

TUGAS AKHIR

PENAMBAHAN PERKUATAN LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN PENAMBAHAN PELAT BAJA

*(FLEXURAL STRENGTHENING REPLENISHMENT OF REINFORCED
CONCRETE BEAMS WITH ADDITION OF STEEL PLATE)*

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta
Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Wibisono
11.511.004**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2017**

PENAMBAHAN PERKUATAN LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN PENAMBAHAN PELAT BAJA

*(FLEXURALSTRENGTHENING REPLENISHMENTOF REINFORCED
CONCRETE BEAMS WITH ADDITION OF STEEL PLATE)*

Disusun oleh

Wibisono
11.511.004

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 06 Maret 2017

Oleh dewan Penguji

Pembimbing I

PembimbingII

Penguji

Ir.H Soesastrawan,M.S.

Yunalia Muntafi,S.T,M.T.

Setyo Winarno,S.T,MT,Ph.D.

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Miftahul F., S.T., M.T., Ph.D.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundangundangan yang berlaku.

Yogyakarta, Maret 2017
Yang membuat pernyataan,

(Materai 6000)

Wibisono
NIM. 11511004

MOTTO

Jika kita memiliki kemauan yang kuat dari dalam hati,
Maka seluruh alam semesta akan bahu – membahu mewujudkannya.

-Ir Soekarno-

PERSEMBAHAN

Dengan memajatkan Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya, karya sederhana ini penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua tercinta yang selalu mendukung, memotivasi, memberi semangat, dan berdoa untuk penulis. Terimakasih untuk semuanya.
2. Adikku Megawati yang selalu memberi dukungan dan semangat.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Alhamdulillah rabbil 'alamin. Puji dan Syukur dihaturkan kehadirat Allah SWT atas karunia-Nya sehingga Tugas Akhir yang berjudul "Penambahan Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang dengan Penambahan Pelat Baja" ini dapat terselesaikan. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat Strata Satu (S1) pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

Selama pengerjaan Tugas Akhir ini telah banyak mendapatkan bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir. H. Susastrawan, M.S selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, terima kasih atas bimbingan, nasehat dan dukungan yang diberikan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Yunalia Muntafi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, terima kasih atas bimbingan, nasehat dan dukungan yang diberikan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak dan Ibuk tercinta Bpk H M Bambang Sukarno dan Ibu Hatimah yang terus berjuang untuk masa depan anak-anaknya, yang selalu mendukung setiap kegiatan positif dan selalu memberikan doa disetiap harinya.
4. Segenap staf dan karyawan Laboratorium Mekanika Rekayasa, Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Program Studi Teknik Sipil FTSP-UII, terutama
5. Bpk. Warno dan Bpk. Daru yang telah memberikan masukan dan bantuan selama penelitian berlangsung,
6. Dian Dharmaningtyas yang menjadi tempat cerita, yang telah memberikan semangat sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai.

7. Priyas, Firza, Hindami, Edly, Dio, Disa, Abel, Prasetyo, Angga, Anandika, Pandu dan Riyantoro selaku tim sukses yang telah memberikan banyak dukungan tenaga dan nasehat.
8. Teman-teman CV Natanegara Karya dan *Anaconda's Kingdom* yang selalu berhasil menghibur di saat kehilangan semangat.
9. Teman-teman Teknik Sipil 2011 yang telah banyak membantu selama proses penelitian berlangsung, terima kasih atas waktu dan tenaga yang diluangkan untuk membantu penelitian ini.
10. Dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga penelitian yang telah dilakukan dan disajikan dalam bentuk laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan kontribusi yang berarti bagi dunia Teknik Sipil dan dapat bermanfaat untuk pengembangan penelitian-penelitian selanjutnya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Yogyakarta, Maret 2017

Penulis,

Wibisono

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
Pernyataan Bebas Plagiasi	iii
Dedikasi	iv
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Tabel	x
Daftar Gambar	xi
Daftar Lampiran	xiii
Daftar Notasi	xiv
Abstraksi	xv
<i>Abstract</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
1.6 Keaslian Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Umum	7
2.2 Pemetaan Penelitian Terdahulu	8
2.3 Perbedaan Penelitian dengan Penelitian Terdahulu	12
BAB III LANDASAN TEORI	15
3.1 Umum	15
3.2 Sifat Bahan Penyusun Balok Beton Bertulang	16
3.2.1 Bahan Beton	16
3.2.2 Bahan Baja Tulangan	19

3.3	Pola Ketuntuhan Balok	20
3.4	Lentur Murni pada Balok Beton Bertulang	23
3.5	Perkuatan Balok Beton Bertulang	25
3.7.1	Metode Perkuatan Struktur Beton Bertulang	25
3.7.2	Pelat Baja	26
3.7.3	Lem Perekat Sikadur-31 CF Normal	27
3.6	Formula Perkuatan Lentur dengan SK – SNI	28
3.8.1	Balok Beton Tanpa Menggunakan Pelat Baja	28
3.8.2	Balok Beton Dengan Menggunakan Pelat Baja	30
3.7	Pengujian Kuat Tekan Balok Beton Bertulang	32
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN		33
4.1	Umum	33
4.2	Persiapan Penelitian	33
4.2.1	Desain Benda Uji dan Variabel Penelitian	33
4.2.2	Bahan Penyusun Benda Uji	35
4.2.3	Peralatan Penelitian	36
4.3	Pelaksanaan Penelitian	37
4.3.1	Pengujian Bahan	37
4.3.2	Metode Pembuatan Benda Uji	49
4.3.3	Perawatan Benda Uji	52
4.4	Metode Pengujian dan Analisis Data	52
4.4.1	Pengujian Lentur Balok Beton Bertulang	52
4.4.2	Analisis Rencana Anggaran Biaya Perkuatan	56
4.5	Tahap Kesimpulan Penelitian	56
4.6	Prosedur Penelitian	57
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		59
5.1	Umum	59
5.2	Kekuatan Tekan Silinder Beton	59
5.3	Kuat Tarik Baja	60
5.4	Perhitungan Kuat Lentur Rencana	60
5.4.1	Prediksi Kuat Lentur Balok Kontrol	60

5.4.2	Prediksi Kuat Lentur Balok Menggunakan Pelat Baja	65
5.5	Pengujian Balok Kontrol dan Balok Uji	68
5.5.1.	Balok Kontrol	70
5.5.2.	Balok Uji	71
5.6	Rekapitulasi Hasil Pengujian Balok	79
5.7	Pola Keretakan Balok	81
5.8	Pola Keruntuhan Balok	85
5.9	Analisis Biaya Perkuatan Menggunakan Pelat Baja	86
5.9.1.	Daftar Harga Pekerjaan Dan Bangunan Tahun 2015 Di Wilayah Yogyakarta	86
5.9.2.	Analisis Perhitungan Harga Satuan Bahan	88
5.9.3.	Rekapitulasi Perhitungan Biaya Balok Dan Balok Perkuatan	91
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	93
6.1.	Kesimpulan	93
6.2.	Saran	94
	Daftar Pustaka	95

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian dengan Penelitian Terdahulu	12
Tabel 3.1	Nilai Modulus Elastisitas Beton (E_c) berbagai mutu beton	19
Tabel 3.2	Karakteristik Epoxy	28
Tabel 4.1	Penamaan dan Parameter Balok Uji	35
Tabel 4.2	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus	40
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar	45
Tabel 5.1	Pengujian Kuat Tekan Silinder	60
Tabel 5.2	Balok Kontrol (BK)	70
Tabel 5.3	Balok Uji 1 (Kode BU-1)	71
Tabel 5.4	Balok Uji 1 (Kode BP-1)	72
Tabel 5.5	Balok Uji 2 (Kode BU-2)	74
Tabel 5.6	Balok Uji 2 (Kode BP-2)	75
Tabel 5.7	Balok Uji 3 (Kode BU-3)	76
Tabel 5.8	Balok Uji 3 (Kode BP-3)	78
Tabel 5.9	Perbandingan Hasil Kuat Lentur Teoritis – Eksperimen	80
Tabel 5.10	Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Lentur	80
Tabel 5.11	Daftar Satuan Harga Pekerja	87
Tabel 5.12	Daftar Satuan Harga Bahan Bangunan	88
Tabel 5.13	Daftar Satuan Harga Material Perkuatan	88
Tabel 5.14	Daftar Satuan Harga Material dan Upah Pekerja Beton	88
Tabel 5.15	Daftar Satuan Harga Material dan Upah Pekerjaan Pembesian	89
Tabel 5.16	Daftar Satuan Harga Material dan Upah Pekerjaan Bekisting	90
Tabel 5.16	Daftar Satuan Harga Material dan Upah Perkuatan Balok	91
Tabel 5.17	Rekapitulasi Total Biaya Pembuatan Sampel dan Perkuatan Menggunakan Pelat Baja	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Regangan – Tegangan Beton	17
Gambar 3.2	Berbagai Kuat Tekan Beton	18
Gambar 3.3	Diagram Tegangan-Regangan Batang Tulangan Baja	19
Gambar 3.4	Perilaku Beban-Lendutan Struktur Beton	21
Gambar 3.5	Pola Keruntuhan Balok	22
Gambar 3.6	Balok Dibebeani Lentur Murni	23
Gambar 3.7	Distribusi Tegangan-Regangan pada Penampang Beton Bertulang dengan Momen yang Semakin Besar	24
Gambar 3.8	Diagram Tegangan dan Regangan	25
Gambar 3.9	Potongan dan Gaya Kopel pada Balok Tanpa Perkuatan	28
Gambar 3.10	Potongan dan Gaya Kopel pada Balok dengan Perkuatan Pelat Baja	30
Gambar 3.11	Setting Alat Pengujian Balok	32
Gambar 4.1	Benda Uji Silinder	33
Gambar 4.2	Dimensi Balok Uji	34
Gambar 4.3	Penampang Memanjang Balok Uji	34
Gambar 4.4	Metode Perkuatan Menggunakan <i>Stiplat</i>	35
Gambar 4.5	Pembuatan Grid	54
Gambar 4.6	Bagan Alur Penelitian	56
Gambar 5.1	Distribusi Regangan dan Tegangan pada Balok Tulangan Rangka	61
Gambar 5.2	Reaksi Momen	63
Gambar 5.3	Distribusi Regangan dan Tegangan pada Balok Perkuatan	64
Gambar 5.4	Reaksi Momen	66
Gambar 5.5	Peletakan LVDT Pengujian Pembebanan	68
Gambar 5.6	Kurva Beban-Lendutan untuk Balok Kontrol	69
Gambar 5.7	Kurva Beban-Lendutan untuk BP-1 dibebani 70% beban max	71
Gambar 5.8	Kurva Beban-Lendutan untuk Balok Pelat 1	73

Gambar 5.9	Kurva Beban-Lendutan untuk BP-2 dibebani 70% beban max	74
Gambar 5.10	Kurva Beban-Lendutan untuk Balok Pelat 2	75
Gambar 5.11	Kurva Beban-Lendutan untuk BP-2 dibebani 70% beban max	76
Gambar 5.12	Kurva Beban-Lendutan untuk Balok Pelat 3	78
Gambar 5.13	Kurva Beban – Lendutan Tengah untuk seluruh balok	79
Gambar 5.14	Diagram Batang Perbandingan <i>First Crack - Max Load</i> Seluruh Balok	80
Gambar 5.15	Pola Keretakan Balok BK	81
Gambar 5.16	Pola Keretakan Balok BP-1 Tanpa Perkuatan	82
Gambar 5.17	Pola Keretakan Balok BP-1 dengan Perkuatan	83
Gambar 5.18	Pola Keretakan Balok BP-2 Tanpa Perkuatan	83
Gambar 5.19	Pola Keretakan Balok BP-2 dengan Perkuatan	84
Gambar 5.20	Pola Keretakan Balok BP-3 Tanpa Perkuatan	85
Gambar 5.21	Pola Keretakan Balok BP-3 dengan Perkuatan	85

