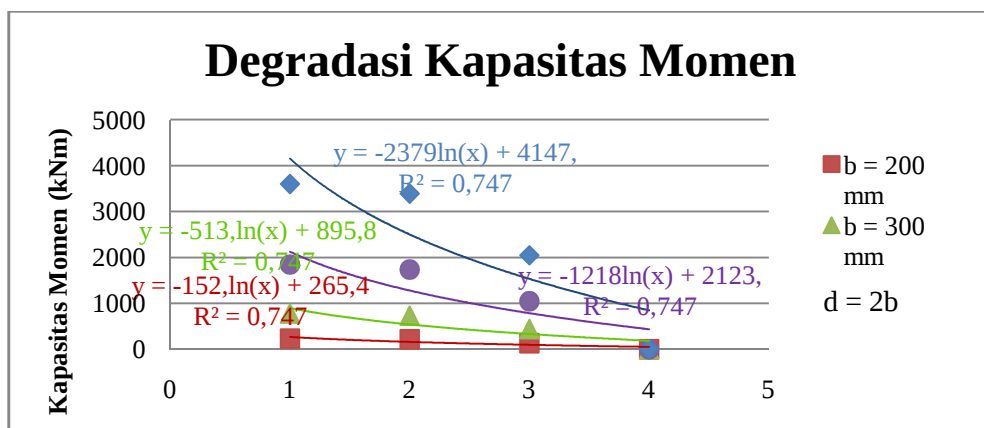
Grafik yang menggunakan trendline jenis *linier* (Gambar 4.18.) memiliki nilai $R^2 = 0,896$ yang jauh lebih baik dari pada grafik yang menggunakan trendline jenis *logarithmic* (Gambar 4.19.) yang memiliki nilai $R^2 = 0,747$.

Tabel 32. Degradasi Kapasitas Momen

b (mm)	f_v (MPa)	Z (mm)				M_n (kNm)			
		Asli	R1	R2	R3	Asli	R1	R2	R3
200	400	386,3	325,44	251,62	0	230,208	216,808	130,912	0
300	400	579,45	488,16	377,43	0	776,952	731,728	441,828	0
400	400	772,6	650,88	503,24	0	1841,66	1734,47	1047,3	0
500	400	965,75	813,6	629,05	0	3597	3387,63	2045,5	0



Gambar 69. Degradasi Kapasitas Momen.
(linier)



Gambar 70. Degradasi Kapasitas Momen.
(logarithmic)

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Terdapat kecenderungan penurunan laju korosi (*corrosion rate*) terhadap jenis agregat yang digunakan. Besarnya penurunan laju korosi rerata untuk benda uji yang menggunakan agregat kasar asli, recycle 1, recycle 2, dan recycle 3 berturut-turut adalah 1,6418 gr/m².h, 2,9536 gr/m².h, 0,8628 gr/m².h, dan 0,7117 gr/m².h.
2. Terdapat kecenderungan penurunan densitas arus korosi (*corrosion current density*) terhadap jenis agregat yang digunakan. Besarnya penurunan densitas laju korosi (I_{corr}) rerata untuk benda uji yang menggunakan agregat kasar asli, recycle 1, recycle 2, dan recycle 3 berturut-turut adalah $1,44 \times 10^{-5}$ mA/cm², $2,58 \times 10^{-5}$ mA/cm², $7,59 \times 10^{-6}$ mA/cm², dan $6,28 \times 10^{-6}$ mA/cm².
3. Terdapat kecenderungan penurunan prosentase penurunan berat terhadap jenis agregat yang digunakan. Besarnya penurunan prosentase penurunan berat rerata untuk benda uji yang menggunakan agregat kasar asli, recycle 1, recycle 2, dan recycle 3 berturut-turut adalah 3,7113 %, 6,7212 %, 1,9618 %, dan 1,6371 %.
4. Terdapat kecenderungan penurunan massa aktual korosi (M_{ac}) terhadap jenis agregat yang digunakan. Besarnya penurunan massa aktual korosi (M_{ac}) rerata untuk benda uji yang menggunakan agregat kasar asli, recycle 1, recycle 2, dan recycle 3 berturut-turut adalah 0,0108 gr/mm², 0,0194 gr/mm², 0,0057 gr/mm², dan 0,0047 gr/mm².
5. Bacaan potensial benda uji menurun dari potensial awal 6 volt, kecuali pada beton dengan agregat kasar daur ulang ke 2, benda uji ke 3 dan pada beton dengan agregat kasar daur ulang ke 3, benda uji ke 2 dan 3, dia naik dari potensial awal 6 volt.
6. Bacaan pH air meningkat, sampai kepada suatu saat dia stabil.

7. Pola retak yang terjadi pada benda uji diawali dari beton yang dekat dengan permukaan air, dan retakan awal yang muncul adalah retak rambut.
8. Tidak ada satupun benda uji yang terkena serangan karbonasi.
9. Terdapat kecenderungan penurunan nilai degradasi momen rencana terhadap jenis agregat yang digunakan. Besarnya penurunan nilai degradasi momen rencana dengan lebar balok (b) = 200mm; 300mm; 400mm, dan 500mm untuk benda uji yang menggunakan agregat kasar asli, *recycle* 1, *recycle* 2, dan *recycle* 3 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).
10. Korosi yang terjadi pada beton *recycle* murni karena serangan klorida.

B. Saran

1. Dilakukan penelitian ulang dengan menggunakan variasi tulangan dan tipe tulangan yang berbeda.
2. Dilakukan penelitian ulang dengan mempertimbangkan salah satu faktor lain penyebab korosi selain perubahan pH.
3. Dilakukan penelitian ulang dengan menggunakan semen jenis khusus.
4. Pencatatan perubahan potensial pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan multimeter. Untuk mendapatkan hasil catatan yang baik dan akurat, dilakukan dengan menggunakan *data logger* yang dihubungkan dengan PC.
5. Dalam pembuatan benda uji, pemadatan dilakukan dengan baik dan benar, agar benda uji yang dihasilkan tidak keropos.

C. Keterbatasan Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat keterbatasan masalah, diantaranya adalah:

1. Beton dengan agregat *recycle* 1 keropos, sehingga berpengaruh terhadap data yang dihasilkan.
2. Alat multimeter yang digunakan untuk membaca potensial benda uji kurang akurat dalam membaca data potensial yang masuk kedalam beton.
3. Kuat tekan yang dihasilkan dari beton dengan agregat kasar daur ulang jauh dibawah dari kuat tekan rata-rata yang direncanakan (f'_{cr}), yakni 46,97 MPa.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Shamsad, 2009, *Thechniques for Inducing Accelerated Corrosion of Stell in Concrete*, The Arabian Journal for Science and Engineering Vol 34, No 2C, Saudi Arabia.,pp. 95-104.
- Broomfield, J. P., 2007, *Corrosion of Steel in Concrete 2nd Edition*, Taylor and Francis, London and New York.
- Dipohusodo, I., 1994, *Struktur Beton Bertulang*, Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- El-Reedy, M. A., 2008, *Steel-Reinforced Concerete Structure*, CRC Press, London and New York.
- Frankydamo, 2007, *Pengertian Korosi*, (<http://digilib.itb.ac.id/files/disk1/545/jbptitbpp-gdl-frankydamo-27244-2-2007ts-2.pdf>, diakses pada tanggal 24 Desember 2012, pukul 09.00 PM).
- Putra, Iriansyah, 2010, *Metode Kehilangan Berat*, (<http://irianpoo.blogspot.com/2010/01/laju-korosi.html>, diakses pada tanggal 23 Maret 2013, pukul 08.54 PM).
- Panda, 2012, *Jenis-jenis Korosi dan Cara Pencegahannya*, (<http://pandapoo-panda.blogspot.com/2012/04/jenis-jenis-korosi-dan-cara.html>, diakses pada tanggal 20 April 2013, pukul 09:22 PM).
- Pradhity, 2009, *Beton Daur Ulang*, (<http://pradhity.blogspot.com/2009/04/beton-daur-ulang.html>, diakses pada tanggal 7 November 2012, pukul 01:55 PM).
- Pramudiyanto, 2011, *Pengaruh Tebal Selimut Beton Normal pada Laju Korosi Baja Tulangan*, Yogyakarta: Pascasarjana Universitas Gadjah Mada.
- _____, 2010, *Korosi baja tulangan pada beton*, (<http://pramudiyanto.wordpress.com/2010/09/13/korosi-baja-tulangan-pada-beton/>, diakses pada tanggal 12 November 2012, pukul 10:15 PM).
- Mulyono, T., 2004, *Teknologi Beton*, Yogyakarta: Andi Offset.
- Nugraha, P., Antony, 2007, *Teknologi Beton*, Yogyakarta: Andi Offset.

- Rosyadi,A,. 2011. *Kajian Keausan Agregat Kasar Dan Kuat Tekan Beton Dengan Agregat Kasar Dari Beton Daur Ulang Pada Produksi Beton Masal*. Yogyakarta: Perpustakaan Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan UNY.
- Samekto, W., Rahmadiyanto, C., 2001, *Teknologi Beton*, Yogyakarta: Kanisius.
- Setiawan, BT. 2012. *Kajian Keausan Dan Porositas Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Agregat Kasar Dari beton Daur Ulang Menggunakan Kerikil Dari Sungai Opak*. Yogyakarta: Perpustakaan Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan UNY.
- Triyono, Agus. 2011. *Kajian Porositas Agregat Kasar Terhadap Keausan Agregat Dari Beton Daur Ulang*. Yogyakarta: Perpustakaan Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan UNY.
- Verlanda, N., 2011, *Faktor-faktor yang Mempengaruhi Korosi*, (<http://neysverlanda.blogspot.com/2011/08/faktor-faktor-yang-mempengaruhi-korosi.html>, diakses pada tanggal 18 Oktober 2012, pukul 05:39 PM).
- Wachyuni, S., 2013, *Kajian Keausan dan Porositas Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton Mutu Tinggi dengan Agregat Kasar Dari Beton Daur Ulang*, Yogyakarta: Perpustakaan Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan UNY.
- Wibawa, T., 2008, *Sifat-sifat Beton Segar*, (<http://tatang-wibawa.blogspot.com/>, diakses pada tanggal 19 Oktober 2012, pukul 08:27 PM).



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Certificate No. QSC 00592

Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Halus

1. Pengujian kadar air

Alat : 1) Oven; 2) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram;
3) Piring; 4) Sendok.

Bahan : Pasir.

Langkah pengujian :

1. Menimbang pasir sebanyak 100 gram 3x, misalkan beratnya A gram.
2. Pasir dituang ke dalam piring.
3. Piring yang berisi pasir dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu 105°C.
4. Mengeluarkan pasir dari dalam oven, kemudian timbang kembali, misalkan beratnya B gram.

Pada pengujian kadar air ini diperoleh data sebagai berikut:

Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus Alami

No.	Berat Awal (A) (gram)	Berat Kering Oven (B) (gram)	Kadar Air = $\frac{A-B}{B} \times 100$ (%)
1.	200	198,68	0,6644
2.	200	198,39	0,8115
3.	200	198,35	0,8319
	Rerata		0,7693

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Juni 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Halus

2. Pengujian kadar air SSD

Alat : 1) Oven; 2) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram;
3) Piring; 4) Sendok; 5) Kerucut terpancung (conic).

Bahan : 1) Pasir; 2) Air.

Langkah pengujian :

1. Membuat pasir SSD
2. Menimbang pasir sebanyak 200 gram 3x, misalkan beratnya A gram.
3. Pasir dituang ke dalam piring.
4. Piring yang berisi pasir dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu 105°C.
5. Mengeluarkan pasir dari dalam oven, kemudian timbang kembali, misalkan beratnya B gram.

Pada pengujian kadar air ini diperoleh data sebagai berikut:

Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Halus SSD

No.	Berat Awal (A) (gram)	Berat Kering Oven (B) (gram)	Kadar Air = $\frac{A-B}{B} \times 100$ (%)
1.	200	197,01	1,5177
2.	200	196,81	1,6209
3.	200	197,18	1,4302
Rerata			1,5229

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Juni 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Halus

3. Pengujian berat jenis pasir alami

Alat : 1) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram; 2) Gelas ukur;
3) Sendok.

Bahan : 1) Pasir; 2) Air.

Langkah pengujian :

1. Menimbang pasir sebanyak 200 gram 3x.
2. Mengisi gelas ukur dengan air sebanyak 200 ml.
3. Memasukkan pasir ke dalam gelas ukur yang sudah di isi air.
4. Didiamkan sebentar sampai tidak ada gelembungnya.
5. Mengukur kenaikan volumenya (pertambahan volume adalah volume pasir).

