

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

Laporan Tugas Akhir

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana dari

Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Oleh :

Claudia Valentine

NPM : 160216502



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA

APRIL 2020

PENGESAHAN

Laporan Tugas Akhir

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

Oleh :

CLAUDYA VALENTINE

NPM : 160216502 / TS

Telah diuji dan disetujui oleh Pembimbing :

Yogyakarta, 29/04/2020

Pembimbing

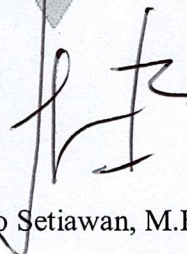


(Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng)

Disahkan oleh :

Program Studi Teknik Sipil

Ketua

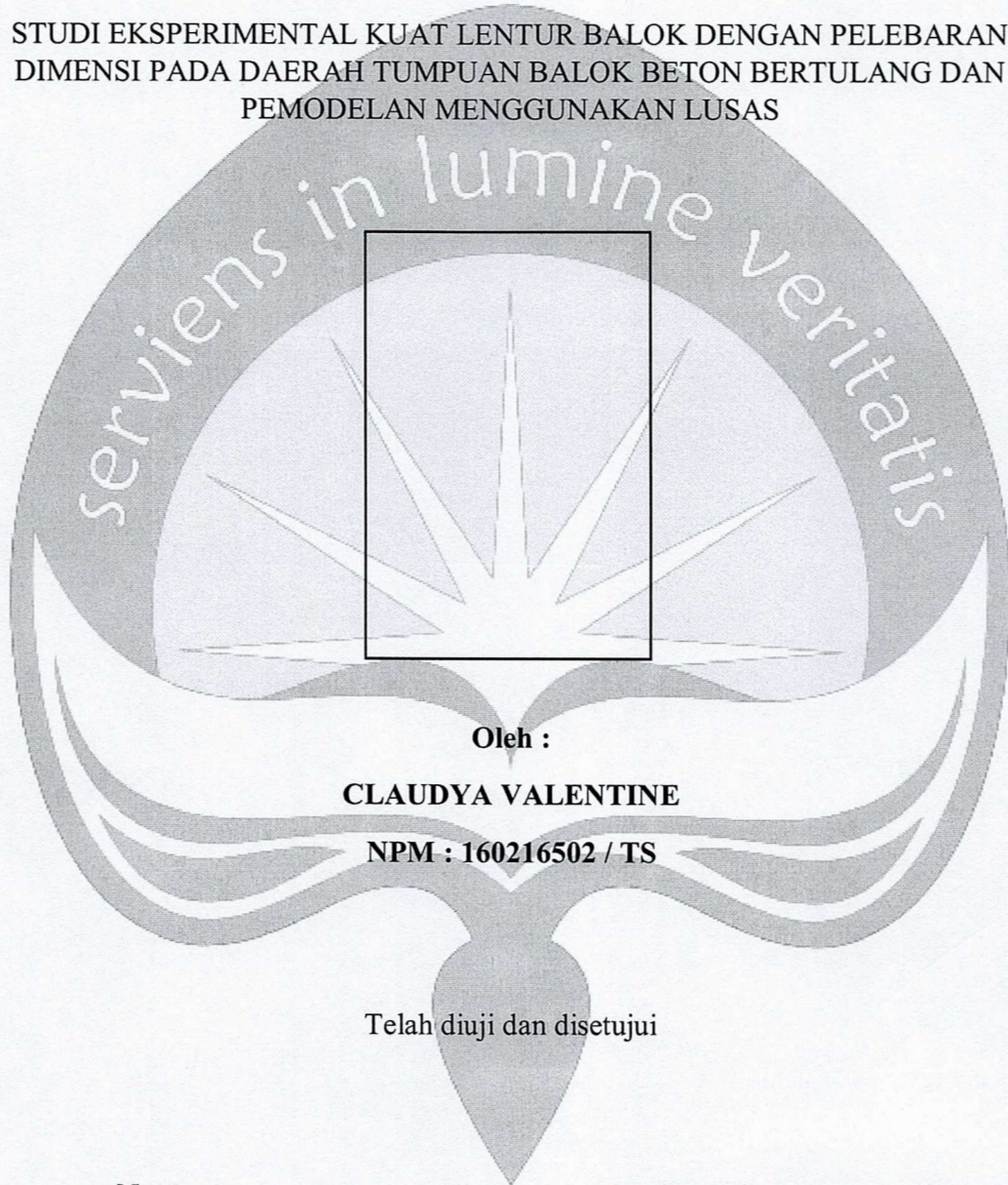


Ir. AY. Harijanto Setiawan, M.Eng., Ph.D

PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir

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



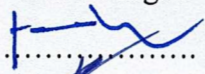

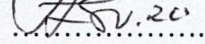
Oleh :

CLAUDYA VALENTINE

NPM : 160216502 / TS

Telah diuji dan disetujui

	Nama
Ketua	: Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng.
Sekretaris	: Johan Ardianto, ST., M.Eng.
Anggota	: Ir. V. Yenni Endang S., M.T.

Tanda Tangan	Tanggal
	29/04/2020
	29/04/2020
	28 April 2020

PERNYATAAN

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

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

Merupakan hasil karya tulis Tugas Akhir yang saya tulis sendiri dengan hasil diskusi yang dilakukan bersama dosen pembimbing. Ide, data hasil penelitian, maupun kutipan baik langsung maupun tidak langsung yang bersumber dari ide orang lain dinyatakan secara tertulis dalam Tugas Akhir ini dengan jelas. Apabila terbukti dikemudian hari bahwa Tugas Akhir saya 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



Claudia Valentine

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala karunia yang telah diberikan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan baik yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan tinggi Program Strata-1 di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Pada kesempatan ini penyusun ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak membantu baik pada saat persiapan melakukan penelitian sampai selesai penyusunan laporan. Untuk itu penyusun mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr.Eng. Luky Handoko, S.T., M.Eng. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta;
2. Bapak Ir. AY. Harijanto Setiawan, M. Eng., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta;
3. Bapak Dr. Ir. AM. Ade Lisantono, M.Eng. selaku Dosen Pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dengan sangat sabar dan peduli terhadap proses penelitian sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
4. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah membimbing dan memberikan ilmu pengetahuan dalam bidang teknik sipil yang sangat berguna bagi penulis.

5. Kedua orang tua, kakak, dan keluarga yang selalu memberikan semangat dan doa dalam proses perkuliahan dari awal hingga selesai pembuatan Tugas Akhir.
6. Teman-teman yang selalu menemani selama perkuliahan dan selalu memberi *support* dari awal hingga akhir (Vanesha Astri Hadi, Rahajeng Indika Putri, F. Andika Sayangbati, Helen Tonapa, Rr. Yohana Fabiola D.) dan kakak-kakak tingkat yang telah berbagi pengalaman selama perkuliahan, dan pengerjaan Tugas Akhir (Desy, Ike, Odil, Hendy).
7. Teman-teman Tugas Akhir Struktur, Luki Hariando Purba dan Mikha Angie R. Pungus.
8. Teman-teman yang telah membantu proses pengerjaan tugas akhir dari awal sampai selesai (Dede, Alvian, Nico, Davin, Jaya, Wira, Arif, Diwang, Rico, Inu, Wahyu, Fredy, Gery, Oby, Danur, Alvin, Erwin, Charles, Anan, Andra, Beki, Costin, Nodi, Rano, Dalu, Yohanes, Yoshua, Vania, Sisca, Irfan).
9. Teman-teman Teknik Sipil UAJY Angkatan 2016 yang telah membantu dalam proses pembelajaran selama kuliah.
10. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu-persatu yang telah membantu selama masa perkuliahan.

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

Demikian Tugas Akhir ini ditulis apabila ada kesalahan yang ditemukan dalam penulisan Tugas Akhir ini, penulis meminta maaf yang sebesar-besarnya atas

ketidak nyamanan pembaca. Semoga Tugas Akhir ini dapat berguna dan dapat dimanfaatkan bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Yogyakarta, April 2020

Penyusun

Claudya Valentine



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iii
PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
INTISARI	xiii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Keaslian Penelitian	5
1.5 Tujuan Penelitian	5
1.6 Manfaat Penelitian	5
1.7 Lokasi Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Sebelumnya Terkait Topik Penelitian	6
2.1.1 Penelitian kuat lentur balok	6
2.1.2 Penelitian penambahan dimensi tumpuan balok	7
III. LANDASAN TEORI	8
3.1 Kuat Tekan Beton	8
3.2 Modulus Elastisitas Beton	9
3.3 Analisis Kuat Lentur Balok	9
3.4 Kuat Tarik Belah Beton	12
3.5 Beton Bertulang	13
3.6 Baja Tulangan	13
3.7 Balok Bertulang Rangkap	15

IV. METODOLOGI PENELITIAN	17
4.1 Umum	17
4.2 Kerangka Penelitian.....	18
4.3 Pemodelan <i>Software LUSAS</i>	19
4.4 Analisis Penampang Balok	19
4.5 Tahap Persiapan dan Pengadaan Material	25
4.5.1 Bahan.....	25
4.5.2 Alat Bantu Penelitian	26
4.6 <i>Mix Design</i>	27
4.7 Tahap Pembuatan Benda Uji.....	28
4.7.1 Pembuatan Silinder Beton	28
4.7.2 Pembuatan Balok Beton Bertulang	28
4.8 Tahap Perawatan Benda Uji.....	29
4.9 Tahap Pengujian Benda Uji	31
4.9.1 Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton.....	31
4.9.2 Pengujian Modulus Elastisitas Beton.....	31
4.9.3 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	31
4.9.4 Pengujian Kuat Tarik Baja	32
4.9.5 Pengujian Kuat Lentur Balok Bertulang	32
4.10 Pemodelan Ulang <i>Software LUSAS</i> dan Analisis.....	33
V. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	43
5.1 Studi Eksperimental.....	43
5.1.1 Pengujian Kuat Tekan Beton.....	43
5.1.2 Pengujian Modulus Elastisitas Beton.....	44
5.1.3 Pengujian Kuat Tarik Belah Beton	44
5.1.4 Pengujian Kuat Tarik Baja	45
5.1.5 Pengujian Kapasitas Beban Balok Beton Bertulang	46
5.1.6 Pengujian Defleksi Balok	46
5.1.7 Pola Retak Balok.....	48
5.2 Analisis <i>Software LUSAS</i>	54
5.2.1 Pembebanan dan defleksi pada balok	54
5.2.2 Perilaku balok setelah pembebanan	55

5.3 Perbandingan eksperimental dengan analisis <i>software LUSAS</i>	56
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	58
6.1 Kesimpulan	58
6.2 Saran	60

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Detail tulangan balok kontrol BL1	3
Gambar 1.2 Detail tulangan balok BL2	4
Gambar 3.1 <i>Set Up</i> pembebanan balok kantilever	10
Gambar 3.2 Diagram momen kurvatur	11
Gambar 4.1. Bagan alir penelitian	18
Gambar 4.2 Detail Penulangan	29
Gambar 4.3 Grid line dimensi balok 2D	34
Gambar 4.4 Pemodelan Tulangan menggunakan <i>grid line</i> Balok BL	34
Gambar 4.5 Mendefinisikan Elemen	35
Gambar 4.6 Mendefinisikan karakteristik beton	36
Gambar 4.7 Mendefinisikan Kuat Tarik Tulangan	37
Gambar 4.8 <i>Cross Sectional Area</i> Tulangan Tarik BL1	37
Gambar 4.9 <i>Cross Sectional Area</i> Tulangan Tekan BL1	38
Gambar 4.10 <i>Cross Sectional Area</i> Tulangan Geser	38
Gambar 4.11 <i>Cross Sectional Area</i> Tulangan Tarik Tumpuan Balok BL2	39
Gambar 4.12 <i>Cross sectional area</i> Tulangan Tekan Tumpuan Balok BL2	39
Gambar 4.13 <i>Beam Thickness</i>	40
Gambar 4.14 <i>Meshing Plane Stress</i>	40
Gambar 4.15 <i>Supports</i> Balok	41
Gambar 4.16 <i>Point Load</i> Balok	41
Gambar 4.17 Pemodelan Balok 2D dengan <i>Software Lusas</i> BL1 dan BL2	41
Gambar 4.18 Pemodelan 3D Dengan <i>Software Lusas</i>	42
Gambar 5.1 Grafik Hubungan Beban dengan Defleksi Eksperimental (LVDT 1) ...	47
Gambar 5.2 Pola retak hasil pembebanan BL1	50
Gambar 5.3 Pola retak hasil pembebanan BL2	53
Gambar 5.4 Grafik Hubungan Beban dengan Defleksi Balok BL1 dan Balok BL2 ..	54
Gambar 5.5 Pola retak balok dan defleksi	56
Gambar 5.6 Grafik Hubungan Beban dengan Defleksi Balok <i>Lusas</i> dan Eksperimental	57

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Kelas Baja Tulangan	14
Tabel 4.1 Alat Bantu Penelitian.....	26
Tabel 4.2 Membuat 1 m ³ beton mutu f'c = 31,2 MPa	27
Tabel 4.3 Kebutuhan Material untuk Total Volume 0,138339 m ³	27
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton	43
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas	44
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah	45
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja	45
Tabel 5.5 Beban Retak Pertama pada Balok	46
Tabel 5.6 Hasil Uji Defleksi Akhir Balok	47
Tabel 5.7 Hasil Analisis LUSAS	54

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

Claudia Valentine

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta
Jalan Babarsari No. 44, Caturtunggal, Kec. Depok, Kab. Sleman,
Daerah Istimewa Yogyakarta, 55281
Email : claudyavalentinenubu@gmail.com

INTISARI

Kegagalan pada balok beton bertulang adalah salah satunya pada tumpuan atau sambungan antara kolom dan balok. Perkuatan (*retrofitting*) pada daerah kerusakan menjadi solusi dalam mencegah kegagalan tumpuan balok. Bentuk perkuatan dapat dalam bentuk penambahan material ataupun penambahan dimensi. Dalam studi eksperimental ini digunakan perkuatan berupa variasi dimensi tumpuan balok yaitu pelebaran dimensi tumpuan balok. Eksperimental dilakukan terhadap dua buah jenis balok kantilever dengan total bentang 1000 mm, balok tanpa pelebaran sebagai balok kontrol dan balok dengan pelebaran dimensi tumpuan sebagai fokus penelitian. Pembebanan yang dilakukan adalah pembebanan terpusat pada bentang 700 mm dari tumpuan balok. Dilakukan pula pemodelan dan analisis menggunakan *software LUSAS* dengan *input* data sesuai dengan keadaan benda uji eksperimental. Hasil eksperimental menunjukkan bahwa balok dengan pelebaran dimensi pada daerah tumpuan memiliki ketahanan dalam menahan beban sebesar 145% lebih besar dan kekakuan yang dapat dilihat dari nilai defleksinya. Didapat pula transfer retak pada daerah transisi perubahan kedua dimensi tumpuan dan lapangan sebelum kegagalan fatal terjadi di tumpuan atau sambungan balok. Kegagalan pada tumpuan atau sambungan balok diakibatkan karena momen yang diterima sudah melampaui momen maksimal dari balok tersebut. Ada pula analisis menggunakan *software LUSAS* yang menghasilkan perbandingan ketahanan kedua jenis balok terhadap *overloading*. Didapat kapasitas beban balok dengan pelebaran dimensi pada tumpuan menggunakan *software LUSAS* yaitu sebesar 154% lebih besar dari balok kontrol. Selain kapasitas beban maksimum didapat pula nilai defleksi, sehingga dapat dilihat pula daktilitas balok uji.