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Tabel Hasil Uji Material	97
Lampiran 2	Dokumentasi	107
Lampiran 3	Brosur Sikadur®-31 CF Normal	113

DAFTAR NOTASI

f_y	: kuat leleh yang disyaratkan untuk tulangan non-prategang, MPa
f_{yp}	: kuat leleh untuk bahan pelat baja <i>stripplatt</i> , MPa
f'_c	: kuat tekan beton disyaratkan, MPa
d	: jarak dari serat tekan terluar terhadap titik berat tulangan tarik, mm
d_s	: jarak dari serat tarik terluar ke pusat tulangan tarik, mm
d_s'	: jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan, mm
A_s	: luas tulangan tarik non-prategang, mm ²
A_s'	: luas tulangan tekan, mm ²
A_{sp}	: luas tulangan tarik non-prategang, mm ²
E_s	: modulus elastisitas tulangan, MPa
B	: lebar muka tekan komponen struktur, mm
h	: tinggi total komponen struktur, mm
M_{kap}	: kapasitas lentur penampang, N-mm
P_n	: kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberika, N
B	: rasio bentang bersih dalam arah memnajang terhadap arah memendek dari pelat dua arah
Φ	: nilai faktor reduksi (<i>over strength faktor</i>)
a	: tinggi balok tegangan beton tekan persegi ekivalen $\beta.c$, mm
c	: jarak antara garis netral dan tepi serat beton tekan, mm
C_s	: gaya tekan baja, kN
C_c	: gaya tekan beton, kN
T_s	: gaya tarik baja tulangan, kN
ϵ_s	: regangan tarik baja tulangan
ϵ_y	: tarik baja tulangan pada saat leleh
p	: beban titik terpusat, kN
q	: beban merata , kN/m

ABSTRAK

Perkuatan struktur merupakan usaha untuk meningkatkan kinerja struktur pada bangunan yang berisiko terhadap beban baru yang akan didukung dengan cara menambahkan elemen struktur baru yang tidak tersedia atau dianggap tidak ada pada saat struktur di bangun. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh (1) penambahan baja “*strippelat*” pada balok beton bertulang sehingga dapat diketahui pengaruh terhadap kuat lentur, (2) mengetahui perilaku balok beton bertulang yang diperkuat dengan baja “*strippelat*”, dan (3) dapat memperkirakan biaya yang dibutuhkan untuk membuat sampel penelitian perkuatan lentur balok beton bertulang menggunakan baja “*strippelat*”.

Material perkuatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pelat baja “*strippelat*”. Material tersebut diuji kekuatannya saat dipasangkan pada balok beton bertulang, sehingga dapat diketahui pengaruhnya terhadap kuat lentur balok. Sampel balok yang digunakan pada penelitian ini adalah balok dengan ukuran 150x200x1000 mm³. Balok yang digunakan berjumlah 4 buah dan dibagi menjadi 2 kelompok yaitu Balok Kontrol (BK) dan Balok Pelat (BP). Satu balok sebagai balok kontrol dibebani sampai kapasitas maksimum yang dapat ditahan kemudian ketiga balok sisanya diperkuat dengan pelat baja setelah dibebani 70% dari beban maksimal yang didapat dari balok kontrol kemudian dibebani kembali sampai runtuh sehingga diketahui perbandingan beban maksimal yang dapat ditahan oleh kedua kelompok balok. Perkuatan menggunakan pelat baja efektif, karena material ini mampu menahan beban yang diberikan. Selain itu, profil material ini sangat mudah didapat serta bentuk pelat baja yang rata tidak akan memperburuk tampilan struktur dan tidak menambah beban struktur.

Hasil penelitian dan analisis menggunakan pelat baja “*strippelat*” menunjukkan peningkatan kekuatan lentur balok. Penambahan lapis pelat baja “*strippelat*” dilakukan pada bagian bawah balok dengan lebar 150mm dan dan tebal pelat baja “*strippelat*” 12mm. Balok uji dengan perkuatan pelat baja “*strippelat*” BP-1 meningkat sebesar 171,6488% terhadap nilai rerata balok kontrol, balok BP-2 mengalami peningkatan kuat lentur sebesar 192,4676%, dan balok BP-3 meningkat 167,4676%

Kata kunci : Balok, Kuat Lentur, Pelat Baja, Perkuatan Struktur.

ABSTRACT

Strengthening of the structure is an attempt to improve the performance of risky building structures to the new load that will be supported by adding new structural elements that are not available or did not exist at the time the structure was built. The purpose of this research was to determine the effect of (1) the addition of steel strip plates on reinforced concrete beams so it can be determined its effect on the beam flexural strength, (2) knowing the behavior of addition of steel strip plates on reinforced concrete beam, (3) it estimates the cost of what it takes to make the research reinforced flexible beam of reinforced concrete beam using steel strip plates.

One of widely used strengthening materials is a Steel Plate "*stripplat*". The strength of the material was tested when mounted on reinforced concrete beams, which can determine its effect on flexible strength of the beam. Sample beams used in this study are 150x200x1000 mm³ in size. Total beams used are 4 pieces and divided into 2 groups: Control Beam (BK) and the Addition Beam (BP). One beams as a control beam loaded to maximum capacity and then the remaining three beams were reinforced with addition of steel after those three beam are loaded 70% from maximum capacity control beam and then the test beams also loaded until maximum capacity and showed comparison of maximum load that can be held by the two groups of beams. Retrofitting using Steel Plate "*stripplat*" is effective, because this material capable of withstanding the load. Moreover, this material profile is very easy to find, and than this material profile is smooth, so it will not make worse the view of structure and not increase the load of structures.

Results of research and analysis using Steel Plate "*stripplat*" showed an increase in the flexible strength of the beams. The layers of a Steel Plate "*stripplat*" performed in the bottom of beam with a width of 150 mm and thick of Steel Plate "*stripplat*" is 12mm. Steel Plate "*stripplat*" reinforcement beam test with code BP-1 increased by 171,6488% against the average value of the control beam, the beam BP-2 flexible strength increased by 192,4676%, dan beam BP-3 increased by 167,4676%

Keywords: Beam, Flexural Strength, Steel Plate, Strengthening structure.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan konstruksi beton bertulang dewasa ini terus mengalami peningkatan. Beton bertulang digunakan dalam berbagai bentuk untuk hampir semua struktur, seperti bangunan, jembatan, pengerasan jalan, bendungan, terowongan, dan sebagainya. Desain beton bertulang harus mampu memenuhi syarat aman dalam memikul beban yang sesuai dengan perencanaan. Beton merupakan material yang relatif kuat terhadap beban tekan, tetapi lemah terhadap beban tarik (Asroni, 23: 2010). Untuk memperoleh struktur bangunan yang relatif kuat terhadap beban tarik, maka pada beton ditambahkan baja tulangan. Kombinasi antara keduanya kemudian dikenal dengan nama beton bertulang sebagai struktur yang optimal pada konstruksi suatu bangunan. Hal ini bukan karena sifat mekaniknya saja yang relatif baik, tetapi beton bertulang juga memiliki sifat tahan lama.

Balok merupakan penampang horizontal struktur beton bertulang. Balok berfungsi sebagai penyalur momen menuju kolom – kolom yang menopang balok tersebut. Balok juga berfungsi untuk menerima beban dari pelat lantai dan kolom di atasnya. Beban yang bekerja pada balok biasanya berupa beban lentur, beban geser maupun torsi (momen puntir). Arah beban yang bekerja pada balok tegak lurus sumbu panjang batang balok, sehingga balok cenderung melentur ke bawah. Pada kondisi itu, serat bawah akan mengalami pertambahan panjang dan serat atas akan memendek. Akibatnya, serat bawah akan mengalami tegangan tarik sedangkan serat atas akan mengalami tegangan desak. Tegangan tarik dan desak yang terjadi merupakan tegangan akibat peristiwa lentur.

Sukses beton bertulang sebagai bahan konstruksi yang universal dapat di pahami jika dilihat dari segala kelebihan yang dimiliki oleh beton itu sendiri, salah satu kelebihan dari beton adalah mempunyai kapasitas tekan yang tinggi. Akan tetapi

beton juga memiliki kekurangan yang dapat menyebabkan kerusakan pada struktur beton yang akan mengakibatkan kekuatan dan daya dukung beton berkurang. Struktur balok beton bertulang yang telah direncanakan dengan baik dan dibangun, terkadang setelah difungsikan mempunyai beberapa permasalahan. Jika suatu struktur memikul beban yang berlebihan atau tidak sesuai dengan perencanaan, maka struktur tersebut akan mengalami lendutan melebihi kemampuan struktur dan akan mengakibatkan terjadinya retak/ patahan pada struktur tersebut. Hal ini banyak diakibatkan oleh suatu bangunan/struktur yang mengalami perubahan fungsi ruang dari fungsi yang direncanakan sebelumnya. Sesuai dengan struktur bangunan yang dibangun maka sewaktu-waktu terjadi perubahan fungsi yang tak terduga sebelumnya, yaitu penambahan beban atau penambahan fungsi ruang diatas bangunan.

Permasalahan struktur balok beton bertulang tersebut dapat mengakibatkan penurunan kekuatan struktur. Balok yang mengalami penurunan kekuatan struktur dapat menunjukkan keretakan hingga deformasi ekstrim dan berakhir pada keruntuhan. Kondisi tersebut dapat berlangsung dalam waktu lama maupun singkat. Oleh karena itu dibutuhkan suatu metode perbaikan bahan dan perkuatan guna mengembalikan kekuatan struktur.

Retrofitting struktur merupakan usaha untuk meningkatkan kinerja struktur yang sudah ada, memberikan elemen baru atau perkuatan. Namun, sebelum memutuskan upaya perbaikan dan retrofit struktur, diperlukan kajian yang mendalam dan pengujian lapangan yang teliti, karena akan sangat menentukan apakah upaya tersebut masih dapat dilakukan sebelum upaya terakhir yakni meruntuhkan bangunan untuk diganti dengan bangunan yang baru. Sehingga, kegagalan dan kerusakan struktur bangunan dalam skala yang masih dapat ditoleransi dapat dilakukan upaya perbaikan struktur (Fauzan, 2009).

Ada beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk melakukan perbaikan atau *retrofit* struktur yaitu dengan memperpendek bentang dari struktur, menambah jumlah tulangan pada balok, penambahan material (*patching*) pada bagian struktur yang rusak, memperbesar dimensi dari beton atau pembongkaran serta penggantian

dengan struktur bangunan baru. Metode penyelesaian di atas dianggap kurang efisien serta terdapat beberapa kendala yang dijumpai di lapangan, seperti waktu pelaksanaan yang lama, perlunya ruang kerja yang cukup luas sehingga harus menghentikan aktifitas yang ada, dan perlunya alat bantu seperti penyanggah sementara.