Pada pengujian berat jenis ini diperoleh data sebagai berikut:

Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus Alami

No.	Berat Pasir (gram)	Volume (mL)	Berat Jenis = $\frac{\text{berat}}{\text{volume}}$ (gr/mL)
1.	100	40	2,50
2.	100	40	2,50
3.	100	40	2,50
Rerata			2,50

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Juni 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir

Bahan : Agregat Halus

4. Pengujian berat jenis pasir SSD

Alat :1) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram; 2) Gelas ukur
3) Sendok.

Bahan :1) Pasir; 2) Air.

Langkah pengujian :

1. Membuat pasir SSD.
2. Menimbang pasir sebanyak 200 gram 3x, misalkan beratnya A gram.
3. Memasukkan pasir ke dalam gelas ukur yang sebelumnya sudah di isi air sebanyak 200 ml.
4. Didiamkan sampai tidak ada gelembungnya.
5. Mengukur kenaikan volume pasir (pertambahan volume adalah volume pasir).

Pada pengujian berat jenis ini diperoleh data sebagai berikut:

Pengujian Berat Jenis Agregat Halus SSD

No.	Berat Pasir (gram)	Volume (mL)	Berat Jenis = $\frac{\text{berat}}{\text{volume}}$ (gr/mL)
1.	200	72,5	2,7586
2.	200	72,5	2,7586
3.	200	75	2,6667
Rerata			2,728

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Juni 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Halus

5. Pengujian kadar lumpur pasir alam

Alat : 1) Oven; 2) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram;
3) Piring; 4) Sendok.

Bahan : 1) Pasir; 2) Air.

Langkah pengujian :

1. Mengambil pasir sebanyak satu piring penuh.
2. Memasukkan pasir ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu 105⁰C.
3. Pasir di ambil dari oven, kemudian ditimbang sebanyak 200 gram 3x misalkan beratnya A gram, dengan A = berat pasir setelah di oven tetapi masih ada lumpurnya.
4. Pasir dicuci sampai bersih.
5. Memasukkan kembali pasir ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu 105⁰C.
6. Pasir dikeluarkan dari oven dan ditimbang kembali, misalkan beratnya B gram, dengan B = berat pasir setelah di oven yang sudah tidak mengandung lumpur.

Pada pengujian berat jenis ini diperoleh data sebagai berikut:

Hasil Pengujian Kadar Lumpur

No.	Berat Awal (A) (gram)	Berat Kering (B) (gram)	Kadar Lumpur = $\frac{A-B}{B} \times 100$ (%)
1.	100,05	99,97	0,8000
2.	100,13	99,92	0,2102
3.	100,10	99,87	0,2303
Rerata			0,1735

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Juni 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir

Bahan : Agregat Halus

6. Pengujian bobot isi gembur

Alat : 1) Bejana; 2) Timbangan; 3) Jangka sorong

Bahan : Pasir

Langkah pengujian :

1. Menimbang bejana dalam keadaan kosong.
2. Memasukkan pasir ke dalam bejana tersebut sampai penuh, kemudian pasir ditumbuk sampai padat lalu di timbang kembali.
3. Berat pasir dihitung dengan rumus:

$$\text{Berat pasir} = \text{berat seluruhnya} - \text{berat bejana}.$$
4. Menghitung volume bejana dengan menggunakan jangka sorong dalam satuan dm.

Pada pengujian bobot isi gembur ini diperoleh data sebagai berikut:

Hasil Pengujian Bobot Isi Gembur

Berat Bejana (kg)	Berat Bejana + Pasir (kg)	Volume Bejana (liter)	Bobot Isi = $\frac{\text{Berat Bejana} - \text{Pasir}}{\text{volume bejana}}$ (kg/liter)
10,91	31,12	14,413	1,402

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Juni 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Certificate No. QSC 00592

Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Halus

7. Pengujian bobot isi padat

Alat : 1) Bejana; 2) Timbangan; 3) Jangka sorong; 4) Tongkat besi.

Bahan : Pasir.

Langkah pengujian :

1. Menimbang bejana dalam keadaan kosong.
2. Memasukkan pasir ke dalam bejana tersebut sampai penuh, kemudian pasir ditumbuk sampai padat lalu di timbang kembali.
3. Berat pasir dihitung dengan rumus:

$$\text{Berat pasir} = \text{berat seluruhnya} - \text{berat bejana}.$$
4. Menghitung volume bejana dengan menggunakan jangka sorong dalam satuan dm.

Pada pengujian bobot isi gembur ini diperoleh data sebagai berikut:

Pengujian Bobot Isi Padat

Berat Bejana (kg)	Berat Bejana + Pasir (kg)	Volume Bejana (liter)	Bobot Isi = $\frac{\text{Berat Bejana} - \text{Pasir}}{\text{volume bejana}}$ (kg/liter)
10,91	32,24	14,413	1,480

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Juni 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Halus

8. Pengujian kadar zat organik

Alat : 1) Botol susu; 2) Warna pembanding standar.

Bahan : 1) Pasir; 2) Soda api (NaOH); 3) Air.

Langkah kerja :

1. Membuat larutan NaOH sebanyak 3%

$$\frac{3 \text{ gram soda api}}{100 \text{ gram air}} \times 100\% = 3\%.$$

2. Memasukkan pasir kedalam botol susu sampai setinggi 120 ml.

3. Memasukkan 3% larutan NaOH ke dalam botol susu sampai setinggi 200 ml.

4. Menutup rapat botol, kemudian di kocok – kocok selama $\pm$ 10 menit.

5. Didiamkan selama 24 jam.

6. Perhatikan warna air dan bandingkan dengan menggunakan pembanding warna standar, warna standar ditunjukkan oleh warna no. 3. Semakin gelap warnanya, maka semakin banyak kandungan zat organiknya.

Pada pengujian zat organik ini menunjukkan warna no 1 dalam warna pembanding.



Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Juni 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP. 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Certificate No. QSC 00592

Proyek : Proyek Akhir

Bahan : Agregat Halus

9. Pengujian Modulus Kehalusan Butir (MKB)

Alat : 1) Saringan atau ayakan pasir; 2) Mesin pengayak;
3) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram; 4) Piring; 5) Kuas

Bahan : Pasir

Langkah pengujian :

1. Mengambil pasir dalam keadaan kering, kemudian timbang sebanyak 1 kg.
2. Masukkan pasir ke dalam ayakan yang sudah tersusun.
3. Meletakkan ayakan tersebut dalam mesin pengayak, dan ayak selama 3 menit.
4. Mesin pengayak dimatikan dan diputar 90^0 , kemudian ayak kembali selama 2 menit.
5. Pasir dituang ke dalam piring sesuai nomor ayakan, bersihkan sisa pasir yang tertinggal dalam ayakan dengan kuas.
6. Menimbang berat pasir sesuai dengan nomor ayakan.
7. Menghitung persentase tembus kumulatif untuk menentukan gradasi agregat halus.
8. Menghitung modulus kehalusan butirnya.

Pada pengujian MKB ini diperoleh data sebagai berikut:

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Juni 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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

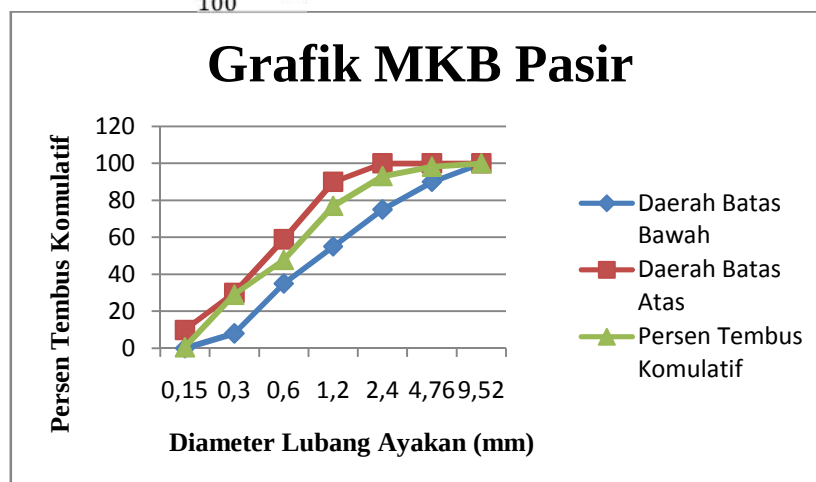


Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Halus

Hasil Pengujian MKB Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Persen Tertinggal (%)	Persentase Tertinggal Kumulatif (%)	Persentase Tembus Kumulatif (%)
9,52	0	0	0	100
4,8	17,39	1,7510	1,7510	88,249
2,4	50,81	5,1161	6,8672	93,1328
1,2	160,08	16,1189	22,986	77,0141
0,6	289,81	29,181	52,167	47,8326
0,3	186,67	18,796	70,964	29,0365
0,15	281,67	28,362	99,325	0,67463
< 0,15	6,7	0,6746	100	-
Σ	993,13	100	354,06	-

$$\text{MKB Pasir} = \frac{354,06}{100} = 3,5406$$



Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Juni 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP. 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir

Bahan : Agregat Kasar Asli

1. Pengujian kadar air kerikil alami

Alat : 1) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram; 2) Piring seng;
3) Oven

Bahan : Kerikil

Langkah Pengujian :

1. Menimbang kerikil sebanyak ± 200 gram 3x (misalkan A gram).
2. Kerikil di tuang kedalam piring.
3. Memasukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu 105°C .
4. Keluarkan kerikil dari dalam oven, kemudian timbang kembali (misalkan beratnya B gram).

Pada pengujian kadar air agregat kasar ini diperoleh data sebagai berikut:

Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar Alami

No.	Berat Awal (A) (gram)	Berat Kering Oven (B) (gram)	Kadar Air = $\frac{A-B}{B} \times 100$ (%)
1.	200	196,73	1,6622
2.	200	195,92	2,0825
3.	200	198,81	0,5986
	Rerata		1,4477

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Juni 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir

Bahan : Agregat Kasar Asli

2. Pengujian kadar air kerikil SSD

Alat : 1) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram; 2) Piring seng
3) Oven; 4) Lap; 5) Ember untuk merendam kerikil

Bahan : 1) Kerikil; 2) Air

Langkah Pengujian:

1. Membuat kerikil SSD
2. Menimbang kerikil ± 200 gram 3x (misalkan beratnya A gram).
3. Kerikil tersebut kedalam piring.
4. Memasukkan piring yang bersisi kerikil tadi kedalam oven selama 24 jam dengan suhu 105°C .
5. Mengeluarkan kerikil dari dalam oven, kemudian timbang kembali (misalkan beratnya B gram).

Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar SSD

No.	Berat Awal (A) (gram)	Berat Kering Oven (B) (gram)	Kadar Air = $\frac{A-B}{B} \times 100$ (%)
1.	200,17	196,56	1,8366
2.	200,43	197,08	1,6998
3.	200,52	196,27	2,1654
Rerata			1,9006

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Juni 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir

Bahan : Agregat Kasar Asli

3. Pengujian berat jenis kerikil alami

Alat : 1) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram; 2) Gelas ukur

Bahan : 1) Kerikil; 2) Air

Langkah pengujian :

1. Menimbang kerikil ± 200 gram 3x.
2. Masukkan kerikil tersebut ke dalam gelas ukur yang sebelumnya sudah di isi air sebanyak 200 ml.
3. Diamkan sebentar sampai tidak ada gelembungnya.
4. Ukur kenaikan volumenya (penambahan volume adalah volume kerikil)

Pada pengujian berat jenis agregat kasar ini diperoleh data sebagai berikut:

Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar Alami

No.	Berat Kerikil (gram)	Volume (mL)	Berat Jenis = $\frac{\text{berat}}{\text{volume}}$ (gr/mL)
1.	200	77	2,5974
2.	200	76	2,6316
3.	200	78	2,5641
Rerata			2,5977

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Juni 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir

Bahan : Agregat Kasar Asli

4. Pengujian berat jenis kerikil SSD

Alat : 1) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram; 2) Gelas ukur

Bahan : 1) Kerikil; 2) Air

Langkah pengujian :

1. Setelah di dapat kerikil SSD, timbang kerikil ± 200 gram 3x.
2. Memasukkan kerikil tersebut ke dalam gelas ukur yang sebelumnya sudah di isi air sebanyak 200 ml.
3. Diamkan sebentar sampai tidak ada gelembungnya.
4. Ukur kenaikan volumenya (penambahan volume adalah volume kerikil)

Pada pengujian berat jenis SSD ini diperoleh data sebagai berikut:

Pengujian Berat Jenis Agregat Halus SSD

No.	Berat Kerikil (gram)	Volume (mL)	Berat Jenis = $\frac{\text{berat}}{\text{volume}}$ (gr/mL)
1.	200	75	2,6667
2.	200	77	2,5974
3.	200	75	2,6667
Rerata			2,6436

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Juni 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Asli

5. Pengujian kadar lumpur

Alat : 1) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram; 2) Oven
3) Mangkuk; 4) Piring seng

Bahan : 1) Kerikil; 2) Air

Langkah pengujian:

1. Mengambil kerikil 1 mangkuk penuh.
2. Memasukkan kerikil ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu 105⁰C.
3. Mengeluarkan kerikil dari oven, menimbang sebanyak ± 200 gram 3x beratnya A gram (berat kerikil setelah di oven tetapi masih mengandung lumpur).
4. Kerikil dicuci sampai bersih.
5. Memasukkan kembali kerikil ke oven selama 24 jam dengan suhu 105⁰C.
6. Mengeluarkan kerikil dari oven, menimbang kembali kerikil dengan beratnya B gram (berat kerikil setelah di oven yang sudah tidak mengandung lumpur).