Kata kunci : balok kantilever, kuat lentur, *software LUSAS*, daktilitas, perkuatan, *retrofitting*.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Balok merupakan salah satu elemen penting dalam struktur bangunan. Pada umumnya balok menggunakan bahan beton dan tulangan baja. Beton yang bersifat getas menjadikan perilakunya yang tahan akan kuat tekan namun memiliki kuat tarik yang rendah. Sedangkan tulangan baja memiliki kuat tarik yang tinggi, namun kuat tekannya rendah. Maka dari itu beton bertulang dengan kombinasi beton dan tulangan baja adalah kombinasi yang baik.

Sifat dari masing-masing bahan penyusun balok beton bertulang tidak menjadikan balok tersebut sempurna. Kegagalan suatu balok bukanlah hal yang tidak mungkin. Kemajuan zaman memaksa teknologi untuk terus berkembang, sehingga harus ada inovasi untuk menyempurnakan atau memperbaiki suatu kegagalan. Kegagalan pada daerah tertentu dapat dijadikan evaluasi untuk perencanaan selanjutnya.

Salah satu kerusakan pada balok sendiri adalah pada tumpuan, atau sambungan antara kolom dan balok. Perkuatan pada daerah kerusakan menjadi solusi untuk mengatasi kegagalan. Dengan semakin majunya teknologi, mulai banyak peneliti yang menemukan metode-metode untuk memperbaiki kerusakan yang ada.

Bagus dkk (2011) melakukan penelitian perbaikan balok bertulang dengan metode *jacketing* dengan ferosemen. Penelitiannya menghasilkan peningkatan kapasitas beban ultimit pada tahap ultimit akibat beban siklik.

Hernowo dan Lisantono(2016) melakukan penelitian tentang *retrofitting* berupa planar segitiga pada sambungan kolom-balok bertulang. Dalam penelitian perkuatan ekspansi planar segitiga dikatakan salah satu hasilnya adalah memberi pengaruh peningkatan kekuatan sambungan dan daktilitas yang memenuhi syarat SNI 7438-2012.

Selama pencarian jurnal dan sumber lainnya sebagian besar ditemukan penelitian perkuatan yang terfokus pada pemberian bahan tambahan sebagai contoh yaitu *jacketing*, penambahan tulangan geser dan pelat baja. Namun selain bahan tambahan ditemukan juga perkuatan berupa penambahan dimensi yaitu penebalan diantara balok dan kolom pada area tumpuan. Dikarenakan adanya hal yang menarik perhatian penulis berupa balok yang ditemukan penulis di suatu proyek pada saat melaksanakan kerja praktik yaitu pelebaran dimensi pada area tumpuan balok. Maka dari itu diperlukan penelitian untuk meninjau pengaruh yang didapat dari pelebaran dimensi pada tumpuan balok.

1.2 Rumusan Masalah

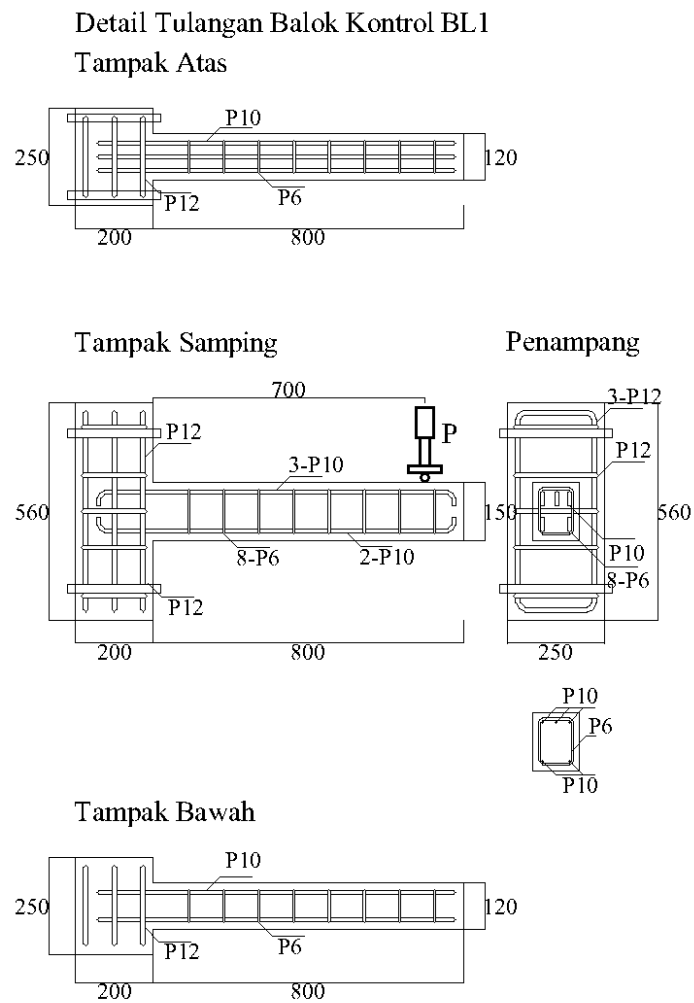
Permasalahan dalam tugas akhir ini adalah bagaimana analisa dari benda uji berupa balok yang memiliki perbedaan dimensi pada bagian tumpuan yang lebih besar. Analisa yang dilakukan berupa penelitian yang terfokus pada perilaku dan lentur balok, serta membandingkan perbedaan kekuatan yang didapat balok dengan dan tanpa penambahan dimensi pada daerah tumpuan. Selanjutnya hasil eksperimen dibandingkan hasilnya dengan hasil analisa dengan pemodelan *software LUSAS*.

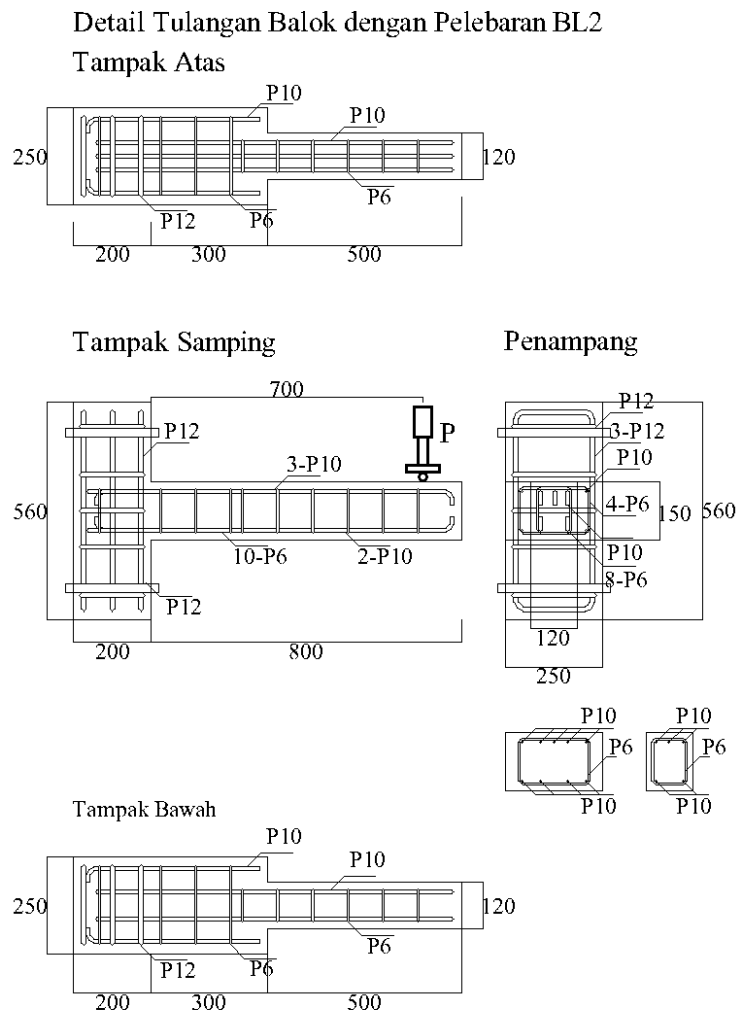
1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian tugas akhir ini, terdapat batasan masalah sebagai berikut:

- a) Benda uji yang digunakan yaitu balok kantilever. Balok BL1 berupa balok persegi dan balok BL2 berupa balok dengan pelebaran dimensi pada daerah

tumpuan, dengan detail seperti pada **Gambar 1.1** Detail Tulangan Balok Kontrol BL1 dan **Gambar 1.2** Detail Tulangan Balok Kontrol BL2





Gambar 1. 2 Detail tulangan balok BL 2

- b) Tebal selimut beton 20 mm
- c) Beton normal dengan kuat tekan rencana $f'c = 25$ MPa.
- d) Pembebanan diberikan di satu titik pada jarak 70cm.
- e) Tulangan longitudinal yang digunakan P10, dengan mutu $f_y = 240$ MPa.
- f) Tulangan geser yang digunakan P6.
- g) Jarak antar tulangan geser balok 100mm.
- h) Baut yang digunakan berdiameter 19mm sebanyak 4 buah.

1.4 Keaslian Penelitian

Berdasarkan hasil pencarian informasi mengenai tugas akhir ini, ditemukan penelitian serupa yaitu perkuatan dengan variasi ukuran di daerah tumpuan. Hernowo dan Lisantono melakukan penelitian *Retrofitting* Sambungan Kolom-Balok Beton Bertulang Ekspansi Planar Segitiga dengan Variasi Ukuran. Hasil dari penelitiannya membuktikan bahwa ekspansi planar dapat meningkatkan kekuatan sambungan kolom-balok. Namun untuk variasi dimensi berupa pelebaran pada daerah tumpuan balok tidak ditemukan studi literatur sebelumnya, sehingga dapat dilakukan penelitian mengenai topik tersebut.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian tugas akhir ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan dimensi berupa pelebaran pada tumpuan balok terhadap kuat lentur yang didapat setelah pembebanan. Diharapkan terjadi perbedaan perilaku balok bertulang dengan perbedaan dimensi dengan balok dimensi tanpa pelebaran pada saat runtuh akibat *overloading*. Dari perilaku tersebut maka dapat dilihat perbedaan kuat lentur kedua balok tersebut.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapat dari hasil penelitian adalah menghasilkan analisis dari penelitian penambahan lebar dimensi pada tumpuan balok sehingga dapat digunakan sebagai alternatif dalam perkuatan tumpuan balok.

1.7 Lokasi Penelitian

Penelitian tugas akhir ini akan dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Bangunan, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya Terkait Topik Penelitian

2.1.1 Penelitian kuat lentur balok

Penelitian mengenai kuat lentur balok beton bertulang pernah dilakukan oleh Yohanes dkk [2015] dengan judul Pengaruh Kuat Tekan Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental laboratorium dengan benda uji berupa kubus beton polos berukuran (150x150x150)mm, dan balok beton bertulang tunggal berukuran (150x150x600)mm. Penelitian yang dilakukan yaitu pemeriksaan kuat tarik baja, pemeriksaan slump, penentuan nilai fas, pemeriksaan kuat tekan, pemeriksaan kuat lentur, perhitungan analitis, perhitungan tulangan geser, serta analisis hubungan kuat tekan dan kuat lentur.

Berdasarkan hasil dari penelitiannya didapatkan beberapa kesimpulan. Pengujian kuat tekan beton menghasilkan kuat tekan yang jauh lebih rendah dari kuat tekan rencana, dikarenakan persentase agregat halus yang digunakan cukup besar. Pengujian kuat lentur menghasilkan kuat lentur pada serat tekan (tegangan lentur beton) berbanding lurus dengan kuat lentur serat tarik (tegangan lentur baja). Hasil analisa akan hubungan antara kuat tekan dan kuat lentur menunjukkan semakin tinggi kuat tekan beton maka kuat lentur meningkat pula, sehingga apabila digambarkan dalam grafik akan bersifat parabola.

Hasil penelitian yang mereka lakukan juga menunjukkan perilaku balok terhadap pembebanan yang diberi. Pada saat balok mengalami retak awal, nilai P_{cr} menunjukkan selisih nilai yang hamper sama di setiap variasi penambahan kuat tekan. Sedangkan P_{max}

mengalami peningkatan yang signifikan. Pengamatan pola retak yang terjadi pada semua benda uji menunjukkan bahwa retak yang dihasilkan akibat lentur murni.