Adanya kemajuan teknologi bahan konstruksi, kini telah ditemukan metode dalam melakukan perkuatan dengan memberikan tulangan pada balok beton bertulang dari bagian luar yaitu dengan menggunakan baja *Stripplat*. Aplikasi baja strip plat pada balok beton bertulang menggunakan chemset sebagai penguat dan perekat lem. Penelitian ini berfokus pada penggunaan lem perekat Sikadur-31 CF Normal sebagai perekat baja *stripplat* pada balok beton bertulang. Selain itu, belum diketahui secara jelas persentase peningkatan kuat lentur balok beton bertulang dengan penambahan baja *Stripplat* yang digunakan. Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan penelitian yang lebih mendalam untuk mengetahui berapa pengaruh penambahan baja *stripplat* terhadap kuat lentur balok beton bertulang. Penelitian yang akan dilakukan ini merupakan kajian eksperimental dengan menambahkan baja strip pelat pada balok beton bertulang sebagai bahan *retrofitting* atau perkuatan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Bagaimana pengaruh penambahan lapisan baja *Stripplat* pada balok beton bertulang dalam menahan lentur balok?
2. Bagaimana perilaku balok beton bertulang setelah diperkuat dengan material baja *Stripplat*?
3. Bagaimana perkiraan biaya yang dibutuhkan untuk melakukan perkuatan lentur balok beton bertulang menggunakan lapisan baja *Stripplat*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Mengetahui pengaruh penambahan baja *Stripplat* pada balok beton bertulang dalam menahan lentur balok.
2. Mengetahui perilaku balok beton bertulang yang diperkuat dengan baja *Stripplat*.
3. Dapat memperkirakan biaya yang dibutuhkan untuk membuat sampel penelitian perkuatan geser balok beton bertulang menggunakan baja *Stripplat*.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut ini .

1. Memberikan kontribusi terhadap perkembangan teknologi perkuatan beton bertulang.
2. Mengetahui hal-hal yang terjadi pada daerah yang diperkuat saat balok mengalami keruntuhan pada waktu beban maksimum diberikan untuk balok.
3. Memberikan pengetahuan metode pengujian yang baik dan benar dengan menggunakan alat-alat teknologi yang canggih.
4. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam pengembangan penelitian yang akan datang.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan dari penelitian ini adalah sebagai berikut .

1. Benda uji balok beton bertulang menggunakan 4 buah sampel balok.
2. Benda uji balok beton bertulang menggunakan cetakan dengan dimensi
 - a. B (lebar) : 150 mm
 - b. H (tinggi) : 200 mm
 - c. L (panjang) : 1000 mm
3. Mutu yang digunakan adalah beton normal dengan mutu 20 MPa.
4. Benda uji balok beton bertulang menggunakan tulangan dengan spesifikasi berikut ini.
 - a. Tulangan pokok atas : Ø10 mm
 - b. Tulangan pokok bawah : Ø10 mm
 - c. Tulangan sengkang : Ø 8 mm

5. Baja tulangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja polos dengan mutu baja
 - a. Tulangan pokok : 240 Mpa
 - b. Tulangan sengkang : 240 Mpa
6. Agregat yang digunakan dalam penelitian
 - a. Agregat halus (pasir) berasal dari merapi.
 - b. Agregat Kasar (kerikil) berasal dari merapi.
7. Bahan ikat yang digunakan adalah semen tipe 1 dengan merk Tiga Roda.
8. Metode perencanaan balok beton bertulang yang digunakan menggunakan standar SNI 03-2847-2002
9. Metode campuran (*mix design*) yang digunakan menggunakan standar SNI 03-2834-2000
10. Sampel balok beton bertulang yang diberikan baja strip pelat berjumlah 3 buah dan sisanya sebagai balok kontrol.
11. Pelat baja yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja strip pelat dengan ketebalan 12 mm, lebar 50 mm dan panjang 1000 mm.
12. Perekat yang digunakan lem perekat Sikadur-31 CF Normal
13. Metode pengujian kuat lentur balok beton bertulang dengan sistem dua titik pembebanan berdasarkan SNI 03-4431-1997.
14. Pengujian kuat tekan silinder beton dilakukan pada saat umur beton 28 hari
15. Pengujian balok beton bertulang hanya berupa uji kuat lentur.
16. Perkuatan dilakukan pada benda uji balok beton bertulang dengan kondisi telah mengalami keruntuhan.
17. Karakteristik balok beton bertulang yang dianalisis pada penelitian ini terdiri dari pola keretakan lendutan dan kuat lentur.
18. Mekanisme pebebanan diberikan secara bertahap dengan menggunakan *hydrolick pump* sesuai besar pembebanan tiap benda uji.
19. Untuk mengukur besarnya lendutan pada balok beton bertulang digunakan alat LDTV.

1.6 Keaslian Penelitian

Sejauh ini penelitian tentang perbaikan balok beton bertulang khususnya untuk “Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Penambahan Pelat Baja” belum pernah dilakukan di Universitas Islam Indonesia. Namun berdasarkan penelusuran peneliti, terdapat beberapa penelitian yang membahas mengenai perkuatan balok dengan material sejenis, antara lain:

1. Perbaikan Balok Beton Bertulang Yang Telah Mengalami Beban Puncak Dengan Baja Siku (Helmi, 2009)
2. Perbaikan Dan Perkuatan Balok Beton Bertulang Dengan Cara Penambahan Profil Baja Kanal (Miswar, 2010)
3. Studi Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Metode Retrofit Menggunakan *Wiremesh* dan *Sc* (Amarudin,dkk,2014)
4. Perilaku Balok Beton Bertulang Dengan Perkuatan Pelat Baja Dalam Memikul Lentur (Sitepu, 2014)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Dewasa ini, penggunaa beton bertulang sebagai suatu bahan koonstruksi semakin meningkat. Konstruksi dari beton banyak memiliki keuntungan yaitu bahan yang mudah diperoleh, harga relatif lebih terjangkau, mempunyai kekuatan tekan tinggi dan mudah dalam pembentukannya. Selain itu keuntungan lain penggunaan beton dalam hal pengangkutan dan perawatannya. Sehingga banyak bangunan-bangunan yang didirikan memilih konstruksi dengan materian yang terbuat dari beton.

Penggunaan beton bertulang sebagai bahan konstruksi tidak terlepas dari permasalahan penurunan kekuatan struktur. Adanya perubahan fungsi yang mengakibatkan penambahan beban yang dipikul dan kemungkinan terjadinya kesalahan perhitungan pada saat perencanaan dapat berdampak pada kekuatan struktur balok beton. Faktor lain yang dapat menyebabkan penurunan kekuatan seperti beton yang tidak sesuai dari perencanaan, adanya penambahan beban yang ditahan struktur, kebakaran, gempa bumi, perubahan fungsi bangunan, dan usia struktur bangunan. Untuk mengatasi penurunan kekuatan pada balok beton bertulang diperlukan tindakan tepat, cepat, efekif dan aman. Guna menghinari kemungkinan terjadinya kerusakan lebih lanjut dilakukan perbaikan atau perkuatan pada balok beton bertulang yang telah mengalami penurunan kekuatan.

Perkuatan balok beton bertulang dikembangkan dalam berbagai metode dan inovasi untuk material perkuatannya. Metode yang digunakan dalam perkuatan diantaranya penggunaan profil baja, pemanfaatan serat kaca dan serat karbon. Sebagai pengembangan penggunaan material perkuatan kuat lentur balok beton bertulang yang telah mengalami penurunan kekuatan struktur akan digunakan pelat baja dengan variasi ketebalan. Penggunaan pelat baja dipilih karena kekuatan tinggi, elastisitas, permanen, daktilitas, pemasangan mudah dan material

pelat baja banyak ditemukan. Kekurangan dari penggunaan material tersebut adalah biaya pemeliharaan besar, rentan terhadap *buckling*.

Studi pustaka merupakan kerangka teoritik yang dijadikan landasan dalam mempertajam konsep penelitian agar memiliki landasan teori yang kuat dan dapat memberikan hasil yang baik. Untuk menghindari terjadinya duplikasi dalam pengerjaan tugas akhir berikut beberapa hasil penelitian yang pernah dilakukan untuk menunjang penyusunan dan dapat dijadikan sebagai acuan penyusunan dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.

2.2 Pemetaan Penelitian Terdahulu

Tinjauan pustaka terhadap hasil- hasil penelitian sebelumnya yang sejenis sehubungan dengan perkuatan balok beton dijelaskan sebagai berikut:

1. Perbaikan Balok Beton Bertulang yang Telah Mengalami Beban Puncak dengan Baja Siku

Penelitian ini disusun oleh Masdar Helmi (2009) dengan judul “perbaikan balok beton bertulang yang telah mengalami beban puncak dengan baja siku”. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa perilaku lentur balok bertulang setelah diperbaiki dengan baja siku terhadap kuat lentur lendutan dan pola kehancuran. Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut ini:

- a. Kekuatan bahan dasar balok (beton dan tulangan tarik) setelah mengalami pembebanan tidak mengalami perubahan yang signifikan sedangkan kekuatan balok menurun hingga mencapai 19 % dari kekuatan awalnya
- b. Beban maksimum dari balok beton bertulang setelah diperbaiki mengalami peningkatan dibandingkan balok original sebesar 15%, dan peningkatan terbesar pada balok BRB3 (sebesar 15 %).
- c. Secara teori balok yang diperbaiki dengan posisi 3 mampu menahan beban yang paling besar dikarenakan mempunyai tinggi efektif balok terhadap baja siku (d_2) yang lebih besar dibandingkan posisi lain sehingga menghasilkan momen nominal yang besar, maka beban yang dihasilkan menjadi lebih besar.

- d. Balok yang diperbaikidengan baja siku lebihbesar kekakuannya daripada balok original, dilihat dari kemiringan grafik hubungan beban-lendutan dimana pada level beban yang sama balok yang diperbaiki mengalami lendutan yang lebih kecil

2. Perbaikan dan Perkuatan Balok Beton Bertulang dengan Cara Penambahan Profil Baja Kanal

Penelitian ini disusun oleh Khairul Miswar (2010) dengan judul “Perbaikan Dan Perkuatan Balok Beton Bertulang Dengan Cara Penambahan Profil Baja Kanal”. Penelitian ini bertujuan sebagai berikut :

- a. Mengetahui porsentase kapasitas lentur balok beton bertulang setelah tulangan tarik melampaui tegangan leleh dengan cara penambahan perkuatan dengan profil baja kanal.
- b. Mengetahui pola keruntuhan balok beton bertulang setelah balok tersebut mengalami tegangan leleh pada daerah tarik dengan cara penambahan perkuatan dengan profil baja kanal.