Hasil Pengujian Kadar Lumpur

No.	Berat Awal (A) (gram)	Berat Kering (B) (gram)	Kadar Lumpur = $\frac{A-B}{B} \times 100$ (%)
1.	201,93	201,55	0,1885
2.	200,62	200,62	0,1196
3.	201,34	201,34	0,2036
Rerata			0,1706

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Juni 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Asli

6. Pengujian bobot isi gembur

Alat : 1) Timbangan; 2) Bejana; 3) Jangka sorong

Bahan : Kerikil

Langkah pengujian:

1. Menimbang bejana dalam keadaan kosong.
2. Memasukkan kerikil ke dalam bejana sampai penuh, kemudian di timbang kembali.
3. Menghitung berat kerikil dengan rumus :
Berat kerikil = berat seluruhnya – berat bejana
4. Menghitung volume bejana dalam satuan dm.

Pada pengujian bobot isi gembur ini diperoleh data sebagai berikut:

Hasil Pengujian Bobot Isi Gembur

Berat Bejana (A) (kg)	Berat Bejana + Agregat (B) (kg)	Volume Bejana (liter)	Bobot Isi = $\frac{B-A}{V}$ (kg/liter)
10,91	31,12	14,4149	1,4020

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Juni 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Asli

7. Pengujian bobot isi padat

Alat : 1) Timbangan; 2) Bejana; 3) Jangka sorong; 4) Tongkat besi

Bahan : Kerikil

Langkah pengujian:

1. Menimbang bejana dalam keadaan kosong.
2. Memasukkan kerikil ke dalam bejana sampai penuh, dan ditumbuk sampai kerikil dalam bejana terisi padat kemudian di timbang kembali.
3. Menghitung berat kerikil dengan rumus :
Berat kerikil = berat seluruhnya – berat bejana
4. Menghitung volume bejana dalam satuan dm.

Pada pengujian bobot isi padat ini diperoleh data sebagai berikut:

Hasil Pengujian Bobot Isi Padat

Berat Bejana (A) (kg)	Berat Bejana + Agregat (B) (kg)	Volume Bejana (liter)	Bobot Isi = $\frac{B-A}{V}$ (kg/liter)
10,91	31,94	14,4149	1,4589

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Juni 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Asli

8. Pengujian keausan kerikil

Alat :1) Timbangan; 2) Ayakan 20 mm; 15 mm; 10 mm; 3) Mangkuk;
4) Oven; 5) Alat Los Angeles + kelereng baja; 6) Ayakan 1,7 mm

Bahan :1) Kerikil; 2) Air

Langkah pengujian:

1. Menyiapkan kerikil yang lolos ayakan 20 mm dan tertinggal 15 mm ± 3 kg (kerikil 1).
2. Menyiapkan kerikil yang lolos ayakan 15 mm dan tertinggal 10 mm ± 3 kg (kerikil 1).
3. Kerikil 1 dan 2 di cuci sampai bersih.
4. Kerikil di oven selama 24 jam dengan suhu 105°C.
5. Menimbang kerikil 1 dan 2 masing $\pm 2,5$ kg.
6. Memasukkan kerikil dan kelereng baja ke dalam mesin Los Angeles, putar sebanyak 500 putaran, setelah selesai ayak dengan saringan 1,7mm.
7. Mengambil kerikil yang tertinggal dalam saringan 1,7 mm, cuci bersih.
8. Kerikil di oven kembali selama 24 jam dengan suhu 105°C.
9. Menimbang kembali kerikil.

Pada pengujian keausan agregat kasar ini diperoleh data sebagai berikut:

Hasil Pengujian Keausan Kerikil

	Berat Awal (gr)	Berat Agregat Lolos Ayakan (gr)	Kausan Agregat $= \frac{\text{Berat Lolos}}{\text{Berat Awal}} \times 100\%$ (%)
Sebelum direndam	5000	592	11,84
Sesudah direndam	5000	1141	22,82

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Juni 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir

Bahan : Agregat Kasar Asli

9. Pengujian modulus kehalusan butir (MKB)

Alat : 1) Timbangan; 2) 1 set ayakan kerikil; 3) Mesin pengayak; 4) Piring seng; 5) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram.

Bahan : kerikil

Langkah pengujian:

1. Menimbang kerikil sebanyak ± 4 kg.
2. Memasukkan kerikil ke dalam ayakan yang sudah tersusun dan nyalakan mesin pengayak.
3. Mengeluarkan kerikil dan simpan dalam piring sesuai dengan nomor lubang ayakan.
4. Menimbang kerikil sesuai nomor lubang ayakan.
5. Mengitung modulus kehalusan butirnya dengan memasukkan data dalam tabel.

Pada pengujian MKB ini diperoleh data sebagai berikut:

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Juni 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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

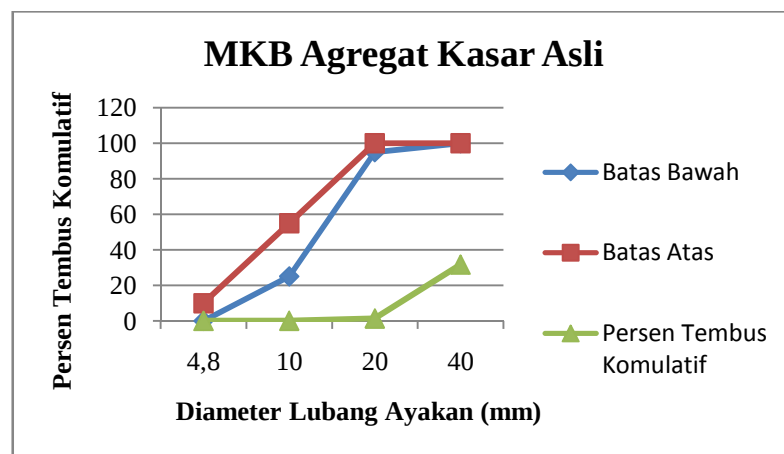


Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Asli

Hasil Pengujian MKB Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Persen Tertinggal (%)	Persentase Tertinggal Kumulatif (%)	Persentase Tembus Kumulatif (%)
12,5	2738,5	68,3656	68,3656	31,6344
9,52	1211	30,2321	98,5877	1,40226
4,76	51,88	1,29516	99,8929	0,1071
2,4	0,67	0,01673	99,9096	0,09037
1,2	0,35	0,00874	99,9184	0,08163
0,6	0,56	0,01398	99,9323	0,06765
0,3	0,21	0,00524	99,9376	0,06765
0,15	1,19	0,02971	99,9673	0,06241
<0,15	0,58	0,01448	99,9818	0,0327
Filler	0,73	0,01822	100	-
Σ	4005,67	100	966,503	33,4968

$$\text{MKB Kerikil Alami} = \frac{966,503}{100} = 9,66503$$



Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Juni 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 1

1. `Pengujian kadar air kerikil alami

Alat : 1) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram; 2) Piring seng;
3) Oven

Bahan : Kerikil

Langkah Pengujian :

1. Menimbang kerikil sebanyak ± 200 gram 3x (misalkan A gram).
2. Kerikil di tuang kedalam piring.
3. Memasukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu 105°C .
4. Keluarkan kerikil dari dalam oven, kemudian timbang kembali (misalkan beratnya B gram).

Pada pengujian kadar air agregat kasar ini diperoleh data sebagai berikut:

Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar

No.	Berat Awal (A) (gram)	Berat Kering Oven (B) (gram)	Kadar Air = $\frac{A-B}{B} \times 100$ (%)
1.	200	195,62	2,2390
2.	200	195,11	2,5063
3.	200	195,57	2,2652
	Rerata		2,3368

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Oktober 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 1

2. Pengujian kadar air kerikil SSD

Alat : 1) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram; 2) Piring seng
3) Oven; 4) Lap; 5) Ember untuk merendam kerikil

Bahan : 1) Kerikil; 2) Air

Langkah Pengujian:

1. Membuat kerikil SSD
2. Menimbang kerikil ± 200 gram 3x (misalkan beratnya A gram).
3. Kerikil tersebut kedalam piring.
4. Memasukkan piring yang bersisi kerikil tadi kedalam oven selama 24 jam dengan suhu 105°C .
5. Mengeluarkan kerikil dari dalam oven, kemudian timbang kembali (misalkan beratnya B gram).

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

Pengujian Kadar Air Agregat Kasar SSD

No.	Berat Awal (A) (gram)	Berat Kering Oven (B) (gram)	Kadar Air = $\frac{A-B}{B} \times 100$ (%)
1.	200,66	190,04	5,5883
2.	200,87	189,24	6,1456
3.	200,78	188,46	6,5372
Rerata			6,0904

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Oktober 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 1

3. Pengujian berat jenis kerikil alami

Alat : 1) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram; 2) Gelas ukur

Bahan : 1) Kerikil; 2) Air

Langkah pengujian :

1. Menimbang kerikil ± 200 gram 3x.
2. Masukkan kerikil tersebut ke dalam gelas ukur yang sebelumnya sudah di isi air sebanyak 200 ml.
3. Diamkan sebentar sampai tidak ada gelembungnya.
4. Ukur kenaikan volumenya (pertambahan volume adalah volume kerikil)

Pada pengujian berat jenis agregat kasar ini diperoleh data sebagai berikut:

Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

No.	Berat Kerikil (gram)	Volume (mL)	Berat Jenis = $\frac{\text{berat}}{\text{volume}}$ (gr/mL)
1.	200	83	2,4096
2.	200	85	2,3529
3.	200	82	2,4390
Rerata			2,4005

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Oktober 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 1

4. Pengujian berat jenis kerikil SSD

Alat : 1) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram; 2) Gelas ukur

Bahan : 1) Kerikil; 2) Air

Langkah pengujian :

1. Setelah di dapat kerikil SSD, timbang kerikil ± 200 gram 3x.
2. Memasukkan kerikil tersebut ke dalam gelas ukur yang sebelumnya sudah di isi air sebanyak 200 ml.
3. Diamkan sebentar sampai tidak ada gelembungnya.
4. Ukur kenaikan volumenya (penambahan volume adalah volume kerikil)

Pada pengujian berat jenis SSD ini diperoleh data sebagai berikut:

Pengujian Berat Jenis Agregat Halus SSD

No.	Berat Kerikil (gram)	Volume (mL)	Berat Jenis = $\frac{\text{berat}}{\text{volume}}$ (gr/mL)
1.	200,52	80	2,5065
2.	200,76	84	2,39
3.	200,26	82	2,4422
Rerata			2,4462

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Oktober 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 1

5. Pengujian kadar lumpur

Alat : 1) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram; 2) Oven 3) Mangkuk;
4) Piring seng

Bahan : 1) Kerikil; 2) Air

Langkah pengujian:

1. Mengambil kerikil 1 mangkuk penuh.
2. Memasukkan kerikil ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu 105⁰C.
3. Mengeluarkan kerikil dari oven, menimbang sebanyak ± 200 gram 3x beratnya A gram (berat kerikil setelah di oven tetapi masih mengandung lumpur).
4. Kerikil dicuci sampai bersih.
5. Memasukkan kembali kerikil ke oven selama 24 jam dengan suhu 105⁰C.
6. Mengeluarkan kerikil dari oven, menimbang kembali kerikil dengan beratnya B gram (berat kerikil setelah di oven yang sudah tidak mengandung lumpur).

