

**PERILAKU LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN  
AGREGAT DAUR ULANG YANG MENDAPAT *WATERPROOFING*  
*TREATMENT***

Laporan Tugas Akhir

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana dari

Universitas Atma Jaya Yogyakarta

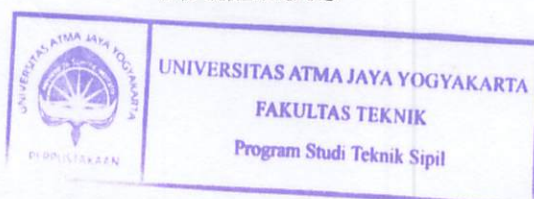
Oleh :

YOHANES YOGA DWI PANGESTU

NPM : 14 02 15323 / TS



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA  
YOGYAKARTA  
APRIL 2018**



## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir dengan judul:

**PERILAKU LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN  
AGREGAT DAUR ULANG YANG MENDAPAT *WATERPROOFING*  
*TREATMENT***

Benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi dari karya karya orang lain. Ide, data hasil penelitian maupun kutipan baik langsung maupun tidak langsung yang bersumber dari tulisan atau ide orang lain dinyatakan secara tertulis dalam Tugas Akhir ini.

Apabila terbukti dikemudian hari bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil plagiasi, maka ijazah yang saya peroleh dinyatakan batal dan akan saya kembalikan kepada Rektor Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Yogyakarta, 17 April 2018

Yang membuat pernyataan,


(Yohanes Yoga Dwi Pangestu)



**PENGESAHAN**

Laporan Tugas Akhir

**PERILAKU LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN  
AGREGAT DAUR ULANG YANG MENDAPAT *WATERPROOFING*  
*TREATMENT***

Oleh :

YOHANES YOGA DWI PANGESTU

NPM : 14 02 15323

Telah disetujui oleh pembimbing

Yogyakarta, 18 April 2018

Pembimbing



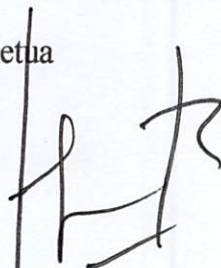
(Anggun Tri A, S.T., M.Eng.)

Disahkan Oleh:

Program Studi Teknik Sipil



Ketua



(Ir. AY. Harijanto S, M.Eng., Ph.D.)

**PENGESAHAN PENGUJI**

Laporan Tugas Akhir

**PERILAKU LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN  
AGREGAT DAUR ULANG YANG MENDAPAT *WATERPROOFING*  
*TREATMENT***



YOHANES YOGA DWI PANGESTU

NPM : 14 02 15323

Nama	Tanggal	Tanda Tangan
Ketua : Anggun Tri A., S.T., M.Eng	17/4 2018	
Sekretaris : Dinar Gumilang Jati, S.T., M.Eng	18/4 2018	
Anggota : Angelina Eva Lianasari, S.T., M.T	18/4 2018	

*The secret of getting ahead is getting started.*

-Mark Twain

Inertia is everything. Those who are moving are more likely to keep moving. Those who keep pushing things off will likely keep pushing them off.

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “PERILAKU LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN AGREGAT DAUR ULANG YANG MENDAPAT *WATERPROOFING TREATMENT*” ini dengan baik.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan jenjang pendidikan tinggi Program Strata-1 (S-1) di Program Studi Teknik Sipil, fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Dalam menyusun Tugas Akhir ini penulis telah mendapat banyak bimbingan, bantuan, dan dorongan moral dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan Tugas Akhir ini, antara lain:

1. Ibu Sushardjanti Felasari, ST.,M.Sc.,CAED., P.hD., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta
2. Bapak Ir. A.Y. Harijanto S, M.Eng., Ph.D. , selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
3. Ibu Anggun Tri A. S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberikan petunjuk dan membimbing penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