Sedangkan manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat diketahui peningkatan kapasitas lentur balok beton bertulang tampang persegi dengan penambahan profil baja kanal pada daerah tarik dan hasil penelitian ini diharapkan dapat di jadikan referensi apabila perkuatan profil baja kanal diaplikasikan pada balok yang mengalami lentur. Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut ini :

- a. Perkuatan lentur dengan penambahan profil baja kanal 70x30x1,2 menyebabkan kenaikan kapasitas lentur sebesar 37,858%, untuk penambahan profil baja kanal 100x50x2 kenaikan kapasitas lentur sebesar 217,045% untuk penambahan profil baja kanal 125x50x2 kenaikan kapasitas sebesar 288,737% terhadap balok kontrol, untuk BP-PC-2 dan BP-PC-3 peningkatan kapasitas lenturnya sangat besar dikarenakan tegangan pada tulangan tarik belum mengalami leleh

- b. Besarnya nilai kekuatan lentur dari hasil pengujian untuk BK, BP-PC-1, BP-PC-2 dan BP-PC-3 berturut-turut adalah 23,350 KN, 32,190 KN, 74,030 KN dan 90,770 KN.
- c. Perkuatan lentur dengan penambahan profil baja kanal 70x30x1,2 menyebabkan kenaikan kekakuan sebesar 7,529%, untuk penambahan profil baja kanal 100x50x2 mengalami kenaikan 66,617% untuk penambahan profil baja kanal 125x50x12 mengalami kenaikan kekakuan sebesar 99,210 terhadap balok kontrol.
- d. Dengan penambahan perkuatan profil baja kanal 70x30x1,2 mm, profil baja kanal 100x50x2 mm dan profil baja kanal 125x50x2 mm dapat meningkatkan kapasitas momen sebesar 37,858%, 217,045% dan 288,737% terhadap balok kontrol.
- e. Pola keruntuhan yang terjadi di antara pembebanan dua titik adalah keruntuhan lentur adapun pembebanannya dilakukan sampai dengan profil canal lepas dari dynabolt.
- f. Besarnya penurunan daktilitas balok beton bertulang yang telah diperkuat sebesar 15,24% , - 29,72%, -31,03% pada Pc.1 Pc.2 dan Pc.3 terhadap Balok Kontrol.

3. Studi Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang dengan Metode Retrofit Menggunakan *Wiremesh* dan *Sc*

Penelitian ini disusun oleh Arwin Amaruddin (2014) dengan judul “Studi Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Metode Retrofit Menggunakan *Wiremesh* dan *Sc*”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *Wiremesh* dan *scc* pada kemampuan balok untuk menahan beban. Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut ini :

- a. Lapisan *Wiremesh* dan *SCC* mampu meningkatkan kapasitas beban pada balok WK sebesar 6.44 % dan untuk balok WB sebesar 40.06 % terhadap balok normal.
- b. Pola retak pada balok kontrol seluruhnya mengalami retak lentur akan tetapi pola retak yang terjadi pada alok yang telah diberi perkuatan

mengalami retak lentur dan geser. Hal ini terjadi akibat lapisan Wiremesh dan SCC menyebabkan meningkatnya kekuatan pada balok dalam menahan gaya lentur yang diberikan, namun peningkatan kekuatan ini menyebabkan tulangan geser tidak mampu menahan gaya geser yang terjadi.

- c. Mode kegagalan yang terjadi pada balok seluruhnya mengalami leleh pada tulangan lentur akan tetapi pada balok WK terjadi putus pada Wiremesh karena tidak mampu menahan beban yang diberikan pada balok. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan SCC memberikan lekatan yang cukup pada Wiremesh maupun pada balok eksisting. Sedangkan pada balok WB, Wiremesh masih dalam keadaan utuh. Hal ini menunjukkan bahwa Wiremesh mampu menahan beban yang diberikan pada balok hingga inti beton rusak karena tekanan yang diberikan.

4. Perilaku Balok Beton Bertulang Dengan Perkuatan Pelat Baja Dalam Memikul Lentur

Penelitian ini disusun oleh Nomi Novita Sitepu (2014) dengan judul “Perilaku Balok Beton Bertulang Dengan Perkuatan Pelat Baja Dalam Memikul Lentur”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari pelat baja terhadap peningkatan kapasitas lentur dari balok beton bertulang. Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut ini :

- a. Berdasarkan hasil perhitungan secara teoritis bahwa pelat perkuatan dapat meningkatkan kapasitas balok dalam memikul lentur, dan mengurangi lendutan yang terjadi pada balok. Di mana kapasitas balok dalam memikul lentur meningkat sebesar 70,59%.
- b. Berdasarkan hasil pengujian balok beton bertulang dengan perkuatan pelat baja dapat meningkatkan kapasitas balok dalam memikul lentur sebesar 84,62%
- c. Berdasarkan hasil pengujian untuk balok beton yang sudah dibebani kemudian diberi perkuatan pelat baja, dapat meningkatkan kapasitas balok dalam memikul lentur sebesar 69,23%

- d. Dari hasil perhitungan pada pengujian balok beton bertulang tanpa pelat baja diperoleh $E_c' = 0,002$ dan $E_s = 0,003$. Untuk balok beton bertulang dengan pelat baja diperoleh $E_c' = 0,003$ dan $E_s = 0,004$
- e. Efisiensi balok beton bertulang yang diberi pelat baja kemudian dibebani adalah 45,83% dan efisiensi balok beton bertulang yang dibebani terlebih dahulu kemudian diperkuat dengan pelat baja adalah 40,90%.

2.3 Perbedaan Penelitian dengan Penelitian Terdahulu

Tugas akhir ini berupa penelitian yang bersifat eksperimental, dalam penelitian ini yang akan dilakukan adalah pembuatan balok beton dengan 3 balok sebagai balok kontrol dan 3 balok dengan perkuatan pelat baja. Hasil dari tugas akhir ini akan menganalisis perbandingan kuat lentur balok, pola keretakan dan lendutan. Setelah itu dapat diperkirakan biaya yang dibutuhkan untuk melakukan perkuatan balok beton bertulang menggunakan pla baja.

Kategori yang membedakan penelitian sekarang dengan penelitian terdahulu antara lain perkuatan balok dengan penggunaan material yang berbeda serta metode pengujian dengan pedoman yang berbeda. Penelitian ini menggunakan metode pengujian SNI 03-4431-1997 dengan material perkuatan yaitu pelat baja.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian dengan Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil Penelitian	Perbedaan
1	Perbaikan balok beton bertulang yang telah mengalami beban puncak dengan baja siku. (Masdar helmi ,2009)	Menganalisa perilaku lentur balok bertulang setelah diperbaiki dengan baja siku terhadap kuat lentur lendutan dan pola kehancuran	Di lakukan perkuatan pada daerah lentur balok menggunakan baja siku ada 3 macam baja siku yang dipasang pada 3 posisi didalam balok sisi bawah, dibawah, disamping dan di pasang menggunakan Dynabolt	Hasil pengujian menunjukkan bahwa pemasangan baja siku dapat meningkatkan sebesar 15%	Material perkuatan menggunakan baja siku di pasang menggunakan Dynabolt

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian dengan Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode	Hasil Penelitian	Perbedaan
2	Perbaikan Dan Perkuatan Balok Beton Bertulang Dengan Cara Penambahan Profil Baja Kanal. (Khairul Miswar ,2010)	Mengetahui persentase kapasitas lentur balok beton bertulang dan pola keruntuhan balok beton bertulang setelah balok tersebut mengalami tegangan leleh pada daerah tarik	Di lakukan perkuatan pada daerah lentur balok menggunakan profil baja kanal terdapat 3 macam profil baja kanal yang dipasang pada posisi dibawah balok dan di pasang menggunakan Dynabolt	penambahan profil baja kanal 70x30x1,2 100x50x2 dan 125x50x12 menyebabkan kenaikan kekakuan sebesar 7,529%, 66,617% dan 99,210% terhadap balok kontrol.	Material perkuatan menggunakan profil baja kanal di pasang menggunakan Dynabolt
3	Studi Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Metode Retrofit Menggunakan Wiremesh dan Scc. (Arwin Amarudin, 2014)	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan Wiremesh dan scc pada kemampuan balok untuk menahan beban	Di lakukan perkuatan pada daerah lentur balok menggunakan Wiremesh dan Scc diperkuat dengan menggunakan variasi Wiremesh berdiameter tulangan 2.3 mm dengan spasi 2.5 x 2.5 cm dan tulangan 3 mm dengan spasi 5 x 5 cm	Hasil pengujian menunjukkan bahwa pemasangan Wiremesh dan Scc kapasitas beban pada balok WK sebesar 6.44 % dan untuk balok WB sebesar 40.06 % terhadap balok normal	Material perkuatan menggunakan Wiremesh dan Scc
4	Perilaku Balok Beton Bertulang Dengan Perkuatan Pelat Baja Dalam Memikul Lentur . (Nomi Novita Sitepu ,2014)	mengetahui pengaruh dari pelat baja terhadap peningkatan kapasitas lentur dari balok beton bertulang	Perkuatan pada daerah lentur balok menggunakan pelat baja dengan 3 buah benda uji dengan metode pengujian tanpa pelat, dibebani kemudian diberi pelat dan diberi pelat baja kemudian dibebani	Hasil pengujian menunjukkan bahwa pemasangan pelat baja dapat meningkatkan sebesar 84,62%.	Material yang digunakan menggunakan pelat baja.

Penelitian Masdar Helmi (2009) menganalisa perilaku lentur balok bertulang setelah diperbaiki dengan baja siku terhadap kuat lentur lendutan dan pola kehancuran. Persamaan penelitian dengan penelitian tersebut pada daerah perkuatan balok yang diuji yaitu kuat lentur balok. Sedangkan perbedaannya pada material perkuatan yang digunakan, penelitian tersebut menggunakan baja siku dan penelitian ini menggunakan pelat baja. Selain itu perbedaan pada cara pemasangan material perkuatan pada penelitian ini menggunakan baut dengan cara di bor.

Pada penelitian Khairul Miswar (2010) dengan judul " Perbaikan Dan Perkuatan Balok Beton Bertulang Dengan Cara Penambahan Profil Baja Kanal" bertujuan untuk mengetahui persentase kapasitas lentur balok beton bertulang dan pola keruntuhannya. Balok beton bertulang yang diuji dalam kondisi balok tersebut mengalami tegangan leleh pada daerah tarik. Persamaan penelitian dengan penelitian tersebut pada variabel uji yaitu pada daerah perkuatan balok lentur. Perbedaan penelitian adalah material perkuatan yang digunakan. Penelitian Khairul Miswar (2010) menggunakan profil baja kanal, sedangkan penelitian ini menggunakan baja *strip* plat.

Penelitian Arwin Amarudin (2014) bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan Wiremesh dan *scc* pada kemampuan balok untuk menahan beban. Penelitian tersebut menguji perkuatan lentur balok beton bertulang dengan metode retrofit. Persamaan penelitian dengan penelitian tersebut adalah daerah perkuatan yang diuji, yaitu perkuatan lentur balok beton bertulang. Sedangkan perbedaannya pada material perkuatan yang digunakan.

Penelitian selanjutnya dengan judul "Perilaku Balok Beton Bertulang Dengan Perkuatan Pelat Baja Dalam Memikul Lentur" disusun oleh Nomi Novita Sitepu (2014). penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari pelat baja terhadap peningkatan kapasitas lentur dari balok beton bertulang. Persamaan penelitian dengan penelitian tersebut pada daerah perkuatan yaitu kuat lentur balok dan material perkuatan yang digunakan yaitu pelat baja. Perbedaan penelitian dengan penelitian tersebut pada spesifikasi pelat baja yang digunakan.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Setiap konstruksi bangunan terdiri atas bagian-bagian yang memiliki fungsi tertentu. Salah satunya yaitu balok yang berguna untuk menyangga lantai yang terletak di atasnya. Selain itu, balok juga dapat berperan sebagai penyalur momen menuju ke bagian kolom bangunan. Balok mempunyai karakteristik utama yaitu lentur. Dengan sifat tersebut, balok merupakan elemen bangunan yang dapat diandalkan untuk menangani gaya geser dan momen lentur. Pendirian konstruksi balok pada bangunan umumnya mengadopsi konstruksi balok beton bertulang. Balok beton terlentur didesain untuk memikul momen lentur dengan menggunakan penampang bertulangan ganda, sebab ditinjau dari mekanisme lentur penampang bertulangan ganda mempunyai daktilitas yang lebih besar daripada penampang bertulangan tunggal.

