

TESIS

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



Benedictus Cahya Erwanto
No. Mhs : 215118877/PS/MTS

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL PROGRAM MAGISTER
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
2026**



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

PENGESAHAN TESIS

Nama : Benedictus Cahya Erwanto
Nomor Mahasiswa : 215118877/PS/MTS
Konsentrasi : Struktur
Judul Tesis : Perilaku Geser 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. Johannes Januar Sudjati, S.T., M.T

15/1-26

Mengetahui,

Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil



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 Geser 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 mengembalikan kepada Rektor Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Yogyakarta, 18 Januari 2026

Yang membuat pernyataan



Benedictus Cahya Erwanto

INTISARI

Pada pembangunan infrastruktur saat ini beton masih menjadi pilihan utama sebagai komponen penyusun bangunan. Dalam proses pembuatannya campuran beton terdiri dari pasir, kerikil, semen, dan air. Pembuatan atau produksi semen menciptakan emisi gas CO₂ yang cukup signifikan, pembakaran dari batu bara yang digunakan antara lain menghasilkan *fly ash*, dimana *fly ash* termasuk limbah kategori B3. Penggunaan *fly ash* dengan kadar lebih dari 50% mampu menghasilkan beton yang daktail dan dapat mengalir atau memadat sendiri, tetapi dengan kadar *fly ash* yang cukup tinggi bisa menyebabkan kemampuan beton menurun, sehingga dalam penelitian ini diterapkan pada struktur balok T, yang diperkuat dengan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP)

Perilaku geser balok berpenampang T beton *High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete* (HVFA-SCC) dengan penambahan *fly ash* dengan kadar 50% yang diperkuat *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP), dilakukan dengan metode penelitian eksperimen di laboratorium. Tahap pertama adalah memeriksa kelayakan bahan penyusun beton, dan selanjutnya membuat *sample* beton. Pengujian yang dilakukan adalah menguji properties beton (kuat tekan, modulus elastisitas), selanjutnya menguji kekuatan geser untuk balok normal tanpa perkuatan dan balok geser dengan perkuatan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) dilakukan dengan metode pembebanan 2 titik dengan jarak 1000mm antar titik bebannya. Dimensi *sample properties* beton adalah silinder ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Sedangkan *spesimen* balok uji memiliki penampang balok T yang dengan ukuran badan 120/240 mm, tebal slab sayap 80 mm, dan lebar 440 mm, dengan Panjang balok 3000mm.. Semua diuji pada umur 28hari.

Sesuai dengan hasil penelitian balok berpenampang T beton *High Volume Fly Ash Self Compacting Concrete* (HVFA-SCC) dengan penambahan *fly ash* dengan kadar 50% yang diperkuat *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP), mendapatkan hasil kapasitas geser balok uji yang belum diperkuat dan yang sudah diperkuat dengan CFRP yang diperoleh dari perhitungan berdasarkan SNI 8971_21, memiliki peningkatan kapasitas geser dari balok normal, ke balok dengan perkuatan CFRP yang dipasang setiap 150mm, dan setiap 300mm, yakni untuk balok normal sebesar 21.216kN, dengan perkuatan setiap 150cm dan 300cm sebesar 29.64kN, dan 32.54kN. sedangkan hasil pada balok yang diuji dengan pembebanan dua titik di lab memiliki gaya geser maksimum yang relatif sama, balok normal sebesar 16.94 kN, balok uji 1 dan 2 dengan perkuatan CFRP dipasang setiap 150cm sebesar 16.11 kN, dan 16.85 kN, sedangkan balok uji 1 dan 2 dengan perkuatan CFRP dipasang setiap 300cm sebesar 16.56 kN, dan 16.91 kN, disimpulkan bahwa kapasitas geser pada beton HFVA lebih tinggi daripada gaya geser maksimum yang terjadi pada *specimen* balok uji.

Kata kunci : Limbah, HVFA, CFRP, *Self-Compacting Concrete*, Perilaku Geser

ABSTRACT

In current infrastructure development, concrete remains the primary choice as a structural building material. In its production process, concrete is composed of sand, gravel, cement, and water. Cement manufacturing generates significant CO₂ emissions, while the combustion of coal used in the process produces fly ash, which is classified as hazardous and toxic waste (B3). The use of fly ash at levels exceeding 50% can produce concrete that is ductile and capable of flowing or self-compacting. However, a high fly ash content may reduce concrete strength. Therefore, this study applies such concrete to T-beam structural elements reinforced with Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP).