2.1.2 Penelitian penambahan dimensi tumpuan balok

Penelitian serupa yang berkaitan dengan penambahan dimensi pada tumpuan balok pernah dilakukan sebelumnya oleh beberapa peneliti yang memiliki tujuan yaitu perkuatan pada sambungan balok-kolom. Salah satu penelitian yang memanfaatkan penebalan yaitu penelitian oleh Hernowo dan Lisantono [2016] dengan judul *Retrofitting Sambungan Kolom-Balok Beton Bertulang Ekspansi Planar Segitiga dengan Variasi Ukuran*. Metode yang digunakan yaitu eksperimental laboratorium dengan benda uji balok berukuran (150x250x1500)mm yang disambungkan dengan kolom berukuran (250x250x1750)mm dan diberi perkuatan berupa ekspansi planar segitiga berukuran (125x187.5x250)mm di bawah antara balok dan kolom.

Hasil dan pembahasan dari penelitian yang mereka lakukan meliputi : pola retak, kapasitas beban maksimal, kurva histeris (hubungan beban dan defleksi lateral), disipasi energi, kekakuan siklus, dan daktilitas. Berdasarkan hasil pengujian tersebut dapat ditarik kesimpulan yang berkaitan dengan topik Tugas Akhir ini. Salah satunya menunjukkan bahwa perkuatan ekspansi planar dapat meningkatkan kekuatan sambungan yang memenuhi kriteria yang disyaratkan dalam SNI 7438-2012.

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Studi Eksperimental

Eksperimental dilakukan dengan menggunakan beberapa benda uji berupa dua balok bertulang, sembilan silinder beton, dan 6 tulangan baja. Pengujian terhadap benda uji tersebut berupa pengujian kuat tekan beton, modulus elastisitas, *modulus of rupture*, tarik belah, kuat tarik baja, kapasitas beban balok, dan defleksi pada balok akibat pembebanan.

5.1.1 Pengujian kuat tekan beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk mengetahui kuat tekan maksimum yang dapat ditahan oleh beton berumur 28 hari dengan kuat rencana sebesar 25 MPa. Hasil uji yang dilakukan menggunakan mesin *CTM* merk *ELE* dapat dilihat pada **Tabel 5.1**.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Diameter (mm)	Luas Permukaan (mm ²)	Beban (KN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rerata (MPa)
149,42	17.526,17	530	30,24	29,39
149,38	17.516,79	500	28,54	
149,42	17.526,17	290	16,54 ^{*)}	

*) Tidak diperhitungkan karena tidak masuk kedalam kuat tekan yang direncanakan.

Dari hasil pengujian terhadap beton berumur 28 hari didapatkan kuat tekan beton rata-rata sebesar 29,39 MPa yang berarti lebih besar dari pada kuat rencana beton 25 MPa.

5.1.2 Pengujian modulus elastisitas beton

Pengujian ini dilakukan terhadap 3 beton silinder untuk mengetahui modulus elastisitas beton menggunakan alat uji mesin UTM merk *Shimadzu* dengan hasil uji yang dapat dilihat pada **Tabel 5.2**.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

No	Diameter (mm)	Beban (kN)	Tegangan (MPa)	Regangan ($\times 10^{-5}$)	Ec (N/mm ²)	Modulus Elastisitas Rata-rata
1	150	127,53	7,2204	34,9893	20.899,9712	19.122,24
2	150	93,195	5,28	30,44	17.345,6	
3	150	127,53	7,2204	6,20	116.375,232 *)	

*) Tidak diperhitungkan karena terjadi kesalahan teknis saat pengujian.

Berdasarkan SNI 03-2847-2002 modulus elastisitas untuk beton normal adalah $4.700 \sqrt{f'c}$ maka didapat untuk mutu beton 29 MPa adalah 25.310,275 MPa. Hasil pengujian memberikan nilai modulus elastisitas pada beton lebih kecil dibandingkan dengan hasil hitung dari ketentuan oleh SNI 03-2847-2002.

5.1.3 Pengujian kuat tarik belah

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kuat tarik belah beton beton menggunakan alat uji mesin *CTM* merk *ELE* dengan hasil uji yang dapat dilihat pada **Tabel 5.3**.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Kuat Tarik Belah

No	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Beban (KN)	Kuat Tarik Belah (MPa)	Kuat Tarik Belah (MPa)
1	151,63	302,70	180	2,538	2,568
2	149,57	302,76	195	2,743	
3	151,57	303,53	175	2,423	

Dari hasil pengujian diperoleh kuat tarik belah pada beton umur 28 hari sebesar 2,568 MPa. Nilai kuat tarik beton hanya 9% sampai 15% dari kuat tekannya yaitu 29 MPa. Maka dari itu, untuk mengimbangi beton menahan gaya tarik, dibutuhkan baja tulangan untuk menutupi kekurangan beton dalam menahan kuat tarik.

5.1.4 Pengujian kuat tarik baja

Pengujian kuat tarik baja dilakukan untuk mengetahui kemampuan tulangan baja dalam menahan beban tarik yang diberikan. Hasil pengujian kuat tarik baja dapat dilihat pada **tabel 5.4**.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

No	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Leleh (kgf)	Beban Putus (kgf)	Fy (MPa)	Fu (MPa)
1	8,84	61,3443	2.240	3.210	358,2142	513,3338
2	8,68	59,1438	2.100	2.960	348,3206	490,9662
3	8,77	60,3766	2.210	3.115	359,081	506,1255

Dari pengujian diambil nilai fy dan fu terendah yaitu fy 355,205 MPa dan fu 503,475 MPa.

5.1.5 Pengujian kapasitas beban balok beton bertulang

Pengujian kapasitas beban balok dilakukan dengan cara mengamati pola retak yang terjadi pada saat diberi pembebanan. Pengamatan dilakukan dengan membuat plot pola retak pada *grid* berukuran 5x5 cm yang sudah digambar terlebih dahulu sebelum pengujian. Beban terjadinya retak pertama dapat dilihat pada **Tabel 5.5**. Kode balok yang digunakan sebagai penamaan balok yaitu BL1 untuk balok kontrol tanpa pelebaran, dan BL2 untuk balok dengan pelebaran dimensi tumpuan.

Tabel 5.5 Beban Retak Pertama pada Balok

Kode Balok	Retak Pertama (kg)	Retak Pertama (kN)	Beban Maksimum (kg)
BL 1	424	4,15802	2.067,9276
BL 2	595	5,83496	3.000,4978

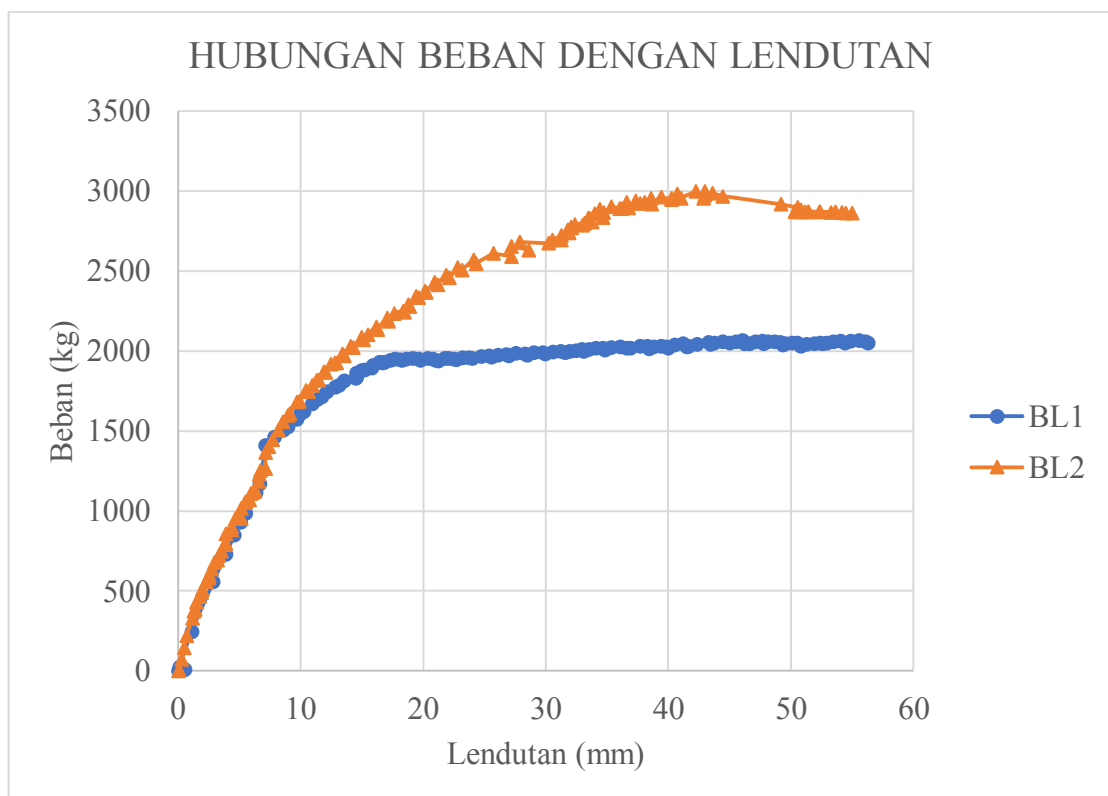
Perbandingan pembebanan yang dapat ditahan kedua balok sangat jauh berbeda, dari Tabel 5.5 dapat dilihat bahwa balok dengan pelebaran mampu menahan 145% beban lebih besar dari pada balok tanpa pelebaran. Pada **Tabel 5.5** dilampirkan beban retak pertama dan beban maksimum yang didapat lebih besar terjadi pada balok dengan pelebaran.

5.1.6 Pengujian defleksi balok

Pengujian defleksi balok dilakukan dengan memasang LVDT di tiga titik yaitu LVDT 1 pada bentang 70cm, LVDT2 pada bentang 25cm, dan LVDT 3 pada ujung atas tumpuan. Defleksi akhir kedua balok dapat dilihat pada **Tabel 5.6** Hasil Uji Defleksi Akhir Balok

Tabel 5.6 Hasil Uji Defleksi Akhir Balok

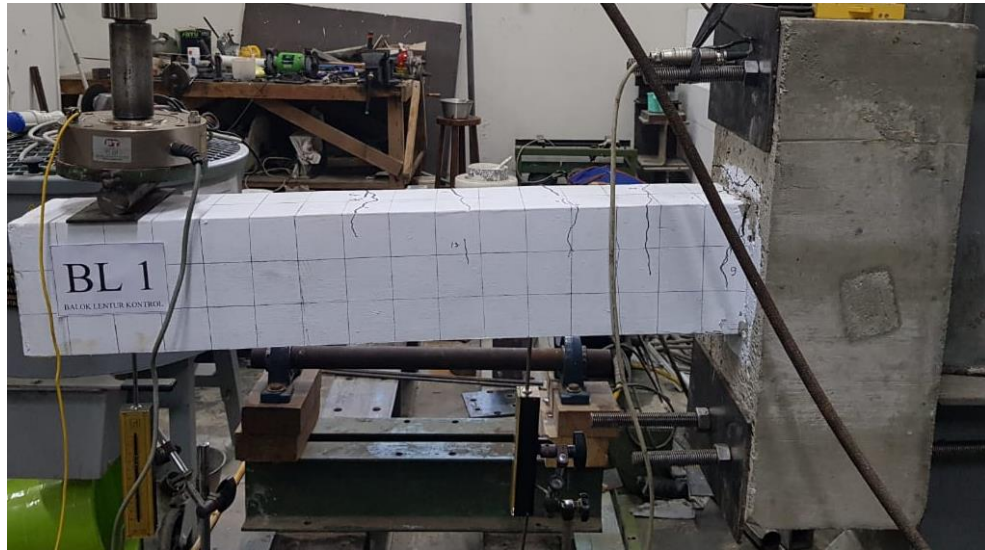
Kode Balok	Besarnya Defleksi (mm)		
	LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3
BL 1	56,32682	17,51048	-0,40354
BL 2	54,97321	14,27692	-0,40235

**Gambar 5.1** Grafik Hubungan Beban dengan Defleksi Eksperimental (LVDT 1)

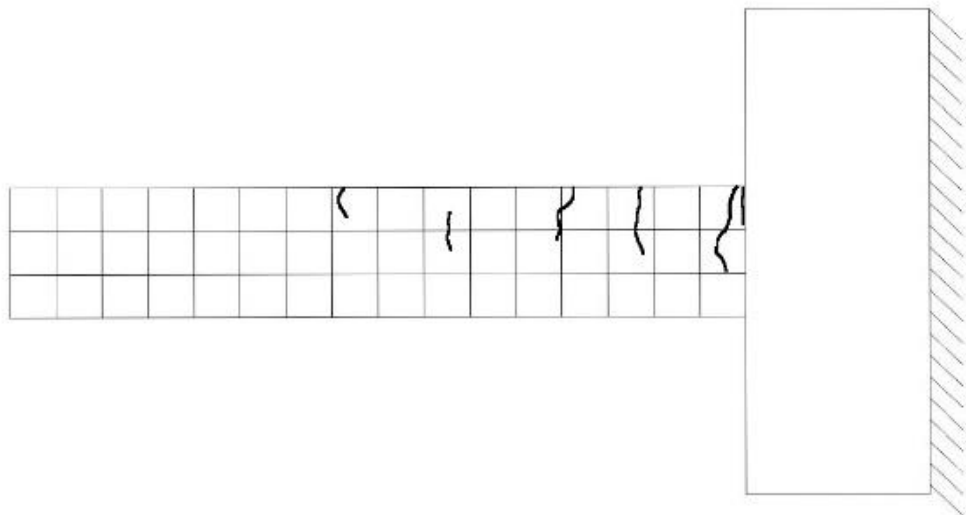
Pada Gambar 5.1 dapat dilihat perbedaan grafik kedua balok bahwa balok BL2 memiliki ketahanan terhadap beban lebih besar dibanding BL1.