Pengujian Kadar Lumpur

No.	Berat Awal (A) (gram)	Berat Kering (B) (gram)	Kadar Lumpur = $\frac{A-B}{B} \times 100$ (%)
1.	200,72	199,96	0,3801
2.	200,34	199,93	0,2051
3.	200,53	199,93	0,3001
Rerata			0,2951

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Oktober 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 1

6. Pengujian bobot isi gembur

Alat : 1) Timbangan; 2) Bejana; 3) Jangka sorong

Bahan : Kerikil

Langkah pengujian:

1. Menimbang bejana dalam keadaan kosong.
2. Memasukkan kerikil ke dalam bejana sampai penuh, kemudian di timbang kembali.
3. Menghitung berat kerikil dengan rumus :
Berat kerikil = berat seluruhnya – berat bejana
4. Menghitung volume bejana dalam satuan dm.

Pada pengujian bobot isi gembur ini diperoleh data sebagai berikut:

Pengujian Bobot Isi Gembur

Berat Bejana (A) (kg)	Berat Bejana + Agregat (B) (kg)	Volume Bejana (liter)	Bobot Isi = $\frac{B-A}{V}$ (kg/liter)
10,86	27,76	15,2062	1,1114

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Oktober 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 1

7. Pengujian bobot isi padat

Alat : 1) Timbangan; 2) Bejana; 3) Jangka sorong; 4) Tongkat besi

Bahan : Kerikil

Langkah pengujian:

1. Menimbang bejana dalam keadaan kosong.
2. Memasukkan kerikil ke dalam bejana sampai penuh, dan ditumbuk sampai kerikil dalam bejana terisi padat kemudian di timbang kembali.
3. Menghitung berat kerikil dengan rumus :
Berat kerikil = berat seluruhnya – berat bejana
4. Menghitung volume bejana dalam satuan dm.

Pada pengujian bobot isi padat ini diperoleh data sebagai berikut:

Pengujian Bobot Isi Padat

Berat Bejana (A) (kg)	Berat Bejana + Agregat (B) (kg)	Volume Bejana (liter)	Bobot Isi = $\frac{B-A}{V}$ (kg/liter)
10,86	29,14	15,2062	1,2021

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Oktober 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 1

8. Pengujian keausan kerikil

Alat :1) Timbangan; 2) Ayakan 20 mm; 15 mm; 10 mm; 3) Mangkuk;
4) Oven; 5) Alat Los Angeles + kelereng baja; 6) Ayakan 1,7 mm

Bahan :1) Kerikil; 2) Air

Langkah pengujian:

1. Menyiapkan kerikil yang lolos ayakan 20 mm dan tertinggal 15 mm ± 3 kg (kerikil 1).
2. Menyiapkan kerikil yang lolos ayakan 15 mm dan tertinggal 10 mm ± 3 kg (kerikil 1).
3. Kerikil 1 dan 2 di cuci sampai bersih.
4. Kerikil di oven selama 24 jam dengan suhu 105°C.
5. Menimbang kerikil 1 dan 2 masing $\pm 2,5$ kg.
6. Memasukkan kerikil dan kelereng baja ke dalam mesin Los Angeles, putar sebanyak 500 putaran, setelah selesai ayak dengan saringan 1,7mm.
7. Mengambil kerikil yang tertinggal dalam saringan 1,7 mm, cuci bersih.
8. Kerikil di oven kembali selama 24 jam dengan suhu 105°C.
9. Menimbang kembali kerikil.

Pada pengujian keausan agregat kasar ini diperoleh data sebagai berikut:

Hasil Pengujian Keausan Kerikil

	Berat Awal (gr)	Berat Agregat Lolos Ayakan (gr)	Kausan Agregat $= \frac{\text{Berat Lolos}}{\text{Berat Awal}} \times 100\%$ (%)
Sebelum direndam	5000	1001	20,02
Sesudah direndam	5000	1225	24,50

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Oktober 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 1

9. Pengujian modulus kehalusan butir (MKB)

Alat : 1) Timbangan; 2) 1 set ayakan kerikil; 3) Mesin pengayak; 4) Piring seng; 5) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram.

Bahan : kerikil

Langkah pengujian:

1. Menimbang kerikil sebanyak ± 4 kg.
2. Memasukkan kerikil ke dalam ayakan yang sudah tersusun dan nyalakan mesin pengayak.
3. Mengeluarkan kerikil dan simpan dalam piring sesuai dengan nomor lubang ayakan.
4. Menimbang kerikil sesuai nomor lubang ayakan.
5. Mengitung modulus kehalusan butirnya dengan memasukkan data dalam tabel.

Pada pengujian MKB ini diperoleh data sebagai berikut:

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Oktober 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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

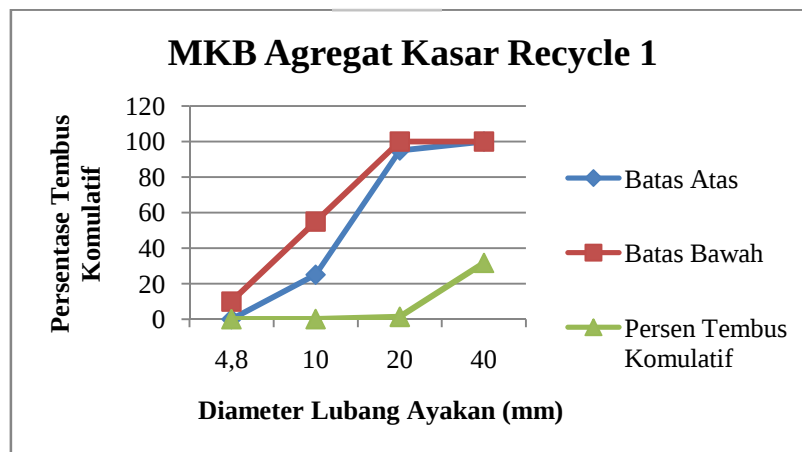


Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 1

Pengujian Modulus Kehalusan Butir (MKB) Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Persen Tertinggal (%)	Persentase Tertinggal Kumulatif (%)	Persentase Tembus Kumulatif (%)
12,5	3107	77,6997	77,6997	22,3003
9,52	846	21,1567	98,8564	1,14361
4,76	28,17	0,70447	99,5609	0,43914
2,4	8,54	0,21357	99,7744	0,22557
1,2	3,46	0,08653	99,861	0,13904
0,6	1,77	0,04426	99,9052	0,09478
0,3	0,95	0,02376	99,929	0,07102
0,15	1,45	0,03626	99,9652	0,03476
<0,15	0,58	0,01450	99,9797	0,02026
Filler	0,81	0,02026	100	-
Σ	3998,73	100	975,531	24,4685

$$\text{MKB Kerikil Recycle 1} = \frac{975,531}{100} = 9,75531$$



Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Oktober 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 2

1. Pengujian kadar air kerikil alami

Alat : 1) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram; 2) Piring seng;
3) Oven

Bahan : Kerikil

Langkah Pengujian :

1. Menimbang kerikil sebanyak ± 200 gram 3x (misalkan A gram).
2. Kerikil di tuang kedalam piring.
3. Memasukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu 105°C .
4. Keluarkan kerikil dari dalam oven, kemudian timbang kembali (misalkan beratnya B gram).

Pada pengujian kadar air agregat kasar ini diperoleh data sebagai berikut:

Pemeriksaan Kadar Air Agregat Kasar

No.	Berat Awal (A) (gram)	Berat Kering Oven (B) (gram)	Kadar Air = $\frac{A-B}{B} \times 100$ (%)
1.	200	193,77	3,2151
2.	200,79	195,8	2,5485
3.	201,8	194,47	3,7692
	Rerata		3,1776

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, November 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 2

2. Pengujian kadar air kerikil SSD

Alat : 1) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram; 2) Piring seng
3) Oven; 4) Lap; 5) Ember untuk merendam kerikil

Bahan : 1) Kerikil; 2) Air

Langkah Pengujian:

1. Membuat kerikil SSD
2. Menimbang kerikil ± 200 gram 3x (misalkan beratnya A gram).
3. Kerikil tersebut kedalam piring.
4. Memasukkan piring yang bersisi kerikil tadi kedalam oven selama 24 jam dengan suhu 105°C .
5. Mengeluarkan kerikil dari dalam oven, kemudian timbang kembali (misalkan beratnya B gram).

Pengujian Kadar Air Agregat Kasar SSD

No.	Berat Awal (A) (gram)	Berat Kering Oven (B) (gram)	Kadar Air = $\frac{A-B}{B} \times 100$ (%)
1.	200,11	186,23	7,4531
2.	200,21	186,75	7,2075
3.	200,16	185,68	7,7984
Rerata			7,4863

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, November 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 2

3. Pengujian berat jenis kerikil alami

Alat : 1) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram; 2) Gelas ukur

Bahan : 1) Kerikil; 2) Air

Langkah pengujian :

1. Menimbang kerikil ± 200 gram 3x.
2. Masukkan kerikil tersebut ke dalam gelas ukur yang sebelumnya sudah di isi air sebanyak 200 ml.
3. Diamkan sebentar sampai tidak ada gelembungnya.
4. Ukur kenaikan volumenya (pertambahan volume adalah volume kerikil)

Pada pengujian berat jenis agregat kasar ini diperoleh data sebagai berikut:

Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

No.	Berat Kerikil (gram)	Volume (mL)	Berat Jenis = $\frac{\text{berat}}{\text{volume}}$ (gr/mL)
1.	200,33	75	2,6711
2.	200,15	77,5	2,5826
3.	200,44	85	2,3581
Rerata			2,5372

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, November 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 2

4. Pengujian berat jenis kerikil SSD

Alat : 1) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram; 2) Gelas ukur

Bahan : 1) Kerikil; 2) Air

Langkah pengujian :

1. Setelah di dapat kerikil SSD, timbang kerikil ± 200 gram 3x.
2. Memasukkan kerikil tersebut ke dalam gelas ukur yang sebelumnya sudah di isi air sebanyak 200 ml.
3. Diamkan sebentar sampai tidak ada gelembungnya.
4. Ukur kenaikan volumenya (pertambahan volume adalah volume kerikil)

Pada pengujian berat jenis SSD ini diperoleh data sebagai berikut:

Pengujian Berat Jenis Agregat Halus SSD

No.	Berat Kerikil (gram)	Volume (mL)	Berat Jenis = $\frac{\text{berat}}{\text{volume}}$ (gr/mL)
1.	200,32	85	2,3567
2.	200,83	88	2,2822
3.	200,5	83	2,4157
Rerata			2,3515

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, November 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 2

5. Pengujian kadar lumpur

Alat : 1) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram; 2) Oven 3) Mangkuk;
4) Piring seng

Bahan : 1) Kerikil; 2) Air

Langkah pengujian:

1. Mengambil kerikil 1 mangkuk penuh.
2. Memasukkan kerikil ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu 105⁰C.
3. Mengeluarkan kerikil dari oven, menimbang sebanyak ± 200 gram 3x beratnya A gram (berat kerikil setelah di oven tetapi masih mengandung lumpur).
4. Kerikil dicuci sampai bersih.
5. Memasukkan kembali kerikil ke oven selama 24 jam dengan suhu 105⁰C.
6. Mengeluarkan kerikil dari oven, menimbang kembali kerikil dengan beratnya B gram (berat kerikil setelah di oven yang sudah tidak mengandung lumpur).

Pengujian Kadar Lumpur

No.	Berat Awal (A) (gram)	Berat Kering (B) (gram)	Kadar Lumpur = $\frac{A-B}{B} \times 100$ (%)
1.	201,69	198,55	1,5815
2.	200,58	197,54	1,5389
3.	200,55	196,63	1,9936
Rerata			1,7047

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, November 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP. 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 2

6. Pengujian bobot isi gembur

Alat : 1) Timbangan; 2) Bejana; 3) Jangka sorong

Bahan : Kerikil

Langkah pengujian:

1. Menimbang bejana dalam keadaan kosong.
2. Memasukkan kerikil ke dalam bejana sampai penuh, kemudian di timbang kembali.
3. Menghitung berat kerikil dengan rumus :
Berat kerikil = berat seluruhnya – berat bejana
4. Menghitung volume bejana dalam satuan dm.