The shear behavior of T-section beams made of High Volume Fly Ash Self-Compacting Concrete (HVFA-SCC) with 50% fly ash content and reinforced with Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) was investigated through an experimental laboratory method. The first stage involved evaluating the suitability of the constituent materials, followed by the preparation of concrete specimens. The tests conducted included concrete property tests (compressive strength and modulus of elasticity), followed by shear strength tests on unreinforced normal beams and CFRP-strengthened beams. The shear tests were performed using a two-point loading method with a spacing of 1000 mm between load points. The concrete property specimens were cylindrical samples with a diameter of 150 mm and a height of 300 mm. The beam specimens had a T-shaped cross-section with a web size of 120/240 mm, flange thickness of 80 mm, flange width of 440 mm, and a beam length of 3000 mm. All specimens were tested at the age of 28 days.

Based on the research results, T-section beams made of High Volume Fly Ash Self-Compacting Concrete (HVFA-SCC) with 50% fly ash content and reinforced with Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) showed an increase in shear capacity. The calculated shear capacities of unstrengthened and CFRP-strengthened beams, based on SNI 8971:2021, indicated an increase from normal beams to CFRP-strengthened beams with CFRP spacing of 150 mm and 300 mm. The shear capacity of the normal beam was 21.216 kN, while beams strengthened with CFRP at 150 mm and 300 mm spacing achieved shear capacities of 29.64 kN and 32.54 kN, respectively. Meanwhile, laboratory tests using two-point loading showed relatively similar maximum shear forces: 16.94 kN for the normal beam; 16.11 kN and 16.85 kN for beams strengthened with CFRP at 150 mm spacing; and 16.56 kN and 16.91 kN for beams strengthened with CFRP at 300 mm spacing. It can be concluded that the shear capacity of HVFA concrete is higher than the maximum shear force experienced by the tested beam specimens.

Keywords : Waste, High Volume Fly Ash (HVFA), Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP), Self-Compacting Concrete, Shear Behavior

KATA HANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul Perilaku Geser Balok T “High Volume Fly Ash-Self Compacting Concrete” Diperkuat Dengan “Carbon Fiber Reinforced Polymer” (CFRP). Tesis ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat pascasarjana di Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tesis ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tesis ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng., selaku dosen pembimbing Tesis, yang telah memberikan banyak ilmu, pengarahan dan dukungan demi terselesaikannya penyusunan Tesis ini.
2. Bapak Prof. Ir. Yoyong Arfiadi, M.Eng., Ph.D. selaku dosen penguji Tesis, yang telah memberikan banyak masukan, kritik maupun saran, dan memberikan evaluasi agar lebih baik di kemudian hari.
3. Bapak Dr. Ir. Johanes Januar Sudjati, S.T., M.T. selaku dosen penguji Tesis, yang telah memberikan banyak masukan, kritik maupun saran, dan memberikan evaluasi agar lebih baik di kemudian hari.
4. Ibu Dr. Ir. Nectaria Putri Pramesti, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
5. Keluarga dan teman-teman penulis yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi, doa, serta semangat selama penyusunan Laporan Tesis ini.
6. Dan seluruh pihak yang telah mendukung terselesaikannya Tesis ini.

Akhirnya penulis berharap agar Tesis ini dapat bermanfaat bagi penulis serta berbagai pihak yang membacanya.

DAFTAR ISI

JUDUL	i
PENGESAHAN TESIS	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
INTISARI.....	iv
ABSTRACT	v
KATA HANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tinjauan Umum	5
2.2 <i>Fiber Reinforced Polymer (FRP)</i>	8
2.2.1 Carbon.....	9
2.2.2 <i>Glass</i>	13
2.2.3 <i>Aramid</i>	13
BAB III LANDASAN TEORI.....	15
3.1 Balok	15
3.2 Perencanaan Kuat Geser Nominal	15
3.3 Kontribusi FRP Terhadap Kuat Geser	16
3.4 Regangan Efektif Dalam Laminasi FRP	17
3.4.1 Komponen Dengan Pembungkusan Penuh	17
3.4.2 Pembungkusan U Terekat dan Lapisan Permukaan Terekat	18

