

**STUDI EKSPERIMENTAL KUAT GESER BALOK DENGAN
PELEBARAN DIMENSI PADA DAERAH TUMPUAN BALOK BETON
BERTULANG DAN PEMODELAN DENGAN LUSAS**

Laporan Tugas Akhir
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana dari
Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Oleh :

LUKI HARIANDO PURBA
NPM. : 160216583



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
APRIL 2020

PERNYATAAN

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

**STUDI EKSPERIMENTAL KUAT GESER BALOK DENGAN PELEBARAN
DIMENSI PADA DAERAH TUMPUAN BALOK BETON BERTULANG DAN
PEMODELAN DENGAN LUSAS**

Benar – benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi dari karya orang lain. Ide, data hasil perancangan maupun kutipan secara 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, April 2020

Yang membuat pernyataan



Luki Hariando Purba

PENGESAHAN

Laporan Tugas Akhir

**STUDI EKSPERIMENTAL KUAT GESER BALOK DENGAN
PELEBARAN DIMENSI PADA DAERAH TUMPUAN BALOK BETON
BERTULANG DAN PEMODELAN DENGAN LUSAS**

Oleh :

LUKI HARIANDO PURBA
NPM. : 160216583

telah disetujui oleh Pembimbing

Yogyakarta, 29/04/2020

Pembimbing



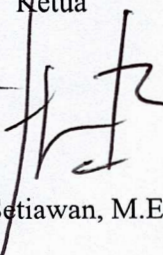
(Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng)

Disahkan oleh:



Program Studi Teknik Sipil

Ketua

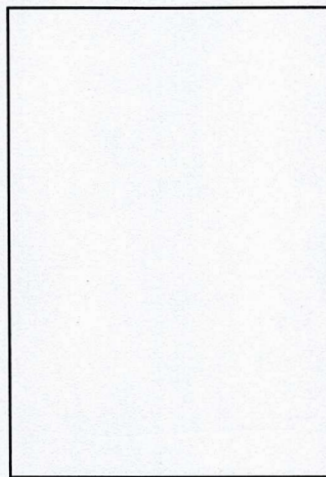


(Ir. Harijanto Setiawan, M.Eng, Ph.D.)

PENGESAHAN

Laporan Tugas Akhir

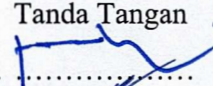

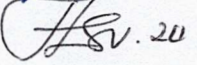
**STUDI EKSPERIMENTAL KUAT GESER BALOK DENGAN
PELEBARAN DIMENSI PADA DAERAH TUMPUAN BALOK BETON
BERTULANG DAN PEMODELAN DENGAN LUSAS**



Oleh :

LUKI HARIANDO PURBA
NPM. : 160216583

Telah diuji dan disetujui oleh

	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Ketua	: Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng.		29/04/2020
Sekretaris	: Johan Ardianto, S.T., M.Eng.		29/04/2020
Anggota	: Ir. V. Yenni Endang S, M.T.		28 - April 2020

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yesus atas penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul Studi Eksperimental Kuat Geser Balok Dengan Pelebaran Dimensi Pada Tumpuan Balok Beton Bertulang dan Pemodelan Dengan Lusas ini.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis mendapat banyak dukungan dan bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Luky Handoko, S.T., M.Eng., Dr.Eng., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta
2. Bapak Ir. Harijanto S., M.Eng., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta dan selaku Dosen Pembimbing akademik penulis.
3. Bapak Dinar Gumilang J., S.T., M.Eng, selaku Koordinator Tugas Akhir
4. Bapak Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing dan meluangkan waktu dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Johan Ardianto, S.T., M.Eng. dan Bapak Ir. V. Yenni Endang S, M.T., selaku Dosen Penguji Tugas Akhir.
6. Orang tua, abang dan saudara-saudari Penganut Jalan Tuhan yang telah mendukung dan memberkati saya dalam doa sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. IGA Malapari yang memberi semangat kepada saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

8. Teman peminatan struktur seperjuangan Claudia dan Mikha yang dimulai dari awal semester 7 sampai semester 8.
 9. Teman-teman yang membantu saya dalam melaksanakan proses tugas akhir: Anan, Tama, Wahyu Pratama, Inu Makuago, Rano Ngole, Charles Tria, Nico, Rolan Theo, Dalu dan Ricordy Purba.
 10. Dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu
- Akhir kata, penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini belum sempurna, sehingga penulis memerlukan kritik dan saran yang membangun. Semoga Tugas Akhir ini dapat menjadi berkat bagi semua orang.

Yogyakarta, April 2020

Penulis

Luki Hariando Purba

NPM: 160216583

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN	ii
PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
INTISARI	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1.Latar Belakang	1
1.2.Rumusan Masalah	4
1.3.Batasan Masalah	5
1.4.Keaslian Tugas Akhir	5
1.5.Tujuan Tugas Akhir.....	6
1.6.Manfaat Tugas Akhir.....	6
1.6.Lokasi Penelitian	6
2.	
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1.Penelitian Sebelumnya mengenai Topik Penulisan	7
BAB III LANDASAN TEORI	11
3.1.Beton	11
3.2.Kuat Tekan Beton.....	11
3.3.Kuat Tarik Belah Beton	12
3.4.Gaya Geser	13
3.5.Kuat Geser Yang Disediakan Beton.....	14
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	15
4.1.Umum	15
4.1. Kerangka Penelitian	16
4.3.Pemodelan <i>software</i> <i>Lusas</i>	17
4.4.Pembebanan Pada Balok	26
4.5.Tahap Persiapan dan Pengadaan Material	27
4.5.1. Bahan.....	27
4.6.Tahap Pembuatan Benda Uji	28
4.6.1. <i>Mix Design Beton</i>	28
4.6.2. Pembuatan Silinder Beton	30
4.6.3. Pembuatan Balok Beton Bertulang	30
4.7. <i>Setup</i> Benda Uji Balok Beton Bertulang	33
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	35
5.1.Karakteristik Beton	35
5.1.1.Kuat Tekan	35
5.1.2.Kuat Tarik Belah	36
5.1.3.Modulus Elastisitas.....	37
5.1.4.Kuat Tarik Tulangan.....	38

5.2. Analisis Kuat Geser	39
5.3. Hasil Pengujian balok Beton Bertulang.....	40
5.3.2. Pola Retak Balok.....	40
5.3.3. Grafik Hubungan Beban Dengan Lendutan.....	44
5.4. Hasil Analisis <i>Software Lusas</i>	46
5.4.1. Pola Retak Balok.....	46
5.4.1. Grafik Hubungan Beban Dengan Lendutan.....	47
5.4. Perbandingan Hasil Eksperimental dengan Analisis <i>Software Lusas</i> ...	48
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	51
6.1. Kesimpulan	51
6.2. Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	53

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.	Total Volume Balok BG1 dan BG2.....	29
Tabel 4.2.	Perbandingan Agregat Beton Balok BG1.....	29
Tabel 4.3.	Perbandingan Agregat Beton Balok BG2.....	29
Tabel 5.1.	Hasil Pengujian Kuat Tekan.....	35
Tabel 5.2.	Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah.....	36
Tabel 5.3.	Hasil Pengujian Modulus Elastisitas.....	37
Tabel 5.4.	Hasil Pengujian Kuat Tarik Tulangan.....	38



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Pelebaran Pada Tumpuan Proyek Yudhistira Tower.....	3
Gambar 1.2. Pelebaran Pada Tumpuan Balok Proyek Yudhistira Tower ...	3
Gambar 2.1. Ekspansi Planar Segitiga	7
Gambar 2.2. Ekspansi Planar Segitiga dan Segi Empat	9
Gambar 3.1. Benda Uji Kuat Tekan Beton.....	11
Gambar 4.1. Kerangka Tahap Penelitian.....	16
Gambar 4.2 <i>Grid Line</i> Dimensi Balok 2D.....	17
Gambar 4.3. Pemodelan Tulangan menggunakan <i>Grid Line Balok</i>	18
Gambar 4.4. Mendefinisikan <i>Elemen Bar</i>	18
Gambar 4.5 Mendefinisikan Karakteristik Beton.....	19
Gambar 4.6 Mendefinisikan Kuat Tarik Tulangan.....	20
Gambar 4.7. <i>Cross Sectional Area</i> Tulangan Tarik BG1	21
Gambar 4.8. <i>Cross Sectional Area</i> Tulangan Tekan BG1.....	21
Gambar 4.9. <i>Cross Sectional Area</i> Tulangan Geser.....	22
Gambar 4.10. <i>Cross Sectional Area</i> Tulangan Tarik Tumpuan Balok BG2	22
Gambar 4.11. <i>Cross Sectional Area</i> Tulangan Tekan Tumpuan Balok BG2	23
Gambar 4.12. <i>Beam Thickness</i>	23
Gambar 4.13. <i>Meshing Plane Stress</i>	24
Gambar 4.14. <i>Support</i> Balok	24
Gambar 4.15. <i>Point Load</i> Balok	25
Gambar 4.16. Pemodelan Balok BG1.....	25
Gambar 4.17. Pemodelan 3D Dengan <i>Software Lusas</i>	26
Gambar 4.18. Pembebanan Pada Balok.....	27
Gambar 4.19. Detail Penulangan Balok BG1	31
Gambar 4.20. Detail Penulangan Balok BG2.....	32
Gambar 4.21. Gambar 3D Balok BG1 dan Balok BG2.....	33
Gambar 4.22. <i>Setup</i> Pengujian.....	34
Gambar 5.1. Uji Kuat Tekan Silinder Beton	36
Gambar 5.2. Pengujian Kuat Tarik Belah.....	37
Gambar 5.3. Pengujian Modulus Elastisitas	38
Gambar 5.4. Pengujian Kuat Tarik Tulangan.....	39
Gambar 5.5 Penampang Balok BG1 dan Balok BG2.....	39
Gambar 5.5. Sketsa dan Pola Retak Balok BG1.....	42
Gambar 5.6. Sketsa dan Pola Retak Balok BG2.....	44
Gambar 5.7. Grafik Hubungan Beban Dengan Lendutan Balok BG1 dan BG2 Dengan Pengujian Eksperimental	45
Gambar 5.8. Pola Retak Balok BG1	46
Gambar 5.9. Pola Retak Balok BG2.....	46
Gambar 5.10. Grafik Hubungan Beban Dengan Lendutan Balok BG1 dan Balok BG2 Dengan <i>Software Lusas</i>	47
Gambar 5.11. Grafik Hubungan Beban Dengan Lendutan Balok BG1 <i>Lusas</i> dan Balok BG1 Eksperimen	48
Gambar 5.12. . Grafik Hubungan Beban Dengan Lendutan Balok BG2 <i>Lusas</i> dan Balok BG2 Eksperimen	48

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Hasil Pengujian Balok : Data *Logger* dan LVDT

Data Balok BG 1

Data Balok BG 2

Lampiran Hasil Pengujian Silinder Beton

Modulus Elastisitas

Kuat Tarik Belah

Kuat Tekan Beton

Kuat Tarik Tulangan

Lampiran Dokumentasi



STUDI EKSPERIMENTAL KUAT GESER BALOK DENGAN PELEBARAN DIMENSI PADA DAERAH TUMPUAN BALOK BETON BERTULANG DAN PEMODELAN DENGAN LUSAS

Luki Hariando Purba

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jalan Babarsari No. 44, Caturtunggal, Kec. Depok, Kab. Sleman, Daerah Istimewa
Yogyakarta, 55281.

Email: lukkiahariando25@gmail.com

ABSTRAK

Seiring dengan perkembangan bidang konstruksi bangunan gedung saat ini, para ahli dalam merancang sebuah bangunan gedung melakukan inovasi-inovasi untuk meningkatkan kekuatan struktur bangunan tersebut. Kestabilan suatu struktur bangunan sangat penting. Salah satu meningkatkan kestabilan struktur bangunan adalah dengan menambah kekakuan elemen-elemen struktur tersebut.

Penelitian ini adalah Studi Eksperimental Kuat Geser Balok Dengan Pelebaran Dimensi Pada Tumpuan Balok Beton Bertulang dan Pemodelan Dengan *Software Lusas*. Penelitian ini akan membandingkan balok BG1 (tanpa pelebaran pada tumpuan) dengan balok BG2 (dengan pelebaran pada tumpuan). Balok BG1 dan balok BG2 tidak diberi tulangan geser pada zona geser balok.

Hasil penelitian yang didapatkan adalah hasil penelitian secara eksperimental dan hasil analisis *software Lusas* dengan membandingkan balok BG1 dan balok BG2. Perbandingan Hasil eksperimental membuktikan bahwa balok BG2 dengan pelebaran pada tumpuan mampu meningkatkan kuat geser yang disediakan oleh beton sebesar 108,40%, meningkatkan kekuatan dalam menahan beban sebesar 36,78% dan meningkat kekakuan pada balok.

Hasil perbandingan dengan analisis *software Lusas* juga membuktikan bahwa balok BG2 dengan pelebaran pada tumpuan juga mampu meningkatkan kekuatan dalam menahan beban dan meningkatkan kekakuan balok.