Beton merupakan salah satu bahan material yang mendominasi pemakaian bahan konstruksi di bidang teknik sipil, baik pada bangunan gedung, jembatan, bendung, maupun konstruksi yang lain. Hal ini disebabkan bahan pembuatan beton mudah didapat, lebih murah, praktis dalam pengerjaannya dan mampu memikul beban yang cukup besar. Secara sederhana, beton dibentuk oleh pengerasan campuran antara semen, air, agregat halus (pasir), dan agregat kasar (batu pecah atau kerikil). Pembuatan beton terkadang ditambahkan campuran bahan lain (*admixture*) untuk memperbaiki kualitas beton. Campuran antara semen dan air akan membentuk pasta semen, yang berfungsi sebagai bahan ikat, sedangkan pasir dan kerikil merupakan bahan agregat yang berfungsi sebagai bahan pengisi dan sekaligus sebagai bahan yang diikat oleh pasta semen. Ikatan antara pasta semen dengan agregat menjadi kesatuan yang kompak dan dengan berjalan waktu akan menjadi keras serta padat.

Nilai kuat tekan beton relatif tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya, dan beton merupakan bahan bersifat getas. Nilai kuat tariknya hanya berkisar antara 9% - 15% saja dari kuat tekannya (Istimawan Dipohusodo,1999). Pada penggunaan beton sebagai komponen struktural bangunan, umumnya diperkuat dengan batang seperti tulangan baja sebagai bahan yang dapat bekerja sama dan mampu membantu kelemahannya, terutama pada bagian yang menahan gaya tarik. Dalam hal ini batang tulangan baja bertugas memperkuat dan menahan gaya tarik, sedangkan beton hanya diperhitungkan menahan gaya tekan. Komponen dengan susunan tersebut disebut dengan struktur beton bertulang.

Kerja sama antara bahan beton dan baja tulangan hanya dapat terwujud dengan didasarkan pada keadaan sebagai berikut:

1. Lekatan sempurna antara batang tulangan baja dengan beton keras yang membungkusnya sehingga tidak terjadi penggelinciran di antara keduanya.
2. Beton yang mengelilingi batang tulangan baja bersifat kedap sehingga mampu melindungi dan mencegah terjadinya karat pada baja.
3. Angka muai kedua bahan hampir sama, di mana untuk setiap kenaikan suhu satu derajat celcius angka muai beton 0,00001 sampai 0,000013, sedangkan baja 0,000013, sehingga perbedaan nilai muai dapat diabaikan.

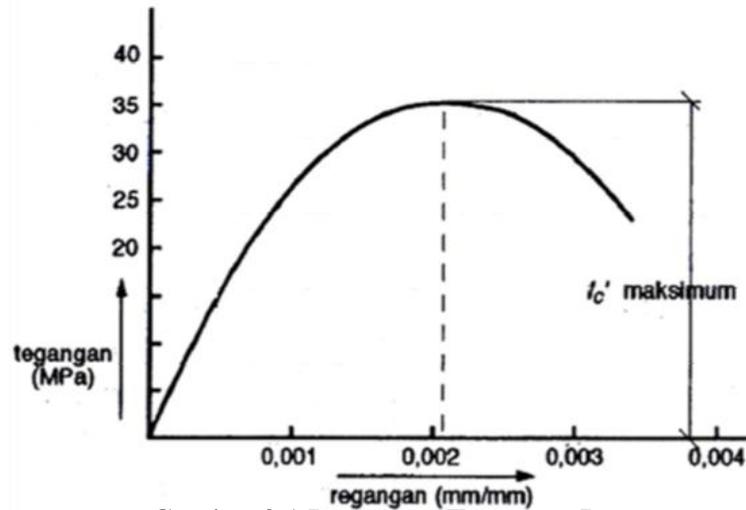
3.2 Sifat Bahan Penyusun Balok Beton Bertulang

3.2.1 Bahan Beton

Pada beton bertulang, yang menjadi perhatian utama adalah bagaimana perilaku komponen struktur pada waktu menahan berbagai beban antara lain: gaya aksial, lenturan, gaya geser, puntiran ataupun merupakan gabungan dari gaya-gaya tersebut. Perilaku tersebut tergantung pada hubungan tegangan-regangan yang terjadi pada beton dan juga jenis tegangan yang dapat ditahannya. Karena kelemahan beton, maka yang diperhitungkan adalah beban yang bekerja dengan baik pada daerah tekan penampang, dan hubungan tegangan-regangan yang timbul karena pengaruh gaya

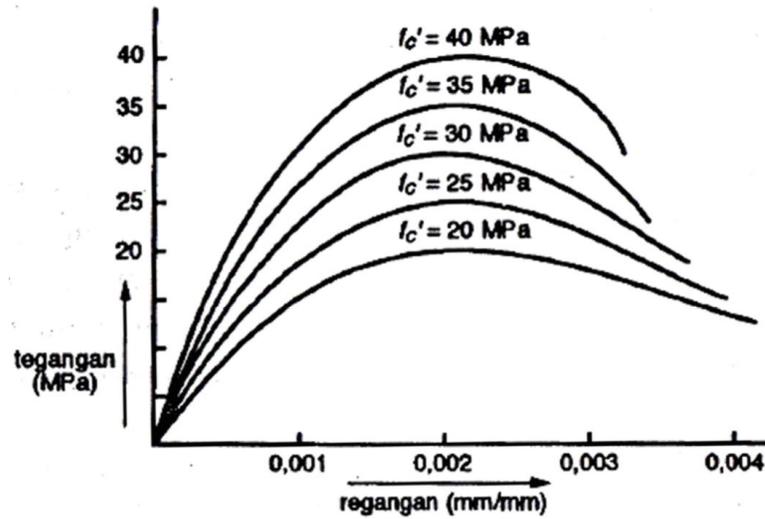
tekan tersebut digunakan sebagai dasar pertimbangan.

Hubungan tegangan-regangan pada beton di daerah yang mengalami tekan dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1 Regangan-Tegangan Beton

Kuat tekan beton diwakili dengan tegangan tekan maksimum (f'_c) dengan satuan 22N/mm^2 atau Mpa dan dalam satuan SI menjadi kg/cm^2 . Untuk struktur beton bertulang pada umur 28 hari umumnya memiliki kuat tekan 17-30 Mpa, dan struktur beton pratekan dibutuhkan memiliki kuat tekan 30-45 Mpa. Untuk keperluan khusus, beton *ready-mix* mampu menghasilkan 62 Mpa. Kuat tekan beton (f'_c) yang diperoleh dari pengujian standar ASTM (*American Society for Testing Materials*) C39-86, bukanlah tegangan yang timbul pada saat beton hancur, melainkan tegangan maksimum pada saat regangan beton (ϵ_b) mencapai nilai $\pm 0,002$. Hal ini dapat dilihat dengan jelas pada beton dengan berbagai mutu.



Gambar 3.2. Berbagai Kuat Tekan Beton

Berdasarkan teori elastisitas bahwa kemiringan kurva kuat tekan beton pada tahap awal menggambarkan nilai modulus elastisitasnya. Karena kurva pada beton berbentuk lengkung, berarti nilai regangan tidak berbanding lurus dengan tegangan berarti bahan beton tidak sepenuhnya bersifat elastis, sedangkan nilai modulus elastisitas berubah sesuai dengan kekuatannya. Sesuai dengan SNI T-15-199-03, bahwa penetapan modulus elastisitas beton sebagai berikut:

$$E_c = 0,0043 \cdot W_c^{1,5} \sqrt{f'_c} \quad (3.1)$$

dengan

E_c = Modulus elastisitas beton (Mpa)

W_c = Berat isi beton (kg/m^3)

f'_c = Kuat tekan beton (Mpa)

Rumus empiris tersebut hanya untuk beton dengan berat isi berkisar antara $1500 - 2500 \text{ kg}/\text{m}^3$. Untuk beton dengan kepadatan normal berat isi $\pm 23 \text{ kg}/\text{m}^3$ dapat digunakan nilai $E_c = 4700 \sqrt{f'_c}$.

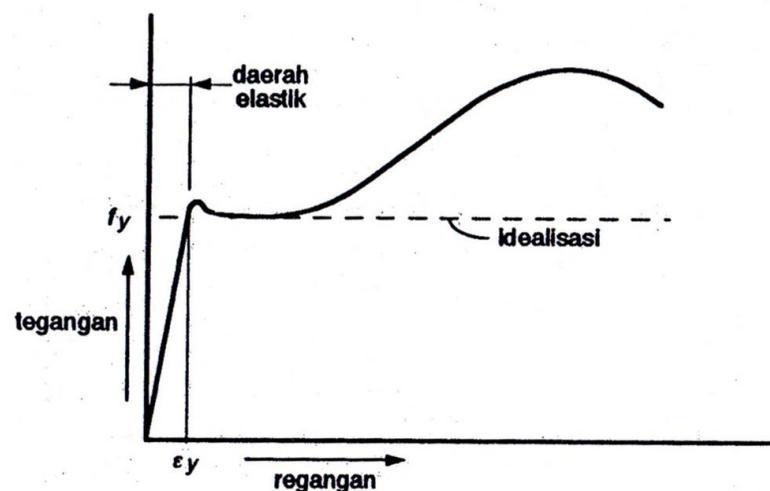
Tabel 3.1. Nilai Modulus Elastisitas Beton (E_c) berbagai mutu beton

$f'c$ (Mpa)	E_c (Mpa)
17	19.500
20	21.000
25	23.500
30	25.700
35	27.800
40	29.700

Sumber : Struktur Beton Bertulang, Istimawan Dipohusodo (1994).

3.2.2 Bahan Baja Tulangan

Sifat umum dari beton, yaitu sangat kuat terhadap beban tekan, bersifat getas/mudah patah atau rusak terhadap beban tarik. Untuk itu agar beton dapat bekerja dengan baik dalam suatu sistem struktur, perlu dibantu dengan memberinya perkuatan penulangan yang akan mengemban tugas menahan gaya tarik yang akan timbul di dalam struktur tersebut. Sifat fisik batang tulangan baja yang paling penting untuk digunakan dalam perhitungan perencanaan beton bertulang adalah tegangan leleh (f_y) dan modulus elastisitas (E_s). Suatu diagram hubungan regangan-tegangan tipikal untuk batang tulangan baja dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut:



Gambar 3.3. Diagram Tegangan-Regangan Batang Tulangan Baja

Tegangan leleh (f_y) adalah tegangan baja pada saat mana meningkatnya tegangan tidak disertai lagi dengan peningkatan regangannya. Menurut SK SNI T-15-199-03 bahwa modulus elastisitas baja (E_s) adalah 200.000 *Mpa*, sedangkan modulus elastisitas untuk beton prategang harus dibuktikan melalui pengujian.

