

TESIS

**PERILAKU LENTUR BALOK-T BETON “HIGH
VOLUME FLY ASH - SELF COMPACTING
CONCRETE” DIPERKUAT DENGAN “CARBON
FIBER REINFORCED POLYMER” (CFRP)**



Joko Amiguno

No, Mhs. 215118876/PS/MTS

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL PROGRAM MAGISTER
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA**



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PENGESAHAN TESIS

Nama : Joko Amiguno
Nomor Mahasiswa : 215118876/PS/MTS
Konsentrasi : Struktur
Judul Tesis : Perilaku Lentur Balok-T Beton "High Volume Fly Ash-Self Compacting Concrete" Diperkuat Dengan "Carbon Fiber Reinforced Polymer" (CFRP)

Dosen Penguji

Tanggal

Tanda Tangan

Prof. Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng., IPU,
ASEAN Eng.

15/01/2026
.....

.....
.....

Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D

15/01/2026
.....

.....
.....

Dr. Ir. Johanes Januar Sudjati, S.T., M.T

15/1-26
.....

.....
.....

Mengetahui,

Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil



FAKULTAS
TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

Dr. Ir. Nectaria Putri Pramesti, S.T., M.T.

PERNYATAAN

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

**PERILAKU LENTUR BALOK-T BETON “HIGH VOLUME FLY ASH -
SELF COMPACTING CONCRETE” DIPERKUAT DENGAN “CARBON
FIBER REINFORCED POLYMER” (CFRP)**

benar – benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi dari 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 Tesis ini. Apabila terbukti dikemudian hari bahwa Tesis ini merupakan hasil plagiasi, maka ijazah yang saya peroleh dinyatakan batal dan saya akan kembalikan kepada Rektor Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Yogyakarta, 18 Januari 2026

Yang membuat pernyataan



Joko Amiguno

ABSTRAK

Dalam proses pembuatan beton, bahan susun utama adalah semen. Namun, semen dalam produksinya memberikan kontribusi pencemaran gas CO₂. *Fly ash* merupakan limbah proses batu bara yang merupakan limbah dengan kategori B3. Jika limbah tidak dikelola dengan baik akan menimbulkan permasalahan bagi kesehatan dan polusi lingkungan. Menilik kondisi tersebut maka penelitian ini menggunakan material *fly ash* sebagai pengganti semen dalam produksi beton *Self Compacting Concrete* atau yang umum disingkat dengan istilah SCC adalah beton segar yang sangat plastis dan mudah mengalir karena berat sendirinya memadatkan sendiri tanpa adanya bantuan alat penggetar. Penelitian ini membuat beton dengan jenis *self-compacting concrete*, Penggunaan *fly ash* yang sangat tinggi, menyebabkan kemungkinan kemampuan beton menurun, maka penelitian ini dalam penerapan pada struktur balok-T, digunakan tambahan perkuatan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP).

Dalam penelitian ini balok beton *High Volume Fly Ash – Self Compacting Concrete* (HVFA SCC) dibuat dengan penampang T dengan ukuran 120/240 dengan flens tebal 80 mm lebar sisi atas 440 mm yang diperkuat dengan satu lapis CFRP tipe Carbo Dur tebal 1.2 mm dengan lebar 100 mm untuk specimen HVFA-SCC 100 - 3000 dan 50 mm untuk specimen HVFA-SCC 50 - 3000. Beban balok direncanakan dengan pembebanan *two-point loading*. *Strain Gauge* (3) untuk pengecekan regangan beton dipasang pada permukaan beton bagian bawah dengan jarak 1.5 m dari tumpuan (bagian tengah bentang balok), sedangkan untuk mengetahui regangan tulangan akibat lentur, *strain gauge* (2) dipasang pada tulangan tarik dengan jarak 1.5 m dari tumpuan (bagian tengah bentang balok) dan *strain gauge* (5) dipasang pada tulangan tarik balok dengan jarak 1 m dari tumpuan (berada pada tepat di beban P/2).