Penelitian ini juga membandingkan hasil eksperimental dengan hasil analisis *software Lusas*. Dari hasil perbandingan yang didapatkan tidak ada perbedaan yang signifikan.

Kata kunci : Inovasi, Perkuatan, Kekakuan, Kuat Geser, *software Lusas*, Balok.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan dibidang konstruksi saat ini, para ilmuwan dituntut untuk melakukan inovasi-inovasi dalam merancang bangunan. Inovasi dari rancangan bisa berupa inovasi untuk perkuatan, bangunan tahan gempa dan lainnya. Bangunan gedung bertingkat tinggi adalah bangunan yang dirancang oleh konsultan. Konsultan perancang bangunan gedung terdiri dari konsultan perancang struktur dan konsultan arsitektur. Dalam perancangan sebuah gedung diperlukan ketelitian agar tidak terjadi kesalahan dalam merancang struktur bangunan tersebut. Struktur bangunan gedung ada beberapa elemen yang harus dirancang melalui perhitungan secara manual maupun menggunakan *software*. Elemen-elemen yang dirancang pada struktur bangunan adalah pondasi, balok *sloof*, balok induk, balok anak, balok ring, kolom dinding dan elemen lainnya. Dalam perancangan ada beberapa yang harus dirancang seperti dimensi, jenis tulangan, diameter tulangan, diameter sengkang, tebal selimut beton dan lainnya.

Beton adalah material yang dirancang untuk menahan gaya tekan namun lemah terhadap gaya tarik. Maka untuk menahan gaya tarik tersebut diperlukan material tulangan baja. Perancangan gedung bertingkat tinggi tidak terlepas dari beton bertulang. Beton bertulang adalah gabungan dari dua material yaitu beton polos dengan tulangan baja. Beton bertulang biasa digunakan dalam merancang balok, kolom, dinding geser dan pondasi. Pada penelitian ini saya akan membahas

balok beton bertulang. Salah satu elemen struktur bangunan beton bertulang adalah balok. Balok beton bertulang mempunyai fungsi untuk menahan kuat lentur dan geser. Balok beton bertulang biasanya dirancang berbentuk persegi dengan dimensi dan detail tulangan yang sudah direncanakan. Peningkatan dalam menambah kekuatan suatu balok beton bertulang adalah suatu inovasi yang harus dilakukan seorang perancang bangunan gedung. Dengan ini topik yang saya ajukan dalam penelitian ini adalah perilaku balok bertulang dengan pelebaran dimensi pada tumpuan. Pelebaran pada tumpuan adalah salah satu inovasi dalam merancang balok beton bertulang. Pelebaran balok pada tumpuan sudah digunakan saat ini pada Proyek Pembangunan Apartemen Yudhistira di Yogyakarta. Topik ini menurut saya sangat baik dilakukan penelitian untuk menambah wawasan dalam perancangan balok beton bertulang. Gambar penulangan balok dapat dilihat pada Gambar 1.1 dan Gambar 1.2.



Gambar 1.1 Pelebaran Pada Tumpuan Proyek Yudhistira Tower



(a) Penulangan Tumpuan Balok



(b) Tumpuan Balok

Gambar 1.2 Pelebaran Pada Tumpuan Balok Proyek Yudistira Tower

Inovasi pelebaran pada tumpuan balok belum ada kajian studi literatur sehingga menurut saya perlu di teliti momen lentur dan gaya geser dari balok

tersebut sehingga dapat diketahui dengan pelebaran pada tumpuan merupakan dapat menambah kekuatan dari suatu balok beton bertulang atau dapat menambah kekuatan geser dan lentur

Dalam Penelitian ini saya akan menguji perilaku geser balok beton bertulang tanpa pelebaran sebagai balok kontrol dan balok beton bertulang dengan pelebaran pada tumpuan. *Software Lusas* saya gunakan untuk memodelkan balok dan hasil analisis *software Lusas* akan dibandingkan dengan hasil data pengujian eksperimental.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah saya uraikan, maka dapat dirumuskan permasalahan yaitu:

1. Bagaimana perbandingan kuat geser balok beton bertulang dengan pelebaran pada tumpuan dan balok tanpa pelebaran pada tumpuan?
2. Bagaimana perbandingan pola retak antara balok BG1 dan balok BG2?
3. Bagaimana perbandingan grafik hubungan beban dengan lendutan antara balok BG1 dan balok BG2?
4. Bagaimana perbandingan hasil eksperimental dengan hasil analisis *software Lusas*?
5. Bagaimana perbandingan kekakuan antara balok BG1 dan balok BG2?

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah diatas, penulisan ini diberikan batasan masalah yaitu :

1. Benda uji yang digunakan adalah 2 balok kantilever yaitu balok BG1 adalah balok persegi tanpa pelebaran pada tumpuan dan balok BG2 adalah balok dengan inovasi pelebaran dimensi pada daerah tumpuan. Balok BG1 dan BG2 tidak diberikan tulangan geser pada zona geser balok.
2. Dimensi balok BG1 $120 \times 150 \text{ mm}^2$ dan dimensi balok BG2 pada tumpuan $250 \times 150 \text{ mm}^2$ dengan bentang 300 mm dari balok dan lapangan $120 \times 150 \text{ mm}^2$ dengan bentang 500 mm dari balok.
3. Bentang balok adalah 800 mm.
4. Tebal selimut beton 20 mm
5. Kuat tekan rencana $f'_c = 25 \text{ MPa}$.
6. Pembebanan diberikan satu titik pada jarak 700 mm dari tumpuan.
7. Tulangan longitudinal yang digunakan 10 mm, dengan mutu $f_y = 240 \text{ MPa}$.
8. Tulangan geser yang digunakan 6 mm.
9. Jarak antar tulangan geser balok 100 mm.

1.4 Keaslian Tugas Akhir

Hernowo dan Lisantono melakukan penelitian tentang *Retrofitting* Sambungan Kolom-Balok Beton Bertulang Ekspansi Planar Segitiga dengan Variasi Ukuran. Hasil dari penelitian ini perkuatan ekspansi planar mampu

meningkatkan kekuatan sehingga dari penelitian ini perlu ada inovasi lagi yaitu ekspansi pelebaran pada tumpuan balok dengan meneliti perilaku geser pada balok. Perkuatan dengan pelebaran pada tumpuan balok belum ada studi literatur sehingga dapat diteliti lebih lanjut.

1.5 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan penelitian ini secara keseluruhan adalah untuk mengetahui kuat geser sumbangan beton balok beton bertulang tanpa pelebaran pada tumpuan dan balok beton bertulang dengan pelebaran pada tumpuan secara eksperimental dan analisis *software Lusas*.

1.6 Manfaat Tugas Akhir

Manfaat dari penelitian diharapkan untuk menambah wawasan dalam inovasi merancang balok beton bertulang yaitu dengan pelebaran pada tumpuan balok serta mengetahui kuat geser dari balok beton bertulang tersebut dengan pelebaran pada tumpuan.

1.7 Lokasi Penelitian

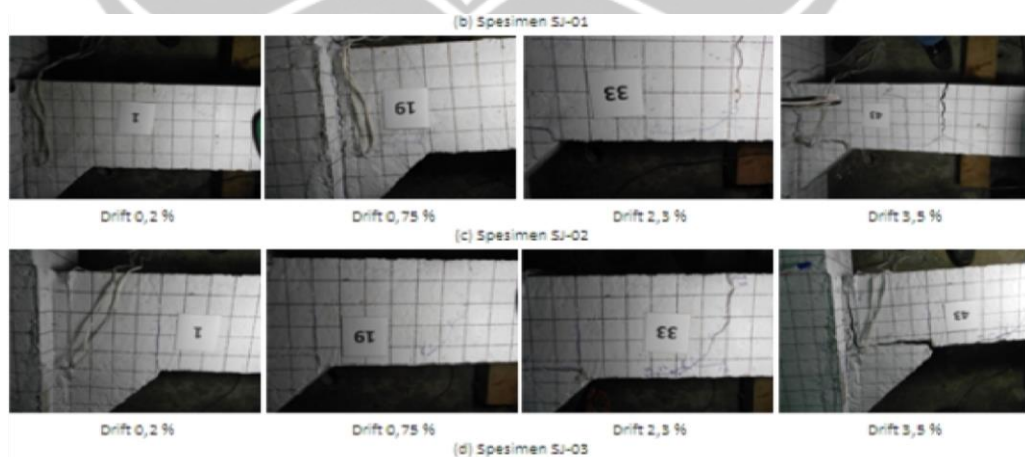
Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan serta Laboratorium Komputer Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya Mengenai Topik Penulisan

Hernowo dan Lisantono (2016) melakukan penelitian *Retrofitting* Sambungan Kolom-Balok Beton Bertulang Ekspansi Planar Segitiga dengan Variasi Ukuran. Mereka meneliti dengan membuat eksperimental balok dengan membuat ekspansi planar segitiga pada ujung balok. Dimensi eksperimental balok lebar 150 mm, tinggi 250 mm, dan panjang 1500 mm. Eksperimental balok yang akan di uji jumlahnya ada 4. Balok pertama dinamakan spesimen SJC tanpa perkuatan planar segitiga, balok kedua Spesimen SJ-01 dengan perkuatan ekspansi planar segitiga setengah dari tinggi balok, balok ketiga Spesimen SJ-02 dengan perkuatan ekspansi planar segitiga $\frac{3}{4}$ dari tinggi balok dan balok terakhir spesimen SJ-03 dengan perkuatan planar segitiga setinggi balok.

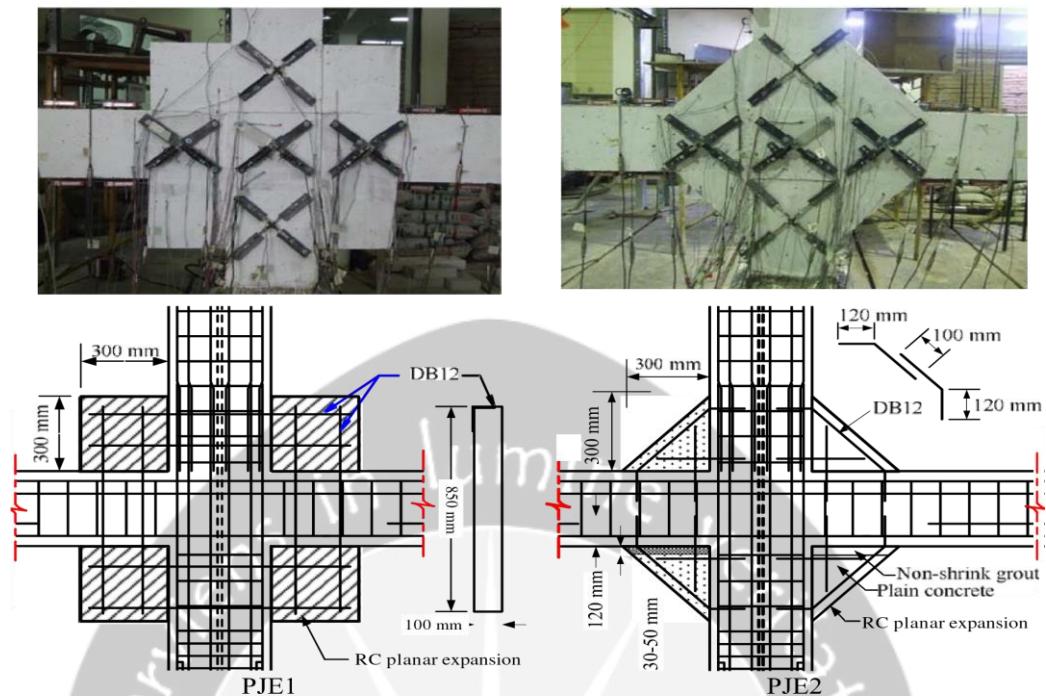


Gambar 2.1 Ekspansi Planar segitiga

Sumber: *Retrofitting* Sambungan Kolom-Balok Beton Bertulang Ekspansi Planar Segitiga dengan Variasi Ukuran, oleh Hernowo dan Lisantono, 2016.

Menurut penelitian mereka ekspansi planar segitiga gunanya untuk menambah kekuatan sambungan balok-kolom. Dari hasil pengujian yang didapatkan beban maksimal spesimen SJC sebesar 29,15 kN dan -22,53 kN, spesimen SJC-01 naik menjadi 32,85 kN dan -34,35 kN, spesimen SJ-02 malah turun menjadi 29,06 kN dan -21,kN kemudian spesimen SJ-03 beban maksimal 32,69 kN dan 23,22 kN. Kesimpulan dari penelitian ini adalah kegagalan struktur biasanya terjadi pada daerah sambungan, maka dengan perkuatan planar dapat memindahkan kegagalan struktur pada ujung perkuatan. Perkuatan ekspansi planar segitiga meningkatkan daktilitas sambungan secara signifikan dan perkuatan ekspansi planar mampu meningkatkan kekuatan sambungan sehingga memenuhi kriteria penerimaan seperti disyaratkan dalam SNI 7438-2012.