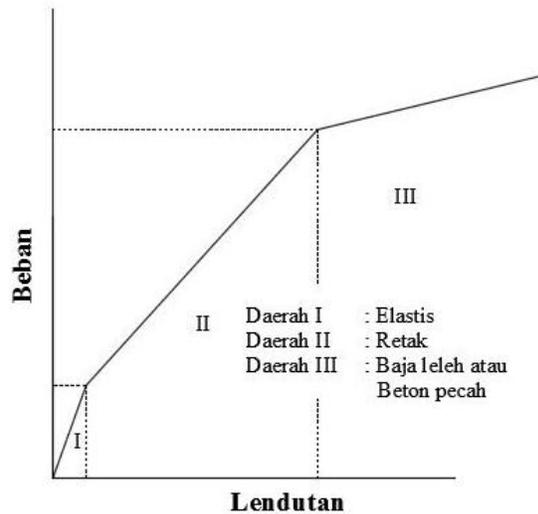
3.3 Pola Keruntuhan Balok

Beton mempunyai sifat susut dan rangkak. Susut adalah pemendekan beton selama proses pengerasan dan pengeringan pada temperature konstan, sedangkan rangkak terjadi pada beton yang dibebani secara tetap dalam jangka waktu yang lama. Oleh karena itu pada balok beton dikenal istilah short-term (immediate) deflection dan long-term deflection.

Nilai kuat tekan beton relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kuat tariknya, dan beton merupakan bahan yang bersifat getas. Kuat tarik yang dimiliki beton hanya berkisar antara 9-15% dari kuat tekannya karenanya sering kali dalam perencanaan kuat tarik beton dianggap sama dengan nol. Dengan menambahkan baja tulangan pada daerah tarik pada beton, maka kelemahan tarik beton dapat ditanggung oleh baja tulangan yang memiliki kuat tarik yang lebih besar.

Balok beton dapat retak ketika menahan momen lentur. Sewaktu serat bawah tertarik (momen positif), beton sebenarnya bisa menahan tegangan tarik tersebut pada kekuatan yang sangat kecil. Perilaku keruntuhan yang dominan pada struktur balok umumnya adalah lentur, hal ini akan terjadi jika rasio bentang (L) dan tinggi balok cukup besar. Jika rasio L/h kecil maka digolongkan sebagai balok tinggi (*deep beam*), keruntuhan geser dominan.

Perilaku keruntuhan balok beton bertulang diatas dua tumpuan dapat digambarkan dalam bentuk kurva beban-lendutan pada Gambar 3.4 berikut :



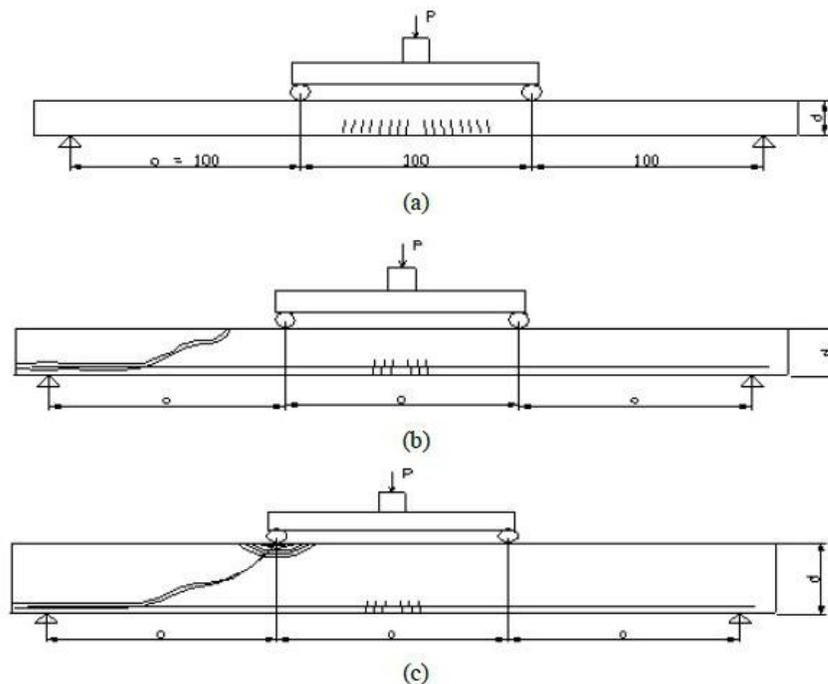
Gambar 3.4 Perilaku Beban-Lendutan Struktur Beton

Tipe keruntuhan balok sangat tergantung pada kelangsingan balok. Kelangsingan balok dinyatakan dengan a/d untuk beban terpusat, dimana a adalah panjang geser (*shear span*). Keruntuhan suatu balok dapat terjadi menurut salah satu dari tiga ragam keruntuhan ini, (Nawy, 1998):

1. Keruntuhan lentur (*flexural failure*), yaitu keruntuhan yang terjadi pada balok dengan harga $a/d > 5,5$ dimana arah retak vertikalnya ditengah bentang sepanjang kira-kira $1/3$ bentang. Retak halus vertikal mulai terbentuk ditengah bentang pada tingkat beban $\pm 50\%$ dari bebankeruntuhan lentur. Dengan meningkatnya beban, retak menyebar di daerah tengah bentang, retak awal mulai melebar dan merambat kearah garis netral dan lendutan meningkat. Bila penulangan memanjang balok *under-reinforced*, keruntuhan terjadi secara daktile yang diawali oleh lelehnya tulang lentur.
2. Keruntuhan tarik diagonal (*diagonal tension failure*), yaitu keruntuhan yang terjadi setelah keretakan miring tanpa peringatan yang cukup, yang terjadi karena kuat tarik diagonal lebih kecil dari kuat lentur. Keruntuhan ini terjadi pada balok dengan resiko a/d sekitar $2,5 - 5,5$. Keretakan dimulai dengan terbentuknya retak lentur vertikal di tengah bentang, yang akan menyebar akibat meningkatnya

beban ke daerah dengan momen lebih kecil dan gaya geser besar, sehingga terjadi keretakan lentur geser. Dengan meningkatnya gaya geser, retak akan melebar dan merambat sampai ke sisi balok runtuh. Keruntuhan bersifat getas dan lendutan yang terjadi relative kecil.

3. Keruntuhan geser tekan (*shear compression failure*), yaitu keruntuhan yang terjadi setelah retak lentur geser terjadi, kemudian retak merambat ke belakang sepanjang tulangan lentur. Keretakan ini akan melepaskan lekatan tulangan memanjang, dan balok akan berkelakuan seperti busurdua sendi, yang diakhir dengan hancurnya beton tekan disisi atas balok. Keruntuhan ini terjadi pada balok dengan rasio a/d antara 1,0 – 2,5, keruntuhan relatif kurang getas karena terjadi redistribusi tegangan, tetapi secara umum masih tergolong keruntuhan getas dengan peringatan batas.



Gambar 3.5 Pola Keruntuhan: (a) keruntuhan lentur; (b) keruntuhan tarik diagonal; (c) keruntuhan geser tekan

Sumber: Dr. Edward G. Nawy, P.E. 1998

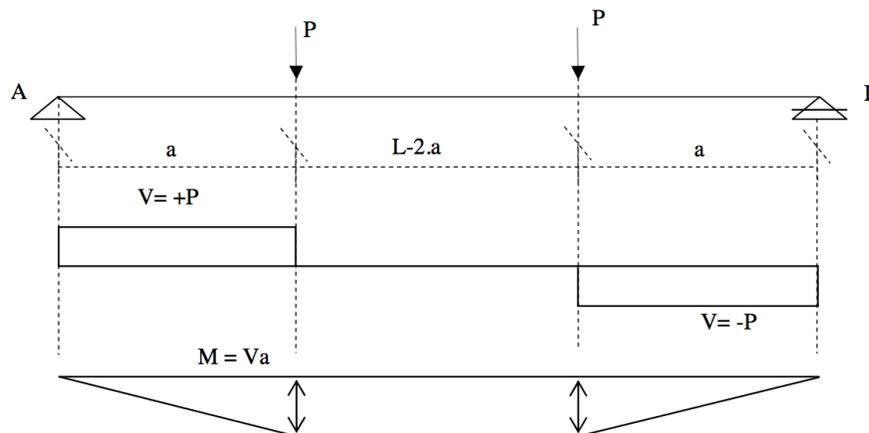
3.4 Lentur Murni pada Balok Beton Bertulang

Bila suatu penampang beton bertulang yang dibebani lentur murni dianalisis, pertama-tama perlu dipakai sejumlah kriteria agar penampang itu mempunyai probabilitas keruntuhan yang layak pada keadaan batas hancur.

Anggapan-anggapan yang digunakan dalam menganalisis beton bertulang yang diberi beban lentur murni adalah :

1. Beton tidak dapat menerima gaya tarik karena beton tidak mempunyai kekuatan tarik.
2. Perubahan bentuk tanpa berupa penambahan panjang dan perpendekan (regangan tarik dan tekan) pada serat-serat penampang, berbanding lurus dengan jarak tiap serat ke sumbu netral. Ini merupakan kriteria yang kita kenal, yaitu penampang bidang datar akan tetap berupa bidang datar.

Tinjauan sebuah balok beton bertulang tertumpu bebas dengan dua beban terpusat P di atasnya, bila berat balok sendiri diabaikan, maka diagram gaya lintang dan diagram momen lentur disajikan dalam gambar sebagai berikut:



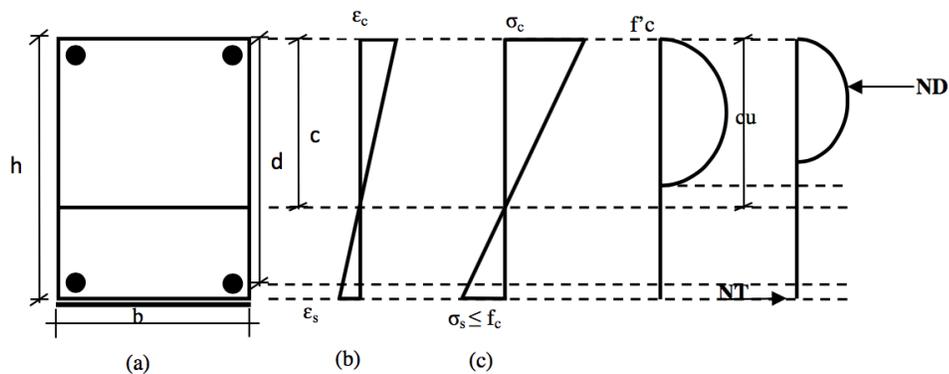
Gambar 3.6 Balok Dibebani Lentur Murni

Di antara kedua beban P gaya lintang V adalah nol dan momen lentur M konstan, sehingga balok ini mendapat beban lentur murni. Berdasarkan anggapan-anggapan yang telah ditemukan di atas, dapat dilakukan pengujian regangan,

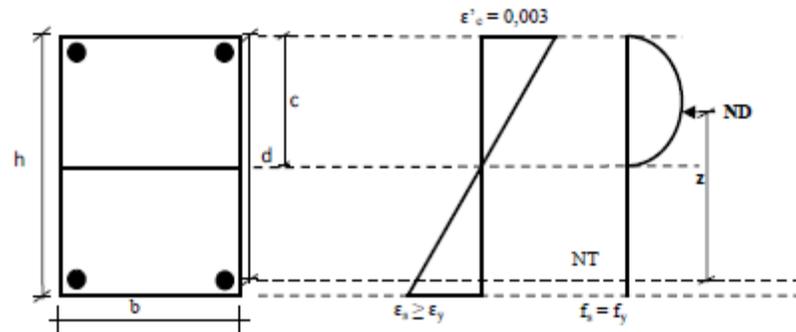
tegangan dan gaya-gaya yang timbul pada penampang balok yang menahan momen lentur, yaitu momen akibat beban luar yang timbul akibat keruntuhan.