5.1.7 Pola retak balok

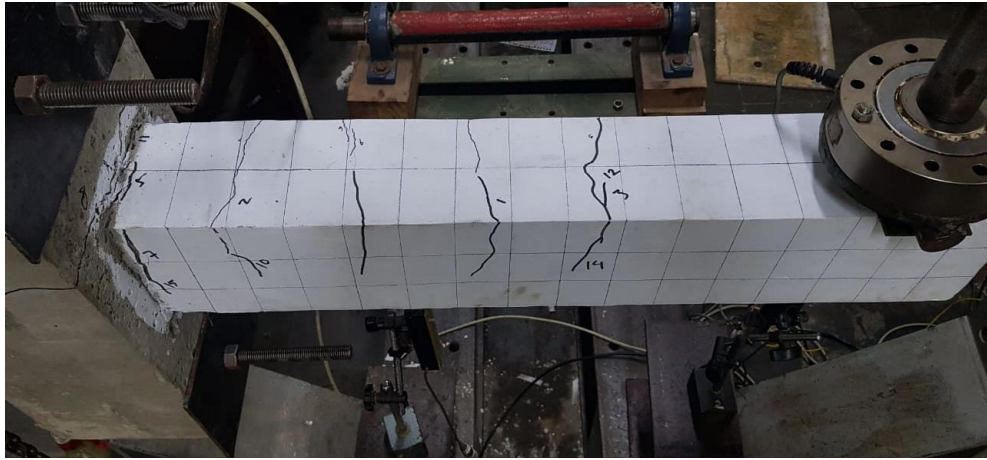
Setelah diberi pembebanan terpusat di ujung balok, balok uji mengalami kegagalan berupa retakan. Pola retak balok BL1 dapat dilihat pada **Gambar 5.2**, dan pola retak balok BL2 dapat dilihat pada **Gambar 5.3**.



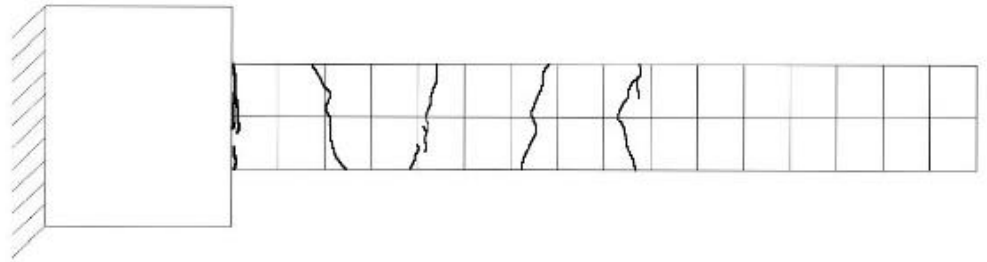
(a)



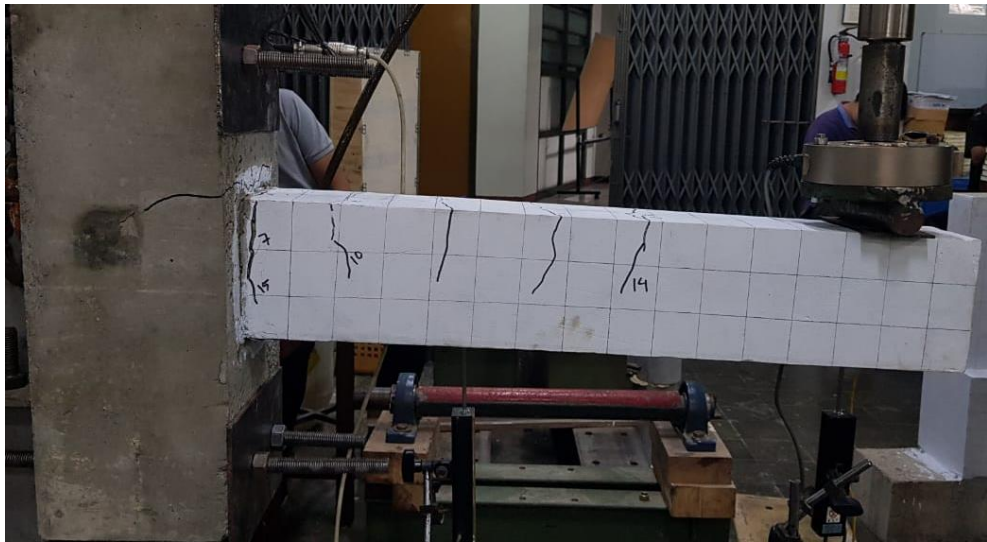
(b)



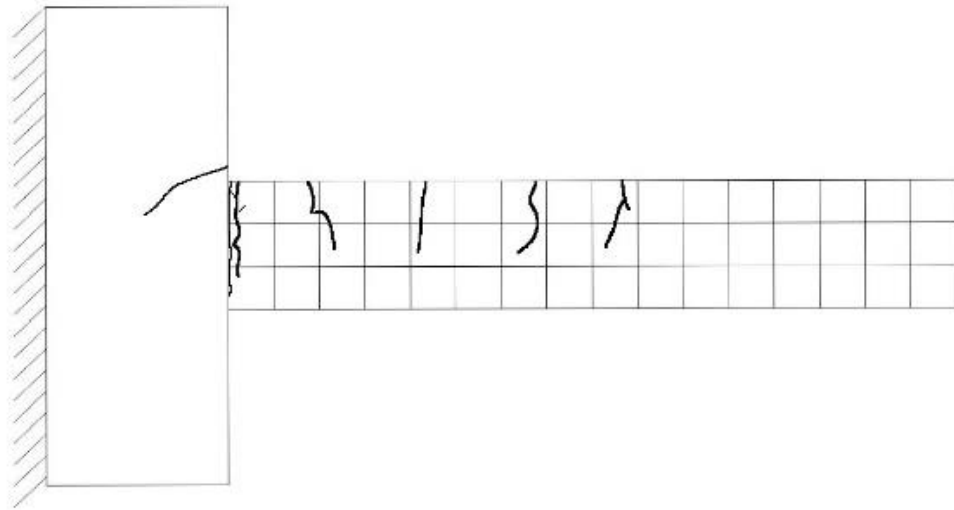
(c)



(d)



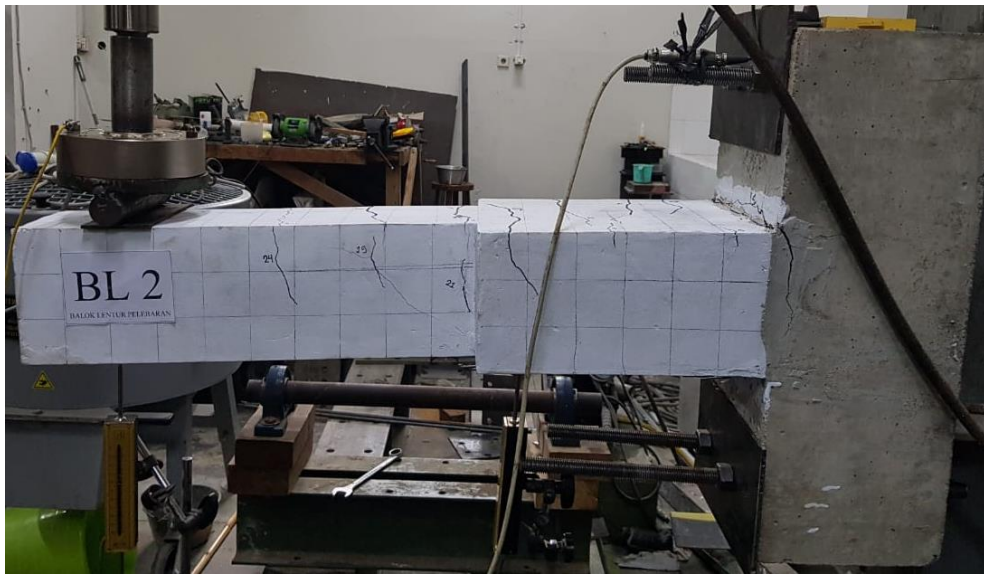
(e)



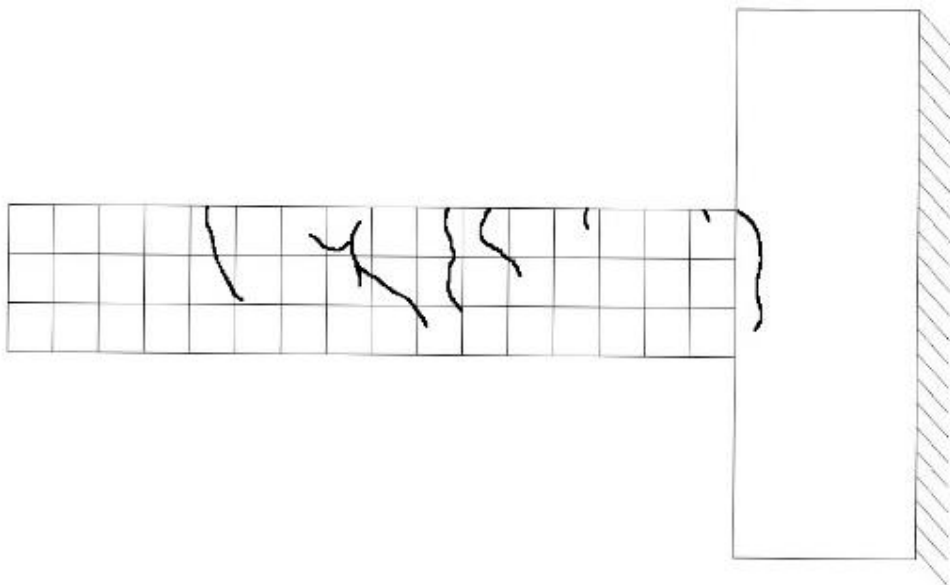
(f)

Gambar 5.2 Pola retak hasil pembebanan BL1 (a) tampak depan, (c) tampak atas, (d) tampak belakang dan sketsa pola retak balok (b) tampak depan, (d) tampak atas, (f) tampak belakang

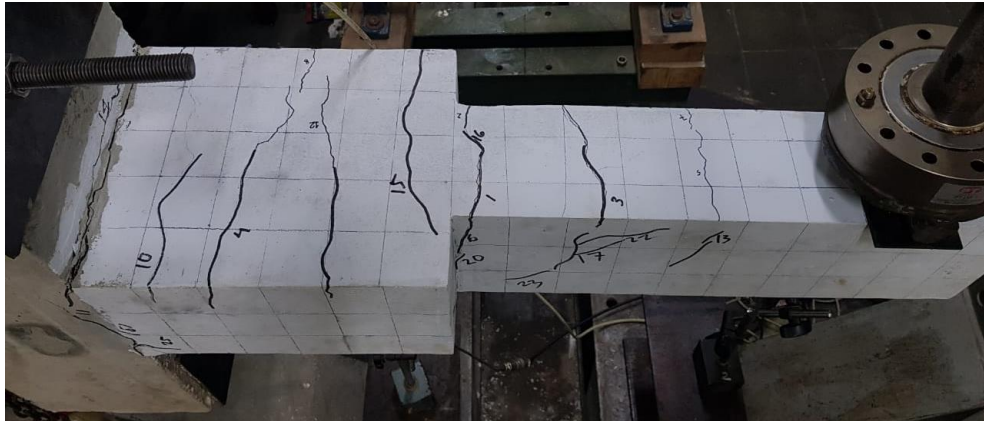
Retak pertama pada balok BL1 berupa retak halus pada jarak 33 cm dari tumpuan saat pembebanan sebesar 424 kg. Selanjutnya terjadi retakan yang menyebar pada daerah tumpuan balok dan sambungan balok. Kegagalan terbesar balok yaitu pada sambungan balok yang dapat dilihat dari pola retak yang semakin banyak dan melebar. Sedangkan pola retak dibagian lain adalah retak halus yang semakin memanjang retakannya.