Pada pengujian bobot isi gembur ini diperoleh data sebagai berikut:

Pengujian Bobot Isi Gembur

Berat Bejana (A) (kg)	Berat Bejana + Agregat (B) (kg)	Volume Bejana (liter)	Bobot Isi = $\frac{B-A}{V}$ (kg/liter)
10,82	27,1	15,9110	1,0232

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, November 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 2

7. Pengujian bobot isi padat

Alat : 1) Timbangan; 2) Bejana; 3) Jangka sorong; 4) Tongkat besi

Bahan : Kerikil

Langkah pengujian:

1. Menimbang bejana dalam keadaan kosong.
2. Memasukkan kerikil ke dalam bejana sampai penuh, dan ditumbuk sampai kerikil dalam bejana terisi padat kemudian di timbang kembali.
3. Menghitung berat kerikil dengan rumus :
Berat kerikil = berat seluruhnya – berat bejana
4. Menghitung volume bejana dalam satuan dm.

Pada pengujian bobot isi padat ini diperoleh data sebagai berikut:

Pengujian Bobot Isi Padat

Berat Bejana (A) (kg)	Berat Bejana + Agregat (B) (kg)	Volume Bejana (liter)	Bobot Isi = $\frac{B-A}{V}$ (kg/liter)
10,82	28,19	15,9110	1,0917

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, November 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 2

8. Pengujian keausan kerikil

Alat :1) Timbangan; 2) Ayakan 20 mm; 15 mm; 10 mm; 3) Mangkuk;
4) Oven; 5) Alat Los Angeles + kelereng baja; 6) Ayakan 1,7 mm

Bahan :1) Kerikil; 2) Air

Langkah pengujian:

1. Menyiapkan kerikil yang lolos ayakan 20 mm dan tertinggal 15 mm ± 3 kg (kerikil 1).
2. Menyiapkan kerikil yang lolos ayakan 15 mm dan tertinggal 10 mm ± 3 kg (kerikil 1).
3. Kerikil 1 dan 2 di cuci sampai bersih.
4. Kerikil di oven selama 24 jam dengan suhu 105°C.
5. Menimbang kerikil 1 dan 2 masing $\pm 2,5$ kg.
6. Memasukkan kerikil dan kelereng baja ke dalam mesin Los Angeles, putar sebanyak 500 putaran, setelah selesai ayak dengan saringan 1,7mm.
7. Mengambil kerikil yang tertinggal dalam saringan 1,7 mm, cuci bersih.
8. Kerikil di oven kembali selama 24 jam dengan suhu 105°C.
9. Menimbang kembali kerikil.

Pada pengujian keausan agregat kasar ini diperoleh data sebagai berikut:

Pengujian Keausan Kerikil

	Berat Awal (gr)	Berat Agregat Lolos Ayakan (gr)	Kausan Agregat $= \frac{\text{Berat Lolos}}{\text{Berat Awal}} \times 100\%$ (%)
Sebelum direndam	5000	1135	22,7
Sesudah direndam	5000	1259	25,18

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, November 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 2

9. Pengujian modulus kehalusan butir (MKB)

Alat : 1) Timbangan; 2) 1 set ayakan kerikil; 3) Mesin pengayak; 4) Piring seng; 5) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram.

Bahan : kerikil

Langkah pengujian:

1. Menimbang kerikil sebanyak ± 4 kg.
2. Memasukkan kerikil ke dalam ayakan yang sudah tersusun dan nyalakan mesin pengayak.
3. Mengeluarkan kerikil dan simpan dalam piring sesuai dengan nomor lubang ayakan.
4. Menimbang kerikil sesuai nomor lubang ayakan.
5. Mengitung modulus kehalusan butirnya dengan memasukkan data dalam tabel.

Pada pengujian MKB ini diperoleh data sebagai berikut:

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, November 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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

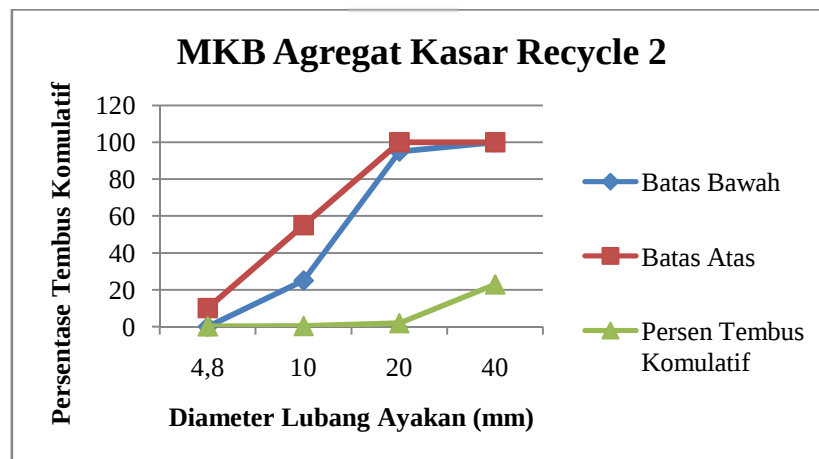


Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 2

Hasil Pengujian MKB Agregat Kasar Recycle 2

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Persen Tertinggal (%)	Persentase Tertinggal Kumulatif (%)	Persentase Tembus Kumulatif (%)
12,5	3102	77,4188	77,4188	22,5812
9,52	858,5	21,4262	98,845	1,15504
4,76	34,44	0,85954	99,7045	0,2955
2,4	6,05	0,15099	99,8555	0,14451
1,2	2,22	0,05541	99,9109	0,0891
0,6	1,11	0,0277	99,9386	0,0614
0,3	0,59	0,01473	99,9533	0,04667
0,15	1,08	0,02695	99,9803	0,01972
<0,15	0,36	0,00898	99,9893	0,0173
Filler	0,43	0,01073	100	-
Σ	4006,78	100	975,596	24,4039

$$\text{MKB Kerikil Recycle 2} = \frac{975,596}{100} = 9,75596\%$$



Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, November 2012
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 3

1. Pengujian kadar air kerikil alami

Alat : 1) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram; 2) Piring seng;
3) Oven

Bahan : Kerikil

Langkah Pengujian :

1. Menimbang kerikil sebanyak ± 200 gram 3x (misalkan A gram).
2. Kerikil di tuang kedalam piring.
3. Memasukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu 105°C .
4. Keluarkan kerikil dari dalam oven, kemudian timbang kembali (misalkan beratnya B gram).

Pada pengujian kadar air agregat kasar ini diperoleh data sebagai berikut:

Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar Alami

No.	Berat Awal (A) (gram)	Berat Kering Oven (B) (gram)	Kadar Air = $\frac{A-B}{B} \times 100$ (%)
1.	201,16	194,08	3,6480
2.	200,15	190,75	4,9279
3.	200,17	191,77	4,3802
	Rerata		4,3187

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Februari 2013
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 3

2. Pengujian kadar air kerikil alami

Alat : 1) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram; 2) Piring seng;
3) Oven

Bahan : Kerikil

Langkah Pengujian :

5. Menimbang kerikil sebanyak ± 200 gram 3x (misalkan A gram).
6. Kerikil di tuang kedalam piring.
7. Memasukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu 105°C .
8. Keluarkan kerikil dari dalam oven, kemudian timbang kembali (misalkan beratnya B gram).

Pada pengujian kadar air agregat kasar ini diperoleh data sebagai berikut:

Hasil Pengujian Kadar Air Agregat Kasar SSD

No.	Berat Awal (A) (gram)	Berat Kering Oven (B) (gram)	Kadar Air = $\frac{A-B}{B} \times 100$ (%)
1.	201,36	183,16	9,9367
2.	200,69	180,06	11,4573
3.	200,98	182,08	10,3801
Rerata			10,5913

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Februari 2013
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 3

3. Pengujian berat jenis kerikil alami

Alat : 1) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram; 2) Gelas ukur

Bahan : 1) Kerikil; 2) Air

Langkah pengujian :

1. Menimbang kerikil ± 200 gram 3x.
2. Masukkan kerikil tersebut ke dalam gelas ukur yang sebelumnya sudah di isi air sebanyak 200 ml.
3. Diamkan sebentar sampai tidak ada gelembungnya.
4. Ukur kenaikan volumenya (pertambahan volume adalah volume kerikil)

Pada pengujian berat jenis agregat kasar ini diperoleh data sebagai berikut:

Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar Alami

No.	Berat Kerikil (gram)	Volume (mL)	Berat Jenis = $\frac{\text{berat}}{\text{volume}}$ (gr/mL)
1.	100,74	40	2,5185
2.	100,89	43	2,3463
3.	100,23	45	2,2273
Rerata			2,3640

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Februari 2013
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 3

4. Pengujian berat jenis kerikil SSD

Alat : 1) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram; 2) Gelas ukur

Bahan : 1) Kerikil; 2) Air

Langkah pengujian :

1. Setelah di dapat kerikil SSD, timbang kerikil ± 200 gram 3x.
2. Memasukkan kerikil tersebut ke dalam gelas ukur yang sebelumnya sudah di isi air sebanyak 200 ml.
3. Diamkan sebentar sampai tidak ada gelembungnya.
4. Ukur kenaikan volumenya (pertambahan volume adalah volume kerikil)

Pada pengujian berat jenis SSD ini diperoleh data sebagai berikut:

Pengujian Berat Jenis Agregat Halus SSD

No.	Berat Kerikil (gram)	Volume (mL)	Berat Jenis = $\frac{\text{berat}}{\text{volume}}$ (gr/mL)
1.	100,42	43	2,3353
2.	100,58	44	2,2859
3.	100,79	43	2,3429
Rerata			2,3217

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Februari 2013
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 3

5. Pengujian kadar lumpur

Alat : 1) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram; 2) Oven
3) Mangkuk; 4) Piring seng

Bahan : 1) Kerikil; 2) Air

Langkah pengujian:

1. Mengambil kerikil 1 mangkuk penuh.
2. Memasukkan kerikil ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu 105⁰C.
3. Mengeluarkan kerikil dari oven, menimbang sebanyak ± 200 gram 3x beratnya A gram (berat kerikil setelah di oven tetapi masih mengandung lumpur).
4. Kerikil dicuci sampai bersih.
5. Memasukkan kembali kerikil ke oven selama 24 jam dengan suhu 105⁰C.
6. Mengeluarkan kerikil dari oven, menimbang kembali kerikil dengan beratnya B gram (berat kerikil setelah di oven yang sudah tidak mengandung lumpur).

Hasil Pengujian Kadar Lumpur

No.	Berat Awal (A) (gram)	Berat Kering (B) (gram)	Kadar Lumpur = $\frac{A-B}{B} \times 100$ (%)
1.	201,24	197,32	1,9866
2.	200,39	195,74	2,3756
3.	200,78	196,79	2,0275
Rerata			2,1299

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Februari 2013
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 3

6. Pengujian bobot isi gembur

Alat : 1) Timbangan; 2) Bejana; 3) Jangka sorong

Bahan : Kerikil

Langkah pengujian:

1. Menimbang bejana dalam keadaan kosong.
2. Memasukkan kerikil ke dalam bejana sampai penuh, kemudian di timbang kembali.
3. Menghitung berat kerikil dengan rumus :
Berat kerikil = berat seluruhnya – berat bejana
4. Menghitung volume bejana dalam satuan dm.

Pada pengujian bobot isi gembur ini diperoleh data sebagai berikut:

Hasil Pengujian Bobot Isi Gembur

Berat Bejana (A) (kg)	Berat Bejana + Agregat (B) (kg)	Volume Bejana (liter)	Bobot Isi = $\frac{B-A}{V}$ (kg/liter)
10,64	26,58	16,1287	0,9883

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Februari 2013
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 3

7. Pengujian bobot isi padat

Alat : 1) Timbangan; 2) Bejana; 3) Jangka sorong; 4) Tongkat besi

Bahan : Kerikil

Langkah pengujian:

1. Menimbang bejana dalam keadaan kosong.
2. Memasukkan kerikil ke dalam bejana sampai penuh, dan ditumbuk sampai kerikil dalam bejana terisi padat kemudian di timbang kembali.
3. Menghitung berat kerikil dengan rumus :
Berat kerikil = berat seluruhnya – berat bejana
4. Menghitung volume bejana dalam satuan dm.