Chairmahawan dan Pimanmas (2009) telah melakukan penelitian pada sambungan balok kolom. Pada penelitian ini juga diberikan ekspansi pada sambungan balok-kolom. Ekspansi yang dilakukan berupa ekspansi planar segitiga dan segi empat. Sambungan ekspansi planar segitiga dibandingkan dengan sambungan ekspansi planar segi empat. Dari penelitian ini ekspansi planar segitiga dan segi empat mampu memberikan *retrofitting* atau menambah kekuatan pada sambungan balok-kolom. Ekspansi planar segitiga dan segiempat dapat dilihat pada Gambar 2.2.



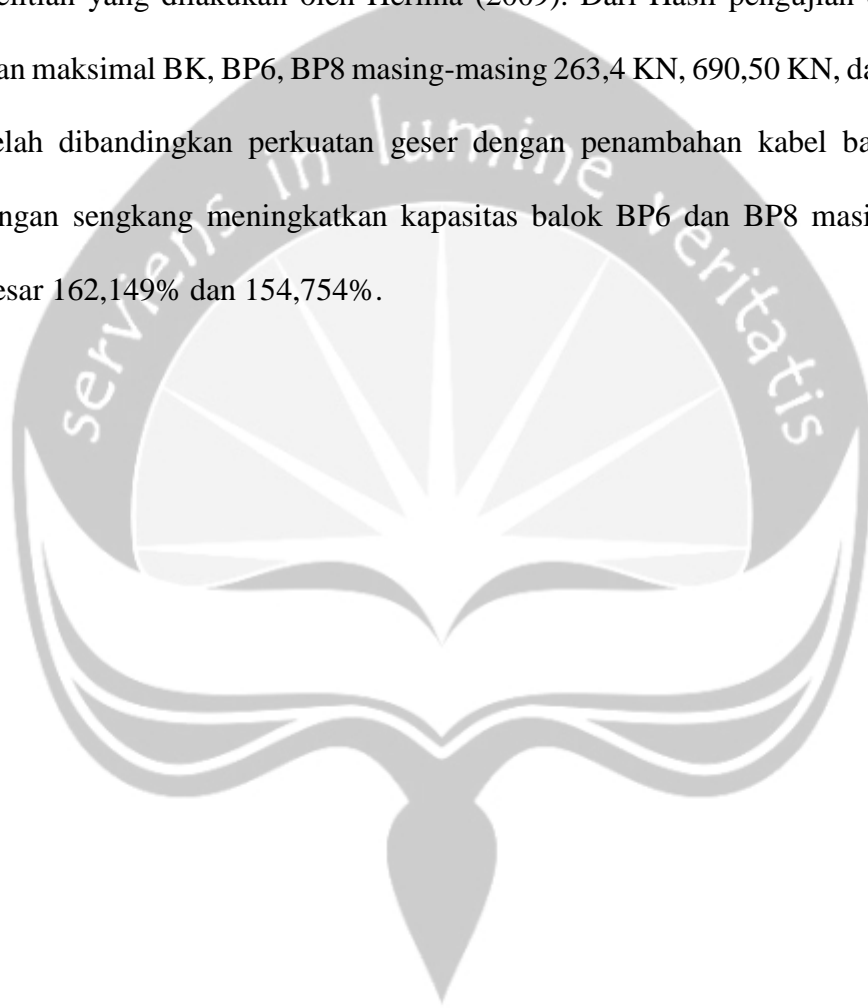
Gambar 2.2 Ekspansi Planar Segitiga dan Segi Empat

Sumber: *Seismic Retrofit of Substandard Beam Column Joint by Planar Joint Expansion Material and Structures*, oleh Chairmawan dan Pimanmas, 2009.

Dengan penambahan ekspansi planar segitiga dan segi empat terbukti dapat meningkatkan kekakuan, kekuatan, dan daktilitas. Dengan penelitian ini didapatkan hasil bahwa ekspansi planar segi empat lebih efektif dalam menunda keretakan beton pada sambungan balok-kolom.

Roesdiana (2011) telah melakukan penelitian mengenai perilaku balok beton bertulang tampang persegi dengan penambahan kabel baja sebagai tulangan sengkang dan komposit mortar. Dalam penelitian ini Tira Roesdiana menguji kuat geser balok diperkuat dengan kabel baja. Benda uji eksperimental berupa dua buah balok beton bertulang dengan perkuatan kabel baja yaitu 1 balok perkuatan kabel baja berdiameter 6 mm (BP6) dan 1 buah balok dengan perkuatan kabel baja

diameter 8 mm (BP8). Masing-masing dimensinya dengan ukuran 250 mm x 350 mm jarak sengkang 100 mm. Pembebanan dilakukan dengan pembebanan statis satu titik. Penelitian ini membandingkan Balok Kontrol, BP6 dan BP8. Balok Kontrol (BK) tanpa perkuatan kabel baja menggunakan data-data terdahulu dari penelitian yang dilakukan oleh Herlina (2009). Dari Hasil pengujian didapatkan beban maksimal BK, BP6, BP8 masing-masing 263,4 KN, 690,50 KN, dan 671 KN. Setelah dibandingkan perkuatan geser dengan penambahan kabel baja sebagai tulangan sengkang meningkatkan kapasitas balok BP6 dan BP8 masing-masing sebesar 162,149% dan 154,754%.



BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Karakteristik Beton dan Baja

Pengujian karakteristik beton dan baja dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Pengujian beton antara lain adalah kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas. Pengujian baja adalah kuat tarik tulangan.

5.1.1 Kuat Tekan

Benda uji yang digunakan dalam pengujian kuat tekan adalah benda uji silinder beton berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm dibuat pada saat melakukan pengecoran. Pengujian benda uji dilakukan ketika umur beton sudah mencapai 28 hari. Hasil Pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Beton Mutu 25 Mpa 28 Hari					
No	Slump	Diameter	Luas Penampang	Beban	Kuat Tekan
	cm	mm	mm ²	kN	MPa
1	12	149,42	17526,17	530	30,24
2	10	149,38	17516,79	500	28,54
3	9	149,42	17526,17	290	16,54*
Kuat Tekan Rata-rata					29,39

Keterangan : * Tidak diperhitungkan karena tidak masuk dalam kuat tekan yang direncanakan

Hasil pengujian kuat tekan rata-rata dengan 2 buah silinder beton f'_c adalah 29,39 MPa sehingga masuk kedalam kuat tekan yang direncanakan 25 MPa.

Dibawah ini merupakan gambar pengujian kuat tekan silinder beton.



Gambar 5.1 Uji Kuat Tekan Silinder Beton

5.1.2 Kuat Tarik Belah

Benda uji merupakan silinder beton berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Pengujian dilakukan ketika umur beton sudah mencapai 28 hari. Pengujian dilakukan dengan 3 sampel benda uji. Hasil kuat tarik belah beton dapat dilihat pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

No	Diameter	Panjang	Beban	Kuat Tarik Belah
	mm	mm	kN	MPa
1	151,63	302,70	180	2,50
2	149,57	302,76	195	2,74
3	151,57	303,53	175	2,42
Kuat Tarik Belah Rata-rata				2,55

Pengujian kuat tarik belah dapat dilihat pada Gambar 5.2



Gambar 5.2 Pengujian Kuat Tarik Belah

5.1.3 Modulus Elastisitas

Pengujian modulus elastisitas beton ketika umur beton sudah mencapai 28 hari. Sampel benda uji yang akan diuji berjumlah 3 buah silinder beton berdiameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

No	Dimensi	Beban	Tegangan	Regangan	Ec
	cm	kN	N/mm ²	(10 ⁻⁵)	N/mm ²
1	15 x 20	127,53	7,22	34,54	20898,88
2	15 x 20	93,20	5,28	30,44	17345,60
3	15 x 20	127,53	7,22	6,20	116375,23*
Modulus Elastisitas Rata-rata					19122,24

Keterangan:* tidak diperhitungkan karena terjadi kesalahan saat pengujian di Laboratorium.

Pengujian modulus elastisitas dapat dilihat pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Pengujian Modulus Elastisitas

5.1.4 Kuat Tarik Tulangan

Pengujian kuat tarik tulangan dilakukan dengan besi tulangan polos dengan ukuran \varnothing 10 mm. Jumlah benda uji tulangan yang akan diuji masing-masing 3 buah sampel. Hasil pengujian kuat tarik tulangan dapat dilihat pada tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Kuat Tarik Tulangan

Diameter	Luas Penampang	Py (N)	Pu (N)	Fy	Fu	Fy Rata-rata	Fu Rata-rata
mm	mm	N	N	MPa	MPa	MPa	MPa
8,84	61,34	21974,40	31490,10	358,21	513,33	355,21	503,48
8,68	59,14	20601,00	29037,60	348,32	490,97		
8,77	60,38	21680,10	30558,15	359,08	506,13		

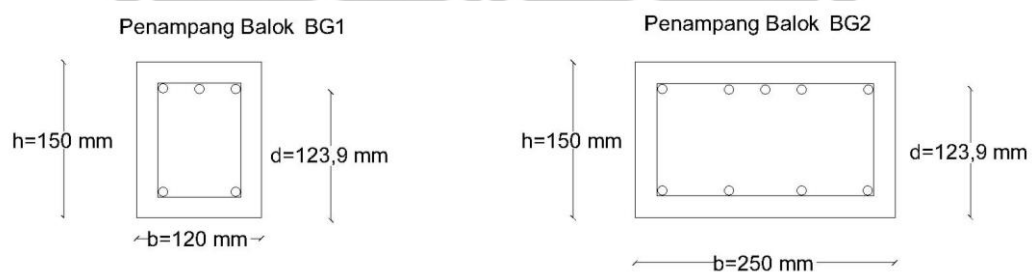
Hasil pengujian kuat tarik tulangan dapat dilihat pada tabel 5.4.



Gambar 5.4 Pengujian Kuat Tarik Tulangan

5.2 Analisis Kuat Geser

Kuat geser yang disediakan oleh beton pada balok dipengaruhi oleh kuat tekan beton, jenis beton dan dimensi penampang balok. Rumus kuat geser sumbangan beton dapat kita lihat pada SNI 2847:2013.



Gambar 5.5 Penampang balok BG1 dan balok BG2

Analisis kuat geser balok BG1 yang disediakan oleh beton

Diketahui :

Kuat tekan beton $f'_c = 29,39$ MPa

$$V_c = 0,17 \sqrt{f'_c} \lambda b w d$$

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{29,39} \times 1 \times 120 \times 123,9$$

$$V_c = 13702,55 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 13,70 \text{ kN} \\ P &= 1974 \text{ kg} \\ V_u \text{ maks} &= 19,36 \text{ kN} \end{aligned}$$

Analisis kuat geser balok BG2 yang disediakan oleh beton.

Diketahui :

Kuat tekan beton $f'_c = 29,39 \text{ MPa}$

$$V_c = 0,17 \sqrt{f'_c} \lambda bw d$$

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{29,39} \times 1 \times 250 \times 123,9$$

$$V_c = 28546,97 \text{ N}$$

$$V_c = 28,55 \text{ kN}$$

$$P = 2700 \text{ kg}$$

$$V_u \text{ maks} = 26,49 \text{ kN}$$

Hasil analisis kuat geser yang disediakan oleh beton balok BG1 dan BG2 dapat kita lihat bahwa:

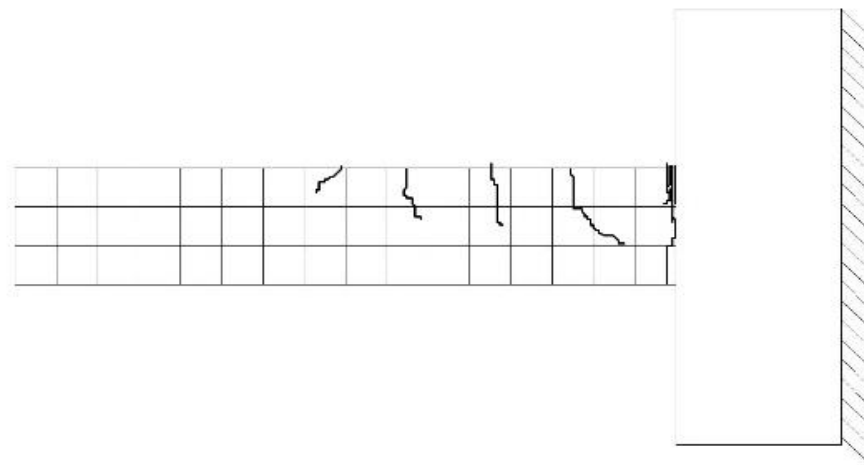
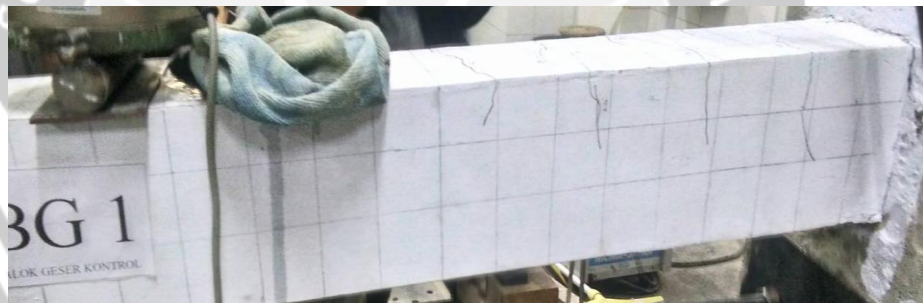
1. Kuat geser yang disediakan oleh beton balok BG1 sebesar 13,70 kN dan V_u maksimum balok BG1 sebesar 19,36 kN sehingga $V_c < V_u$ berarti terjadi keruntuhan geser pada balok BG1.
2. Kuat geser yang disediakan oleh beton balok BG2 sebesar 28,55 kN dan V_u maksimum sebesar 26,49 kN sehingga $V_c > V_u$ berarti belum terjadi keruntuhan geser pada balok BG2.
3. Dengan pelebaran dimensi pada tumpuan balok BG2 terbukti mampu meningkatkan kekuatan geser yang disediakan oleh beton pada zona geser balok sebesar 108,40% terhadap balok BG1.

