

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH PENAMBAHAN *FLY ASH* BATU BARA TERHADAP  
KINERJA BALOK BETON BERTULANG TUNGGAL**



**Disusun Oleh:**

**YULINDA SUKMAWATI**

**2010611004**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH JEMBER**

**2024**

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH PENAMBAHAN *FLY ASH* BATU BARA TERHADAP  
KINERJA BALOK BETON BERTULANG TUNGGAL**

*Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada  
Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jember*



**Disusun Oleh:**

**YULINDA SUKMAWATI**

**2010611004**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH JEMBER**

**2024**

HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

“PENGARUH PENAMBAHAN *FLY ASH* BATU BARA TERHADAP  
KINERJA BALOK BETON BERTULANG TUNGGAL”

*Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada  
Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jember*

Yang diajukan oleh:  
**Yulinda Sukmawati**

2010611004

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I,



Dr. Ir. Muhtar, ST., MT., IPM.  
NIDN. 0010067301

Dosen Pembimbing II,



Hilfi Harisan Ahmad, ST., MT.  
NIDN. 0172069006

Dosen Penguji I,



Setivo Ferdi Yanuar, S. ST., MT.  
NIDN. 0713019202

HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR

"PENGARUH PENAMBAHAN *FLY ASH* BATU BARA TERHADAP  
KINERJA BALOK BETON BERTULANG TUNGGAL"

Disusun oleh:

**Yulinda Sukmawati**

2010611004

Telah mempertanggung jawabkan Laporan Skripsinya pada sidang Skripsi tanggal 10 Juli 2024 sebagai salah satu syarat kelulusan dan mendapatkan Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jember

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I,



**Dr. Ir. Muhtar, ST., MT., IPM.**  
NIDN. 0010067301

Dosen Pembimbing II,



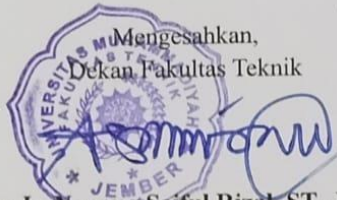
**Hilfi Harisan Ahmad, ST., MT.**  
NIDN. 0172069006

Dosen Penguji I,



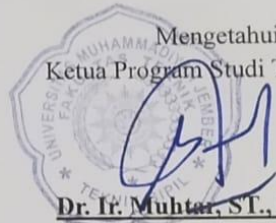
**Setiyo Ferdi Yanuar, S. ST., MT.**  
NIDN. 0713019202

Mengesahkan,  
Dekan Fakultas Teknik



**Prof. Dr. Ir. Nanang Saiful Rizal, ST., MT., IPM.**  
NIDN. 0010067301

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Teknik Sipil



**Dr. Ir. Muhtar, ST., MT., IPM.**  
NIDN. 0010067301

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yulinda Sukmawati  
NIM : 2010611004  
Program Studi : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tugas akhir ini yang berjudul “Pengaruh Penambahan *Fly Ash* Batu Bara Terhadap Kinerja Balok Beton Bertulang Tunggal” merupakan hasil karya saya sendiri. Saya telah melakukan penelitian secara cermat dan mengumpulkan data dengan teliti untuk menghasilkan analisis dan temuan yang terdokumentasi dengan baik di dalamnya. Setiap kutipan, referensi, dan penggunaan informasi dari sumber lain telah saya beri atribusi yang jelas sesuai dengan norma-norma akademik yang berlaku. Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan tugas akhir ini hasil jiplakan, maka saya bersedia untuk memberikan klarifikasi lebih lanjut jika diperlukan terkait dengan keaslian tulisan ini, bukan merupakan pengambilan tulisan atau karya orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan dan karya saya sendiri.

Jember, 10 Juli 2024

Yang menyatakan



**Yulinda Sukmawati**

**NIM. 2010611004**

## PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini penulis persembahkan kepada:

1. Terima kasih kepada keluarga tercinta, yang telah menjadi sumber inspirasi, dukungan, dan cinta tanpa syarat sepanjang perjalanan ini.
2. Terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. Muhtar, ST., MT., IPM. selaku Dosen Pembimbing Utama dan kepada Bapak Hilfi Harisan Ahmad, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah membimbing dengan penuh kesabaran, memberikan arahan yang berharga, dan memperluas wawasan akademik penulis.
3. Untuk teman-teman yang selalu ada dalam suka dan duka, terima kasih atas semangat, dukungan, dan diskusi yang mencerahkan sepanjang penelitian ini.
4. Terima kasih kepada almamater penulis yaitu Universitas Muhammadiyah Jember atas fasilitas dan lingkungan belajar yang mendukung proses penelitian ini.