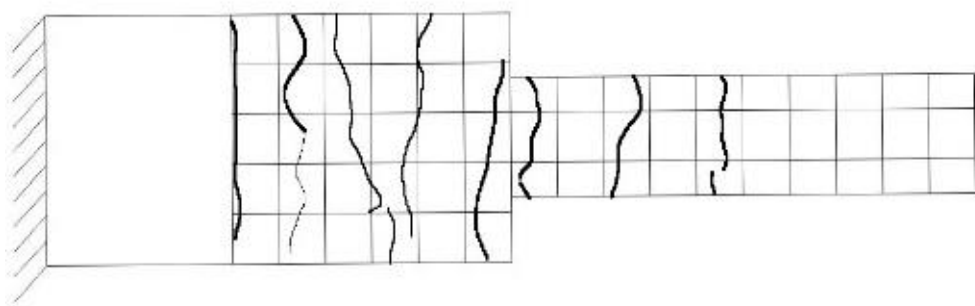
(a)



(b)



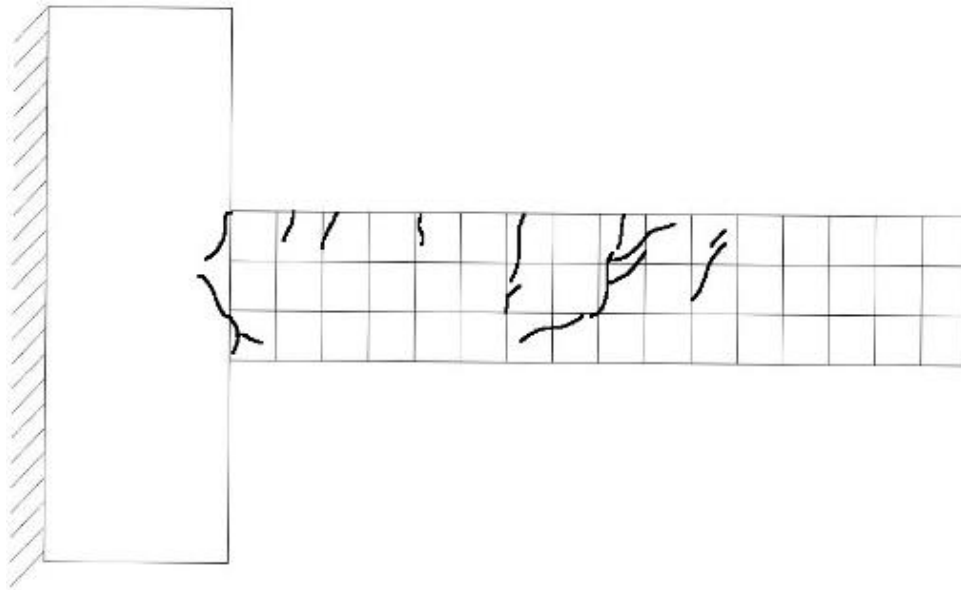
(c)



(d)



(e)



(f)

Gambar 5.3 Pola retak hasil pembebanan BL2 (a) tampak depan, (c) tampak atas, (d) tampak belakang dan sketsa pola retak balok (b) tampak depan, (d) tampak atas, (f) tampak belakang

Retak pertama pada balok BL2 terjadi pada jarak 32 cm dari tumpuan yaitu daerah transisi perubahan lebar dimensi balok berupa retak halus. Kegagalan berikutnya terjadi bergantian pada kedua area yaitu tumpuan dan lapangan, sampai terjadi kegagalan berupa retak halus dibagian tumpuan pada saat retakan ke-11. Pada saat retakan ke-14 terlihat retakan yang melebar di pola retak ke-11. Setelah terjadi kegagalan yang sangat terlihat di bagian sambungan, keretakan akibat pemberian beban selanjutnya kemudian terjadi pada area transisi perubahan lebar dimensi balok. Retakan melebar pada retakan pertama, kemudian retakan mulai terlihat pada bagian samping balok yaitu balok tampak belakang. Pembebanan

dihentikan saat terlihat pola retak pada sambungan balok yang mencapai bagian samping bawah balok.

5.2 Analisis software LUSAS

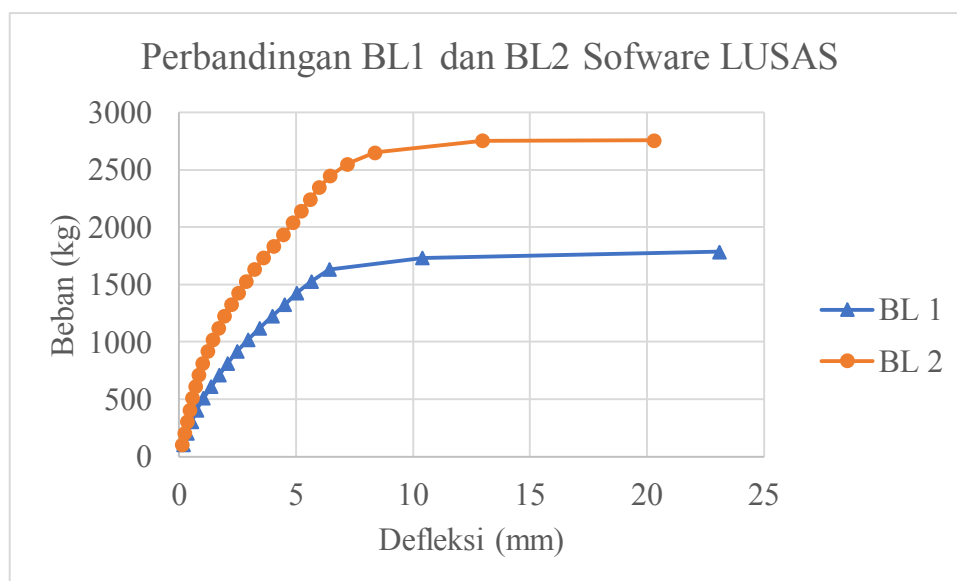
Analisis menggunakan *software LUSAS* berdasarkan hasil yang didapatkan berupa beban runtuh balok, hubungan beban dengan lendutan, perilaku fisik berupa pola retak, dan kontur tegangan.

5.2.1 Pembebanan dan defleksi pada balok

Dalam pemodelan pada *LUSAS* didapat hasil analisis seperti yang tertera pada **Tabel 5.7**

Tabel 5.7 Hasil Analisis *LUSAS*

Kode Balok	Beban (kg)	Defleksi (mm)
BL 1	1.783,894	23,1015
BL 2	2.755,474	20,3002

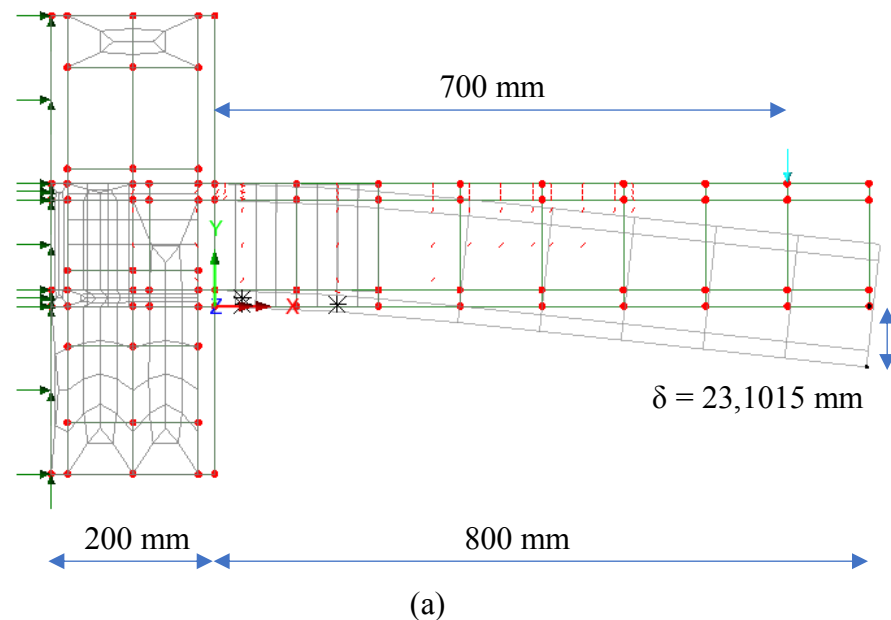


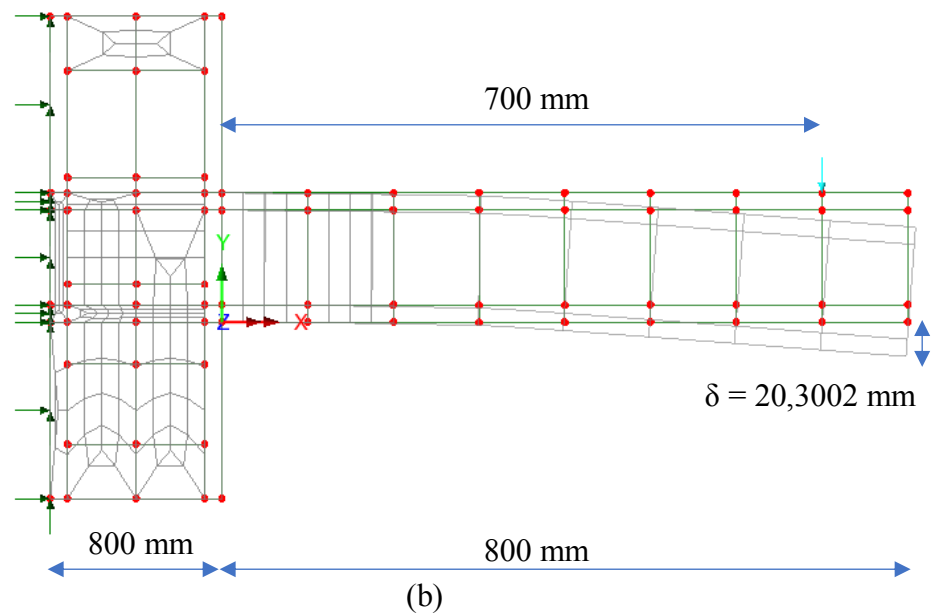
Gambar 5.4 Grafik Hubungan Beban dengan Defleksi Balok BL1 dan Balok BL2

Sama halnya dengan hasil eksperimental, didapatkan hasil analisis dari *LUSAS* bahwa balok dengan pelebaran memiliki kekuatan menahan beban lebih besar sekitar 154% lebih besar dari balok tanpa pelebaran.

5.2.2 Perilaku balok setelah pembebanan

Pola retak yang dihasilkan dalam pemodelan pada *software LUSAS* memiliki kecenderungan serupa dengan hasil eksperimental yaitu pola retak yang terlihat jelas pada sisi bagian atas balok. Banyaknya kegagalan berupa retakan yang terjadi diakibatkan karena tulangan tarik sudah mengalami luluh, sedangkan tulangan tekan belum mencapai titik luluh seperti yang sudah direncanakan bahwa balok beton bertulang akan mengalami jenis keruntuhan *under reinforcement*.

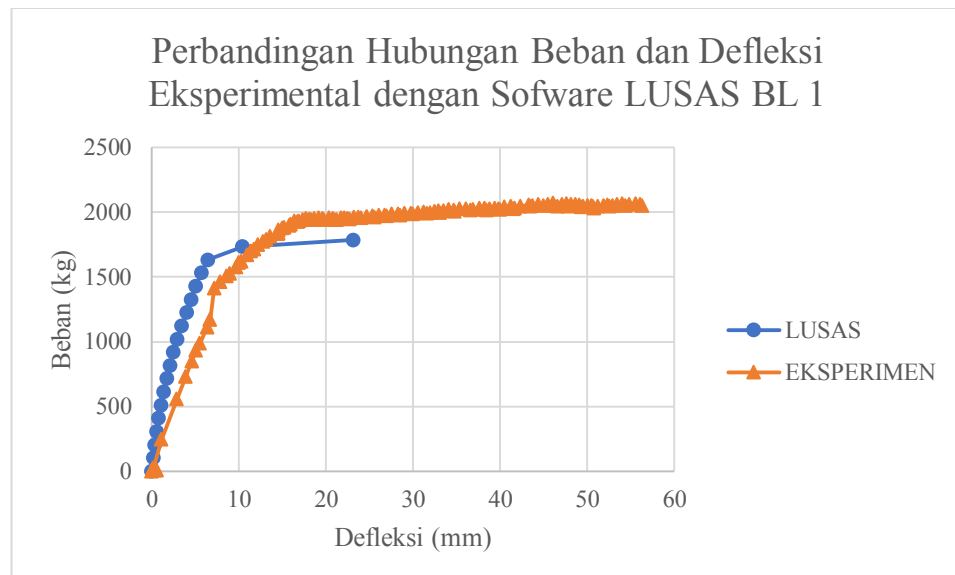




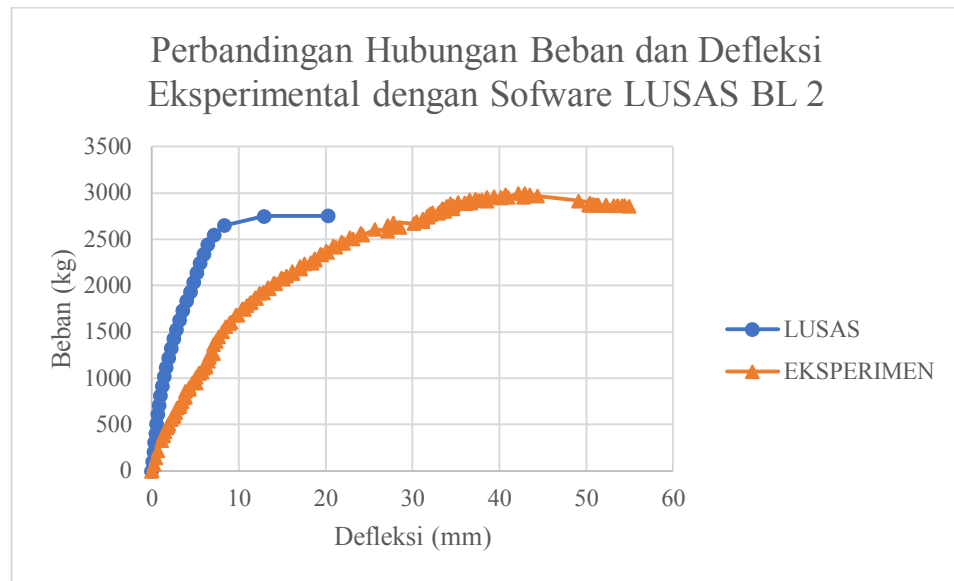
Gambar 5.5 Pola retak balok dan defleksi (a) BL 1, (b) BL 2

Perbedaan yang terlihat jelas pada kedua gambar hasil analisis *LUSAS* yaitu defleksi. Defleksi balok BL1 lebih besar disbanding balok BL2.