5.3 Hasil Pengujian Balok Beton Bertulang

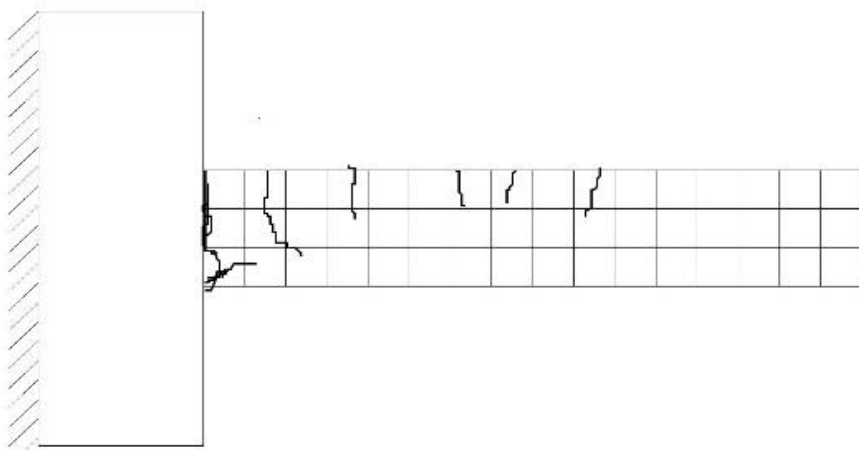
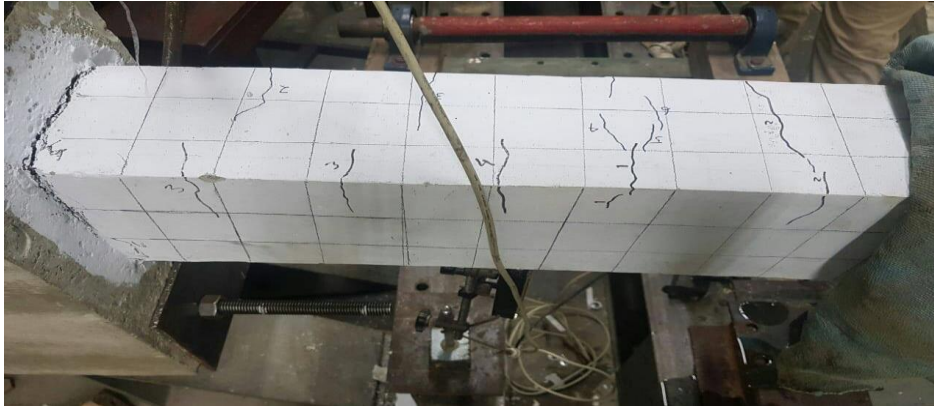
Hasil Pengujian balok beton bertulang yaitu balok BG1 dan BG2 didapat kan beban maksimum balok sampai runtuh, lendutan balok, dan pola retak balok.

5.3.2 Pola Retak Balok

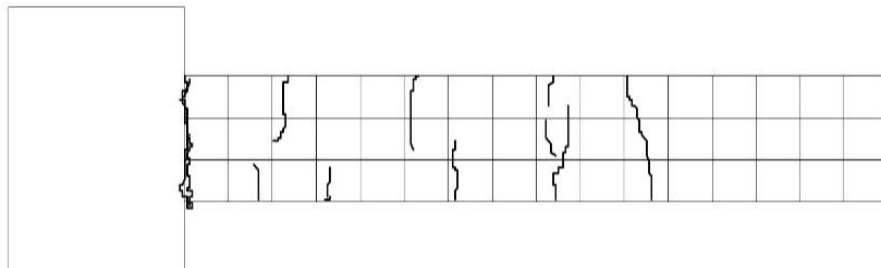
Hasil dari pengujian dengan pembebanan satu titik dari kedua balok yaitu balok BG1 dan balok BG2 didapatkan pola retak. Dibawah ini dapat dilihat pola retak kedua balok.



(a) Pola retak balok dari sisi samping kiri tumpuan

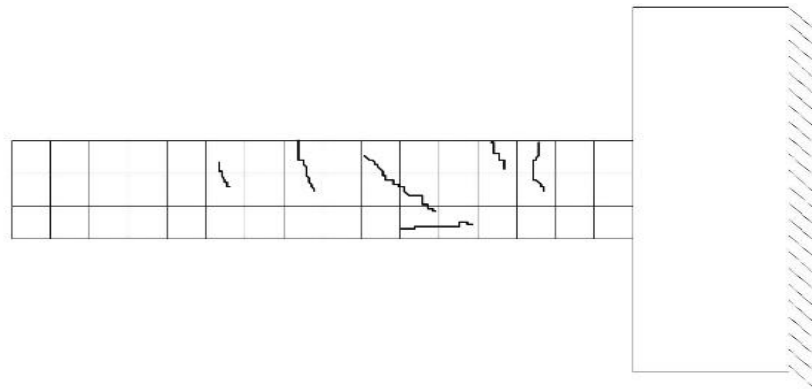


(b) Pola retak balok BG1 dari sisi samping kanan tumpuan

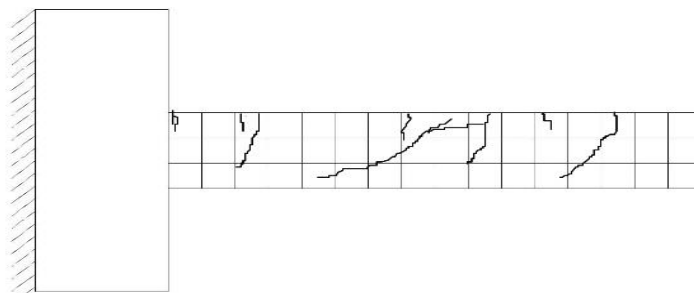


(c) Sketsa pola retak balok BG1 tampak atas.

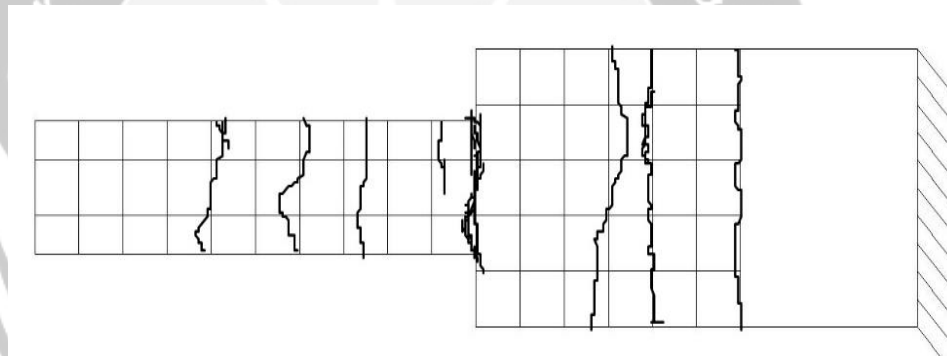
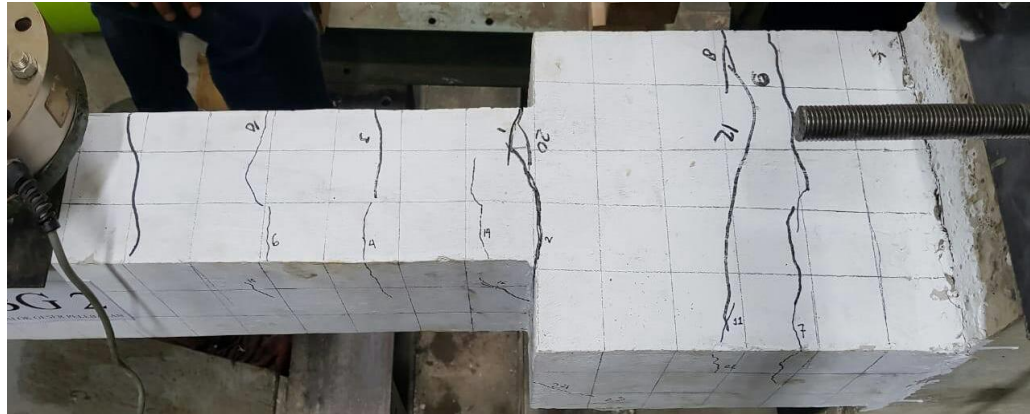
Gambar 5.5 Sketsa dan Pola Retak Balok BG1



(a) Pola retak balok BG2 dari sisi samping kiri tumpuan



(b) Pola retak BG2 dari sisi samping kanan tumpuan

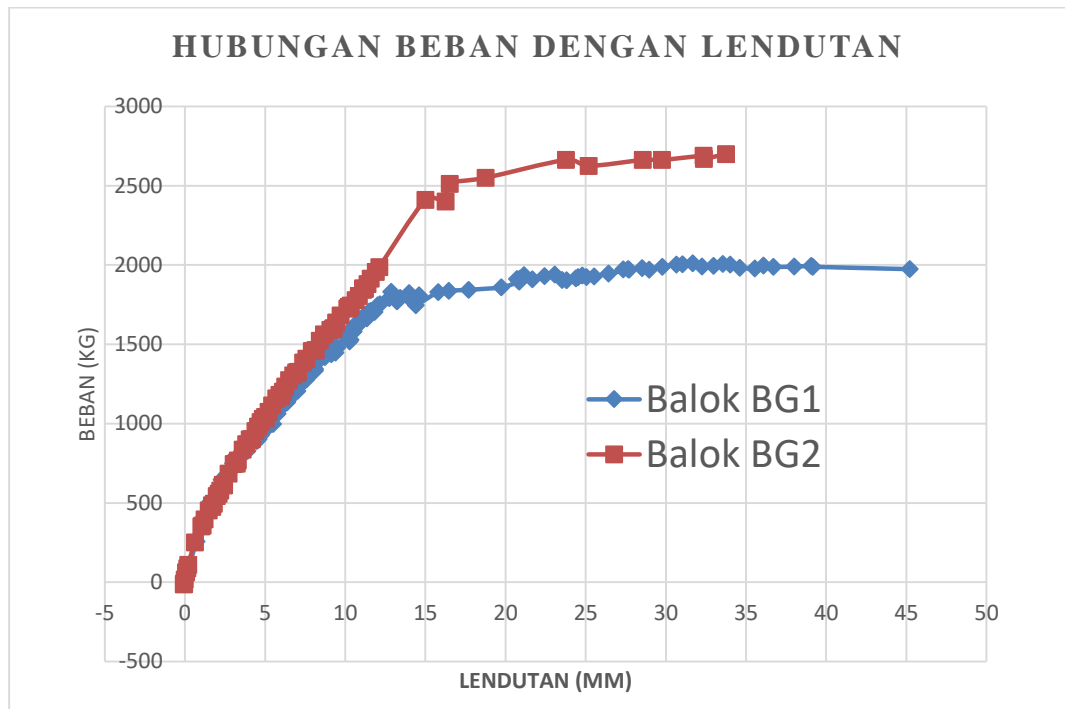


(c) Pola retak balok tampak atas.

Gambar 5.6 Sketsa dan Pola Retak Balok BG2

5.3.3 Grafik Beban Dengan Lendutan

Dari hasil pengujian didapatkan grafik hubungan beban dan lendutan balok dari pembebanan awal dan lendutan pertama ketika balok dibebani sampai balok runtuh. Gambar grafik hubungan dan beban dapat dilihat pada Gambar dibawah ini.