Dari hasil penelitian balok beton *High Volume Fly Ash – Self Compacting Concrete* (HVFA SCC) dibuat dengan penampang T yang diperkuat dengan satu lapis CFRP tipe Carbo Dur tebal 1.2 mm dengan lebar 100 mm untuk specimen HVFA-SCC 100 - 3000 dan 50 mm untuk specimen HVFA-SCC 50 - 3000 dibandingkan dengan balok normal, efleksi yang terjadi menjadi lebih kecil 30 %, regangan yang terjadi pada beton meningkat 300 %, regangan pada baja tulangan yang dipasang pada posisi tengah bentang sama sedangkan regangan yang terjadi pada jarak 1 m dari tumpuan untuk specimen HVFA-SCC 100 - 3000 sama dengan regangan yang terjadi pada balok normal sedangkan untuk specimen HVFA-SCC 50 - 3000 regangan yang terjadi lebih kecil 50% dari regangan yang terjadi pada balok normal.

Kata kunci: HVFA, CFRP, *Self Compacting Concrete*, Perilaku Lentur, Balok-T

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERSETUJUAN TESIS	ii
PENGESAHAN TESIS	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	iii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.1 <i>Fiber Reinforced Polymer (FRP)</i>	11
2.1.1 <i>Carbon</i>	13
2.1.2 <i>Glass</i>	16
BAB III LANDASAN TEORI	17
3.1 Balok	17
3.2 Perencanaan Kuat Lentur Nominal	17
3.3 Kontribusi FRP Terhadap Kuat Lentur	17
3.3.1 Hitung sifat material desain sistem FRP	17
3.3.2 Perhitungan awal sifat beton:	18
3.3.3 Menentukan kondisi regangan yang ada pada sisi bawah balok	18
3.3.4 Tentukan jenis desain sistem FRP	18
3.3.5 Tentukan tingkat regangan efektif dalam perkuatan FRP	18
3.3.6 Hitung regangan pada baja tulangan yang ada	18
3.3.7 Hitung tegangan pada baja tulangan dan FRP	19
3.3.8 Hitung resultan gaya internal dan cek keseimbangan	19
3.3.9 Hitung komponen kekuatan lentur	19
3.3.10 Hitung kekuatan lentur desain penampang	20
3.4 Tulangan	20
3.5 <i>Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)</i>	20
3.6 Beton HVFA-SCC	20
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	21
4.1 Peta Jalan Penelitian	21

4.2	Metode Penelitian	22
4.3	Perhitungan Kapasitas Lentur untuk Balok Tanpa dan Dengan Perkuatan FRP	26
4.3.1	Data Material.....	26
4.3.2	Benda Uji Balok T.....	28
4.3.3	Perhitungan Kapasitas Lentur Perkuatan FRP Lebar 50 mm	29
4.4	Benda Uji	35
4.4.1	Benda Uji Silinder Beton.....	35
4.4.2	Benda Uji Balok Berpenampang T.....	35
4.5	Metode	37
4.5.1	Pemasangan Strain Gauge.....	37
4.5.2	Pengecoran Balok Uji	38
4.5.3	Pemasangan CFRP Pada Balok Uji.....	39
4.5.4	Set Up Pengujian	41
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		44
5.1	Pengujian Bahan Campuran Beton.....	44
5.1.1	Komposisi Material Penyusun Beton	44
5.1.2	Hasil pengujian Agregat Halus	44
5.1.3	Pengujian Agregat Kasar	45
5.1.4	Komposisi Kimia Fly Ash.....	45
5.1.5	Pengujian Slum Flow Test.....	45
5.2	Pengujian Sifat Mekanik.....	46
5.2.1	Pengujian Kuat Tekan Beton	46
5.2.2	Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan	48
5.3	Pengujian Experiment Balok terhadap Perkuatan Lentur.....	48
5.3.1	Hubungan Antara Beban dan Defleksi	49
5.3.2	Hubungan Antara Beban dan Regangan Beton.....	52
5.3.3	Hubungan Antara Beban dan Regangan Baja Tulangan 1 (Pemasangan Strain Gauge Pada Tengah Bentang Balok).....	54
5.3.4	Hubungan Antara Beban dan Regangan Baja Tulangan 2 (Pemasangan Strain Gauge Pada Jarak 1 m Dari Tumpuan Balok).....	57
5.4	Pola Retakan Balok Uji Penampang T	61
5.4.1	Pola Retakan Balok Normal (BR Normal)	61
5.4.2	Pola Retakan Balok Dengan perkuatan CFRP (BF-HVFA-SCC-CFRP100-3000-1).....	63