Semoga hasil dari tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan menjadi langkah awal bagi perjalanan karier akademik penulis yang berkelanjutan.

Jember, 10 Juli 2024

Penulis

## MOTTO

“Ketika Allah menginginkan kebaikan bagi seorang hamba, Dia akan membukakan pintu kesulitan baginya.”

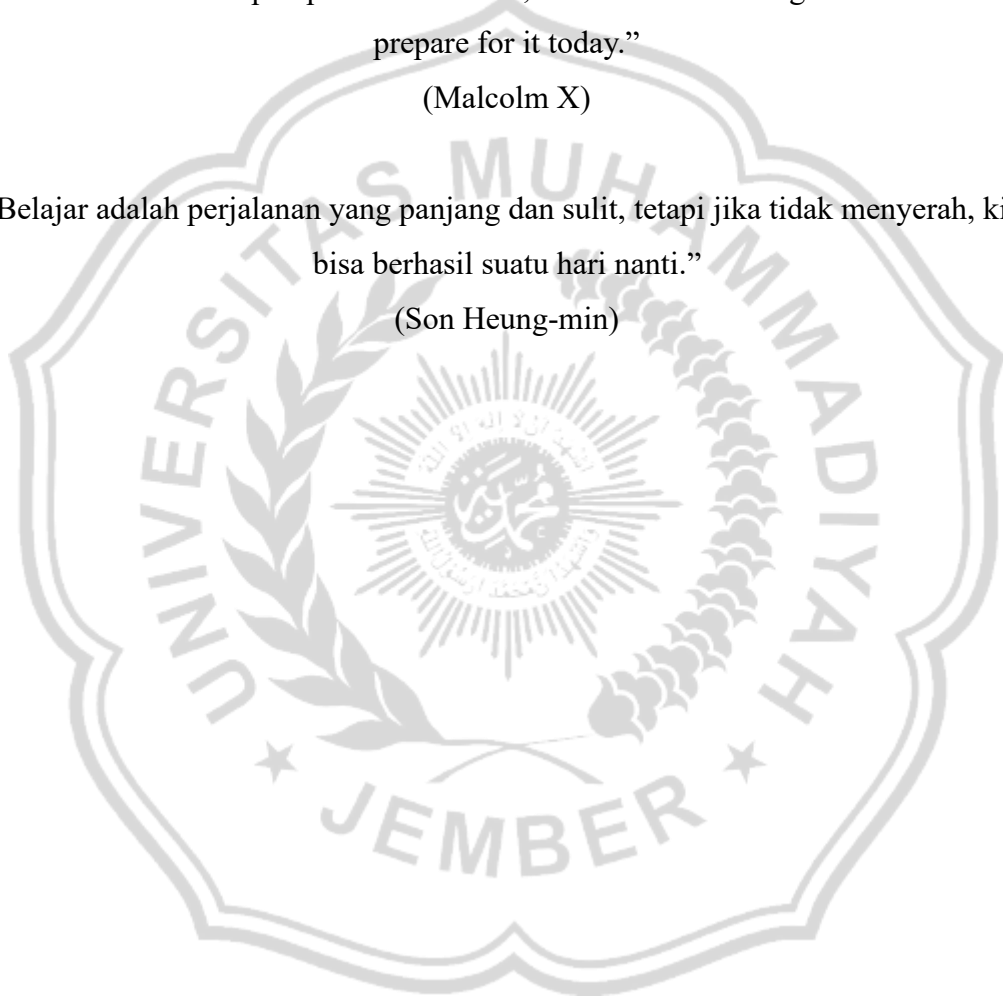
(Ali bin Abi Thalib)

“Education is the passport to the future, for tomorrow belongs to those who prepare for it today.”

(Malcolm X)

“Belajar adalah perjalanan yang panjang dan sulit, tetapi jika tidak menyerah, kita bisa berhasil suatu hari nanti.”