Gambar 5.7 Grafik Hubungan Beban Dengan Lendutan Balok BG1 dan BG2
Dengan Pengujian Eksperimental

Dari grafik pada Gambar 5.7 dapat kita lihat bahwa:

1. Balok BG1 (tanpa pelebaran) mengalami keruntuhan pada beban 1974 kg dengan lendutan maksimum sebesar 45,21 mm sedangkan balok BG2 (dengan pelebaran dimensi pada area tumpuan) mengalami keruntuhan pada beban 2700 kg dan menghasilkan lendutan maksimum sebesar 33,5 mm. Dari Grafik dapat kita lihat bahwa balok BG2 mampu meningkatkan kekuatan dalam menahan beban sebesar 36,78% terhadap balok BG1.
2. Mulai awal pembebanan hingga dibebani 600 kg grafik antara balok BG1 dan balok BG2 kelandaian masih terlihat sama kemudian setelah pembebanan 900 kg sampai balok runtuh grafik mulai menunjukkan

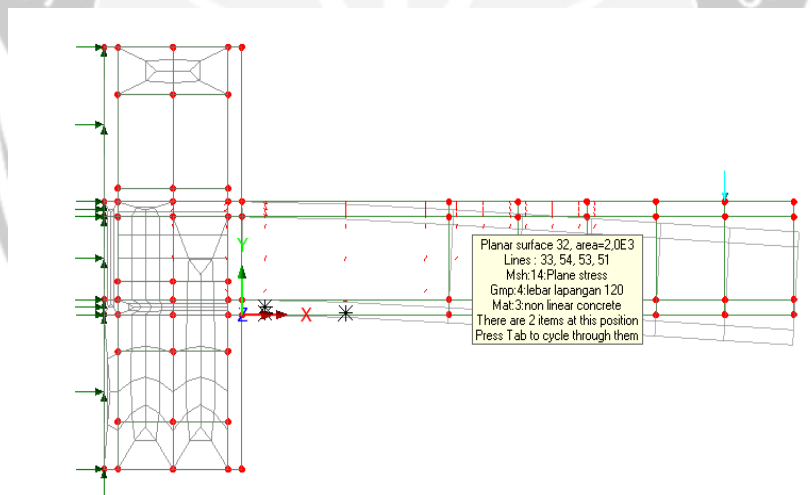
perbedaan kelandaian. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa balok BG2 lebih kaku dibandingkan dengan balok BG1.

5.4 Hasil Analisis Software Lusas

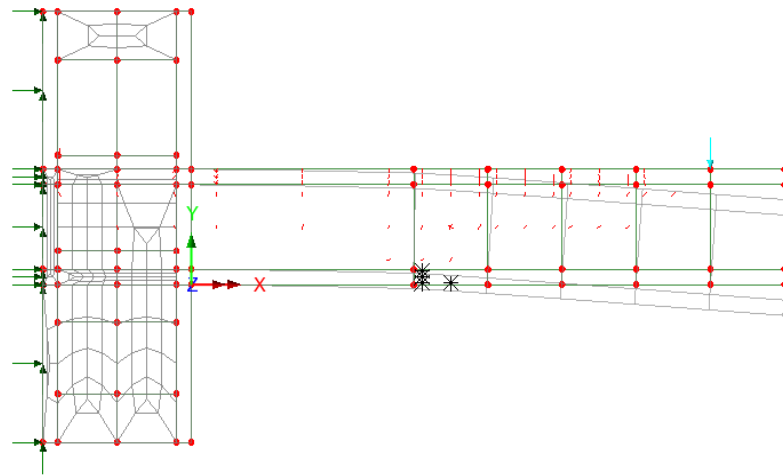
Hasil analisis berupa pola retak, pembebanan sampai balok runtuh dan grafik hubungan beban dengan lendutan.

5.4.1 Pola Retak Balok

Dalam pemodelan 2 dimensi pada *software Lusas*, hasil analisis pola retak hanya dapat dilihat dengan 2 dimensi mengikuti pemodelannya. Dari hasil pola retak pada Gambar 5.8 dan Gambar 5.9 retak pada balok lebih banyak pada sisi atas.



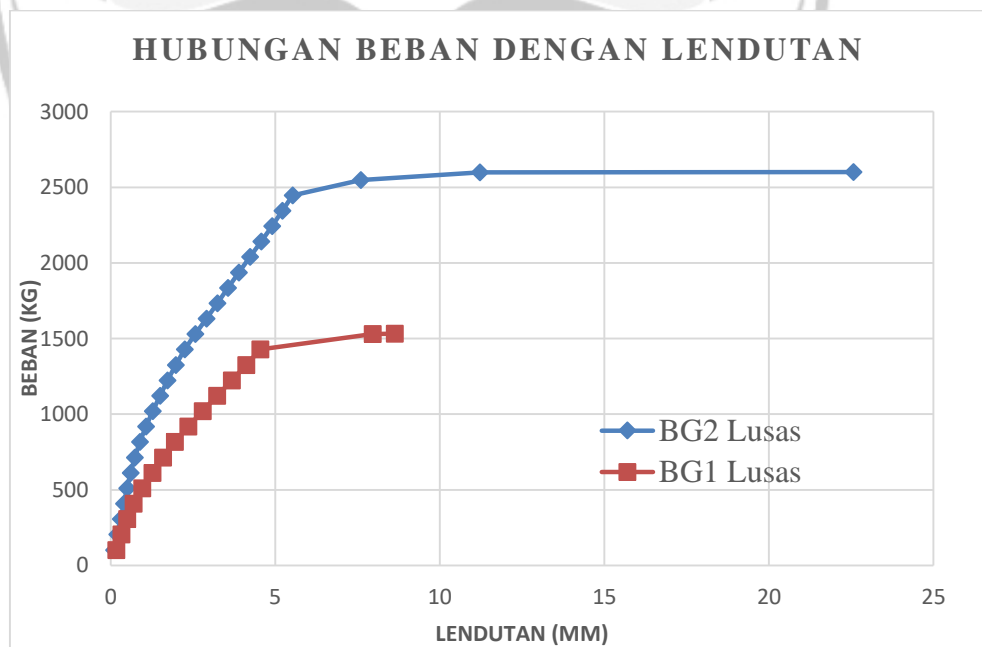
Gambar 5.8 Pola Retak Balok BG1



Gambar 5.9 Pola Retak Balok BG2

5.4.2 Hubungan Beban Dengan Lendutan

Hubungan beban dengan lendutan balok BG1 dan BG2 dari hasil analisis *software Lusas* dapat dilihat pada Gambar 5.10.

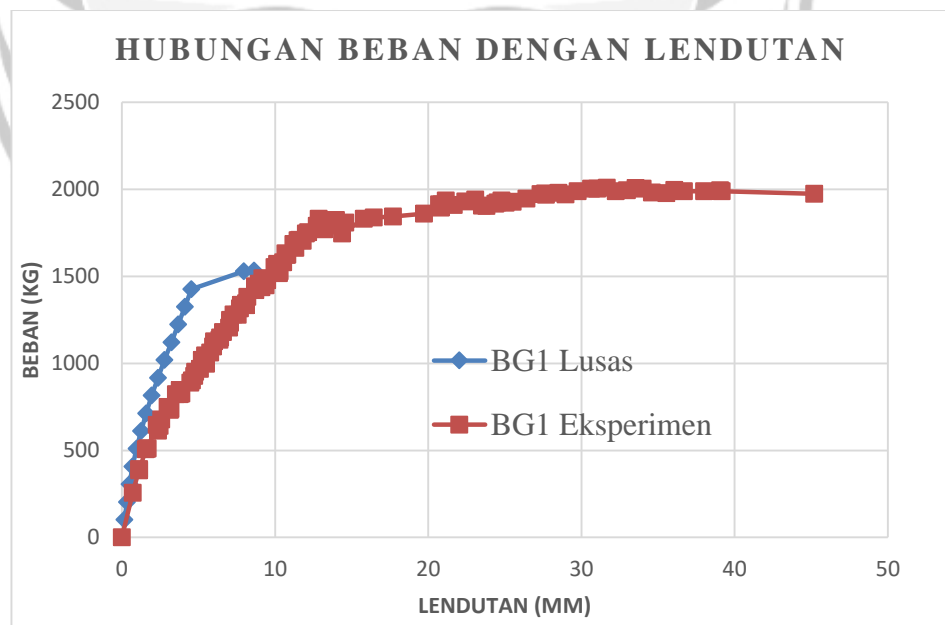


Gambar 5.10 Grafik Hubungan Beban Dengan Lendutan Balok BG1 dan Balok BG2 Dengan *Software Lusas*

Dari Grafik diatas dapat kita lihat bahwa:

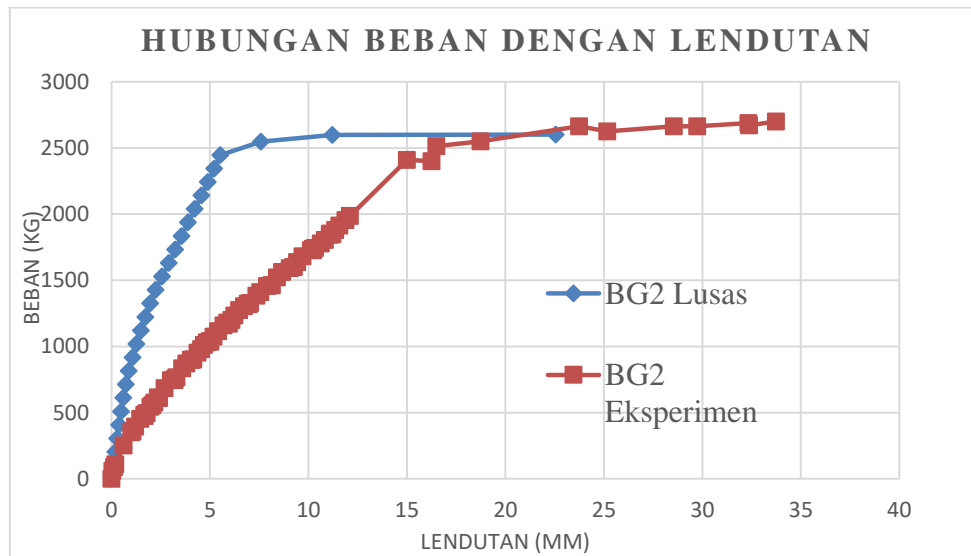
1. Balok BG1 runtuh pada saat pembebanan 1784 Kg sedangkan balok BG2 runtuh pada saat pembebanan 2752 Kg. Dari grafik tersebut dapat kita lihat bahwa balok BG2 mampu meningkatkan kekuatan dalam menahan beban sebesar 54,26% terhadap balok BG1.
2. Kelandaian grafik antara balok BG1 dan BG2 masih sama pada pembebanan 300 kg kemudian pada saat pembebanan 500 kg kelandaian grafik kedua balok tersebut mulai berbeda sehingga grafik balok BG2 terlihat lebih kaku dibandingkan balok BG1.
3. Lendutan maksimum ketika balok BG1 runtuh adalah 8,63 mm sedangkan lendutan maksimum balok BG2 runtuh adalah 22,57 mm.

5.5 Perbandingan Hasil Eksperimental dengan Analisis Software Lusas



Gambar 5.11 Grafik Hubungan Beban Dengan Lendutan Balok BG1

Lusas dan Balok BG1 Eksperimen



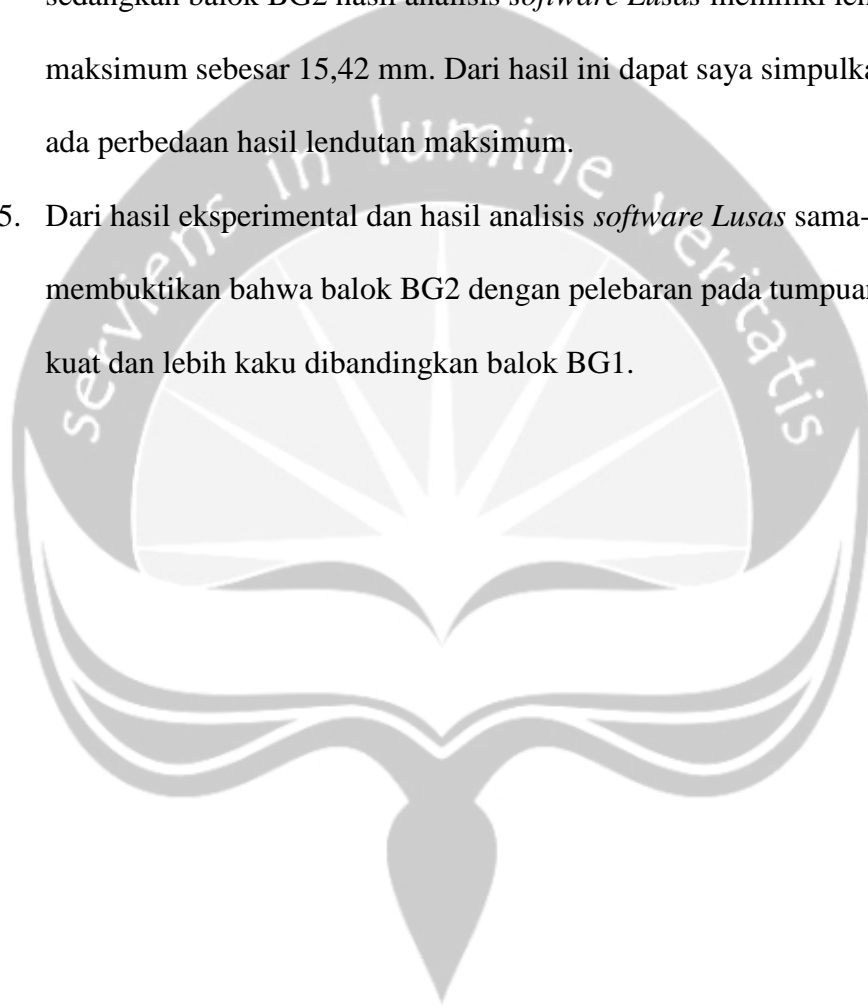
Gambar 5.12 Grafik Hubungan Beban Dengan Lendutan Balok BG2 *Lusas* dan Balok BG2 Eksperimen

Dari Gambar 5.11 dan Gambar 5.12 perbandingan hasil grafik eksperimental dengan analisis *software Lusas* dapat dilihat bahwa :

1. Balok BG1 eksperimental memiliki beban maksimum sebesar 1974 kg sedangkan balok BG1 hasil analisis *software Lusas* memiliki beban maksimum sebesar 1784 kg. Maka perbedaan hasil beban maksimum eksperimental dengan analisis *software Lusas* tidak memiliki perbedaan yang signifikan.
2. Balok BG1 eksperimental memiliki lendutan maksimum sebesar 45,21 mm sedangkan balok BG1 hasil analisis *software Lusas* memiliki lendutan maksimum sebesar 22,50 mm. Dari hasil ini dapat saya simpulkan bahwa ada perbedaan hasil lendutan maksimum.
3. Balok BG2 eksperimental memiliki beban maksimum sebesar 2700 kg sedangkan balok BG2 hasil analisis *software Lusas* memiliki beban

maksimum sebesar 2752 kg. Maka perbedaan hasil beban maksimum eksperimental dengan analisis *software Lusas* tidak memiliki perbedaan yang signifikan.