5.3 Perbandingan Eksperimental dengan Analisis *Software LUSAS*



(a)



(b)

Gambar 5.6 Grafik Hubungan Beban dengan Defleksi Balok *Lusas* dan Eksperimental (a) BL1. (b) BL2)

Berdasarkan hasil eksperimen dan pemodelan yang telah dilakukan didapatkan perbandingan grafik seperti Gambar 5.6. Perbedaan hasil kedua metoda penelitian yaitu kemampuan balok dalam menahan beban lebih besar dan kekakuan balok. Beban yang didapatkan dari hasil eksperimental lebih besar dari pada analisis menggunakan *software LUSAS*. Pembebanan yang didapat dari analisis *software LUSAS* tidak diketahui mengapa pembebanan tidak dapat diteruskan sehingga tidak diketahui beban runtuh balok. Kekakuan balok dapat dilihat dari kenaikan beban yang diikuti dengan kenaikan defleksi yang terjadi. *Software LUSAS* menunjukkan kenaikan pembebanan diikuti kenaikan angka defleksi yang cenderung lebih kecil dari defleksi eksperimental pada saat nilai pembebanan yang sama.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan eksperimen dan pemodelan menggunakan *software LUSAS* didapatkan hasil penelitian mengenai perilaku terhadap pembebanan dan kemampuan balok dalam menahan beban yang dapat disimpulkan seperti di bawah ini.

- a) Perilaku berupa pola retak yang didapatkan kedua balok memiliki kegagalan terbesar pada tumpuan balok kantilever atau pada sambungan. Kegagalan terjadi akibat momen yang diterima melebihi momen maksimal balok. Perbedaan perilaku yang terjadi adalah pada balok BL1 kegagalan berupa retak halus yang menyebar langsung ke daerah tumpuan sampai pada sambungan, kemudian retakan pada titik yang sama di daerah tumpuan balok mengalami perpanjangan, sedangkan pada sambungan mengalami pelebaran retak. Pola munculnya retakan yang terjadi pada balok BL2 memiliki alur yang serupa dengan balok BL1. Namun pada balok BL2 sebelum terjadi pelebaran retakan pada sambungan, retakan menyebar pada transisi perubahan dimensi antara tumpuan dan lapangan yang setelah mengalami perpanjangan retakan di daerah tersebut, kemudian retakan pada sambungan baru mengalami pelebaran. Dapat ditarik kesimpulan bahwa pelebaran pada tumpuan dapat mencegah kegagalan pada sambungan sebelum sambungan mengalami kegagalan yang parah.

- b) Retak pertama pada balok BL1 (balok kontrol tanpa pelebaran) yaitu pada saat pembebanan sebesar 424 kg dan retak pertama balok BL2 (balok dengan pelebaran) yaitu pada saat pembebanan sebesar 595 kg. Adapun beban maksimum yang didapat dari eksperimen yaitu balok BL1 sebesar 2.067,93 kg dan balok BL2 sebesar 3.000,5 kg. Dapat disimpulkan bahwa balok BL2 memiliki ketahanan terhadap beban 154% lebih besar dibanding balok BL1.
- c) Defleksi akhir yang terjadi pada balok BL1 sebesar 56,33 mm dan balok BL2 sebesar 54,97 mm. Apabila dilihat dari grafik perbandingan hubungan beban dan defleksi kedua balok maka disimpulkan bahwa balok BL2 lebih kaku dibandingkan balok BL1.
- d) Hasil analisis *software LUSAS* didapatkan nilai beban maksimum dan defleksi kedua balok. BL1 memiliki beban maksimum 1.783,894 kg dengan defleksi 23,1 mm dan BL2 memiliki beban maksimum 2.755,474 kg dengan defleksi 20,3 mm. Dari hasil analisis yang didapatkan meyakinkan bahwa balok BL2 lebih kuat 154% dari BL1 dalam menahan beban dan lebih kaku.
- e) Perbedaan yang didapat dari kedua metoda penelitian yaitu kekakuan dan beban maksimum yang didapat. Kekakuan balok dari hasil analisis menggunakan *software LUSAS* cenderung lebih kaku apabila dibandingkan dengan hasil eksperimen, namun untuk beban maksimum hasil eksperimen memiliki nilai yang lebih besar daripada hasil analisis menggunakan *software LUSAS*.

6.2 Saran

Penelitian yang telah dilakukan bukanlah penelitian yang sempurna, maka apabila suatu saat dilakukan penelitian lebih lanjut diharapkan dapat memperbaiki atau menambahkan kekurangan yang sudah terjadi. Berikut adalah saran untuk penelitian selanjutnya.

- a) Dalam merancang balok lebih baik tidak hanya dimensi yang disamakan, tetapi ada variable perhitungan juga yang disamakan seperti misalnya momen negatif atau bebannya.
- b) Saat melakukan pengujian, pastikan bahwa prosedur pengujian sudah benar, sehingga data yang dihasilkan dari benda uji dapat dipakai secara maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Dady, Y.T., Sumajouw, M.D.J., Windah, R.S., 2015, Pengaruh Kuat Tekan Terhadap Kuat Lentur Balok Beton Bertulang, *Jurnal Sipil Statik vol 3, No.5, 341-350*
- Hassoun, N.M., Al-Manaseer, A., 2015, Structural Concrete Theory and Design Sixth Edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Hernowo, S., Lisantono, A., 2016, Rertrofitting Sambungan Kolom-Balok Beton Bertulang, *Forum Teknik vol.37, No.1.*
- MacGregor, J.G., 2015, *Design of Reinforced Concrete 10th Edition*, Prentice-Hall International, Inc.
- MacGregor, J.G., 1997, *Reinforced Concrete : Mechanics and Design 3rd Ed*, Prentice-Hall International, Inc.
- SNI 03-2847-2002, 2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung Beta Version*, Bandung.
- SNI 2847:2013, 2013, *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-2843-2000, 2000, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-4431-2011, 2011, *Cara Uji Kuat Lentur Beton non-serat dengan Dua Titik Pembebanan*, Badan Standarisasi Nasional.
- Soembandono, B., Triwiyono, A., Muslikh, 2011, Perbaikan Balok Beton Bertulang dengan Metode Jacketing dengan Bahan Ferosemen Akibat Beban Siklik pada Beban Ultimit, *Jurnal Ilmiah Semesta Teknik vol. 14, No. 2, 166-176.*
- Tjokrodimultjo, 2007, *Teknologi Beton*, KMTS FT UGM, Yogyakarta.

LAMPIRAN DOKUMENTASI PENELITIAN

DATA PENGUJIAN BALOK BL 1

BL 1		
Beban	Defleksi	Keterangan
(kg)	(mm)	
0	0	Belum terjadi retakan
8.2457456	0.24642865	
10.3656884	0.42848483	
8.4969224	0.5005231	
7.6172338	0.5519281	
23.808382	0.121943198	
246.0496	1.09245682	
424		
556.81634	2.843339	Retakan menyebar dan melebar ke arah tumpuan
731.20416	3.8880312	
849.37396	4.589097	
930.96052	5.0745902	
986.60138	5.498488	
1113.36816	6.3573012	
1169.3916	6.6685686	
1411.76868	7.1472616	
1463.39063	7.8430008	
1507.74603	8.5611276	
1524.42419	8.9283658	
1573.14294	9.672267	
1611.26154	9.9708414	
1621.50885	10.2455998	
1668.72168	10.9387054	
1700.02686	11.3784322	
1713.45233	11.7180862	
1747.07733	12.1457996	
1773.89008	12.7947236	
1786.9494	13.1286726	
1813.1766	13.559186	
1831.9061	14.4752502	
1834.6719	14.5200138	
1860.7725	14.5406322	
1878.0952	14.948287	
1882.9353	15.2	
1895.4387	15.7799634	
1908.6414	15.9178838	
1929.5216	16.3985806	

LAMPIRAN DOKUMENTASI PENELITIAN

BL 1		
Beban	Defleksi	Keterangan
(kg)	(mm)	
1928.0963	16.7038136	
1928.7037	16.8518582	
1942.4078	17.2882786	
1950.4124	17.6824608	
1947.9633	18.0676898	
1943.1534	18.2459754	
1949.3828	18.626419	
1954.7877	19.149231	
1949.7665	19.5854682	
1941.5479	19.7755794	
1955.1012	20.342622	
1951.3329	20.76749	
1942.3484	20.994664	
1939.8018	21.203564	
1954.174	21.753174	
1953.3199	22.082972	
1952.5831	22.48169	
1945.3071	22.673168	
1959.5636	23.184652	
1958.2888	23.736546	
1955.5	24.008928	
1967.6168	24.713664	
1971.1823	25.339342	
1962.7041	25.53755	
1975.4813	26.089908	
1976.9336	26.740864	
1969.5474	26.977486	
1987.1907	27.54077	
1983.9817	28.261306	
1973.5454	28.487772	
1990.083	29.015472	
1992.4907	29.745312	
1984.4517	29.971324	
1996.5497	30.57122	
1998.884	31.219254	
1989.2469	31.572964	
1997.2441	31.940616	

LAMPIRAN DOKUMENTASI PENELITIAN

BL 1		
Beban (kg)	Defleksi (mm)	Keterangan
2004.2372	32.45187	
2011.8634	32.944562	
1996.666	33.093968	
2010.4231	33.489968	
2018.8745	34.087924	
2016.8024	34.648282	
2006.0564	34.78761	
2022.9742	35.327412	
2025.756	36.049266	
2017.3756	36.569928	
2020.3064	36.87725	
2031.7627	37.658794	
2030.4918	38.22614	
2016.4236	38.406422	
2026.6707	38.779446	
2030.6322	39.389744	
2026.8229	39.844334	
2019.7804	39.987754	
2038.4031	40.49847	
2046.2501	41.197868	
2026.6492	41.489276	
2030.4733	41.635372	
2043.2117	42.340896	
2055.7405	43.271782	
2042.1849	43.406148	
2049.223	43.757812	
2059.9348	44.397476	
2050.2277	44.97771	
2060.1707	45.527844	
2067.9276	46.054164	
2048.2716	46.2019	
2046.6044	46.616432	
2060.1582	47.102734	
2064.0629	47.641078	
2046.9962	47.765828	
2057.4152	48.14383	
2059.1997	48.63192	

LAMPIRAN DOKUMENTASI PENELITIAN

BL 1			
Beban (kg)	Defleksi (mm)	Keterangan	
2053.9374	49.124424		
2038.1707	49.332878		
2045.9773	49.558784		
2049.9081	50.065712		
2049.5782	50.482746		
2043.8036	50.673024		
2032.0868	50.777096		
2043.3932	51.25933		
2048.2819	51.875408		
2052.1276	52.3568		
2045.1306	52.580006		
2051.7782	52.916614		
2059.3436	53.44273		
2061.9739	54.04958		
2051.6405	54.397468		
2060.9452	54.84621		
2064.7336	55.554744		
2058.5988	56.083072		
2049.9052	56.268204		Retak max

LAMPIRAN DOKUMENTASI PENELITIAN

DATA PENGUJIAN BALOK BL 2

BL 2		
Beban	Defleksi	Keterangan
(kg)	(mm)	
0	0	Belum terjadi retakan
4.7909298	0.064959943	
75.480362	0.28518122	
144.86304	0.49247822	
222.28648	0.7018401	
329.60114	1.1686087	
374.91037	1.2775137	
386.84781	1.3518398	
429.88385	1.503423	
467.64697	1.7415994	
490.03207	1.8840414	
509.45929	1.9725209	
557.26007	2.273623	
593.12885	2.4491317	
595		
582.763	2.4674375	Retak menyebar di daerah lapangan
596.06244	2.5391178	
636.03699	2.7421265	
679.72064	2.9502678	
692.96613	3.2235026	
722.33582	3.2839658	
748.7533	3.5389624	
790.20569	3.7606242	
799.65192	3.8685386	
859.09052	3.8955376	
883.3963	4.3340303	
901.0451	4.3390309	
955.50946	4.6504409	
969.85724	4.9293787	
954.05768	5.1461365	
1016.3307	5.1627075	
1054.3175	5.4525773	
1058.7488	5.4879124	
1069.3914	5.7978165	
1111.3604	5.9427821	
1135.9384	6.238125	
1124.1357	6.2415812	

LAMPIRAN DOKUMENTASI PENELITIAN

BL 2			
Beban	Defleksi	Keterangan	
(kg)	(mm)		
1187.7046	6.5481455		
1230.0665	6.6234186		
1256.14817	6.6934762		
1268.0822	7.1148269		
1366.2728	7.1322527		
1402.9799	7.4071131		
1447.9825	7.6816931		
1508.1359	8.1532555		
1557.9768	8.5367451		
1597.0422	8.9762869		
1612.4025	9.1252422		
1681.6014	9.6917048		Retak menyebar ke sambungan
1686.4689	9.8933582		
1755.0875	10.41743		
1747.9105	10.626316		
1786.5873	10.924426		
1817.9377	11.30076		
1820.5283	11.449463		
1871.8269	11.900975		
1865.9303	12.040225		
1919.4343	12.42821		
1927.8022	12.770645		
1928.5605	12.903731		
1983.431	13.397385		
1970.8993	13.557449		
2030.7336	14.067058		
2023.813	14.284547		
2086.3093	14.941814		
2071.4041	15.127485		
2104.4143	15.493134		
2152.2712	16.157995		
2133.5247	16.261293		
2208.394	17.042149		
2186.2583	17.163103		
2235.7053	17.610058		
2251.4004	18.354736		
2243.8005	18.437996		

LAMPIRAN DOKUMENTASI PENELITIAN

BL 2		
Beban	Defleksi	Keterangan
(kg)	(mm)	
2292.5637	18.755081	Retak melebar pada daerah transisi dimensi tumpuan dan lapangan
2280.5593	18.850555	
2342.176	19.394749	
2336.1467	19.599892	
2373.4456	20.128731	
2365.26	20.248993	
2428.9404	20.919127	
2415.6282	21.170897	
2476.1477	21.849707	
2458.4031	22.117079	
2522.5596	22.814135	
2508.8074	23.18306	
2570.8411	24.078821	
2547.7595	24.306911	
2609.9067	25.693027	
2592.3408	27.177778	
2654.6853	27.189693	
2632.6184	28.601091	
2681.1716	27.857204	
2673.2556	30.214124	
2694.3887	30.523356	
2722.9404	31.242516	
2694.9143	31.242546	
2758.7903	31.763583	
2740.2959	31.854627	
2772.3496	32.082452	
2775.6565	32.040314	
2789.4492	32.323727	
2800.4663	33.133202	
2786.8589	32.980099	
2831.7292	33.421921	
2806.6814	33.749718	
2832.9707	33.54517	
2859.0464	33.961609	
2835.6409	34.673973	
2887.3767	34.402199	
2866.605	34.682304	