(Son Heung-min)



## PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Penambahan *Fly Ash* Batu Bara Terhadap Kinerja Balok Beton Bertulang Tunggal”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (SI) pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan do'a berbagai pihak, oleh karena itu dalam menulis prakata ini, penulis ingin mengungkapkan terima kasih yang mendalam kepada:

1. Kedua orang tua penulis Ibu Helmy Qomariah dan Bapak Abdul Laksan atas do'a, dukungan, dan cinta sepanjang perjalanan hidup, termasuk kenangan dan pelajaran berharga dari almarhum Ayah.
2. Ketiga kakak penulis Hasbi Fansah Zain, Mohammad Bashori dan Nur Afni Helia Dewi atas dukungan yang tak tergantikan selama proses penulisan skripsi ini yang memberi semangat dan keyakinan kepada penulis bahwa setiap tantangan dapat diatasi dengan tekad yang kuat.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Nanang Saiful Rizal, ST., MT., IPM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jember.
4. Bapak Dr. Ir. Muhtar, ST., MT., IPM. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jember.
5. Bapak Dr. Ir. Muhtar, ST., MT., IPM. selaku Dosen Pembimbing I. Penulis sangat berterima kasih atas bimbingan, kesabaran, dan inspirasi yang luar biasa selama penulisan skripsi ini.
6. Bapak Hilfi Harisan Ahmad, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II. Penulis sangat berterima kasih atas bimbingan, kesabaran, dan inspirasi yang luar biasa selama penulisan skripsi ini.
7. Bapak Setiyo Ferdi Yanuar, S. ST., MT. selaku Dosen Penguji I. Penulis sangat berterima kasih atas bimbingan dan saran demi kesempurnaan skripsi ini.



8. Dosen-dosen serta staf pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jember.
9. Teman-teman seangkatan “Ranajaya 20”. Penulis berterima atas dukungan, semangat, dan persahabatan yang telah menjadi penguat dalam perjalanan menyelesaikan skripsi ini.
10. Teman seperjuangan dalam penelitian yaitu Handika, Antoni, Siska, Ulfa, Zaki, Vio dan Danial atas kolaborasi, semangat, dan dukungan yang tak tergantikan selama perjalanan kami menjelajahi pengetahuan dan menyelesaikan penelitian ini.
11. Teman seperjuangan dalam perjalanan menyelesaikan skripsi yaitu Niam, Yusril, Sabit, Hafiz dan Rozy atas kebersamaan, dukungan tanpa pamrih dan semangat saling menguatkan yang telah dibagikan menjadi bagian tak terpisahkan dari perjalanan ini.
12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah memberikan bantuan, semangat, dan dorongan agar skripsi ini segera selesai.

Penulis juga menerima kritik dan saran dari berbagai pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk kebaikan.

Jember, 10 Juli 2024

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN .....	iv
PERSEMBAHAN.....	v
MOTTO .....	vi
ABSTRAK .....	vii
<i>ABSTRACT</i> .....	viii
PRAKATA.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiv
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>4</b>
2.1 <i>Fly Ash</i> Batu Bara .....	4
2.2 Balok Beton Bertulang.....	6
2.3 Kuat Lentur dan Kuat Tekan .....	7
2.3.1 Kuat Lentur .....	7
2.3.2 Kuat Tekan .....	8
2.4 Daktilitas, Kekakuan dan Lendutan .....	9
2.4.1 Daktilitas .....	9
2.4.2 Kekakuan.....	10
2.4.3 Lendutan.....	12
2.5 Uji Statistika (Analisa Regresi).....	13