Selama tegangan tarik pada penampang tidak melebihi kuat tarik beton $f'c$ penampang tersebut belum retak, di mana kuat tarik beton sekitar $0,7 \sqrt{f'c}$. Keadaan ini disajikan pada Gambar 3.9 untuk penampang balok yang diberi beban momen lentur dengan lebar b dan tinggi efektif d . Tinggi daerah (daerah arsir) adalah c , sedangkan regangan tekan dan regangan tarik (dalam beton dan baja) berbanding lurus dengan jarak terhadap garis netral (gambar 3.11). Gambar 3.9. Menyatakan distribusi tegangan pada bagian yang belum retak. Tegangan tarik maksimum beton f_c masih kecil, diagram distribusi masih linier.

Bila beban P pada balok diperbesar, σ_c akan melebihi f_c , beton akan retak, akibat gaya tarik dilawan tulangan, sedangkan diagram distribusi tegangan tekan pada beton berubah menjadi bentuk lengkung yang lebih mendekati diagram tegangan-regangan yang sebenarnya. Pada saat balok hancur distribusi tegangan pada penampang adalah sesuai dengan gambar 3.10. Pada daerah tekan, hubungan antara tegangan-regangan sesuai dengan diagram σ - ϵ yang sebenarnya bagi beton. Tegangan pada serat atas sama dengan tegangan tekan hancur σ'_{cu} , sedangkan pada daerah tekan telah mencapai tinggi minimum c_u , bagian daerah tarik yang tidak retak sangat kecil dan dapat diabaikan, tegangan pada tulangan beton dapat dianggap sama dengan tegangan leleh σ_y .



Gambar 3.7 Distribusi Tegangan-Regangan pada Penampang Beton Bertulang dengan Momen yang Semakin Besar



Gambar 3.8 Diagram Tegangan Dan Regangan

3.5 Perkuatan Balok Beton Bertulang

Perkuatan struktur menurut Triwiyono (2004) dilakukan untuk bangunan yang riskan terhadap beban baru yang akan harus didukung, sehingga perlu meningkatkan kemampuan bangunan tersebut atau menambahkan elemen struktur baru yang tidak tersedia atau dianggap tidak ada pada saat struktur di bangun. Perkuatan struktur biasanya dilakukan sebagai upaya pencegahan sebelum struktur mengalami kehancuran. Sedangkan perbaikan struktur diterapkan pada bangunan yang telah rusak, yaitu merupakan upaya untuk mengembalikan fungsi struktur seperti semula setelah terjadi penurunan perkuatan. Jika bangunan tidak segera ditangani perbaikan atau perkuatannya, kerusakan dapat berlanjut lebih parah lagi. Agar bangunan yang sudah rusak dapat terus difungsikan, diperlukan tindakan rehabilitasi yang dapat berupa perbaikan (*retrofit*) atau perkuatan (*strengthening*).

3.7.1 Metode Perkuatan Struktur Beton Bertulang

Metode perkuatan yang umumnya dilakukan adalah :

1. Memperpendek bentang (L) dari struktur dengan konstruksi beton ataupun dengan konstruksi baja.
2. Memperbesar dimensi lebar balok (b) dan tinggi balok (h) dari pada konstruksi beton.
3. Menambah plat baja.

Berdasarkan metode perkuatan di atas, ada beberapa kendala yang dijumpai di lapangan sebagai berikut:

1. Waktu pelaksanaan yang lama (menunggu proses pengeringan dari material perkuatan hingga mampu memikul beban).
2. Perlunya ruang kerja yang cukup luas sehingga harus menghentikan aktifitas dan juga harus membongkar terlebih dahulu *plumbing* maupun *ducting* AC yang ada
3. Perlunya alat bantu seperti penyanggah sementara
4. Adanya sambungan-sambungan apabila bentang yang harus diperkuat cukup panjang (metode perkuatan dengan plat baja).
5. Perlunya lapisan pelindung untuk meningkatkan keawetan terhadap korosi.

Sejak tahun 90-an, mulai banyak digunakan metode baru dalam melakukan perkuatan yaitu dengan menggunakan "*Fiber Reinforced Plastic (FRP)*". Prinsip metode perkuatan dengan menggunakan FRP menyerupai penggunaan Pelat Baja. Tiga prinsip penggunaan FRP dalam perkuatan struktur adalah :

1. Meningkatkan kapasitas momen lentur pada balok atau plat dengan menambahkan FRP pada bagian tarik.
2. Meningkatkan kapasitas geser pada balok dengan menambahkan FRP di bagian sisi pada daerah geser.
3. Meningkatkan kapasitas beban axial dan geser pada kolom dengan menambahkan FRP di sekeliling kolom.

FRP dapat digunakan pada perkuatan :

1. Lentur baik pada balok dan plat, bagian tumpuan maupun lapangan
2. Geser pada balok dan kolom
3. Axial pada kolom
4. Lentur pada dinding (dinding penahan, silo dll)

3.7.2 Pelat Baja

Pelat baja merupakan salah satu bentuk material komposit yang dibuat dari dua atau lebih material penyusun yang saling memiliki perbedaan sifat fisik dan kimia,

yang jika dikombinasikan akan menghasilkan material berkarakteristik berbeda dengan material-material penyusunnya. Material komposit tersusun atas dua komponen utama yaitu matriks dan material penguat (reinforcement). Pelat baja bertugas sebagai material penguat. Sedangkan untuk matriksnya biasanya dipergunakan resin polimer semacam *epoxy*. Matriks resin ini berfungsi untuk mengikat material-material penguat. Dikarenakan pelat baja hanya tersusun oleh dua material tersebut maka sifat-sifat pelat baja juga hanya ditentukan oleh kedua material ini. Pelat baja yang digunakan pada penelitian ini adalah lembaran pelat strip baja yang dipotong-potong. Jenis ini digunakan karena mempunyai elastisitas yang baik sehingga mudah dalam pemasangannya.

3.7.3 Lem Perekat Sikadur-31 CF Normal

Dalam penggunaan pelat baja, memerlukan suatu perekat kimia untuk memastikan pelat baja dapat terpasang dengan sempurna dan tidak mengelupas. Zat perekat ini terdiri dari dua macam bahan yaitu resin dan *hardener*, yang harus dicampur sebelum digunakan untuk merekatkan stripelastik baja ke balok.

Sifat dari perekat ini yaitu dapat mengeras dengan waktu yang singkat. Oleh karena itu dalam pemasangannya memerlukan ketelitian dan metode kerja yang cepat dan akurat. Dalam penelitian ini perekat yang digunakan adalah epoxy adhesive jenis Sikadur®-CF Normal yang terdiri dari dua komponen, yaitu komponen A yang berwarna putih dan komponen B yang berwarna abu-abu tua. Perbandingan antara campuran komponen A: komponen B adalah 2: 1 dan warna setelah tercampur adalah abu-abu terang. Konsumsi perekat (bahan A + bahan B) sebesar 0,34 kg/m yang dioleskan pada permukaan beton dan permukaan platstrip secara merata dengan ketebalannya kurang lebih 12 mm setiap sisi. Spesifikasi data teknis epoxy yang dipakai dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut:

Tabel 3.2 Karakteristik Epoxy

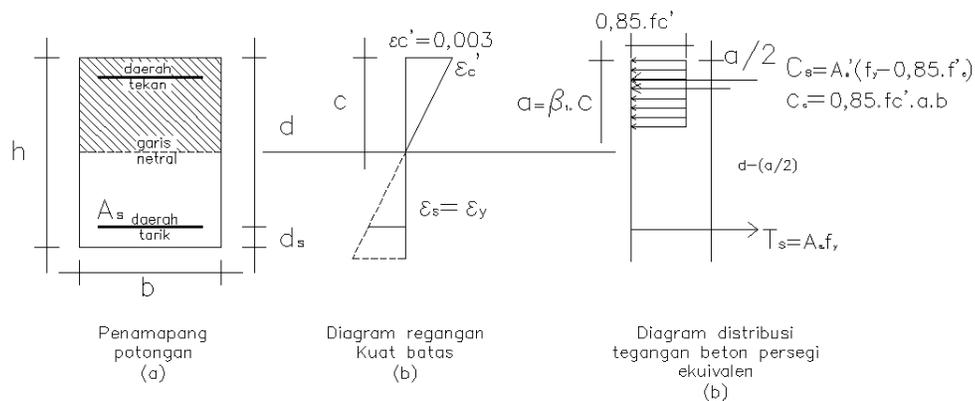
Properties	Epoxy
Modulus – E	12.800 Mpa
Kuat lekat pada beton	> 4 Mpa

Sumber: Sika Technical Data Sheet 2005

Berdasarkan Tabel 3.2 dapat diketahui bahwa perekat yang digunakan mempunyai modulus elastisitas E yang lebih kecil dari modulus elastisitas beton ($E_c=20.000$ MPa), sehingga dapat dikatakan *epoxy* lebih lunak dari beton.

3.6 Formula Perkuatan Lentur Dengan SK SNI

3.8.1 Balok Beton Tanpa Menggunakan Pelat Baja



Gambar 3.9 Distribusi Regangan dan Tegangan pada Balok Tulangan Rangkap

a. Keadaan Balanced

$$\frac{c_b}{\varepsilon_c} = \frac{d}{\varepsilon_c + [f_y/\varepsilon_s]}$$

$$c_b = \frac{600d}{600 + f_y}$$

$$a = 0,85c_b\varepsilon_s$$

$$\varepsilon_y = \frac{fy}{\varepsilon_s}$$

Karena : $\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$, kriteria untuk melelehnya baja tulangan tekan telah terpenuhi

b. Keadaan Sebenarnya

- Anggap baja tulangan leleh, maka $f_y = f_s$.

$$C_c = 0,85 \times f'_c \times a \times B =$$

$$C_s = A_s'(f_y - 0,85f'_c)T_s = A_s \times f_y$$

$$T_s = C_c + C_s$$

Maka didapat nilai a

$$C_u = \frac{a}{\beta}$$

Cek baja tulangan :

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$$

$$\varepsilon_s = \frac{C_u - d'}{C_u} \varepsilon_c < \varepsilon_y$$

Ternyata anggapan baja tulangan tekan meleleh tidak terpenuhi. Anggaplah letak garis netral sebagai bilangan x . Dengan menyamakan $(C_c + C_s)$ dengan T_s , menjadi suatu persamaan kuadrat.