LAMPIRAN DOKUMENTASI PENELITIAN

BL 2		
Beban	Defleksi	Keterangan
(kg)	(mm)	
2902.5229	35.308353	Retak melebar pada sambungan
2892.4614	35.990376	
2889.6587	36.168213	
2929.6255	36.591698	
2895.9478	36.754009	
2938.2664	37.306568	
2924.1321	37.666023	
2932.1025	38.046085	
2954.1433	38.570492	
2917.1982	38.611614	
2964.8679	39.392036	
2947.0027	40.230164	
2956.4385	40.238953	
2982.155	40.707359	
2955.2712	41.001995	
2999.1316	42.241642	
2956.0295	42.825363	
3000.4978	42.945744	
2976.4705	42.949406	
2985.8423	43.556652	
2968.5586	44.392323	
2918.1563	49.145367	
2897.8608	50.503639	
2883.6626	50.810856	
2873.7468	50.296486	
2872.4425	50.324145	
2872.5233	50.543651	
2871.7523	50.787861	
2871.4352	51.124624	
2871.3168	51.353464	
2871.8574	51.425374	
2870.8875	52.325662	
2870.5757	52.354672	
2869.8647	53.625724	
2867.3753	53.23559	
2865.8684	54.13547	
2864.1424	54.421359	
2863.0098	54.973206	Retak max

LAMPIRAN DOKUMENTASI PENELITIAN

DATA PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS BETON

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 DOKUMENTASI PENELITIAN**DATA PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS BETON**

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

LAMPIRAN DOKUMENTASI PENELITIAN

DATA PENGUJIAN MODULUS ELASTISITAS BETON

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 DOKUMENTASI PENELITIAN

DATA PENGUJIAN KUAT TARIK BELAH BETON

Kode	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Beban (KN)	Beban (kg)	Kuat Tarik Belah (Mpa)
TB 1	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 BRTON

Kode	Diameter (mm)	Kuat Tekan (kgf)	Kuat Tekan (Mpa)
TPL	150	530	30
TPC	150	500	28,3
PC	150	290	16

LAMPIRAN DOKUMENTASI PENELITIAN



GAMBAR BALOK DI PROYEK YUDHISTIRA TOWER



BEKISTING SIAP PAKAI

LAMPIRAN DOKUMENTASI PENELITIAN



PROSES PENULANGAN BALOK



PROSES PENGECORAN BALOK DAN SILINDER

LAMPIRAN DOKUMENTASI PENELITIAN

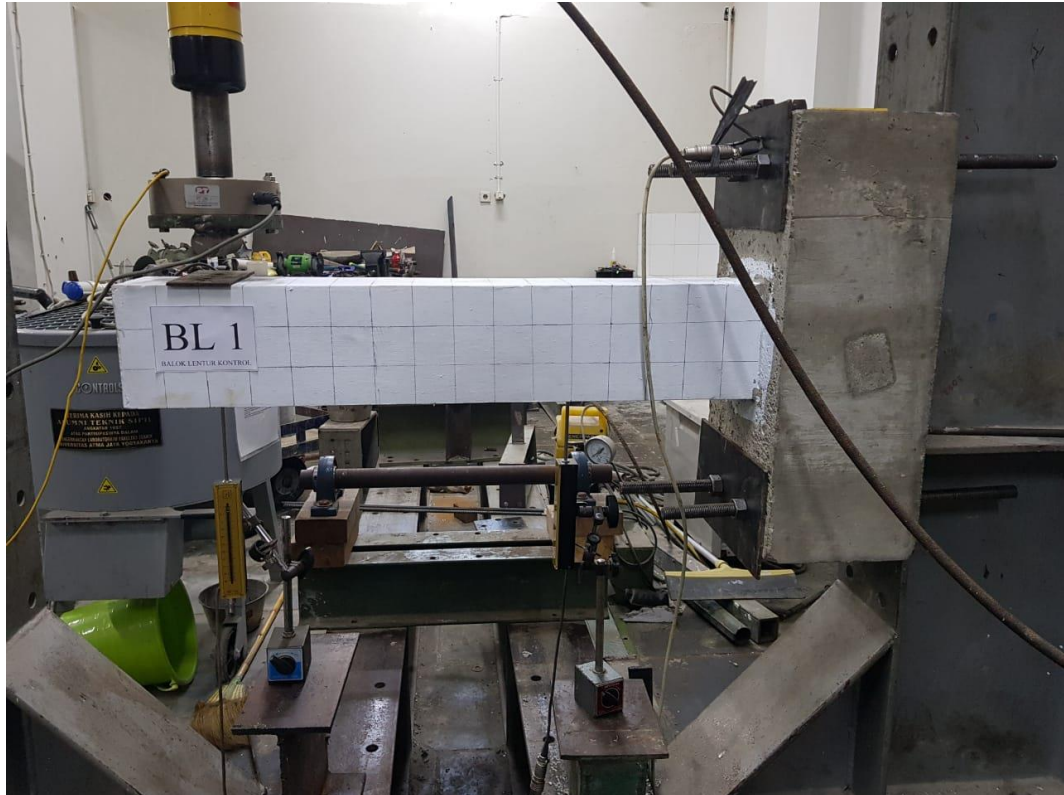


PENGUJIAN KARAKTERISTIK BENDA UJI SILINDER BETON DAN BAJA TULANGAN



BALOK SIAP UJI

LAMPIRAN DOKUMENTASI PENELITIAN

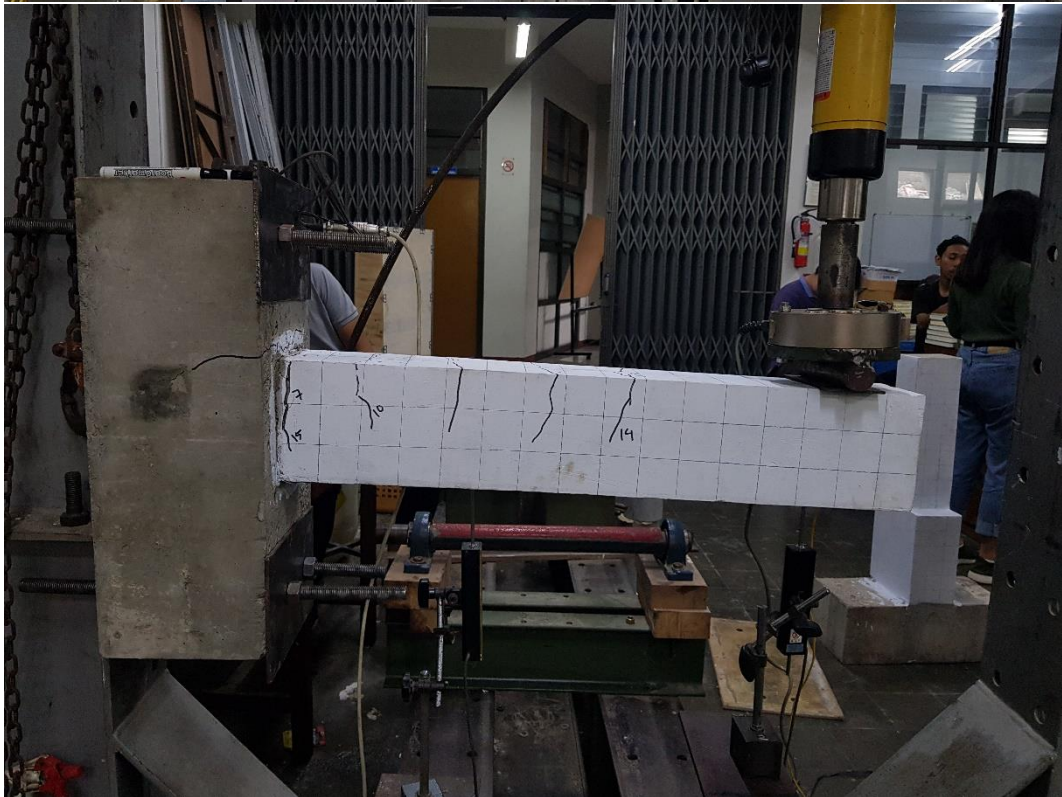
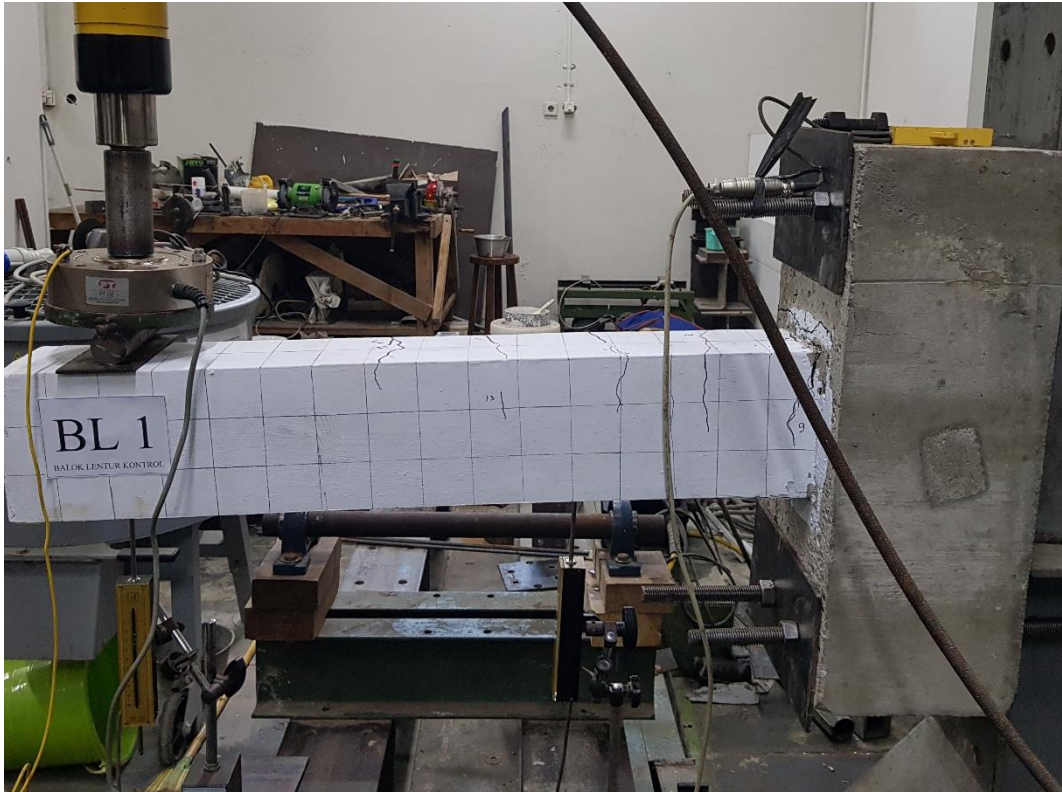