4. Bapak Dinar Gumilang Jati, S.T., M.Eng., selaku koodinator Tugas Akhir bidang peminatan Struktur, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
5. Bapak V. Sukaryantara, selaku Staf Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan yang telah membantu dan memberi saran selama pengujian Tugas Akhir ini.
6. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah bersedia mengajarkan berbagai macam ilmu pengetahuan dalam bidang teknik sipil.
7. Kedua orang tua serta saudara yang telah mendukung baik secara langsung maupun melalui doa dan kasih sayang sehingga dalam pembuatan skripsi ini dapat berjalan dengan lancar.
8. Teman seperjuangan Tugas Akhir Albertus Cendra, Michael Christian dan Feliciano Vito.
9. Teman-teman Niko, Gery, Abbi, Dikta, Alfa, Heribertus, Ciptadi, Dimas, Sunu dan Monica.
10. Senior saya yang telah membantu dan memberi saran dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
11. Teman-teman yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan dalam penulisan Tugas Akhir.



Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Yogyakarta, 17 April 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Yohan' or similar, enclosed in a circular flourish.

YOHANES YOGA DWI PANGESTU

NPM : 14 02 15323



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI .....	iv
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR PERSAMAAN .....	xiv
DAFTAR NOTASI .....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
INTISARI.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Keaslian Tugas Akhir.....	4
1.5 Tujuan Tugas Akhir .....	5
1.6 Manfaat Tugas Akhir .....	5
1.7 Lokasi Pelaksanaan Tugas Akhir.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Beton Agregat Daur Ulang.....	6
2.2 <i>Waterproofing Treatment</i> .....	6
BAB III LANDASAN TEORI.....	8
3.1 Kuat Tekan Beton .....	8
3.2 Kuat Lentur Balok.....	9
3.3 Balok Bertulangan Tunggal .....	11
3.4 Kelengkungan Balok.....	13
3.5 Beban pada Saat Retak Pertama.....	15

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN .....	16
4.1. Umum.....	16
4.2. Tahap Persiapan .....	18
4.2.1. Pengumpulan Bahan .....	18
4.2.2. Peralatan Penelitian .....	19
4.3. Tahap Pengujian Bahan.....	23
4.3.1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Pasir .....	23
4.3.2. Pengujian Kandungan Lumpur Dalam Pasir .....	25
4.3.3. Pengujian Kandungan Zat Organik Dalam Pasir.....	26
4.3.4. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar .....	26
4.3.5. Pemeriksaan Gradasi Butiran Agregat Kasar .....	28
4.3.6. Pengujian Keausan Agregat Kasar .....	29
4.3.7. Pengujian Baja Tulangan.....	30
4.4. Tahap Pembuatan Benda Uji.....	31
4.4.1. Pembuatan Bekesting .....	32
4.4.2. Perakitan Tulangan.....	33
4.4.3. <i>Waterproofing Treatment</i> Agregat Daur Ulang.....	33
4.4.4. Pengecoran Benda Uji .....	33
4.4.5. Tahap Perawatan Benda Uji .....	34
4.5. Tahap Pengujian Benda Uji .....	35
4.5.1. Pengujian Kuat Tekan Silinder.....	35
4.5.2. Pengujian Kuat Lentur Balok Beton.....	36
4.6. Tahap Analisis Data .....	38
4.7. Hambatan Pelaksanaan.....	38
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....	40
5.1 Pengujian Bahan .....	40
5.1.1 Pengujian agregat halus.....	40
5.1.2 Pengujian agregat kasar .....	41
5.1.3 Pengujian agregat daur ulang .....	42
5.1.4 Pengujian agregat daur ulang dengan <i>waterproofing treatment</i> .....	43
5.1.5 Pengujian Kuat Tarik Tulangan Baja .....	44