Pada pengujian bobot isi padat ini diperoleh data sebagai berikut:

Pengujian Bobot Isi Padat

Berat Bejana (A) (kg)	Berat Bejana + Agregat (B) (kg)	Volume Bejana (liter)	Bobot Isi = $\frac{B-A}{V}$ (kg/liter)
10,64	28,36	16,1287	1,0987

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Februari 2013
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 3

8. Pengujian keausan kerikil

Alat :1) Timbangan; 2) Ayakan 20 mm; 15 mm; 10 mm; 3) Mangkuk;
4) Oven; 5) Alat Los Angeles + kelereng baja; 6) Ayakan 1,7 mm

Bahan :1) Kerikil; 2) Air

Langkah pengujian:

1. Menyiapkan kerikil yang lolos ayakan 20 mm dan tertinggal 15 mm ± 3 kg (kerikil 1).
2. Menyiapkan kerikil yang lolos ayakan 15 mm dan tertinggal 10 mm ± 3 kg (kerikil 1).
3. Kerikil 1 dan 2 di cuci sampai bersih.
4. Kerikil di oven selama 24 jam dengan suhu 105°C.
5. Menimbang kerikil 1 dan 2 masing $\pm 2,5$ kg.
6. Memasukkan kerikil dan kelereng baja ke dalam mesin Los Angeles, putar sebanyak 500 putaran, setelah selesai ayak dengan saringan 1,7mm.
7. Mengambil kerikil yang tertinggal dalam saringan 1,7 mm, cuci bersih.
8. Kerikil di oven kembali selama 24 jam dengan suhu 105°C.
9. Menimbang kembali kerikil.

Pada pengujian keausan agregat kasar ini diperoleh data sebagai berikut:

Hasil Pengujian Keausan Kerikil

	Berat Awal (gr)	Berat Agregat Lolos Ayakan (gr)	Kausan Agregat $= \frac{\text{Berat Lolos}}{\text{Berat Awal}} \times 100\%$ (%)
Sebelum direndam	5000	1267	25,34
Sesudah direndam	5000	1385	27,70

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Februari 2013
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 3

9. Pengujian modulus kehalusan butir (MKB)

Alat : 1) Timbangan; 2) 1 set ayakan kerikil; 3) Mesin pengayak; 4) Piring seng; 5) Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram.

Bahan : kerikil

Langkah pengujian:

1. Menimbang kerikil sebanyak ± 4 kg.
2. Memasukkan kerikil ke dalam ayakan yang sudah tersusun dan nyalakan mesin pengayak.
3. Mengeluarkan kerikil dan simpan dalam piring sesuai dengan nomor lubang ayakan.
4. Menimbang kerikil sesuai nomor lubang ayakan.
5. Mengitung modulus kehalusan butirnya dengan memasukkan data dalam tabel.

Pada pengujian MKB ini diperoleh data sebagai berikut:

Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Februari 2013
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA**

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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

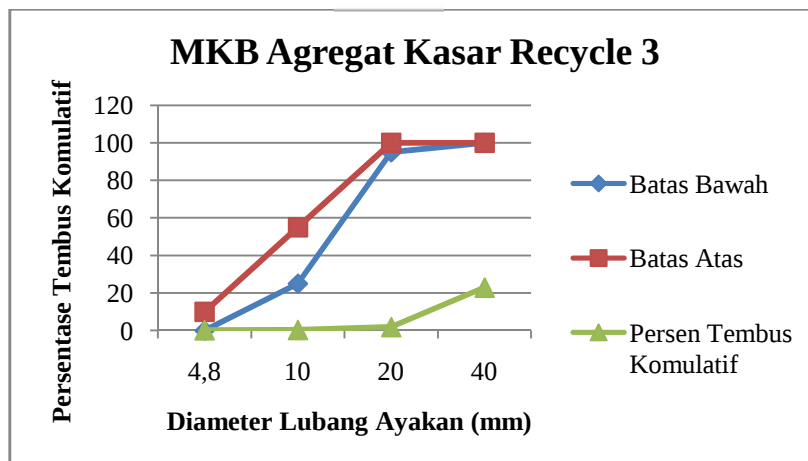


Proyek : Proyek Akhir
Bahan : Agregat Kasar Recycle 3

Pengujian Modulus Kehalusan Butir (MKB) Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Persen Tertinggal (%)	Persentase Tertinggal Kumulatif (%)	Persentase Tembus Kumulatif (%)
12,5	3088	77,1317	77,1317	22,8683
9,52	841	21,0064	98,1381	1,86185
4,76	60,31	1,50642	99,6446	0,35544
2,4	6,96	0,17385	99,8184	0,18159
1,2	3,05	0,07618	99,8946	0,10541
0,6	1,26	0,03147	99,9261	0,07393
0,3	0,57	0,01424	99,9403	0,0597
0,15	1,04	0,02598	99,9663	0,03372
<0,15	0,53	0,01324	99,9795	0,02048
Filler	0,82	0,02048	100	-
Σ	4003,54	100	974,44	25,5604

$$\text{MKB Kerikil Recycle 3} = \frac{974,44}{100} = 9,7444$$



Teknisi Leb. Bahan Bangunan

Yogyakarta, Februari 2013
Penguji

Sudarman, S. Pd.
NIP: 19610214 199103 1 001

Astri Rostikasari, dkk.
NIM. 10510131025



DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA

Alamat : Kampus Karangmalang, Yogyakarta 55281

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



Pengujian *Slump*

1. Menyiapkan kerucut abrams dan membasahi dengan air
2. Memasukkan adukan ke dalam kerucut abrams sebanyak $\frac{1}{3}$ tinggi kerucut abrams dengan menggunakan cetok kemudian ditumbuk sebanyak 25 kali tumbukan dengan menggunakan penumbuk besi, setelah ditumbuk 25 kali, masukkan kembali adukan sebanyak $\frac{2}{3}$ dari tinggi kerucut abrams dan ditumbuk lagi sampai 25 kali, masukkan kembali adukan kedalam kerucut abrams sampai penuh kemudian ditumbuk sampai 25 kali. Kerucut abrams di isi kembali dengan adukan beton sampai penuh.
3. Keadaan tersebut di diamkan 10 detik, namun kerucut abrams tetap dipegang.
4. Mengangkat kerucut ke arah vertikal dengan hati-hati agar tidak mengenai adukan yang ada di dalam kerucut abrams.
5. Mengukur, mencatat, memotret berapa penurunan adukan dari tinggi kerucut abrams.

Hasil Uji *Slump*

Beton dengan Agregat	<i>Slump</i> (cm)
Asli	19
Recycle 1	14,5
Recycle 2	17
Recycle 3	15

Perancangan Adukan Beton Agregat Kasar Alami

Dari hasil pengujian bahan, diperoleh data berat jenis sebagai berikut:

1. Pasir = 2,728 gr/ml
2. Kerikil alami = 2,6436 gr/ml

Kebutuhan bahan untuk 1m^3

No	Uraian	
1	Kuat tekan yang disyaratkan, pada umur 28hari	40 MPa
2	Deviasi standar (s)	5,2 MPa
3	Nilai tambah (m)	6,97 MPa
4	Kuat tekan rata – rata yang direncanakan (f'_{cr})	46,97 MPa
5	Jenis semen	Tipe 1
6	Jenis agregat kasar	Batu Pecah
	Jenis agregat halus	Alami
7	Faktor air semen	0,354
8	Faktor air semen maksimum	0,60
	➔ Dipakai faktor air semen yang rendah	0,46
9	Nilai slam	10 cm
10	Ukuran maksimum agregat kasar	20 mm
11	Kebutuhan air	204,9 ltr
12	Kebutuhan semen portland	445,434 kg
13	Kebutuhan semen portland minimum	325 kg
14	➔ Dipakai kebutuhan semen portland	445,434 kg
15	Penyesuaian jumlah air atau f.a.s	204,9 ltr
16	Daerah gradasi agregat halus	1 2 3 4
17	Presentase pasir terhadap campuran	38,75 %
18	Berat jenis agregat campuran	$2,65 \text{ t/m}^3$
19	Berat jenis beton	$2385,714 \text{ kg/m}^3$
20	Kebutuhan agregat	$1735,38 \text{ kg/m}^3$
21	Kebutuhan agregat halus	$672,459 \text{ kg/m}^3$
22	Kebutuhan agregat kasar	$1062,921 \text{ kg/m}^3$

Analisis kebutuhan pasir, kerikil, semen, dan air untuk 5 silinder beton dengan diameter 3" dan tinggi 30 cm, adalah:

1. Volume 5 silinder $= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,0762^2 \times 0,30$
 $= 0,00684 \text{ m}^3$
2. Untuk pelaksanaannya proporsional volumenya ditambah 50%
 Volume $= 0,00684 + 0,00342$
 $= 0,01026 \text{ m}^3$
3. sehingga kebutuhan untuk 5 silinder beton adalah:
 - a. Air $= 0,01026 \times 204,9$
 $= 2,102 \text{ kg}$
 - b. Semen $= 0,01026 \times 445,434$
 $= 4,570 \text{ kg}$
 - c. Pasir $= 0,01026 \times 672,459$
 $= 6,899 \text{ kg}$
 - d. Kerikil $= 0,01026 \times 1062,921$
 $= 10,906 \text{ kg}$

Kebutuhan Bahan

Jumlah Adukan	Air (liter)	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)
1 m ³	204,9	445,434	672,459	1062,921
5 silinder	2,102	4,570	6,899	10,906

Perancangan Adukan Beton Agregat Kasar Daur Ulang 1

Dari hasil pengujian bahan, diperoleh data berat jenis sebagai berikut:

1. Pasir = 2,728 gr/ml
2. Kerikil daur ulang 1 = 2,4462 gr/ml

Kebutuhan bahan untuk 1m³

No	Uraian	
1	Kuat tekan yang disyaratkan, pada umur 28hari	40 MPa
2	Deviasi standar (s)	5,2 MPa
3	Nilai tambah (m)	6,97 MPa
4	Kuat tekan rata – rata yang direncanakan (f'cr)	46,97 MPa
5	Jenis semen	Tipe 1
6	Jenis agregat kasar	Batu Pecah
	Jenis agregat halus	Alami
7	Faktor air semen	0,354
8	Faktor air semen maksimum	0,60
	➔ Dipakai faktor air semen yang rendah	0,46
9	Nilai slam	10 cm
10	Ukuran maksimum agregat kasar	20 mm
11	Kebutuhan air	204,9 ltr
12	Kebutuhan semen portland	445,434 kg
13	Kebutuhan semen portland minimum	325 kg
14	➔ Dipakai kebutuhan semen portland	445,434 kg
15	Penyesuaian jumlah air atau f.a.s	204,9 ltr
16	Daerah gradasi agregat halus	1 2 3—4
17	Presentase pasir terhadap campuran	38,75 %
18	Berat jenis agregat campuran	2,55 t/m ³
19	Berat jenis beton	2314,8 kg/m ³
20	Kebutuhan agregat	1664,47 kg/m ³
21	Kebutuhan agregat halus	644,98 kg/m ³
22	Kebutuhan agregat kasar	1019,485 kg/m ³

Analisis kebutuhan pasir, kerikil, semen, dan air untuk 5 silinder beton dengan diameter 3” dan tinggi 30 cm, adalah:

$$1. \text{ Volume 5 silinder} = 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,0762^2 \times 0,30$$

$$= 0,00684 \text{ m}^3$$

2. Untuk pelaksanaannya proporsional volumenya ditambah 50%

$$\text{Volume} = 0,00684 + 0,00342$$

$$= 0,01026 \text{ m}^3$$

3. sehingga kebutuhan untuk 5 silinder beton adalah:

$$a. \text{ Air} = 0,01026 \times 204,9$$

$$= 2,102 \text{ kg}$$

$$b. \text{ Semen} = 0,01026 \times 445,434$$

$$= 4,570 \text{ kg}$$

$$c. \text{ Pasir} = 0,01026 \times 644,98$$

$$= 6,617 \text{ kg}$$

$$d. \text{ Kerikil} = 0,01026 \times 1019,485$$

$$= 10,460 \text{ kg}$$

Kebutuhan Bahan

Jumlah Adukan	Air (liter)	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)
1 m ³	204,9	445,434	644,98	1019,485
5 silinder	2,102	4,570	6,617	10,460

Perancangan Adukan Beton Agregat Kasar Daur Ulang 2

Dari hasil pengujian bahan, diperoleh data berat jenis sebagai berikut:

1. Pasir = 2,728 gr/ml
2. Kerikil daur ulang 2 = 2,3515 gr/ml

Kebutuhan bahan untuk 1m³

No	Uraian	
1	Kuat tekan yang disyaratkan, pada umur 28hari	40 MPa
2	Deviasi standar (s)	5,2 MPa
3	Nilai tambah (m)	6,97 MPa
4	Kuat tekan rata – rata yang direncanakan (f'cr)	46,97 MPa
5	Jenis semen	Tipe 1
6	Jenis agregat kasar	Batu Pecah
	Jenis agregat halus	Alami
7	Faktor air semen	0,354
8	Faktor air semen maksimum	0,60
	➔ Dipakai faktor air semen yang rendah	0,46
9	Nilai slam	10 cm
10	Ukuran maksimum agregat kasar	20 mm
11	Kebutuhan air	204,9 ltr
12	Kebutuhan semen portland	445,434 kg
13	Kebutuhan semen portland minimum	325 kg
14	➔ Dipakai kebutuhan semen portland	445,434 kg
15	Penyesuaian jumlah air atau f.a.s	204,9 ltr
16	Daerah gradasi agregat halus	1 2 3 4
17	Presentase pasir terhadap campuran	38,75 %
18	Berat jenis agregat campuran	2,50 t/m ³
19	Berat jenis beton	2272,22 kg/m ³
20	Kebutuhan agregat	1621,886 kg/m ³
21	Kebutuhan agregat halus	628,481 kg/m ³
22	Kebutuhan agregat kasar	993,405 kg/m ³

Analisis kebutuhan pasir, kerikil, semen, dan air untuk 5 silinder beton dengan diameter 3” dan tinggi 30 cm, adalah:

1. Volume 5 silinder $= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,0762^2 \times 0,30$
 $= 0,00684 \text{ m}^3$
2. Untuk pelaksanaannya proporsional volumenya ditambah 50%
 Volume $= 0,00684 + 0,00342$
 $= 0,01026 \text{ m}^3$
3. Sehingga kebutuhan untuk 5 silinder beton adalah:
 - a. Air $= 0,01026 \times 204,9$
 $= 2,102 \text{ kg}$
 - b. Semen $= 0,01026 \times 445,434$
 $= 4,570 \text{ kg}$
 - c. Pasir $= 0,01026 \times 628,481$
 $= 6,448 \text{ kg}$
 - d. Kerikil $= 0,01026 \times 983,405$
 $= 10,192 \text{ kg}$

Kebutuhan Bahan

Jumlah Adukan	Air (liter)	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)
1 m ³	204,9	445,434	628,481	983,405
5 silinder	2,102	4,570	6,448	10,192

Perancangan Adukan Beton Agregat Kasar Daur Ulang 3

Dari hasil pengujian bahan, diperoleh data berat jenis sebagai berikut:

1. Pasir = 2,728 gr/ml
2. Kerikil daur ulang 3 = 2,3217 gr/ml

Kebutuhan bahan untuk 1m^3

No	Uraian	
1	Kuat tekan yang disyaratkan, pada umur 28hari	40 MPa
2	Deviasi standar (s)	5,2 MPa
3	Nilai tambah (m)	6,97 MPa
4	Kuat tekan rata – rata yang direncanakan (f'_{cr})	46,97 MPa
5	Jenis semen	Tipe 1
6	Jenis agregat kasar	Batu Pecah
	Jenis agregat halus	Alami
7	Faktor air semen	0,354
8	Faktor air semen maksimum	0,60
	➔ Dipakai faktor air semen yang rendah	0,46
9	Nilai slam	10 cm
10	Ukuran maksimum agregat kasar	20 mm
11	Kebutuhan air	204,9 ltr
12	Kebutuhan semen portland	445,434 kg
13	Kebutuhan semen portland minimum	325 kg
14	➔ Dipakai kebutuhan semen portland	445,434 kg
15	Penyesuaian jumlah air atau f.a.s	204,9 ltr
16	Daerah gradasi agregat halus	1 2 3 4
17	Presentase pasir terhadap campuran	38,75 %
18	Berat jenis agregat campuran	$2,44 \text{ t/m}^3$
19	Berat jenis beton	$2258,3 \text{ kg/m}^3$
20	Kebutuhan agregat	$1608,806 \text{ kg/m}^3$
21	Kebutuhan agregat halus	$623,41 \text{ kg/m}^3$
22	Kebutuhan agregat kasar	$985,39 \text{ kg/m}^3$

Analisis kebutuhan pasir, kerikil, semen, dan air untuk 5 silinder beton dengan diameter 3" dan tinggi 30 cm, adalah:

1. Volume 5 silinder $= 5 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,0762^2 \times 0,30$
 $= 0,00684 \text{ m}^3$
2. Untuk pelaksanaannya proporsional volumenya ditambah 50%
 Volume $= 0,00684 + 0,00342$
 $= 0,01026 \text{ m}^3$
3. Sehingga kebutuhan untuk 5 silinder beton adalah:
 - a. Air $= 0,01026 \times 204,9$
 $= 2,102 \text{ kg}$
 - b. Semen $= 0,01026 \times 445,434$
 $= 4,570 \text{ kg}$
 - c. Pasir $= 0,01026 \times 625,406$
 $= 6,417 \text{ kg}$
 - d. Kerikil $= 0,01026 \times 988,545$
 $= 10,142 \text{ kg}$

Kebutuhan Bahan

Jumlah Adukan	Air (liter)	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)
1 m ³	204,9	445,434	625,406	988,545
5 silinder	2,102	4,570	6,417	10,142

ANALISIS LAJU KOROSI BAJA TULANGAN

Perhitungan Laju Korosi (CR)

$$\begin{aligned}
 \text{CR A}_1 &= \frac{(K \times W)}{(A \times T \times D)} \\
 &= \frac{1,0 \times 10^4 \times D \times (123,91-120,12)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7,12^2\right) \times (30 \times 24) \times D} \\
 &= \frac{37900}{39,77805 \times 720} \\
 &= 1,32331 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{CR A}_2 &= \frac{(K \times W)}{(A \times T \times D)} \\
 &= \frac{1,0 \times 10^4 \times D \times (123,5-118,88)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 6,97^2\right) \times (30 \times 24) \times D} \\
 &= \frac{46200}{38,1189 \times 720} \\
 &= 1,68333 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{CR A}_3 &= \frac{(K \times W)}{(A \times T \times D)} \\
 &= \frac{1,0 \times 10^4 \times D \times (124,29-114,86)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 6,98^2\right) \times (30 \times 24) \times D} \\
 &= \frac{94300}{38,30143 \times 720} \\
 &= 3,41951 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{CR A}_4 &= \frac{(K \times W)}{(A \times T \times D)} \\
 &= \frac{1,0 \times 10^4 \times D \times (121,19-118,47)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7,07^2\right) \times (30 \times 24) \times D} \\
 &= \frac{27200}{39,22108 \times 720} \\
 &= 0,9632 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{CR A}_5 &= \frac{(K \times W)}{(A \times T \times D)} \\
 &= \frac{1,0 \times 10^4 \times D \times (123,08-120,71)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7,15^2\right) \times (30 \times 24) \times D} \\
 &= \frac{23700}{40,15152 \times 720} \\
 &= 0,81981 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{CR R}_{1,1} &= \frac{(K \times W)}{(A \times T \times D)} \\
 &= \frac{1,0 \times 10^4 \times D \times (122,98-120,37)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7,18^2\right) \times (30 \times 24) \times D} \\
 &= \frac{26100}{40,52673 \times 720} \\
 &= 0,89447 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{CR R}_{1,2} &= \frac{(K \times W)}{(A \times T \times D)} \\
 &= \frac{1,0 \times 10^4 \times D \times (122,89-115,36)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7,03^2\right) \times (30 \times 24) \times D} \\
 &= \frac{75300}{38,85186 \times 720} \\
 &= 2,69185 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{CR R}_{1,4} &= \frac{(K \times W)}{(A \times T \times D)} \\
 &= \frac{1,0 \times 10^4 \times D \times (121,9-101,26)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 6,98^2\right) \times (30 \times 24) \times D} \\
 &= \frac{206400}{38,30143 \times 720} \\
 &= 7,48449 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{h}
 \end{aligned}$$

$$\text{CR R}_{1,5} = \frac{(K \times W)}{(A \times T \times D)}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1,0 \times 10^4 \times \text{Đ} \times (123,31 - 121,21)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7,07^2\right) \times (30 \times 24) \times \text{Đ}} \\
&= \frac{21000}{39,22108 \times 720} \\
&= 0,74365 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{h}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{CR R}_{2,2} &= \frac{(K \times W)}{(A \times T \times \text{Đ})} \\
&= \frac{1,0 \times 10^4 \times \text{Đ} \times (124,71 - 121,81)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7,08^2\right) \times (30 \times 24) \times \text{Đ}} \\
&= \frac{29000}{39,40622 \times 720} \\
&= 1,02212 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{h}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{CR R}_{2,3} &= \frac{(K \times W)}{(A \times T \times \text{Đ})} \\
&= \frac{1,0 \times 10^4 \times \text{Đ} \times (124,08 - 121,37)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 6,93^2\right) \times (30 \times 24) \times \text{Đ}} \\
&= \frac{27100}{37,75493 \times 720} \\
&= 0,99693 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{h}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{CR R}_{2,4} &= \frac{(K \times W)}{(A \times T \times \text{Đ})} \\
&= \frac{1,0 \times 10^4 \times \text{Đ} \times (124,57 - 123,75)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 6,9^2\right) \times (30 \times 24) \times \text{Đ}} \\
&= \frac{8200}{37,39281 \times 720} \\
&= 0,30457 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{h}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{CR R}_{2,5} &= \frac{(K \times W)}{(A \times T \times D)} \\
&= \frac{1,0 \times 10^4 \times \text{Đ} \times (122,79-119,5)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7,18^2\right) \times (30 \times 24) \times \text{Đ}} \\
&= \frac{32900}{39,77805 \times 720} \\
&= 1,12751 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{h}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{CR R}_{3,1} &= \frac{(K \times W)}{(A \times T \times D)} \\
&= \frac{1,0 \times 10^4 \times \text{Đ} \times (123,45-119,91)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7,07^2\right) \times (30 \times 24) \times \text{Đ}} \\
&= \frac{35400}{39,22108 \times 720} \\
&= 1,25358 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{h}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{CR R}_{3,2} &= \frac{(K \times W)}{(A \times T \times D)} \\
&= \frac{1,0 \times 10^4 \times \text{Đ} \times (123,31-121,19)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7,18^2\right) \times (30 \times 24) \times \text{Đ}} \\
&= \frac{22000}{40,52673 \times 720} \\
&= 0,75396 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{h}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{CR R}_{3,3} &= \frac{(K \times W)}{(A \times T \times D)} \\
&= \frac{1,0 \times 10^4 \times \text{Đ} \times (123,19-120,84)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7,07^2\right) \times (30 \times 24) \times \text{Đ}} \\
&= \frac{23500}{39,22108 \times 720} \\
&= 0,83218 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{h}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{CR R}_{3,4} &= \frac{(K \times W)}{(A \times T \times D)} \\
 &= \frac{1,0 \times 10^4 \times D \times (123,61-123,32)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7,02^2\right) \times (30 \times 24) \times D} \\
 &= \frac{2900}{38,66802 \times 720} \\
 &= 0,10416 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{CR R}_{3,5} &= \frac{(K \times W)}{(A \times T \times D)} \\
 &= \frac{1,0 \times 10^4 \times D \times (123,58-121,86)}{\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 7,03^2\right) \times (30 \times 24) \times D} \\
 &= \frac{17200}{38,85186 \times 720} \\
 &= 0,61487 \text{ gr/m}^2 \cdot \text{h}
 \end{aligned}$$