4. Balok BG2 eksperimental memiliki lendutan maksimum sebesar 33,5 mm sedangkan balok BG2 hasil analisis *software Lusas* memiliki lendutan maksimum sebesar 15,42 mm. Dari hasil ini dapat saya simpulkan bahwa ada perbedaan hasil lendutan maksimum.
5. Dari hasil eksperimental dan hasil analisis *software Lusas* sama-sama membuktikan bahwa balok BG2 dengan pelebaran pada tumpuan lebih kuat dan lebih kaku dibandingkan balok BG1.



BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan balok beton bertulang dengan pelebaran pada tumpuan dan tanpa pelebaran dapat diambil beberapa kesimpulan adalah sebagai berikut:

1. Dari hasil analisis kuat geser yang disediakan oleh beton balok BG1 dan balok BG2 dapat disimpulkan bahwa balok BG2 dengan memberikan pelebaran dimensi pada area tumpuan balok bertulang mampu menambah kekuatan geser yang disediakan oleh beton sebesar 108,40% terhadap balok BG1.
2. Berdasarkan hasil pengujian eksperimental didapatkan perbandingan hasil grafik hubungan beban dengan lendutan balok BG1 runtuh pada beban 1974 kg dan menghasilkan lendutan maksimum sebesar 45,21 mm dan balok BG2 runtuh pada beban 2700 kg dan menghasilkan lendutan maksimum sebesar 33,5 mm sehingga dapat disimpulkan bahwa balok BG2 mampu meningkatkan kekuatan dalam menahan beban sebesar 36,78% terhadap BG1.
3. Perbandingan grafik lendutan antara balok BG1 dan BG2 dapat disimpulkan bahwa dengan pelebaran dimensi pada tumpuan juga mampu meningkatkan kekakuan balok beton bertulang.
4. Dari hasil analisis *software Lusas* juga membuktikan bahwa balok BG1 runtuh pada beban 1784 kg dan balok BG2 runtuh pada beban 2752 kg. Dari

hasil beban maksimum dan dari hasil grafik analisis *software Lusas* dapat disimpulkan bahwa balok BG2 dengan pelebaran pada tumpuan mampu meningkatkan kekuatan sebesar 54,26% terhadap balok BG1..

5. Perbandingan hasil eksperimental dan hasil analisis *software Lusas* tidak memberikan perbedaan signifikan terhadap beban maksimum dan sama-sama membuktikan bahwa balok BG2 dengan pelebaran dimensi pada tumpuan mampu meningkatkan kekuatan pada balok beton bertulang.

6.2 Saran

Dari hasil analisis pengujian eksperimental balok beton bertulang dan analisis *software Lusas* penulis memberikan saran sebagai berikut:

1. Dalam pengecoran hendaknya dilakukan persiapan yang lebih matang sebelum melakukan pengecoran balok beton bertulang.
2. *Data logger* komputer, alat-alat sensor *actuator* dan sensor pengukur lendutan dalam pengujian balok beton bertulang disarankan untuk ditingkatkan kualitasnya agar menjamin data-data hasil pengujian yang actual.
3. Disarankan untuk melakukan pengujian lebih lanjut untuk meninjau kuat geser sumbangan beton dengan pelebaran pada tumpuan agar mendapatkan hasil kuat geser secara eksperimental.
4. *Software Lusas* baik dijadikan sebagai acuan dalam pemodelan balok beton bertulang dan diharapkan pemodelan ditingkatkan menjadi 3D (3 dimensi).

DAFTAR PUSTAKA

- Chairmawan, P., Pimanmas, A., 2009, *Seismic Retrofit of Substandar Beam Column Joint by Planar Joint Expansion Material and Struktures* 42, 443,459.
- Djamaluddin, R., Akkas, M.A., Maramis, I.A., *Pemodelan Rekatan GFRP Pada Balok Beton Menggunakan LUSAS 14.0*, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
- Hernowo, S., Lisantono, A., 2016, *Retrofitting Sambungan Kolom-Balok Beton Bertulang, Forum Teknik vol.37, No.1.*
- Mahendra, D., 2016, *Tinjauan Kuat Geser Balok Beton Bertulangan Rangka Baja Tulangan Dengan Variasi Jarak Tulangan Vertikal*, Fakultas Teknik, Universitas Muhamadiyah Surakarta.
- Pertiwi, P.E., 2018, *Studi Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang Variasi Overlapping Tulangan Di Seperdua Bentangan Dengan Metode Retrofit Menggunakan Wiremesh Dan SCC*, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
- Roesdiana, T., Satyarno, I., 2011, *Perkuatan Geser Balok Beton Bertulang Tampang Persegi Dengan Penambahan Kabel Baja (Wire Rope) Sebagai Tulangan Sengkang dan Komposit Mortar*, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- SNI 2847-2013. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Banugnan Gedung*. Jakarta:Badan Standarisasi Nasional.



LAMPIRAN DATA PENGUJIAN BALOK

BALOK BG 1				
Time	LOAD CELL; AVE	LVDT 1; AVE	LVDT 2; AVE	LVDT 3; AVE
s	kg	mm	mm	mm
0	1,3028576	-0,051358771	-0,070970654	-0,33348086
2	-0,16770492	-0,049410876	-0,070472598	-0,34103215
4	255,85672	0,71082997	0,14241543	-0,34783742
6	392,5654	1,13691	0,28569153	-0,36483344
8	385,36478	1,1323051	0,28039876	-0,36669198
10	506,34454	1,5611159	0,42388621	-0,38433376
12	512,32446	1,6751993	0,46930093	-0,38528404
14	509,78235	1,6733515	0,46660027	-0,39467937
16	646,25854	2,2695501	0,65255123	-0,41765133
18	640,42682	2,4572086	0,68428409	-0,42403895
20	613,71802	2,3580666	0,67644596	-0,42214912
22	677,33398	2,5624716	0,74448478	-0,42920616
24	749,84644	2,9891286	0,86318177	-0,44082719
26	738,20618	3,1824946	0,8970117	-0,43649262
28	732,53662	3,12549	0,89927083	-0,43607506
30	823,85187	3,5399153	1,0443813	-0,45843488
32	846,21655	3,7786095	1,1020591	-0,46618098
34	823,54913	3,7867949	1,090675	-0,46605313
36	827,30212	3,8860488	1,1057686	-0,46354532
38	889,67505	4,463562	1,2062674	-0,47683695
40	927,64722	4,729063	1,3071697	-0,48585674
42	901,76563	4,5794983	1,2990097	-0,48887867
44	951,93439	4,7750177	1,364657	-0,50546575
46	1020,3793	5,2312284	1,4996896	-0,52658784
48	997,30127	5,4858942	1,50235	-0,52563882
50	968,7406	5,0955257	1,4856231	-0,52610838
52	1044,8472	5,4277887	1,5928856	-0,53949046
54	1097,9808	5,9572325	1,706664	-0,55701715
56	1062,7803	5,7622318	1,683521	-0,56345189
58	1126,2063	6,0082092	1,7744797	-0,57206446
60	1180,5472	6,6033425	1,8954221	-0,58991224
62	1149,059	6,4211211	1,887395	-0,58922499
64	1135,2953	6,3667912	1,8723936	-0,57929802
66	1250,1095	7,060195	2,0784214	-0,61562121
68	1232,6877	7,0573158	2,1023655	-0,61648744
70	1206,1831	6,9941869	2,0794501	-0,6149472
72	1280,7009	7,3004365	2,1798074	-0,62634927
74	1316,0546	7,7131701	2,2937927	-0,64412677
76	1278,9677	7,5625277	2,2608752	-0,64284551
78	1335,4908	7,7839069	2,3522532	-0,65220183
80	1381,7301	8,1902285	2,4716585	-0,66461271
82	1344,6279	8,1077909	2,4497221	-0,66412616
84	1333,9211	8,0998383	2,4505713	-0,66158777
86	1443,537	8,6894798	2,650311	-0,68474275
88	1420,5232	8,7238026	2,6529689	-0,6866222

LAMPIRAN DATA PENGUJIAN BALOK

90	1457,3003	8,9336357	2,7318492	-0,69445813
92	1489,3064	9,1719818	2,8205326	-0,70824617
94	1486,1177	9,3164072	2,8329051	-0,70925671
96	1437,2552	9,1106071	2,7875056	-0,69296455
98	1483,6521	9,4634151	2,7288525	-0,68738884
100	1447,9785	9,3780203	2,6733713	-0,67964613
102	1478,4437	9,4796562	2,6197238	-0,67650473
104	1552,5554	9,9707899	2,5687153	-0,67218876
106	1572,0708	10,124531	2,5245547	-0,65972924
108	1631,4618	10,678642	2,4866467	-0,65302509
110	1580,9674	10,526144	2,4487889	-0,64699006
112	1529,3296	10,312056	2,4103103	-0,64154202
114	1518,4191	10,259996	2,3484108	-0,62585455
116	1622,551	10,769439	2,307498	-0,63614154
118	1625,077	10,810429	2,2681613	-0,62612009
120	1685,689	11,207475	2,2336311	-0,62243152
122	1706,963	11,479535	2,1960759	-0,61730736
124	1663,1813	11,329878	2,1608169	-0,61399567
126	1710,0129	11,572974	2,1335442	-0,61611235
128	1753,3032	12,153784	2,0938466	-0,61032033
130	1703,9896	11,807162	2,0816562	-0,60518569
132	1747,0154	12,010596	2,064141	-0,60769916
134	1790,2834	12,72728	2,0312645	-0,60170823
136	1830,7603	12,858054	1,9969685	-0,59554875
138	1793,2452	13,421632	1,9741305	-0,59059465
140	1769,9229	13,205817	1,9409611	-0,58165789
142	1824,2756	13,972444	1,9084797	-0,58527315
144	1800,24	13,894864	1,8890867	-0,58019686
146	1808,7798	14,593941	1,9203593	-0,58601159
148	1746,7828	14,384899	1,9619923	-0,58945769
150	1830,1642	15,795907	1,9885213	-0,59611601
152	1838,0691	16,453316	2,0089617	-0,60186762
154	1843,9221	17,695309	1,9986353	-0,60236746
156	1859,6997	19,71653	2,0257359	-0,61453062
158	1895,5199	20,833084	2,1123691	-0,61741126
160	1913,1036	20,879295	2,111351	-0,61641055
162	1913,0461	20,700125	2,1113791	-0,61505848
164	1936,3112	21,146648	2,1235297	-0,61816394
166	1897,9305	20,825739	2,1047585	-0,61326587
168	1910,2479	21,660738	2,109539	-0,61193776
170	1929,9476	22,420076	2,2624612	-0,63595009
172	1941,0417	23,064131	2,3110235	-0,6411466
174	1904,4283	23,79726	2,3736694	-0,65131855
176	1906,698	23,510637	2,5208499	-0,6698668
178	1924,4377	24,523352	2,5110252	-0,67207623
180	1916,7366	24,386164	2,5027699	-0,67624074
182	1923,676	25,046232	2,6060989	-0,68030351
184	1935,1241	24,776846	2,6922002	-0,69897223
186	1928,985	25,511059	2,6557012	-0,69499975
188	1946,3269	26,412209	2,7152135	-0,69795227
190	1969,7335	27,690201	2,8503888	-0,7131322
192	1972,2671	27,327965	2,8275073	-0,70275652
194	1975,48	27,624416	2,8715796	-0,7119869
196	1980,2677	28,507179	3,0350931	-0,73080814
198	1970,8888	28,953962	3,0994422	-0,73260909
200	1989,0031	29,763039	3,2600012	-0,75751907
202	2003,5603	30,642145	3,2394779	-0,74760753
204	2004,66	31,020832	3,1831253	-0,73835868