5.2	Pengujian <i>Slump</i> .....	44
5.3	Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton .....	45
5.4	Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok.....	45
5.4.1	Beban Maksimum Balok Beton.....	46
5.4.2	Beban pada Saat Retak Pertama .....	46
5.4.3	Kelengkungan Balok pada Retak Pertama .....	47
5.4.4	Hubungan Beban dan Defleksi.....	47
5.4.5	Hubungan Beban dan Kelengkungan .....	48
5.5	Pola dan Jenis Retak Balok .....	49
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....		55
6.1	Kesimpulan.....	55
6.2	Saran .....	57
DAFTAR PUSTAKA .....		58
LAMPIRAN.....		60

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Variasi Benda Uji Silinder .....	34
Tabel 4.2	Variasi Benda Uji Balok .....	34
Tabel 5.1	Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja.....	44
Tabel 5.2	Hasil Pengujian <i>Slump</i> .....	44
Tabel 5.3	Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton .....	45
Tabel 5.4	Perbandingan Beban Maks Hasil Pengujian dan Analisis Balok.....	46
Tabel 5.5	Perbandingan Beban Reta Pertama Hasil Analisis dan Pengujian.....	46
Tabel 5.6	Perbandingan Kelengkungan Hasil Analisis dan Pengujian .....	47



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Pengujian Kuat Tekan Beton pada Benda Uji Silinder .....	8
Gambar 3.2	Diagram Beban dan Momen pada Balok.....	10
Gambar 3.3	Distribusi Tegangan dan Regangan pada Penampang Balok Beton Bertulangan Tunggal .....	11
Gambar 3.4	Lendutan Balok Tumpuan Sederhana Akibat Beban Terpusat .....	13
Gambar 4.1	<i>Flow Chart</i> Pelaksanaan Penelitian.....	17
Gambar 4.2	<i>Loading Frame</i> .....	19
Gambar 4.3	<i>Dial Gauge</i> .....	20
Gambar 4.4	<i>Hydraulic Jack</i> .....	20
Gambar 4.5	Grafik Tegangan dan Regangan Tulangan Baja.....	31
Gambar 4.6	Potongan Penampang dan Memanjang Balok .....	32
Gambar 4.7	Sketsa <i>setting</i> alat pengujian lentur balok .....	38
Gambar 5.1	Grafik Hubungan Beban dengan Lendutan Balok.....	47
Gambar 5.2	Grafik Hubungan Beban dan Kelengkungan.....	49
Gambar 5.3	Retak Benda Uji B0.....	50
Gambar 5.4	Sketsa Pola Retak Balok B0 (tampak kanan) .....	50
Gambar 5.5	Sketsa Pola Retak Balok B0 (tampak kiri) .....	50
Gambar 5.6	Retak Benda Uji B50-1.....	51
Gambar 5.7	Sketsa Pola Retak Balok B50-1 (tampak kanan).....	51
Gambar 5.8	Sketsa Pola Retak Balok B50-1 (tampak kiri).....	51
Gambar 5.9	Retak Benda Uji B50-2.....	52
Gambar 5.10	Sketsa Pola Retak Balok B50-2 (tampak kanan).....	52
Gambar 5.11	Sketsa Pola Retak Balok B50-2 (tampak kiri).....	52
Gambar 5.12	Retak Benda Uji B100-1.....	53
Gambar 5.13	Sketsa Pola Retak Balok B100-1 (tampak kanan).....	53
Gambar 5.14	Sketsa Pola Retak Balok B100-1 (tampak kiri).....	53
Gambar 5.15	Retak Benda Uji B100-2.....	54
Gambar 5.16	Sketsa Pola Retak Balok B100-2 (tampak kanan).....	54
Gambar 5.17	Sketsa Pola Retak Balok B100-2 (tampak kiri).....	54

## DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan (3-1)	Kuat Tekan Beton.....	8
Persamaan (3-2)	Momen Lentur.....	10
Persamaan (3-3)	Momen Lentur.....	10
Persamaan (3-4)	Kesetimbangan.....	12
Persamaan (3-5)	Kesetimbangan.....	12
Persamaan (3-6)	Tinggi Tekanan Ekuivalen.....	12
Persamaan (3-7)	Rasio Penulangan Minimum.....	12
Persamaan (3-8)	Rasio Penulangan Minimum.....	12
Persamaan (3-9)	Rasio Penulangan Maksimum.....	12
Persamaan (3-10)	Rasio Penulangan.....	12
Persamaan (3-11)	Momen Nominal.....	12
Persamaan (3-12)	Momen Nominal.....	13
Persamaan (3-13)	Momen Nominal.....	13
Persamaan (3-14)	Momen Maksimum.....	13
Persamaan (3-15)	Beban Maksimum.....	13
Persamaan (3-16)	<i>Deret Taylor</i> .....	14
Persamaan (3-17)	<i>Deret Taylor</i> Turunan Kedua.....	14
Persamaan (3-18)	Turunan Kedua <i>Deret Taylor</i> dikalikan dua.....	14
Persamaan (3-19)	Turunan Kedua Deret Taylor dikalikan dua.....	14
Persamaan (3-20)	<i>Deret Taylor</i> bentang tengah.....	14
Persamaan (3-21)	Persamaan <i>Deret Taylor</i> .....	14
Persamaan (3-22)	Kelengkungan <i>Deret Taylor</i> .....	14
Persamaan (3-23)	Modulus Retak.....	15
Persamaan (3-24)	Momen Retak.....	15
Persamaan (3-25)	Kelengkungan saat Retak.....	15
Persamaan (3-26)	Modulus Beton Normal.....	15
Persamaan (4-1)	Berat Jenis Curah Agregat Halus.....	24
Persamaan (4-2)	Berat Jenis SSD Agregat Halus.....	24
Persamaan (4-3)	Berat Jenis Semu Agregat Halus.....	24
Persamaan (4-4)	Penyerapan Agregat Halus.....	24

Persamaan (4-5)	Berat Jenis Curah Agregat Kasar.....	27
Persamaan (4-6)	Berat Jenis SSD Agregat Kasar .....	27
Persamaan (4-7)	Berat Jenis Semu Agregat Kasar .....	27
Persamaan (4-8)	Penyerapan Agregat Kasar .....	27

## DAFTAR NOTASI

$a$	Tinggi blok tegangan beton ekuivalen
$A$	Luas benda uji
$A_s$	Luas tulangan tarik
B0	Benda uji balok variasi 0% agregat daur ulang
B50	Benda uji balok variasi 50% agregat daur ulang
B100	Benda uji balok variasi 100% agregat daur ulang
$b$	Lebar balok
$c$	Jarak sumbu netral penampang keserat paling tertekan
$C_c$	Gaya tekan beton
$d$	Tinggi efektif balok
$d'$	Jarak dari tepi serat tertekan ke pusat tulangan tekan
$E$	Modulus elastis
$E_c$	Modulus elastis beton
$E_s$	Modulus elastis baja
$f_c$	Kuat tekan beton
$f_s$	Tegangan baja tarik
$f_s'$	Tegangan luluh baja pada daerah tekan balok
$f_r$	Tegangan lentur
$f_u$	Tegangan tarik ultimit
$f_y$	Tegangan luluh baja
$h$	Tinggi balok
$I$	Inersia penampang
$k$	Faktor tinggi garis netral
$L$	Panjang balok
$M$	Momen
$M_{cr}$	Momen retak dari beton
$M_n$	Momen nominal
$M_u$	Momen <i>ultimate</i>
$M_y$	Momen leleh pertama
$P$	Gaya, beban
$P_u$	Beban ultimit
$P_y$	Beban leleh
$s$	Jarak antar sengkang
$T_s$	Gaya tarik pada baja
$y$	Jarak antara titik berat desak beton ke titik berat tarik beton
$y_{i-1}$	LVDT1
$y_{i+1}$	LVDT2
$y_i$	LVDT3
$z$	Lengan dari titik berat baja ke titik berat balok desak beton
$V$	Gaya geser
$V_c$	Gaya geser beton
$V_n$	Gaya geser nominal total
$V_s$	Gaya geser yang ditahan oleh sengkang
$\Delta$	Lendutan, defleksi