3.5 Beton <i>Self Compacting Concrete (SCC)</i>	19
3.5.1 Kelebihan	19
3.6 <i>Fly Ash</i>	19
3.7 Modulus Elastisitas Beton	20
3.8 Kuat Tekan Beton	21
3.9 Kuat Tarik Belah	21
BAB IV METODE PENELITIAN	22
4.1 Bahan Penelitian	22
4.2 Tahapan Persiapan dan Material	23
4.2.1 Bahan	23
4.3 Benda Uji	27
4.3.1 Benda Uji Silinder Beton	27
4.3.2 Benda Uji Balok Berpenampang T	27
4.4 Proses Penelitian	35
4.4.1 Pelaksanaan Persiapan dan Pengecoran	36
4.4.2 Pemasangan CFRP Pada Balok Uji	39
4.4.3 Set Up Pengujian	41
BAB V PEMBAHASAN	44
5.1 Pengujian Bahan Campuran Beton	44
5.1.1 Pengujian Agregat Halus	44
5.1.2 Pengujian Agregat Kasar	46
5.1.3 Komposisi Kimia <i>Fly Ash</i>	46
5.1.4 Pengujian <i>Slum Flow Test</i>	46
5.1.5 Komposisi Material Penyusun Beton	47
5.2 Pegujian Sifat Mekanik	48
5.2.1 Pengujian Kuat Tekan Beton	48
5.2.2 Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan	49
5.3 Pengujian Experiment Balok Terhadap Penguatan Geser	50
5.3.1 Pengujian Kapasitas Balok	50
5.3.2 Hubungan Antara Beban dan Defleksi	52
5.3.3 Hubungan Antara Beban dan Regangan Baja Tulangan	57

5.3.4 Hubungan Antara Beban dan Regangan Beton 1 (Pemasangan Strain Gauge 45°).....	62
5.3.5 Hubungan Antara Beban dan Regangan Beton 1 (Pemasangan Strain Gauge 45°).....	67
5.4 Pola Retakan Balok Uji Penampang T.....	72
5.4.1 Pola Retakan Balok Normal (BR Normal)	72
5.4.2 Pola Retakan Balok Dengan Perkuatan CFRP (BS-HVFA-SCC-CFRP100-150-1)	76
5.4.3 Pola Retakan Balok Dengan Perkuatan CFRP (BS-HVFA-SCC-CFRP100-150-2)	80
5.4.4 Pola Retakan Balok Dengan Perkuatan CFRP (BS-HVFA-SCC-CFRP250-300-1)	84
5.4.5 Pola Retakan Balok Dengan Perkuatan CFRP (BS-HVFA-SCC-CFRP250-300-2)	89
5.5 Perhitungan Kapasitas Geser Terhadap Balok Uji Dengan Perkuatan Pembalutan CFRP Berdasarkan SNI 8971_2021	93
5.5.1 Perkuatan Pembalutan CFRP Dengan Lebar 250mm dan Terpasang Setiap Jarak 300mm	94
5.5.2 Perkuatan Pembalutan CFRP Dengan Lebar 100mm dan Terpasang Setiap Jarak 150mm	97
5.6 Perbandingan Kapasitas Geser Dari Hasil Uji Lab dengan Perhitungan Perkuatan Pembalutan CFRP berdasarkan SNI 8971_2021.....	101
BAB VI KESIMPULAN	103
6.1 Kesimpulan	103
6.2 Saran.....	105
DAFTAR PUSTAKA	106

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Parameter Balok Uji.....	3
Tabel 3.1 Faktor Reduksi Tambahan yang Direkomendasikan Untuk Penulangan Geser.....	16
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Agregat Halus	46
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar	46
Tabel 5.3 Komposisi Kimia <i>Fly Ash</i>	47
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Beton Segar	47
Tabel 5.5 Komposisi Campuran Beton High Volume Fly Ash – Self Compacting Concrete	48
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel Beton Umur 7 Hari	48
Tabel 5.7 Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel Beton Umur 21 Hari	49
Tabel 5.8 Hasil Pengujian Kuat Tekan Sampel Beton Umur 28 Hari	49
Tabel 5.9 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah Sampel Beton Umur 28 Hari	49
Tabel 5.10 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja $\varnothing$ 12 mm	50
Tabel 5.11 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja $\varnothing$ 6 mm	50
Tabel 5.12 Hasil Pengujian Kapasitas Balok Uji	51
Tabel 5.13 Nilai Defleksi Balok Uji	56
Tabel 5.14 Nilai Regangan Baja Tulangan Senggang Pada Balok Uji	61
Tabel 5.15 Nilai Regangan Beton 1 Pada Balok Uji.....	66
Tabel 5.16 Nilai Regangan Beton 2 Pada Balok Uji.....	71
Tabel 5.17 NilFaktor Reduksi Lingkungan untuk Sistem FRP dan Jenis Paparannya (Exposure).....	95
Tabel 5.18 Faktor Reduksi Tambahan yang Direkomendasikan Untuk Penulangan Geser FRP	95
Tabel 5.19 NilFaktor Reduksi Lingkungan untuk Sistem FRP dan Jenis Paparannya (Exposure).....	99
Tabel 5.20 Faktor Reduksi Tambahan yang Direkomendasikan Untuk Penulangan Geser FRP	99