LAMPIRAN DATA PENGUJIAN BALOK

206	2010,3102	31,658857	3,1618261	-0,73777735
208	1989,9175	32,25214	3,298084	-0,75523829
210	1993,9301	32,971088	3,3391621	-0,75691938
212	2006,9501	33,547535	3,4507806	-0,7758351
214	2003,8489	33,996132	3,5283644	-0,78348744
216	1982,3875	34,609241	3,5048268	-0,78861314
218	1978,5775	35,547455	3,5871024	-0,79708624
220	1996,5522	36,072193	3,7098136	-0,8062374
222	1988,5313	36,695641	3,6752691	-0,80086857
224	1989,9272	38,007336	3,7340114	-0,81307822
226	1994,9397	39,060715	3,8857274	-0,83258492
228	1989,1818	39,158604	4,0186963	-0,83519953
230	1974,1449	45,205223	4,15801	-0,82415748



LAMPIRAN DATA PENGUJIAN BALOK

BALOK BG 2				
Time	LOAD CELL; AVE	LVDT 1; AVE	LVDT 2; AVE	LVDT 3; AVE
s	kg	mm	mm	mm
0	-13,849664	-0,080092989	-0,015395589	0,012493415
2	-11,91715	-0,072301924	-0,00148247	0,006661882
4	-8,6126957	-0,075300053	-0,008848989	0,009976144
6	16,260708	-0,022132235	0,007834023	0,011945196
8	62,109993	0,054469805	0,04786887	0,010472926
10	87,918449	0,12966661	0,067960389	-0,021247337
12	109,55534	0,19124395	0,08064007	-0,017682008
14	251,52574	0,61358124	0,20181409	-0,045594536
16	351,38242	1,0177513	0,33023846	-0,050684333
18	357,70877	1,0818379	0,35302046	-0,060947441
20	395,17902	1,2078052	0,39389402	-0,084215775
22	452,08142	1,4723818	0,46488816	-0,094508432
24	485,15945	1,6730906	0,51882136	-0,077842392
26	474,84027	1,6920997	0,52963048	-0,07279563
28	495,31152	1,7845427	0,54685432	-0,11063363
30	544,02423	1,9800965	0,61981213	-0,1108857
32	557,93567	2,0884731	0,65567917	-0,11691815
34	577,22345	2,1858904	0,68651158	-0,11768637
36	613,95172	2,3531988	0,73625302	-0,12736179
38	609,17267	2,3931732	0,75006479	-0,12543297
40	611,85931	2,4256577	0,75957382	-0,13038807
42	684,1734	2,7021549	0,83765477	-0,13552727
44	745,83679	3,0327291	0,92592829	-0,14714119
46	753,23877	3,2043772	0,97037131	-0,16852067
48	746,69855	3,2101479	0,9839198	-0,19558324
50	768,09229	3,2983336	1,0089599	-0,18465886
52	835,56073	3,5913203	1,1010273	-0,20943409
54	871,25775	3,8060019	1,1574936	-0,20169869
56	901,00439	4,0284095	1,2305731	-0,19287068
58	899,09149	4,0885324	1,2456764	-0,18450455
60	903,58594	4,161561	1,2600417	-0,19260153
62	953,43414	4,3772931	1,3270468	-0,21691486
64	980,96301	4,5484171	1,3797638	-0,22089091
66	1010,551	4,7076974	1,4311023	-0,23036315
68	1029,9457	4,8414969	1,4788897	-0,22728185
70	1041,5582	4,9892769	1,5055813	-0,22033226
72	1034,8895	5,0306025	1,5155547	-0,27101251
74	1074,5087	5,1959939	1,5608946	-0,25765312
76	1115,1429	5,4192705	1,6458516	-0,24774188
78	1158,6018	5,6896729	1,7221788	-0,26383603
80	1180,849	5,885233	1,7837269	-0,27719927
82	1172,8185	5,9437003	1,7760866	-0,28776562
84	1174,5403	5,9636054	1,8245925	-0,2743665
86	1201,3184	6,1059852	1,9787389	-0,28222284
88	1233,2813	6,251658	2,0523343	-0,30475199
90	1274,7288	6,4846563	2,0547125	-0,30374187
92	1304,7576	6,7348256	2,3174887	-0,29674771
94	1323,1351	6,9228468	3,4818084	-0,29613048
96	1319,3348	6,9810658	2,471941	-0,32176179
98	1327,5347	7,0367055	4,7013001	-0,33387503
100	1384,5607	7,3586645	3,5198634	-0,35723147
102	1409,9115	7,5629578	2,7468853	-0,33922938
104	1457,5959	7,8965449	2,8421462	-0,35227817
106	1461,912	8,1297216	2,3405695	-0,35227358

LAMPIRAN DATA PENGUJIAN BALOK

108	1464,339	8,1415682	2,3581231	-0,36749992
110	1521,5358	8,4107571	2,7476416	-0,3734827
112	1561,9292	8,6665001	2,5642333	-0,36674139
114	1591,3787	9,0623655	2,6040623	-0,40106651
116	1598,927	9,2433624	2,6300759	-0,40619171
118	1602,0537	9,2658949	2,7040606	-0,40557474
120	1636,9049	9,4290524	2,71697	-0,40979394
122	1682,7234	9,6996946	2,7548609	-0,39983842
124	1726,6254	10,126903	3,2900114	-0,45368809
126	1736,9789	10,223833	3,6483266	-0,44797468
128	1727,079	10,24392	3,2041979	-0,4322505
130	1745,1912	10,338706	2,9710314	-0,41887861
132	1779,387	10,628685	3,0409842	-0,44212607
134	1805,4686	10,84202	3,1828165	-0,43639052
136	1842,6898	11,096081	3,152694	-0,47652555
138	1854,2173	11,097544	3,2106731	-0,47126922
140	1849,6655	11,224984	3,2122445	-0,46924949
142	1878,9763	11,367739	3,4358177	-0,456723
144	1914,5151	11,577764	3,6645331	-0,4913618
146	1955,912	11,888161	3,5505517	-0,4632802
148	1986,8698	12,116082	3,47189	-0,500763
149	2410	15		
150	2400	16,25		
151	2512,5	16,5		
152	2550	18,75		
153	2662,5	23,75		
154	2625	25,18		
155	2662,5	28,56		
156	2662,85	29,75		
157	2688,75	32,35		
158	2670	32,375		
159	2700	33,75		

LAMPIRAN DATA PENGUJIAN SILINDER BETON

DATA PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS
SILINDER BETON 1

Beban (kgf)	ΔP (0.001)	tegangan	regangan ($\times 10^{-4}$)
0	0.000	0	0
500	0.003	0.277707006	0.744527721
1000	0.003	0.555414013	0.744527721
1500	0.004	0.833121019	0.992703628
2000	0.005	1.110828025	1.240879535
2500	0.005	1.388535032	1.240879535
3000	0.006	1.666242038	1.489055442
3500	0.006	1.943949045	1.489055442
4000	0.007	2.221656051	1.73723135
4500	0.007	2.499363057	1.73723135
5000	0.007	2.777070064	1.73723135
5500	0.008	3.05477707	1.985407257
6000	0.008	3.332484076	1.985407257
6500	0.009	3.610191083	2.233583164
7000	0.009	3.887898089	2.233583164
7500	0.010	4.165605096	2.481759071
8000	0.011	4.443312102	2.729934978
8500	0.012	4.721019108	2.978110885
9000	0.012	4.998726115	2.978110885
9500	0.013	5.276433121	3.226286792
10000	0.015	5.554140127	3.722638606
10500	0.016	5.831847134	3.970814513
11000	0.018	6.10955414	4.467166327
11500	0.019	6.387261146	4.715342235
12000	0.021	6.664968153	5.211694049
12500	0.024	6.942675159	5.95622177
13000	0.025	7.220382166	6.204397677
13500	0.028	7.498089172	6.948925398

LAMPIRAN DATA PENGUJIAN SILINDER BETON

DATA PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS BETON 2

Beban (kgf)	ΔP (0.001)	tegangan	regangan ($\times 10^{-4}$)
0	0.000	0	0.441998804
500	0.004	0.277707006	0.992605092
1000	0.009	0.555414013	2.233361457
1500	0.014	0.833121019	3.474117822
2000	0.017	1.110828025	4.218571641
2500	0.021	1.388535032	5.211176733
3000	0.027	1.666242038	6.700084371
3500	0.031	1.943949045	7.692689463
4000	0.037	2.221656051	9.181597102
4500	0.041	2.499363057	10.17420219
5000	0.047	2.777070064	11.66310983
5500	0.052	3.05477707	12.9038662
6000	0.057	3.332484076	14.14462256
6500	0.062	3.610191083	15.38537893
7000	0.066	3.887898089	16.37798402
7500	0.073	4.165605096	18.11504293
8000	0.078	4.443312102	19.3557993
8500	0.083	4.721019108	20.59655566
9000	0.089	4.998726115	22.0854633
9500	0.096	5.276433121	23.82252221
10000	0.104	5.554140127	25.80773239
10500	0.107	5.831847134	26.55218621
11000	0.114	6.10955414	28.28924512
11500	0.120	6.387261146	29.77815276
12000	0.127	6.664968153	31.51521167
12500	0.135	6.942675159	33.50042186
13000	0.141	7.220382166	34.9893295
13500	0.151	7.498089172	37.47084223

DATA PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS SILINDER BETON 3

Beban (kgf)	ΔP (0.001)	tegangan	regangan ($\times 10^{-4}$)
0	0	0	0.637765585
500	0.001	0.277707006	0.248607796
1000	0.006	0.555414013	1.491646778
1500	0.012	0.833121019	2.983293556
2000	0.019	1.110828025	4.72354813
2500	0.026	1.388535032	6.463802705
3000	0.033	1.666242038	8.204057279
3500	0.039	1.943949045	9.695704057
4000	0.047	2.221656051	11.68456643
4500	0.052	2.499363057	12.92760541
5000	0.06	2.777070064	14.91646778
5500	0.066	3.05477707	16.40811456
6000	0.075	3.332484076	18.64558473
6500	0.083	3.610191083	20.6344471
7000	0.088	3.887898089	21.87748608
7500	0.097	4.165605096	24.11495625
8000	0.101	4.443312102	25.10938743
8500	0.109	4.721019108	27.0982498
9000	0.117	4.998726115	29.08711217
9500	0.125	5.276433121	31.07597454
10000	0.135	5.554140127	33.56205251
10500	0.14	5.831847134	34.80509149
11000	0.148	6.10955414	36.79395386
11500	0.156	6.387261146	38.78281623
12000	0.165	6.664968153	41.0202864
12500	0.173	6.942675159	43.00914877
13000	0.179	7.220382166	44.50079554
13500	0.189	7.498089172	46.98687351

LAMPIRAN DATA PENGUJIAN SILINDER BETON

DATA PENGUJIAN KUAT TARIK BELAH BETON

Kode	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Beban (KN)	Beban (kg)	Kuat Tarik Belah (Mpa)
TB1	14.925	30.27	180	18354.9	2.537773795
TB2	14.957	30.276	195	19884.5	2.742829333
TB3	15.157	30.353	175	17845	2.422871271