ANALISIS DENSITAS ARUS KOROSI BAJA TULANGAN

Perhitungan Densitas Arus Korosi (I_{corr})

$$\begin{aligned}
 I_{\text{corr}} A_1 &= \frac{(W_o - W_c).F}{\pi DLWT} \\
 &= \frac{(123,91 - 120,12).96487}{\pi.7,17.19,25.27925.2592000} \\
 &= 1,1739 \times 10^{-8} \text{ mA/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{corr}} A_2 &= \frac{(W_o - W_c).F}{\pi DLWT} \\
 &= \frac{(123,5 - 118,88).96487}{\pi.6,97.19,25.27925.2592000} \\
 &= 1,4618 \times 10^{-8} \text{ mA/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{corr}} A_3 &= \frac{(W_o - W_c).F}{\pi DLWT} \\
 &= \frac{(124,29 - 114,86).96487}{\pi.6,98.19,25.27925.2592000} \\
 &= 2,9765 \times 10^{-8} \text{ mA/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{corr}} A_4 &= \frac{(W_o - W_c).F}{\pi DLWT} \\
 &= \frac{(121,19 - 118,47).96487}{\pi.7,07.19,25.27925.2592000} \\
 &= 8,4843 \times 10^{-9} \text{ mA/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{corr}} A_5 &= \frac{(W_o - W_c).F}{\pi DLWT} \\
 &= \frac{(123,08 - 120,71).96487}{\pi.7,15.19,25.27925.2592000} \\
 &= 7,3064 \times 10^{-9} \text{ mA/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{corr}} R_{1,1} &= \frac{(W_o - W_c).F}{\pi DLWT} \\
 &= \frac{(122,98 - 120,37).96487}{\pi.7,18.19,25.27925.2592000}
 \end{aligned}$$

$$= 8,0089 \times 10^{-9} \text{ mA/cm}^2$$

$$\begin{aligned} I_{\text{corr}} R_{1,2} &= \frac{(W_o - W_c) \cdot F}{\pi DLWT} \\ &= \frac{(122,89 - 115,36) \cdot 96487}{\pi \cdot 7,03 \cdot 19,25 \cdot 27925 \cdot 2592000} \\ &= 2,3599 \times 10^{-8} \text{ mA/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{corr}} R_{1,4} &= \frac{(W_o - W_c) \cdot F}{\pi DLWT} \\ &= \frac{(121,9 - 101,26) \cdot 96487}{\pi \cdot 6,98 \cdot 19,25 \cdot 27925 \cdot 2592000} \\ &= 6,5149 \times 10^{-9} \text{ mA/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{corr}} R_{1,5} &= \frac{(W_o - W_c) \cdot F}{\pi DLWT} \\ &= \frac{(123,31 - 121,21) \cdot 96487}{\pi \cdot 7,07 \cdot 19,25 \cdot 27925 \cdot 2592000} \\ &= 6,5503 \times 10^{-9} \text{ mA/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{corr}} R_{2,2} &= \frac{(W_o - W_c) \cdot F}{\pi DLWT} \\ &= \frac{(124,71 - 121,81) \cdot 96487}{\pi \cdot 7,08 \cdot 19,25 \cdot 27925 \cdot 2592000} \\ &= 9,0244 \times 10^{-9} \text{ mA/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{corr}} R_{2,3} &= \frac{(W_o - W_c) \cdot F}{\pi DLWT} \\ &= \frac{(124,08 - 121,37) \cdot 96487}{\pi \cdot 6,93 \cdot 19,25 \cdot 27925 \cdot 2592000} \\ &= 8,6156 \times 10^{-9} \text{ mA/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{\text{corr}} R_{2,4} &= \frac{(W_o - W_c).F}{\pi DLWT} \\
&= \frac{(124,57-123,75).96487}{\pi.6,9.19,25.27925.2592000} \\
&= 2,6195 \times 10^{-9} \text{ mA/cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{\text{corr}} R_{2,5} &= \frac{(W_o - W_c).F}{\pi DLWT} \\
&= \frac{(122,79-119,5).96487}{\pi.7,18.19,25.27925.2592000} \\
&= 1,0096 \times 10^{-8} \text{ mA/cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{\text{corr}} R_{3,1} &= \frac{(W_o - W_c).F}{\pi DLWT} \\
&= \frac{(123,45-119,91).96487}{\pi.7,07.19,25.27925.2592000} \\
&= 1,1042 \times 10^{-8} \text{ mA/cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{\text{corr}} R_{3,2} &= \frac{(W_o - W_c).F}{\pi DLWT} \\
&= \frac{(123,31-121,19).96487}{\pi.7,18.19,25.27925.2592000} \\
&= 6,7508 \times 10^{-9} \text{ mA/cm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_{\text{corr}} R_{3,3} &= \frac{(W_o - W_c).F}{\pi DLWT} \\
&= \frac{(123,19-120,84).96487}{\pi.7,07.19,25.27925.2592000} \\
&= 7,3302 \times 10^{-9} \text{ mA/cm}^2
\end{aligned}$$

$$I_{\text{corr}} R_{3,4} = \frac{(W_o - W_c).F}{\pi DLWT}$$

$$= \frac{(123,61-123,32).96487}{\pi.7,12.19,25.27925.2592000}$$

$$= 9,1102 \times 10^{-10} \text{ mA/cm}^2$$

$$I_{\text{corr}} R_{3.5} = \frac{(W_o-W_c).F}{\pi DLWT}$$

$$= \frac{(123,58-121,86).96487}{\pi.7,03.19,25.27925.2592000}$$

$$= 5,3905 \times 10^{-9} \text{ mA/cm}^2$$

ANALISIS PROSENTASE KEHILANGAN BERAT BAJA TULANGAN

Perhitungan Prosentase Kehilangan Berat (ρ)

$$\begin{aligned}\rho A_1 &= \frac{W_o - W_c}{W_o} \times 100\% \\ &= \frac{123,91 - 120,12}{123,91} \times 100\% \\ &= 3,0587\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho A_2 &= \frac{W_o - W_c}{W_o} \times 100\% \\ &= \frac{123,5 - 118,88}{123,5} \times 100\% \\ &= 3,7409\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho A_3 &= \frac{W_o - W_c}{W_o} \times 100\% \\ &= \frac{124,29 - 114,86}{124,29} \times 100\% \\ &= 7,5871\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho A_4 &= \frac{W_o - W_c}{W_o} \times 100\% \\ &= \frac{121,19 - 118,47}{121,19} \times 100\% \\ &= 2,2444\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho A_5 &= \frac{W_o - W_c}{W_o} \times 100\% \\ &= \frac{123,08 - 120,71}{123,08} \times 100\% \\ &= 1,9256\%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho R_{1,1} &= \frac{W_o - W_c}{W_o} \times 100\% \\
 &= \frac{122,98 - 120,37}{122,98} \times 100\% \\
 &= 2,1223\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho R_{1,2} &= \frac{W_o - W_c}{W_o} \times 100\% \\
 &= \frac{122,89 - 115,36}{122,89} \times 100\% \\
 &= 6,1274\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho R_{1,4} &= \frac{W_o - W_c}{W_o} \times 100\% \\
 &= \frac{121,9 - 101,26}{121,9} \times 100\% \\
 &= 16,932\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho R_{1,5} &= \frac{W_o - W_c}{W_o} \times 100\% \\
 &= \frac{123,31 - 121,21}{123,31} \times 100\% \\
 &= 1,703\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho R_{2,2} &= \frac{W_o - W_c}{W_o} \times 100\% \\
 &= \frac{124,71 - 121,81}{124,71} \times 100\% \\
 &= 2,3254\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho R_{2,3} &= \frac{W_o - W_c}{W_o} \times 100\% \\
 &= \frac{124,08 - 121,37}{124,08} \times 100\% \\
 &= 2,1841\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho R_{2,4} &= \frac{W_o - W_c}{W_o} \times 100\% \\
 &= \frac{124,57 - 123,75}{124,57} \times 100\% \\
 &= 0,6583\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho R_{2,5} &= \frac{W_o - W_c}{W_o} \times 100\% \\
 &= \frac{122,79 - 119,5}{122,79} \times 100\% \\
 &= 2,6794\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho R_{3,1} &= \frac{W_o - W_c}{W_o} \times 100\% \\
 &= \frac{123,45 - 119,91}{123,45} \times 100\% \\
 &= 2,8676\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho R_{3,2} &= \frac{W_o - W_c}{W_o} \times 100\% \\
 &= \frac{123,31 - 121,19}{123,31} \times 100\% \\
 &= 1,7841\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho R_{3.3} &= \frac{W_o - W_c}{W_o} \times 100\% \\
 &= \frac{123,19 - 120,84}{123,19} \times 100\% \\
 &= 1,9076\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho R_{3.4} &= \frac{W_o - W_c}{W_o} \times 100\% \\
 &= \frac{123,61 - 123,32}{123,61} \times 100\% \\
 &= 0,2346\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho R_{3.5} &= \frac{W_o - W_c}{W_o} \times 100\% \\
 &= \frac{123,58 - 121,86}{123,58} \times 100\% \\
 &= 1,3918\%
 \end{aligned}$$

ANALISIS MASSA AKTUAL KOROSI BAJA TULANGAN

Perhitungan Massa Aktual Karat (M_{ac})

$$\begin{aligned}M_{ac} A_1 &= \frac{(W_o - W_c)}{\pi DL} \\&= \frac{(123,91 - 120,12)}{\pi \cdot 7,17 \cdot 19,25} \\&= 0,0088 \text{ gr/mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{ac} A_2 &= \frac{(W_o - W_c)}{\pi DL} \\&= \frac{(123,5 - 118,88)}{\pi \cdot 6,97 \cdot 19,25} \\&= 0,011 \text{ gr/mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{ac} A_3 &= \frac{(W_o - W_c)}{\pi DL} \\&= \frac{(124,29 - 114,86)}{\pi \cdot 6,98 \cdot 19,25} \\&= 0,0223 \text{ gr/mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{ac} A_4 &= \frac{(W_o - W_c)}{\pi DL} \\&= \frac{(121,19 - 118,47)}{\pi \cdot 7,07 \cdot 19,25} \\&= 0,0064 \text{ gr/mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{ac} A_5 &= \frac{(W_o - W_c)}{\pi DL} \\&= \frac{(123,08 - 120,71) \cdot 96487}{\pi \cdot 7,15 \cdot 19,25} \\&= 0,0055 \text{ gr/mm}^2\end{aligned}$$

$$M_{ac} R_{1.1} = \frac{(W_o - W_c)}{\pi DL}$$

$$= \frac{(122,98-120,37)}{\pi \cdot 7,18 \cdot 19,25}$$

$$= 0,006 \text{ gr/mm}^2$$

$$M_{ac} R_{1.2} = \frac{(W_o - W_c)}{\pi DL}$$

$$= \frac{(122,89-115,36)}{\pi \cdot 7,03 \cdot 19,25}$$

$$= 0,0177 \text{ gr/mm}^2$$

$$M_{ac} R_{1.4} = \frac{(W_o - W_c)}{\pi DL}$$

$$= \frac{(121,9-101,26)}{\pi \cdot 6,98 \cdot 19,25}$$

$$= 0,0048 \text{ gr/mm}^2$$

$$M_{ac} R_{1.5} = \frac{(W_o - W_c)}{\pi DL}$$

$$= \frac{(123,31-121,21)}{\pi \cdot 7,07 \cdot 19,25}$$

$$= 0,0049 \text{ gr/mm}^2$$

$$M_{ac} R_{2.2} = \frac{(W_o - W_c)}{\pi DL}$$

$$= \frac{(124,71-121,81)}{\pi \cdot 7,08 \cdot 19,25}$$

$$= 0,0068 \text{ gr/mm}^2$$

$$M_{ac} R_{2.3} = \frac{(W_o - W_c)}{\pi DL}$$

$$= \frac{(124,08-121,37)}{\pi \cdot 6,93 \cdot 19,25}$$

$$= 0,0065 \text{ gr/mm}^2$$

$$M_{ac} R_{2.4} = \frac{(W_o - W_c)}{\pi DL}$$

$$= \frac{(124,57-123,75)}{\pi \cdot 6,9 \cdot 19,25}$$

$$= 0,002 \text{ gr/mm}^2$$

$$M_{ac} R_{2.5} = \frac{(W_o - W_c)}{\pi DL}$$

$$= \frac{(122,79-119,5)}{\pi \cdot 7,18 \cdot 19,25}$$

$$= 0,0076 \text{ gr/mm}^2$$

$$M_{ac} R_{3.1} = \frac{(W_o - W_c)}{\pi DL}$$

$$= \frac{(123,45-119,91)}{\pi \cdot 7,07 \cdot 19,25}$$

$$= 0,0083 \text{ gr/mm}^2$$

$$M_{ac} R_{3.2} = \frac{(W_o - W_c)}{\pi DL}$$

$$= \frac{(123,31-121,19)}{\pi \cdot 7,18 \cdot 19,25}$$

$$= 0,0051 \text{ gr/mm}^2$$

$$M_{ac} R_{3.3} = \frac{(W_o - W_c)}{\pi DL}$$

$$= \frac{(123,19-120,84)}{\pi \cdot 7,07 \cdot 19,25}$$

$$= 0,0055 \text{ gr/mm}^2$$

$$M_{ac} R_{3.4} = \frac{(W_o - W_c)}{\pi DL}$$

$$= \frac{(123,61-123,32)}{\pi \cdot 7,12 \cdot 19,25}$$

$$= 0,0007 \text{ gr/mm}^2$$

$$M_{ac} R_{3.5} = \frac{(W_o - W_c)}{\pi DL}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{(123,58-121,86)}{\pi \cdot 7,03 \cdot 19,25} \\
&= 0,004 \text{ gr/mm}^2
\end{aligned}$$