Tabel 5.21 Gaya Geser Pada Balok Uji	102
--	-----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Material <i>Carbon Fiber</i>	10
Gambar 2.2 Material SIKA Carbodur	11
Gambar 2.3 Material SIKA Wrap	12
Gambar 2.4 Material SIKA Carbodur NSM	12
Gambar 2.5 Material GFRP	15
Gambar 2.6 Material Aramid	17
Gambar 3.1 Penjelasan Variabel – variabel Dimensi yang Digunakan Untuk Perkuatan Geser Laminasi FRP	17
Gambar 4.1 Balok tipe BR-NORMAL-3000	29
Gambar 4.2 Balok Tipe BS-HVFA SCC 100-150	30
Gambar 4.3 Balok Tipe BS-HVFA SCC 250-300	31
Gambar 4.4 <i>Strain Gauge</i> PL-0911	31
Gambar 4.5 <i>Strain Gauge</i> FLAB-06-11	31
Gambar 4.6 Posisi Pemasangan <i>Strain Gauge</i> Pada Beton dan Tulangan Geser ...	31
Gambar 4.7 Perakitan Tulangan Balok Uji	33
Gambar 4.8 Bekisting Balok Uji	34
Gambar 4.9 Pemasangan <i>Strain Gauge</i> untuk Tulangan Senggang	34
Gambar 4.10 Pemasangan <i>Strain Gauge</i> untuk Beton	35
Gambar 4.11 Peralatan Saat Uji Slump (<i>Flow Test</i>)	37
Gambar 4.12 Proses Saat Uji Slump (<i>Flow Tests</i>)	38
Gambar 4.13 Uji Slump (<i>Flow Test</i>)	38
Gambar 4.14 Proses Pengecoran	39
Gambar 4.15 Proses Pencipingan dan Pembersihan Pada Permukaan Beton	40
Gambar 4.16 Pemasangan CFRP tipe <i>Wrap</i> 301C	40
Gambar 4.17 Setting Benda Uji	43
Gambar 4.18 Skema Tahapan Penelitian	44
Gambar 5.1 Grafik Kapasitas Beban Balok	44
Gambar 5.2 Grafik Hubungan Beban dan Defleksi – BR NORMAL	53

Gambar 5.3 Grafik Hubungan Beban dan Defleksi – BS-HVFA-SCC-CFRP100-150-1.....	53
Gambar 5.4 Grafik Hubungan Beban dan Defleksi – BS-HVFA-SCC-CFRP100-150-2.....	54
Gambar 5.5 Grafik Hubungan Beban dan Defleksi – BS-HVFA-SCC-CFRP250-300-1.....	55
Gambar 5.6 Grafik Hubungan Beban dan Defleksi – BS-HVFA-SCC-CFRP250-300-2.....	56
Gambar 5.7 Grafik Hubungan Beban dan Regangan Tulangan Baja – BR NORMAL.....	57
Gambar 5.8 Grafik Hubungan Beban dan Regangan Tulangan Baja – BS-HVFA-SCC-CFRP100-150-1.....	58
Gambar 5.9 Grafik Hubungan Beban dan Regangan Tulangan Baja – BS-HVFA-SCC-CFRP100-150-2.....	59
Gambar 5.10 Grafik Hubungan Beban dan Regangan Tulangan Baja – BS-HVFA-SCC-CFRP250-300-1.....	60
Gambar 5.11 Grafik Hubungan Beban dan Regangan Tulangan Baja – BS-HVFA-SCC-CFRP250-300-2.....	61
Gambar 5.12 Grafik Hubungan Beban dan Regangan Beton 1 – BR NORMAL..	62
Gambar 5.13 Grafik Hubungan Beban dan Regangan Beton 1 – BS-HVFA-SCC-CFRP100-150-1.....	63
Gambar 5.14 Grafik Hubungan Beban dan Regangan Beton 1 – BS-HVFA-SCC-CFRP100-150-2.....	64
Gambar 5.15 Grafik Hubungan Beban dan Regangan Beton 1 – BS-HVFA-SCC-CFRP250-300-1.....	65
Gambar 5.16 Grafik Hubungan Beban dan Regangan Beton 1 – BS-HVFA-SCC-CFRP250-300-2.....	66
Gambar 5.17 Grafik Hubungan Beban dan Regangan Beton 2 – BR NORMAL..	67
Gambar 5.18 Grafik Hubungan Beban dan Regangan Beton 2 – BS-HVFA-SCC-CFRP100-150-1.....	68