5.4.3	Pola Retakan Balok Dengan perkuatan CFRP (BF-HVFA-SCC-CFRP100-3000-2).....	64
5.4.4	Pola Retakan Balok Dengan perkuatan CFRP (BF-HVFA-SCC-CFRP50-3000-1).....	66
5.4.5	Pola Retakan Balok Dengan perkuatan CFRP (BF-HVFA-SCC-CFRP50-3000-2).....	67
DAFTAR PUSTAKA		69

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Parameter Balok Yang Diuji.....	4
Tabel 2.1. Pengujian beton segar HVFA SCC [8]	8
Tabel 4 1. Rencana spesimen.....	23
Tabel 4 2 Faktor reduksi lingkungan untuk sistem FRP dan jenis paparannya (exposure)	28
Tabel 5 1 Komposisi Campuran Beton High Volume Fly Ash – Self Compacting Concrete.....	44
Tabel 5 2 Hasil Pengujian Agregat Halus.....	45
Tabel 5 3. Hasil Pengujian Agregat Kasar	45
Tabel 5 4. Komposisi Kimia Fly Ash	45
Tabel 5 5. Hasil Pengujian Beton Segar	46
Tabel 5 6. Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel Beton Umur 14 Hari.....	46
Tabel 5 7. Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel Beton Umur 21 Hari.....	47
Tabel 5 8. Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel Beton Umur 28 Hari.....	47
Tabel 5 9. Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Sampel Beton Umur 28 Hari.....	47
Tabel 5 10. Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja $\varnothing$ 12 mm	48
Tabel 5 11. Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja $\varnothing$ 6 mm	48
Tabel 5 12. Tabel Kapasitas Beban Balok Uji.....	49
Tabel 5 13. Nilai Defleksi Balok Uji	52
Tabel 5 14. Nilai Regangan Beton Pada Balok Uji.....	54
Tabel 5 15. Nilai Regangan Baja Tulangan 1 Pada Balok Uji.....	57
Tabel 5 16. Nilai Regangan Baja Tulangan 2 Pada Balok Uji.....	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Beban-defleksi (a) Balok beton bertulang HVFA (b) Balok Kontrol/Normal	8
Gambar 2.2. Beban 2 titik	9
Gambar 2.3. Spesimen pengujian lentur (penulangan) [11]	10
Gambar 2.4. Spesimen pengujian lentur (pemasangan CFRP) [11]	10
Gambar 2.5. Material Carbon Fiber	13
Gambar 2.6. Material Sika Carbodur	14
Gambar 2.7. Material Sika Wrap	15
Gambar 2.8. Material Sika Carbodur NSM	16
Gambar 4.1. Peta jalan penelitian/road map beton HVFA- SCC	21
Gambar 4.2. Penulangan balok beton normal dan beton CFRP	24
Gambar 4.3. Penampang balok 120/240 dengan flens tebal 80 mm lebar sisi atas 440 mm	24
Gambar 4.4. Perencanaan pembebanan 2 titik	25
Gambar 4.5. Perencanaan pemasangan CFRP lebar 100 mm pada balok	25
Gambar 4.6. Perencanaan pemasangan CFRP lebar 50 mm	26
Gambar 4.7. BR-NORMAL-3000	36
Gambar 4.8. BF-HVFA SCC 100-3000	37
Gambar 4.9. BF-HVFA SCC 50-3000	37
Gambar 4.10. Posisi Pemasangan Strain Gauge	38
Gambar 4.11. Perakitan tulangan dan bekisting balok uji	39
Gambar 4.12. Pemasangan CFRP Carbodur	40
Gambar 4.13. Peralatan saat uji slump (flow test)	40
Gambar 4.14. Uji slump flow test dan pengecoran balok uji	41
Gambar 4.15. Setting Benda Uji	42
Gambar 4.16. Bagan alir rencana penelitian	43
Gambar 5.1. Grafik Hubungan Beban dan Defleksi – BR NORMAL	49
Gambar 5.2. Grafik Hubungan Beban dan Defleksi – BF-HVFA-SCC-CFRP50-3000-1	50
Gambar 5.3. Grafik Hubungan Beban dan Defleksi – BF-HVFA-SCC-CFRP50-3000-2	50
Gambar 5.4. Grafik Hubungan Beban dan Defleksi – Bf-HVFA-SCC-CFRP100-3000-1.	51
Gambar 5.5. Grafik Hubungan Beban dan Defleksi – BF-HVFA-SCC-CFRP100-3000-2.	51
Gambar 5.6. Grafik Hubungan Beban dan Regangan Beton – BR NORMAL	52
Gambar 5.7. Grafik Hubungan Beban dan Regangan Beton – BF-HVFA-SCC-CFRP50-3000-1	53
Gambar 5.8. Grafik Hubungan Beban dan Regangan Beton – BF-HVFA-SCC-CFRP50-3000-2	53