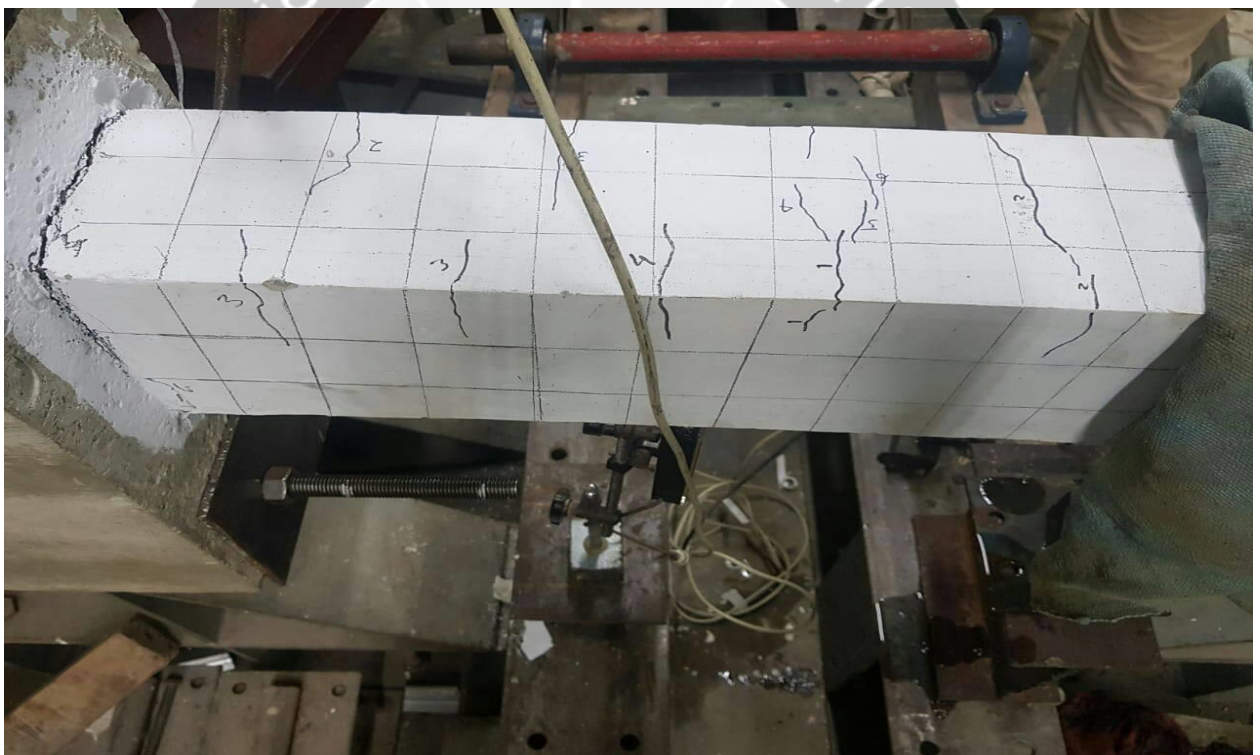
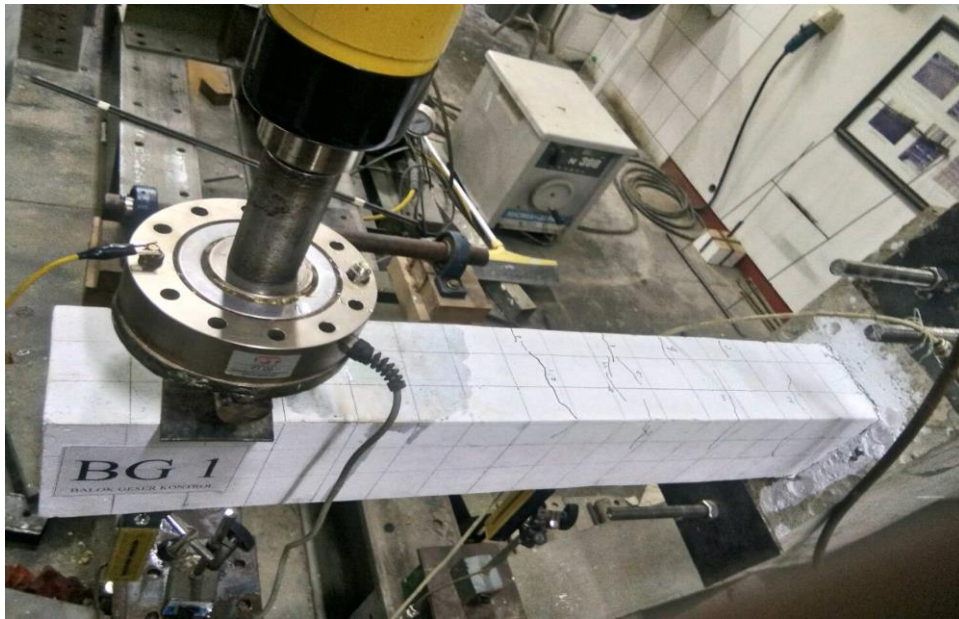
DATA PENGUJIAN KUAT TARIK BAJA P10

Diameter (mm)	Luas Penampang	Beban Leleh (kgf)	Beban Putus (kgf)
8.84	61.344296	2240	3210
8.68	59.143784	2100	2960
8.77	60.3766265	2210	3115

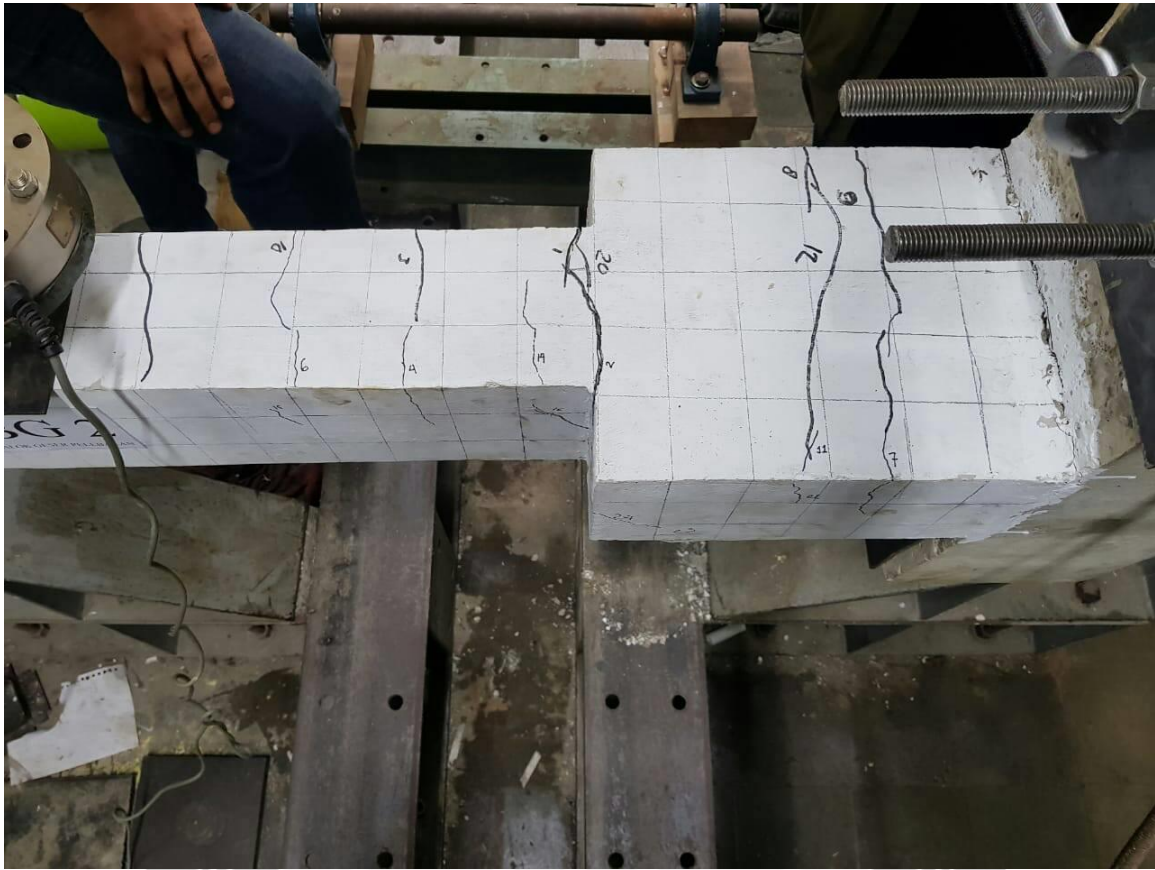
DATA PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON

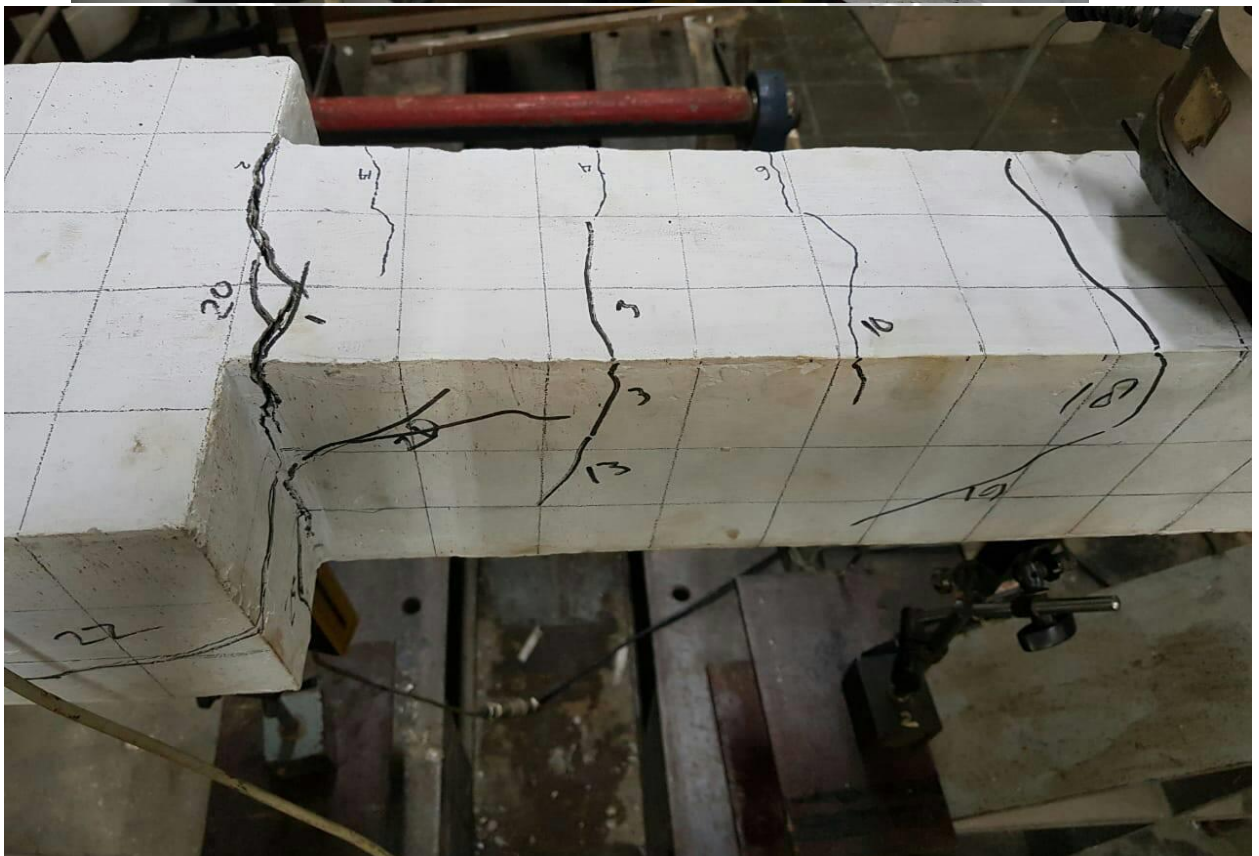
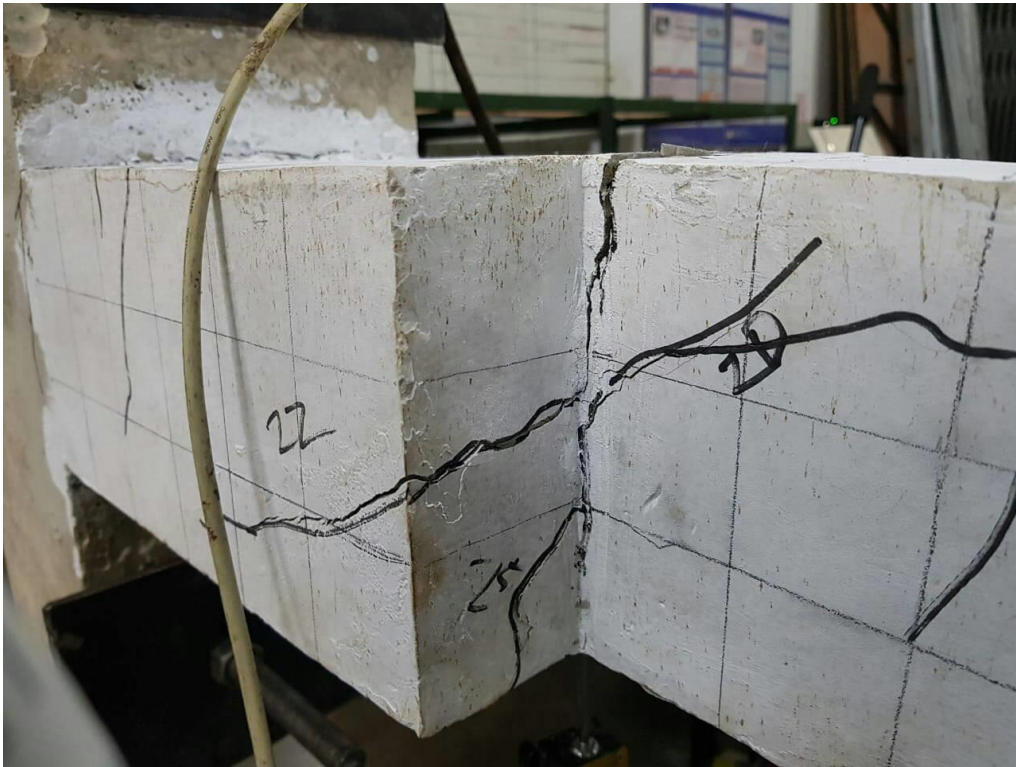
Beton Mutu 25 Mpa 28 Hari					
No	Slump (cm)	Diameter (mm)	Luas Penampang mm ²	Beban kN	Kuat Tekan Mpa
TPL	12	149,42	17526,17	530	30,24
TPC	10	149,38	17516,79	500	28,54
PC	9	149	17516	290	16*

LAMPIRAN DOKUMENTASI











LAMPIRAN DOKUMENTASI