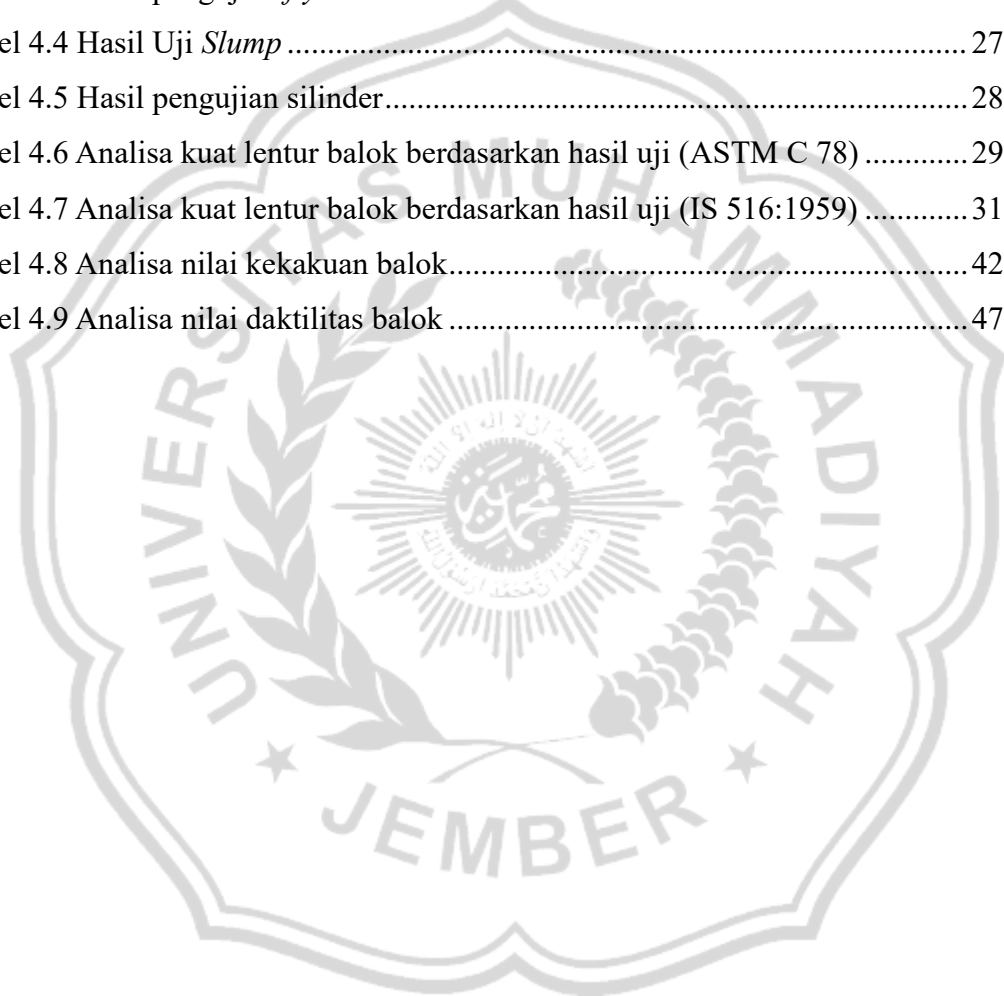
2.6 Pola Retak dan Jenis Keruntuhan.....	13
2.6.1 Pola Retak .....	13
2.6.2 Jenis Keruntuhan.....	14
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>16</b>
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	16
3.2 Persiapan Alat dan Material .....	16
3.2.1 Kadar Air dan Penyerapan Air pada Agregat .....	16
3.2.2 Kadar Lumpur pada Agregat.....	16
3.2.3 Berat Jenis pada Agregat.....	16
3.2.4 Berat Volume pada Agregat.....	16
3.2.5 Analisa Ayakan pada Agregat .....	17
3.2.6 Keausan Agregat Kasar .....	17
3.2.7 Kadar Air dan Berat Jenis <i>Fly Ash</i> Batu Bara .....	17
3.2.8 Benda Uji Balok dan Silinder .....	17
3.3 Proporsi Campuran.....	18
3.4 Pembuatan dan Pemeliharaan Benda Uji .....	18
3.5 Pengaturan Pengujian Dasar.....	19
3.6 Rancangan Penelitian .....	21
3.7 Variabel Penelitian .....	22
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN CAPSTONE PROJECT .....</b>	<b>23</b>
4.1 Pengujian Karakteristik Agregat dan <i>Fly Ash</i> Batu Bara .....	23
4.1.1 Hasil Pengujian Agregat Kasar .....	23
4.1.2 Hasil Pengujian Agregat Halus .....	25
4.1.3 Hasil Pengujian <i>Fly Ash</i> Batu Bara.....	26
4.2 Pengujian <i>Slump</i> .....	27
4.3 Pengujian Kuat Tekan Beton.....	28
4.4 Kuat Lentur Balok Hasil Pengujian .....	29
4.5 Perbandingan Hasil Kuat Lentur ASTM C 78 dan IS 516:1959 .....	34
4.6 Analisa Hubungan Beban dan Lendutan.....	36
4.7 Analisa Kekakuan Hubungan Beban dan Lendutan.....	42
4.8 Analisa Daktilitas Hubungan Beban dan Lendutan .....	46