Gambar 5 9. Grafik Hubungan Beban dan Regangan Beton – BF-HVFA-SCC-CFRP100-3000-2.....	54
Gambar 5 10. Grafik Hubungan Beban dan Baja Tulangan 1 – BR NORMAL.....	55
Gambar 5 11. Grafik Hubungan Beban dan Baja Tulangan 1 – BF HVFA-SCC- CFRP50-3000-1	55
Gambar 5 12. Grafik Hubungan Beban dan Baja Tulangan 1 – BF HVFA-SCC- CFRP50-3000-2	56
Gambar 5 13. Grafik Hubungan Beban dan Baja Tulangan 1 – BF HVFA-SCC- CFRP100-3000-1	56
Gambar 5 14. Grafik Hubungan Beban dan Baja Tulangan 1 – BF HVFA-SCC- CFRP100-3000-2	57
Gambar 5 15. Grafik Hubungan Beban dan Baja Tulangan 2 – BR NORMAL.....	58
Gambar 5 16. Grafik Hubungan Beban dan Baja Tulangan 2 – BF HVFA-SCC- CFRP50-3000-1	59
Gambar 5 17. Grafik Hubungan Beban dan Baja Tulangan 2 – BF HVFA-SCC- CFRP50-3000- 2.....	59
Gambar 5 18. Grafik Hubungan Beban dan Baja Tulangan 2 – BF HVFA-SCC- CFRP100-3000-1	60
Gambar 5 19. Grafik Hubungan Beban dan Baja Tulangan 2 – BF HVFA-SCC- CFRP100-3000-2	60
Gambar 5 20 . Benda uji balok normal (BR-Normal).....	61
Gambar 5 21. Pola Retakan pada Benda uji balok normal (BR-Normal) setelah diberikan Pembebanan.....	62
Gambar 5 22. Sketsa Pola Retak Balok	62
Gambar 5 23. Benda uji balok dengan perkuatan CFRP (BF-HVFA-SCC-CFRP100-3000-1) sebelum diberikan Pembebanan	63
Gambar 5 24. Benda uji balok dengan perkuatan CFRP (BF-HVFA-SCC-CFRP100-3000-1) setelah diberikan Pembebanan	63
Gambar 5 25. Benda uji balok dengan perkuatan CFRP (BF-HVFA-SCC-CFRP100 - 3000-2) sebelum diberikan Pembebanan	64
Gambar 5 26. Benda uji balok dengan perkuatan CFRP (BF-HVFA-SCC-CFRP100-3000-2) setelah diberikan Pembebanan	65
Gambar 5 27. Sketsa Pola Retak Balok	65
Gambar 5 28. Benda uji balok dengan perkuatan CFRP (BF-HVFA-SCC-CFRP50-3000-1) sebelum diberikan Pembebanan	66
Gambar 5 29. Benda uji balok dengan perkuatan CFRP (BF-HVFA-SCC-CFRP50-3000-2) setelah diberikan Pembebanan.....	66
Gambar 5 30. Benda uji balok dengan perkuatan CFRP (BF-HVFA-SCC-CFRP50-3000-2) sebelum diberikan Pembebanan	67
Gambar 5 31. Benda uji balok dengan perkuatan CFRP (BF-HVFA-SCC-CFRP50-3000-2) setelah diberikan Pembebanan.....	68
Gambar 5 32. Sketsa Pola Retak Balok	68