$\Delta_y$	Lendutan leleh
$\beta_1$	Konstanta yang merupakan fungsi dari kuat tekan beton
$\epsilon_c$	Regangan beton
$\epsilon_{cu}$	Regangan ultimit
$\epsilon_s$	Regangan baja tulangan tarik
$\rho$	Rasio luas penampang tulangan tarik terhadap luas efektif penampang balok
$\phi$	Kelengkungan
$\phi_{retak}$	Kelengkungan pada saat retak pertama balok
$\phi_y$	Kelengkungan leleh pertama
$\phi$	Faktor reduksi

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I	Pengujian Bahan .....	61
LAMPIRAN II	Data Pengujian Kuat Tarik Baja .....	74
LAMPIRAN III	Rencana Adukan Beton ( <i>Mix Design</i> ) .....	75
LAMPIRAN IV	Perhitungan Desain Balok Bertulangan Tunggal .....	81
LAMPIRAN V	Data Pengujian Silinder Beton .....	85
LAMPIRAN VI	Data Pengujian Balok Beton Bertulang .....	93
LAMPIRAN VII	Perhitungan Balok .....	117
LAMPIRAN VIII	Data Beban, Lendutan, Momen dan Kelengkungan Balok .	129

## INTISARI

**PERILAKU LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN AGREGAT DAUR ULANG YANG MENDAPAT *WATERPROOFING TREATMENT***, Yohanes Yoga Dwi P., NPM 140215323 Tahun 2018, Bidang Peminatan Struktur, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Agregat daur ulang adalah limbah beton yang diproses ulang untuk dimanfaatkan kembali menjadi pengganti agregat alam sebagian atau seluruhnya pada beton dan bertujuan untuk mengurangi limbah konstruksi sehingga dapat menjadi beton yang ramah lingkungan. Permasalahannya adalah agregat daur ulang ini mempunyai daya serap air yang tinggi, sehingga apabila digunakan sebagai campuran beton, agregat ini akan cenderung menyerap air lebih banyak daripada agregat alam dan menjadikan campuran beton memiliki kelecakan (*workability*) yang rendah. Untuk mengurangi daya serap air yang tinggi pada agregat daur ulang maka perlu perlakuan tambahan yaitu *waterproofing treatment* dengan metode *spray*. Tujuan penelitian ini adalah untuk menguji penggunaan agregat daur ulang pada salah satu komponen struktur bangunan yaitu balok beton bertulang yang mendapat *waterproofing treatment*.

Penelitian ini menguji 5 balok yang mengalami gagal lentur. Ukuran penampang benda uji balok adalah 125 mm x 200 mm dengan panjang bersih 1800 mm dan panjang total 2000 mm. Variasi pada penelitian ini menggunakan kadar agregat daur ulang 0%, 50% dan 100% terhadap volume total agregat kasar. Agregat daur yang digunakan telah diberi *waterproofing treatment*. Benda uji balok dibebani dengan beban terpusat dua titik pada jarak sepertiga bentang bersih yaitu sejauh 600 mm dari masing-masing tumpuan balok.

Hasil beban maksimum pengujian yang diperoleh B0, B50-1, B50-2, B100-1 dan B100-2 secara berurutan adalah 40,2458 kN; 44,0531 kN; 42,5987 kN; 31,1812 kN dan 30,2153 kN. Hasil beban maksimum analisis adalah 31,9673; 32,117 dan 31,5186 untuk balok dengan agregat daur ulang 0%, 50% dan 100%. Dari hasil beban maksimum pengujian dengan analisis didapatkan nilai rasio B0, B50-1, B50-2, B100-1 dan B100-2 secara berurutan adalah 1,2589; 1,3726; 1,3263; 0,9892 dan 0,9586

**Kata Kunci** : balok beton agregat daur ulang, tegangan lentur, balok bertulang