4.9 Analisa Regangan Hubungan Beban dan Lendutan.....	51
4.10 Pola Retak dan Keruntuhan .....	52
<b>BAB V KESIMPULAN.....</b>	<b>56</b>
5.1 Kesimpulan .....	56
5.2 Saran.....	56
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>58</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>64</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Proporsi campuran beton.....	18
Tabel 3.2 Variabel penelitian uji lentur balok .....	22
Tabel 4.1 Analisis pengujian agregat kasar .....	23
Tabel 4.2 Analisa pengujian agregat halus .....	25
Tabel 4.3 Hasil pengujian <i>fly ash</i> batu bara .....	26
Tabel 4.4 Hasil Uji <i>Slump</i> .....	27
Tabel 4.5 Hasil pengujian silinder.....	28
Tabel 4.6 Analisa kuat lentur balok berdasarkan hasil uji (ASTM C 78) .....	29
Tabel 4.7 Analisa kuat lentur balok berdasarkan hasil uji (IS 516:1959) .....	31
Tabel 4.8 Analisa nilai kekakuan balok.....	42
Tabel 4.9 Analisa nilai daktilitas balok .....	47



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Morfologi <i>fly ash</i> batu bara. (A) <i>fly ash</i> batu bara; (B) cenosfer; (C) partikel plerosfer ukuran kecil; (D) partikel plerosfer ukuran besar pada <i>bottom ash</i> .....	5
Gambar 2.2 Garis-garis perletakan dan pembebanan balok.....	7
Gambar 2.3 Hubungan beban dan lendutan .....	9
Gambar 2.4 Kekakuan lateral menggunakan titik puncak ke puncak .....	11
Gambar 2.5 Kurva perilaku beban-lendutan .....	12
Gambar 2.6 Jenis pola retak .....	14
Gambar 2.7 Jenis keruntuhan pada penampang balok beton bertulang .....	15
Gambar 3.1 Detail penulangan balok beton bertulang tunggal.....	19
Gambar 3.2 <i>Set up</i> uji balok .....	20
Gambar 3.3 Bagan Alur Penelitian.....	21
Gambar 4.1 Grafik analisa agregat kasar .....	24
Gambar 4.2 Grafik analisa agregat halus .....	25
Gambar 4.3 Kapasitas kuat lentur saat retak awal (ASTM C 78).....	30
Gambar 4.4 Kapasitas kuat lentur saat retak <i>ultimate</i> (ASTM C 78) .....	30
Gambar 4.5 Kapasitas kuat lentur saat retak awal (IS 516:1959) .....	32
Gambar 4.6 Kapasitas kuat lentur saat retak <i>ultimate</i> (IS 516:1959) .....	32
Gambar 4.7 Perbedaan nilai kuat lentur saat retak awal berdasarkan ASTM C 78 dan IS 516:1959.....	34
Gambar 4.8 Perbedaan nilai kuat lentur saat retak <i>ultimate</i> berdasarkan ASTM C 78 dan IS 516:1959.....	35
Gambar 4.9 Hubungan beban dan lendutan pada beton normal .....	36
Gambar 4.10 Hubungan beban dan lendutan pada BF – 5% .....	37
Gambar 4.11 Hubungan beban dan lendutan pada BF – 10% .....	38
Gambar 4.12 Hubungan beban dan lendutan pada BF – 15% .....	39
Gambar 4.13 Hubungan beban dan lendutan pada BF – 20% .....	40
Gambar 4.14 Grafik gabungan hubungan beban dan lendutan .....	41
Gambar 4.15 Grafik kekakuan beton normal (BN) .....	43

Gambar 4.16 Grafik kekakuan beton <i>fly ash</i> 5% (BF) .....	43
Gambar 4.17 Grafik kekakuan beton <i>fly ash</i> 10% (BF) .....	44
Gambar 4.18 Grafik kekakuan beton <i>fly ash</i> 15% (BF) .....	45
Gambar 4.19 Grafik kekakuan beton <i>fly ash</i> 20% (BF) .....	45
Gambar 4.20 Diagram batang kekakuan balok .....	46
Gambar 4.21 Grafik daktilitas beton normal (BN) .....	48
Gambar 4.22 Grafik daktilitas beton <i>fly ash</i> 5% (BF) .....	48
Gambar 4.23 Grafik daktilitas beton <i>fly ash</i> 10% (BF) .....	49
Gambar 4.24 Grafik daktilitas beton <i>fly ash</i> 15% (BF) .....	50
Gambar 4.25 Grafik daktilitas beton <i>fly ash</i> 20% (BF) .....	50
Gambar 4.26 Diagram batang daktilitas balok.....	51
Gambar 4.27 Grafik regangan hubungan beban dan lendutan.....	52
Gambar 4.28 Pola retak balok <i>fly ash</i> batu bara. (a) Beton Normal; (b) BF-5%; (c) BF-10%; (d) BF-15%; dan (e) BF-20%.....	53