SET UP BENDA UJI

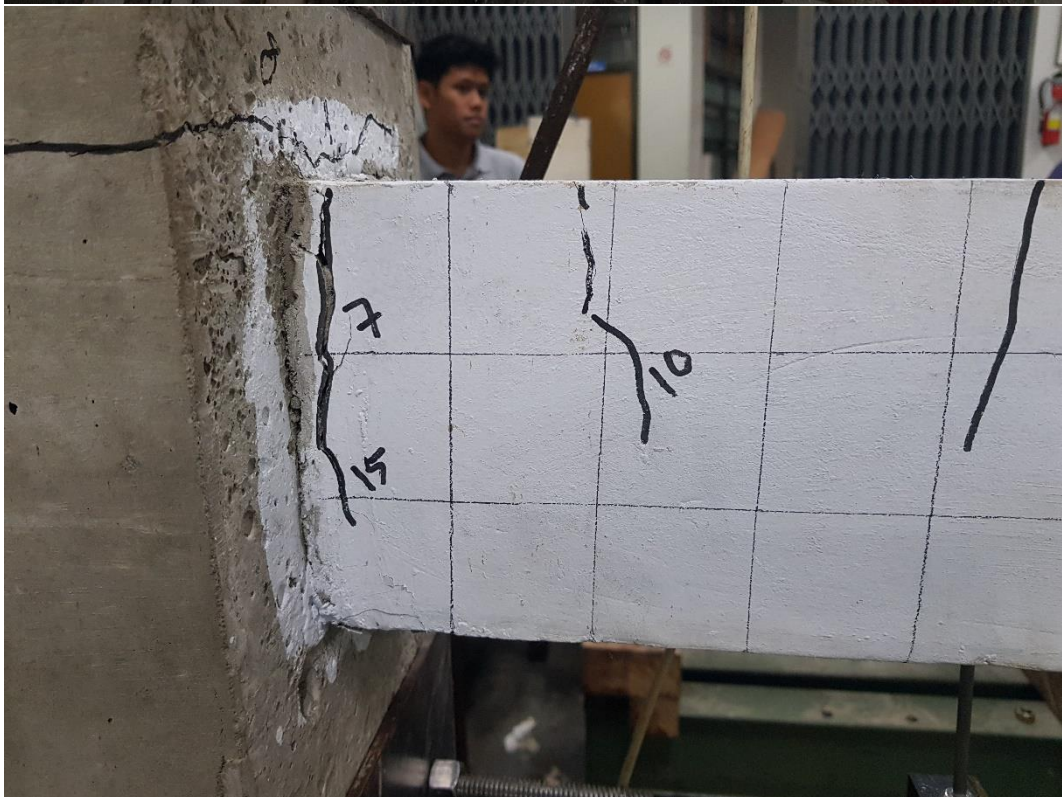
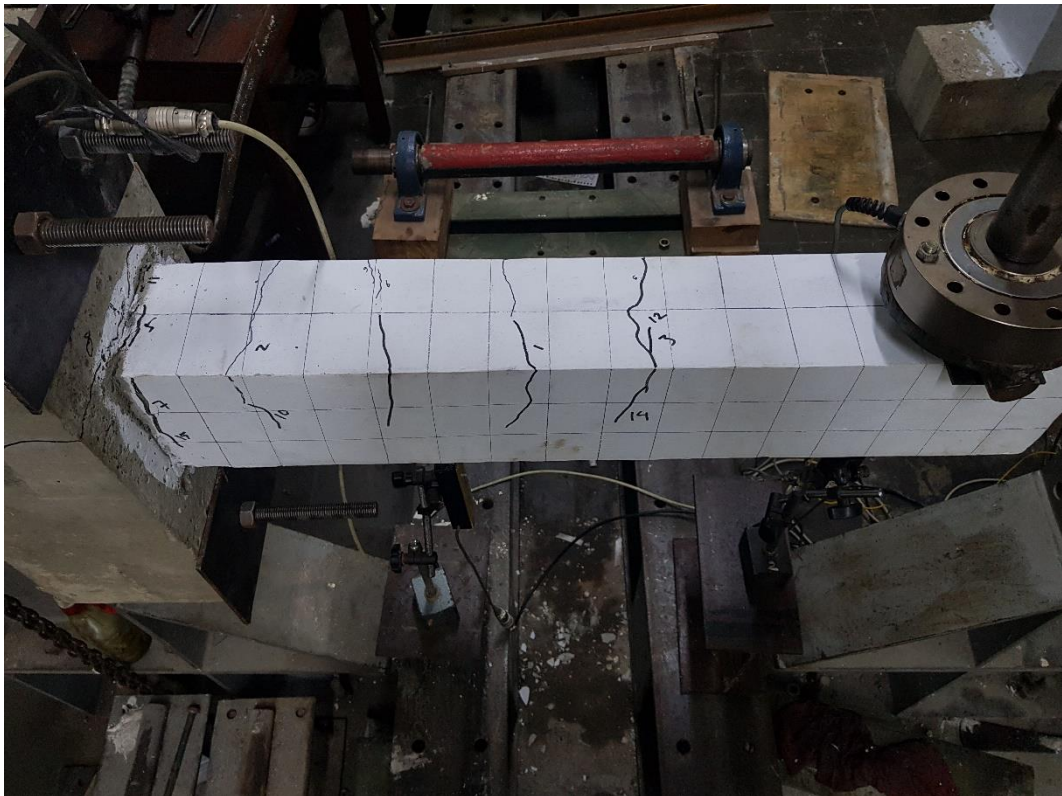


SET UP DATA LOGGER

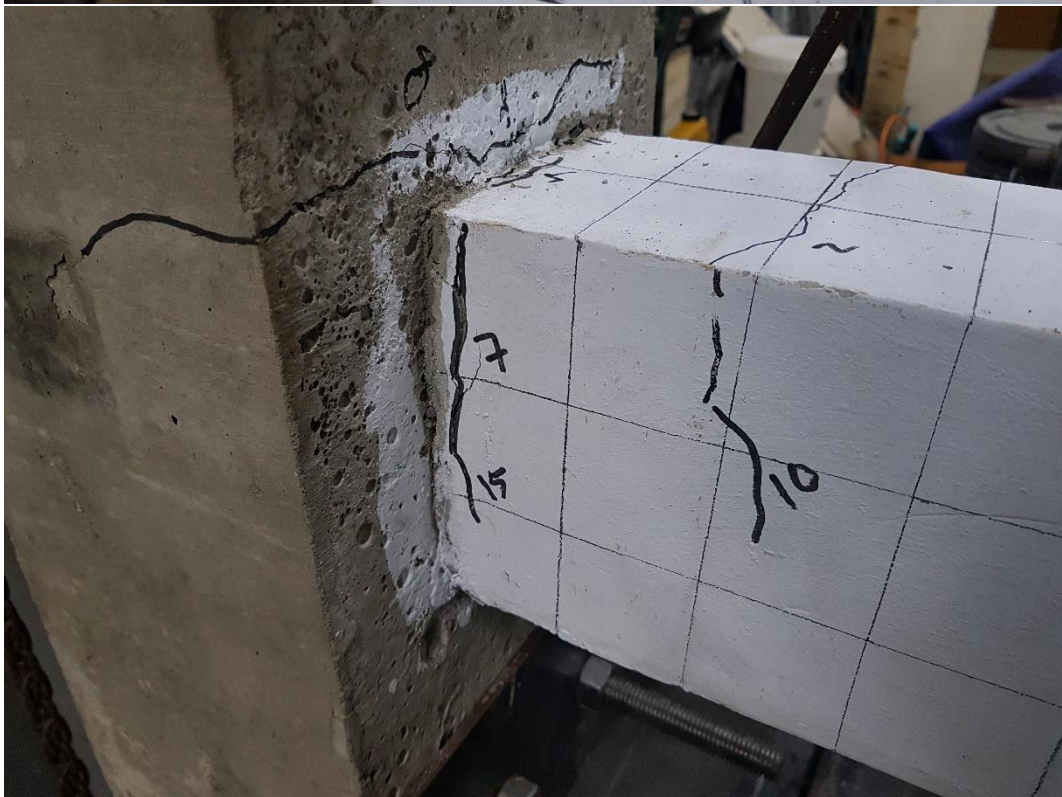
DETAIL POLA RETAK BALOK BL 1



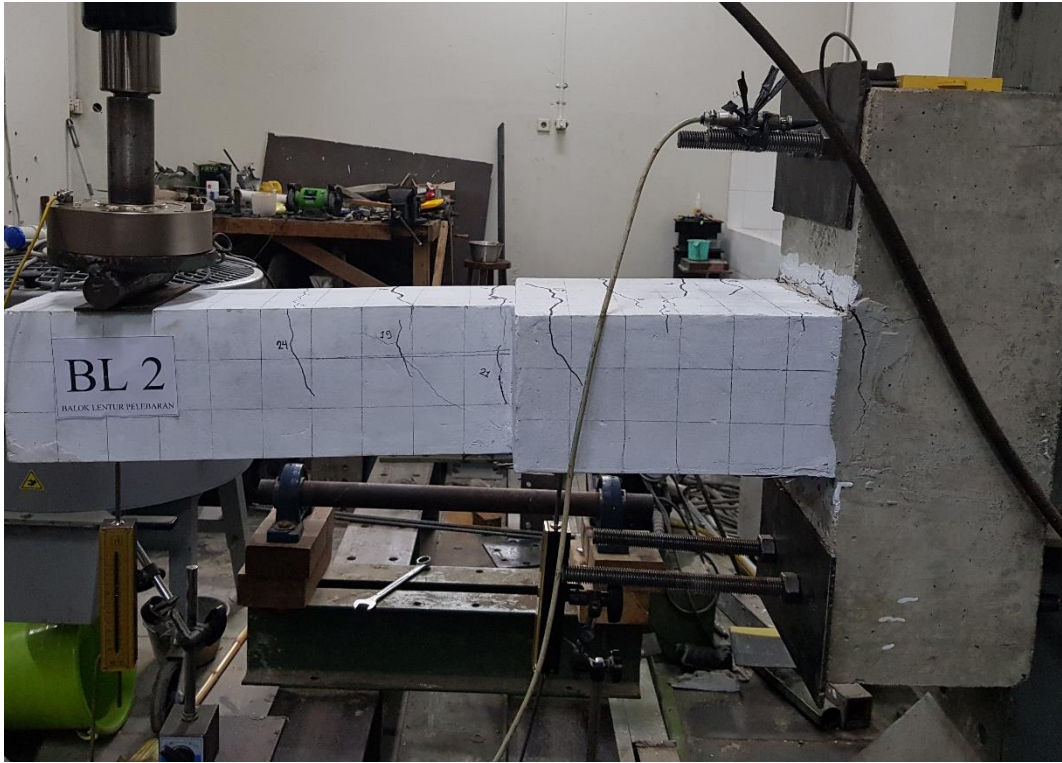
DETAIL POLA RETAK BALOK BL 1



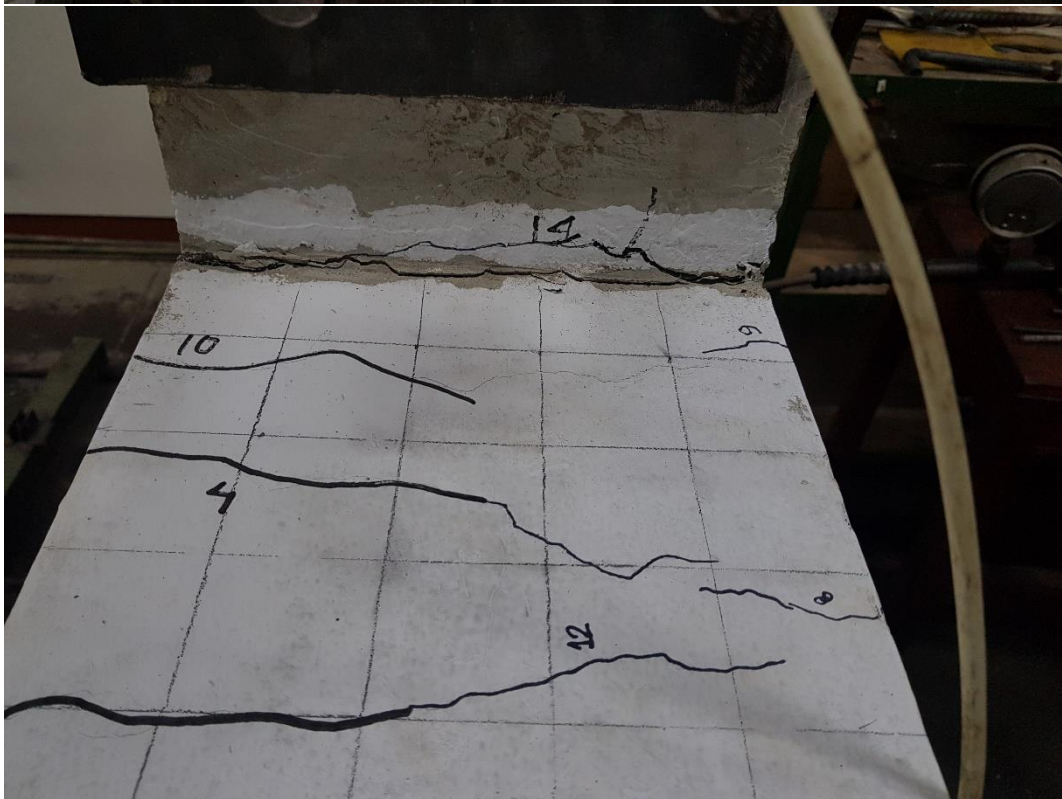
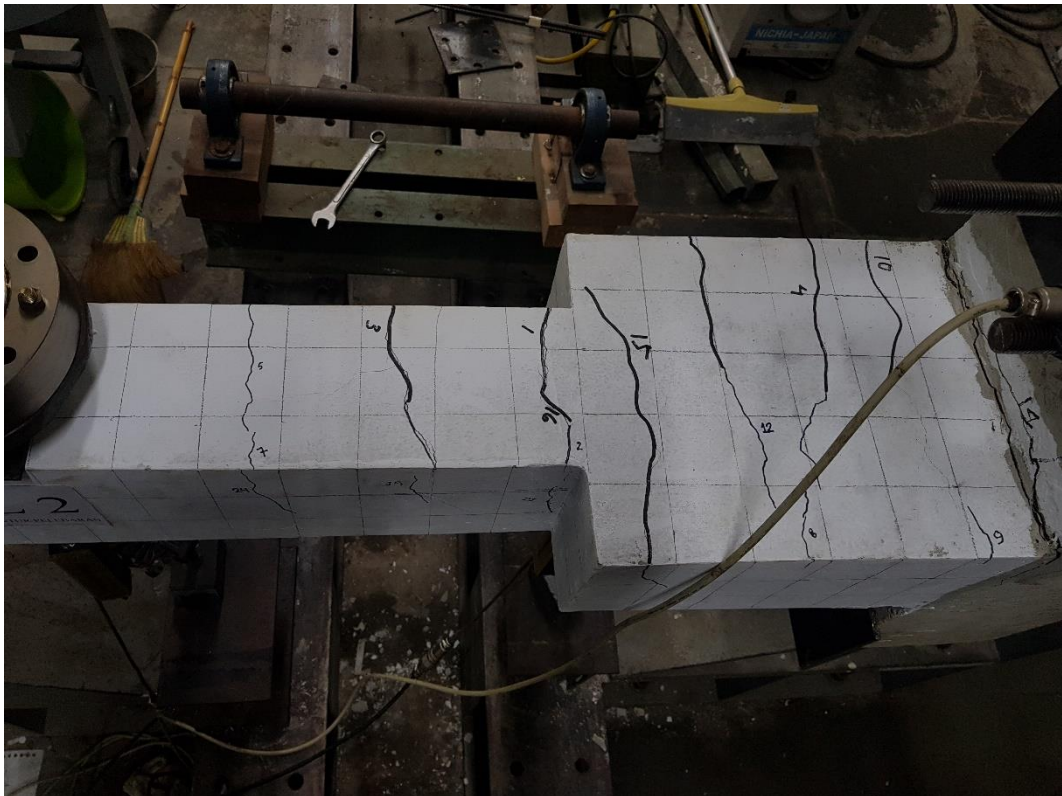
DETAIL POLA RETAK BALOK BL 1



DETAIL POLA RETAK BALOK BL 2



DETAIL POLA RETAK BALOK BL 2



DETAIL POLA RETAK BALOK BL 2