Gambar 5.19 Grafik Hubungan Beban dan Regangan Beton 2 – BS-HVFA-SCC- CFRP100-150-2	69
Gambar 5.20 Grafik Hubungan Beban dan Regangan Beton 2 – BS-HVFA-SCC- CFRP250-300-1	70
Gambar 5.21 Grafik Hubungan Beban dan Regangan Beton 2 – BS-HVFA-SCC- CFRP250-300-2	71
Gambar 5.22 Benda Uji Balok Normal (BR-Normal) Sebelum Diberikan Pembebanan.	72
Gambar 5.23 Pola Retakan Pada Benda Uji Balok Normal (BR-Normal) Setelah Diberikan Pembebanan	73
Gambar 5.24 Detail Pola Retakan Pada Tengah Bentang.....	74
Gambar 5.25 Detail Pola Retakan Pada 1/3 Bentang Di Sisi Tepi Kanan Balok Uji.....	74
Gambar 5.26 Detail Pola Retakan Pada 1/3 Bentang di Sisi Tepi Kiri Balok Uji.	75
Gambar 5.27 Sketsa Pola Retak	75
Gambar 5.28 Benda Uji Balok Dengan Perkuatan CFRP (BS-HVFA-SCC- CFRP100-150-1) Sebelum Diberikan Pembebanan	76
Gambar 5.29 Benda Uji Balok Dengan Perkuatan CFRP (BS-HVFA-SCC- CFRP100-150-1) Setelah Diberikan Pembebanan.....	77
Gambar 5.30 Detail Pola Retakan Pada Tengah Bentang.....	78
Gambar 5.31 Detail Pola Retakan Pada 1/3 Bentang di Sisi Tepi Kanan Balok Uji.....	79
Gambar 5.32 Detail Pola Retakan Pada 1/3 Bentang di Sisi Tepi Kiri Balok Uji.	79
Gambar 5.33 Sketsa Pola Retak Balok	80
Gambar 5.34 Benda Uji Balok Dengan Perkuatan CFRP (BS-HVFA-SCC- CFRP100-150-2) Sebelum Diberikan Pembebanan	81
Gambar 5.35 Benda Uji Balok Dengan Perkuatan CFRP (BS-HVFA-SCC- CFRP100-150-2) Sesudah Diberikan Pembebanan	82
Gambar 5.36 Detail Pola Retakan Pada Tengah Bentang.....	82
Gambar 5.37 Detail Pola Retakan Pada 1/3 Bentang di Sisi Tepi Kanan Balok Uji.....	83

Gambar 5.38 Detail Pola Retakan Pada 1/3 Bentang di Sisi Tepi Kiri Balok Uji .	83
Gambar 5.39 Sketsa Pola Retak Balok	84
Gambar 5.40 Benda Uji Balok Dengan Perkuatan CFRP (BS-HVFA-SCC- CFRP250-300-1) Sebelum Diberikan Pembebanan	85
Gambar 5.41 Benda Uji Balok Dengan Perkuatan CFRP (BS-HVFA-SCC- CFRP250-300-1) Sesudah Diberikan Pembebanan	85
Gambar 5.42 Detail Pola Retakan Pada Tengah Bentang.....	86
Gambar 5.43 Detail Pola Retakan Pada 1/3 Bentang di Sisi Tepi Kanan.....	87
Gambar 5.44 Detail Pola Retakan Pada 1/3 Bentang di Sisi Tepi Kiri.....	88
Gambar 5.45 Sketsa Pola Retak Balok	88
Gambar 5.46 Benda Uji Balok Dengan Perkuatan CFRP (BS-HVFA-SCC- CFRP250-300-2) Sebelum Diberikan Pembebanan	89
Gambar 5.47 Benda Uji Balok Dengan Perkuatan CFRP (BS-HVFA-SCC- CFRP250-300-2) Sesudah Diberikan Pembebanan	90
Gambar 5.48 Detail Pola Retakan Pada Tengah Bentang.....	91
Gambar 5.49 Detail Pola Retakan Pada 1/3 Bentang di Sisi Tepi Kanan.....	92
Gambar 5.50 Detail Pola Retakan Pada 1/3 Bentang di Sisi Tepi Kiri.....	92
Gambar 5.51 Sketsa Pola Retak Balok	93
Gambar 5.52 Diagram Batang Perbandingan Hasil Uji dan Perhitungan Perkuatan Pembalutan CFRP berdasarkan SNI 8971_21.....	102