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1.</b> Hasil pengujian kadar air agregat kasar .....	65
<b>Lampiran 2.</b> Hasil pengujian penyerapan air agregat kasar .....	65
<b>Lampiran 3.</b> Hasil pengujian kadar lumpur agregat kasar.....	65
<b>Lampiran 4.</b> Hasil pengujian berat jenis agregat kasar .....	65
<b>Lampiran 5.</b> Hasil pengujian berat volume agregat kasar .....	65
<b>Lampiran 6.</b> Hasil uji analisa ayakan agregat kasar .....	66
<b>Lampiran 7.</b> Hasil uji keausan agregat kasar.....	66
<b>Lampiran 8.</b> Hasil pengujian kadar air agregat halus.....	66
<b>Lampiran 9.</b> Hasil pengujian penyerapan air agregat halus .....	66
<b>Lampiran 10.</b> Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus.....	67
<b>Lampiran 11.</b> Hasil pengujian berat jenis agregat halus.....	67
<b>Lampiran 12.</b> Hasil pengujian berat volume agregat halus .....	67
<b>Lampiran 13.</b> Hasil uji analisa ayakan agregat halus .....	67
<b>Lampiran 14.</b> Hasil pengujian kadar air <i>fly ash</i> batu bara.....	68
<b>Lampiran 15.</b> Hasil pengujian berat jenis <i>fly ash</i> batu bara .....	68
<b>Lampiran 16.</b> Perhitungan proporsi campuran (jumlah balok, jumlah silinder dan komposisi campuran).....	68
<b>Lampiran 17.</b> Perhitungan kuat tekan beton.....	70
<b>Lampiran 18.</b> Perhitungan kuat lentur berdasarkan (ASTM C 78) .....	71
<b>Lampiran 19.</b> Perhitungan kuat lentur berdasarkan (IS 516:1959) .....	73
<b>Lampiran 20.</b> Perhitungan analisa regresi (diskriminan) .....	75
<b>Lampiran 21.</b> Perhitungan kekakuan balok.....	76
<b>Lampiran 22.</b> Perhitungan daktilitas balok.....	77
<b>Lampiran 23.</b> Pengujian kadar dan penyerapan air agregat kasar .....	78
<b>Lampiran 24.</b> Pengujian kadar lumpur agregat kasar.....	78
<b>Lampiran 25.</b> Pengujian berat jenis agregat kasar.....	79
<b>Lampiran 26.</b> Pengujian berat volume agregat kasar .....	79
<b>Lampiran 27.</b> Pengujian analisa ayakan agregat kasar.....	79
<b>Lampiran 28.</b> Pengujian keausan agregat kasar .....	80



<b>Lampiran 29.</b> Pengujian kadar dan penyerapan air agregat halus .....	80
<b>Lampiran 30.</b> Pengujian kadar lumpur agregat halus .....	80
<b>Lampiran 31.</b> Pengujian berat jenis agregat halus .....	81
<b>Lampiran 32.</b> Pengujian berat volume agregat halus .....	81
<b>Lampiran 33.</b> Pengujian Analisa ayakan agregat halus .....	81
<b>Lampiran 34.</b> Pembuatan bekisting balok .....	82
<b>Lampiran 35.</b> Perakitan besi tulangan .....	82
<b>Lampiran 36.</b> Pemasangan <i>strain gauge</i> dan kabel pada besi tulangan .....	82
<b>Lampiran 37.</b> Pembuatan benda uji silinder .....	83
<b>Lampiran 38.</b> Pembuatan benda uji balok .....	83
<b>Lampiran 39.</b> Pembongkaran cetakan silinder .....	83
<b>Lampiran 40.</b> Pembongkaran bekisting balok .....	84
<b>Lampiran 41.</b> Perawatan benda uji silinder .....	84
<b>Lampiran 42.</b> Perawatan benda uji balok .....	84
<b>Lampiran 43.</b> Pengecatan benda uji balok .....	85
<b>Lampiran 44.</b> Penggarisan benda uji balok .....	85
<b>Lampiran 45.</b> Pengujian kuat tekan silinder .....	85
<b>Lampiran 46.</b> Pengujian kuat lentur balok .....	86
<b>Lampiran 47.</b> <i>Letter of Acceptance Journal</i> (LoA Jurnal) .....	87