Di mana :

$$\varepsilon_s' = \frac{a - d'}{a} \varepsilon_c$$

$$f_s' = \varepsilon_s' \times E_s$$

$$C_s = (f_s' - 0,85f'_c)A_s'$$

Sehingga :

$$0,85f'_c \times a \times B + \left[\frac{a - d'}{a} (0,003 \times 200.000) - 0,85f'_c \right] A_s' = f_y \times A_s$$

Maka didapat nilai a

$$C_u = \frac{a}{\beta}$$

$$C_c = 0,85 \times f'c \times a \times B$$

$$C_s = (f's - 0,85f'c)A'_s$$

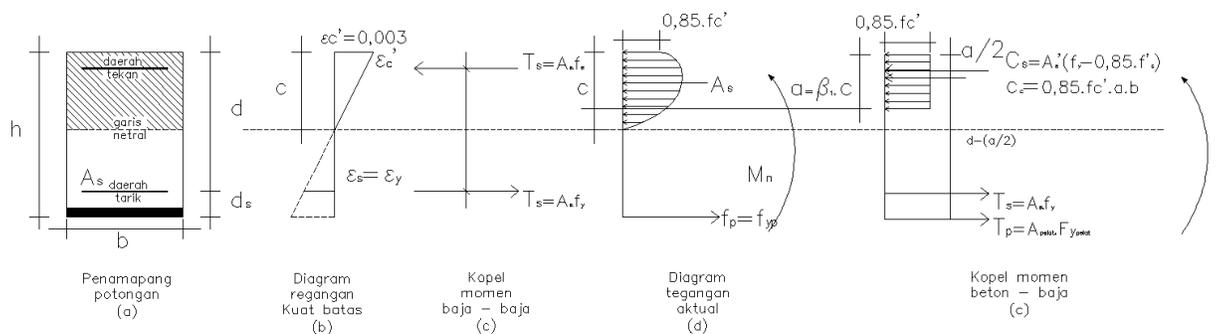
Momen Nominal (M_n) :

$$M_n = C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d')$$

Prediksi beban diterima

$$M_n = \frac{1}{6,1} Pl \quad \text{maka, } P = \frac{6,1M_n}{l}$$

3.8.2 Balok Beton Dengan Menggunakan Pelat Baja



Gambar 3.10 Potongan Dan Gaya-Gaya Pada Balok Dengan Perkuatan Pelat Baja

Kadaan Balanced

$$\frac{C_b}{\varepsilon_c} = \frac{d}{\varepsilon_c + [f_y/\varepsilon_s]}$$

$$C_b = \frac{600d}{600 + f_y}$$

$$a = 0,85C_b$$

$$\varepsilon_s = \frac{(a-d)}{a} x(\varepsilon_c) > \varepsilon_y = \frac{f_y}{\varepsilon_s}$$

Karena : $\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$, kriteria untuk melelehnya baja tulangan tekan telah terpenuhi

a. Keadaan Sebenarnya

- Anggap baja tulangan leleh, maka $f_y = f_s$.

$$C_c = 0,85 \times f'c \times a \times B$$

$$C_s = A_s'(f_y - 0,85f'c)$$

$$T_s = (A_s \times f_{kap}) + (A_p \times f_{kap\ plat})$$

$$T_s = C_c + C_s$$

Maka didapat nilai a

$$C_u = \frac{a}{\beta}$$

Cek baja tulangan :

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$$

$$\varepsilon_s = \frac{C_u - d'}{C_u} \varepsilon_c$$

Karena : $\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$,kriteria untuk melelehnya baja tulangan tekan telah terpenuhi

$$C_c = 0,85 \times f'c \times a \times B$$

$$C_s = (f's - 0,85f'c)A_s'$$

Momen Kapasitas (M_{kap}) :

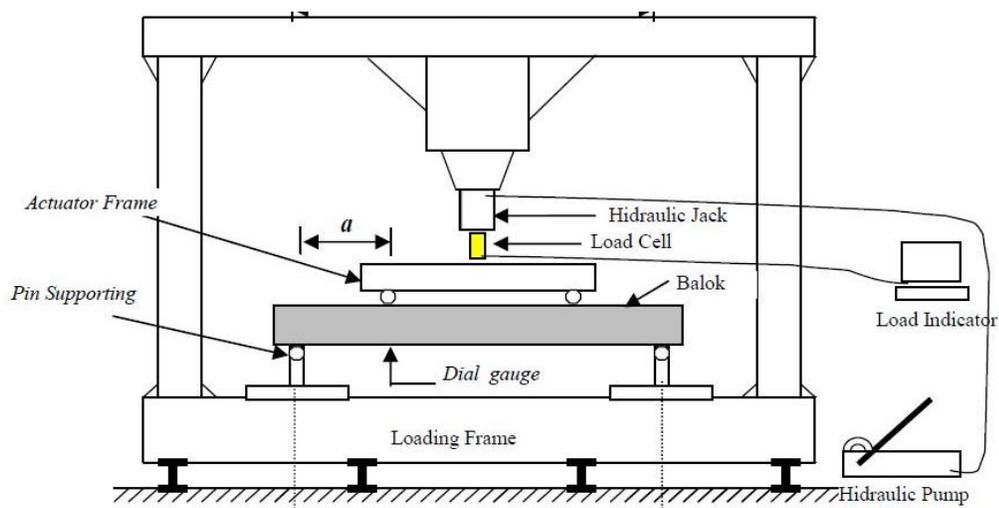
$$M_{kap} = \left(C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \right) \times \phi$$

Prediksi beban diterima

$$P = \frac{M_{kap} - 0,669}{0,388}$$

3.7 Pengujian Kuat Tekan Balok Beton Bertulang

Pada penelitian ini akan digunakan metode pengujian balok beton dengan sistem pembebanan dua titik menurut SNI 03-4431-1997. Metode pengujian ini dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan dalam melaksanakan pengujian kuat lentur beton di laboratorium. Tujuan dari pengujian ini untuk memperoleh nilai kuat lentur beton normal guna keperluan perencanaan dan pelaksanaan. Pembebanan yang diberikan pada balok adalah beban titik yang distribusikan menjadi 2 beban terpusat dengan jarak sepertiga bentang seperti yang terlihat pada Gambar 3.14 berikut:



Gambar 3.11 Setting Alat Pengujian Balok

Hubungan beban dan lendutan dapat menggambarkan fleksibilitas dan defleksi yang terjadi pada setiap penambahan beban dari suatu benda uji. Pada pengujian ini data lendutan dari balok diambil pada tengah bentang dan seperempat bentang. Besarnya defleksi diukur dengan menempatkan LVDT pada tempat-tempat tersebut.

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

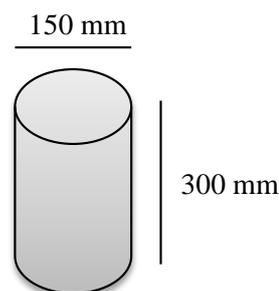
4.1 Umum

Metodologi penelitian merupakan langkah-langkah penelitian atas suatu masalah, kasus, gejala atau fenomena tertentu dengan jalan ilmiah untuk menghasilkan jawaban rasional. Penelitian dilakukan secara eksperimental. Lokasi penelitian di Laboraturium Bahan Kontruksi Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Objek penelitian adalah balok beton bertulang normal dan balok beton bertulang yang diperkuat dengan pelat baja. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan sifat antara balok beton konvensional dan balok beton yang diperkuat dengan pelat baja. Prosedur standar pemeriksaan dan pengujian mengacu pada Panduan Praktikum Bahan Konstruksi Teknik Laboraturium Bahan Konstruksi Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, (2012).

4.2 Persiapan Penelitian

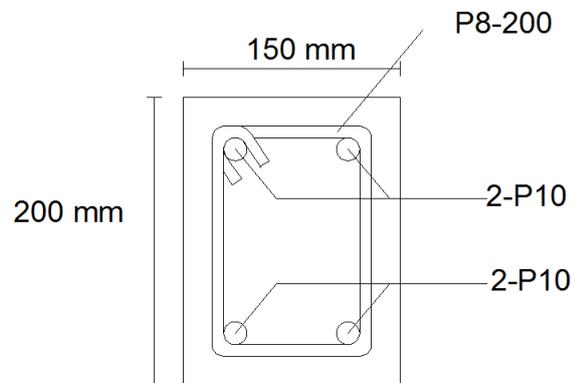
4.2.1 Desain Benda Uji dan Variabel Penelitian

Benda uji dibuat dalam mutu beton yang seragam yaitu $f'c = 20$ MPa dan perbandingan campuran beton yang digunakan didapat dari perhitungan mix desain. Benda uji terdiri dari benda uji terhadap kuat tekan beton berupa silinder dan benda uji kuat lentur balok. Silinder untuk kuat tekan beton dengan dimensi seperti pada Gambar 4.1 berikut:



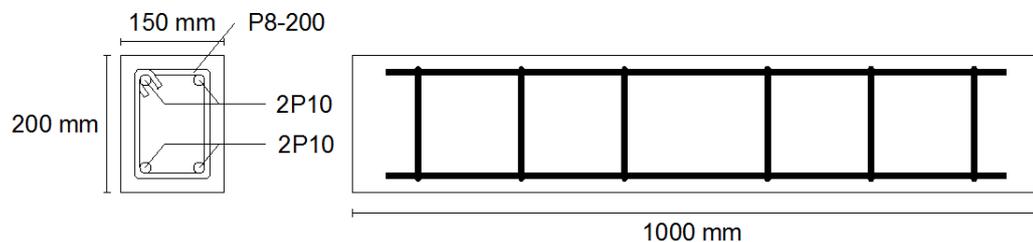
Gambar 4.1 Benda Uji Silinder

Dimensi pada benda uji balok beton bertulang direncanakan dengan dimensi balok pendek dan tinggi yaitu h balok 200 mm, b balok 150 mm dan panjang balok 1000 mm. Hal ini dilakukan agar benda uji mengalami runtuh lentur pada saat pengujian dilakukan.



Gambar 4.2 Dimensi Balok Uji

Selain dimensi benda uji balok, penggunaan tulangan lentur juga didesain sedemikian rupa agar mendukung terjadinya runtuh lentur. Tulangan sengkang yang digunakan menggunakan besi $\varnothing 8$ dengan jarak yang renggang yaitu 160 mm.



Gambar 4.3 Penampang Memanjang Balok Uji

Semua balok kecuali balok kontrol diperkuat dengan pelat baja jenis striplat yang arah seratnya tegak lurus terhadap sumbu longitudinal balok. Metode perkuatan yang diteliti adalah metode perkuatan lentur. Batang pelat baja yang digunakan lebar 50 mm dengan tebal pelat 12 mm. Desain ini digunakan pada ketiga balok uji. Kemudian hasil dari ketiga sampel tersebut diambil perbandingan

dengan sampel balok kontrol sehingga data yang diperoleh lebih akurat. Penamaan dan parameter balok uji dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1. Penamaan dan Parameter Balok Uji

No	Kode Balok	Jumlah pelat stip	Lebar (mm)	Tebal (mm)
1.	BK 1 - Balok Kontrol	-	-	-
2.	BP 1 – Balok Pelat	3	50	12
3.	BP 2 – Balok Pelat	3	50	12
4.	BP 3 – Balok Pelat	3	50	12

4.2.2 Bahan Penyusun Benda Uji

Benda uji yang akan diteliti pada penelitian ini memerlukan beberapa jenis bahan dalam pembuatannya. Bahan – bahan yang diperlukan diantaranya adalah:

1. Semen. Benda uji yang akan dibuat dalam penelitian ini menggunakan *Portland Cement* (PC) dengan merk Semen Gresik
2. Air. Air yang akan digunakan pada pembuatan benda uji pada penelitian ini menggunakan air yang berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik.
3. Agregat Kasar. Untuk pembuatan benda uji pada penelitian ini akan menggunakan agregat yang berasal dari daerah Merapi.
4. Agregat Halus. Untuk pembuatan benda uji pada penelitian ini akan menggunakan pasir yang berasal dari daerah Merapi yang tidak dicuci dan ditumbuk halus. Pasir yang digunakan adalah pasir yang lolos saringan 5 mm.
5. Baja Tulangan. Tulangan longitudinal yang akan dipakai pada penelitian ini merupakan jenis tulangan polos dengan diameter tulangan pokok 10 mm dan tulangan sengkang 8 mm.
6. Pelat Baja. Pelat baja yang digunakan pada penelitian ini adalah lembaran berbentuk stripelat Baja. Bahan ini digunakan karena pemasangan mudah. Material pelat baja banyak ditemukan di toko baja.
7. Lem Perekat. Untuk merekatkan serat karbon ke balok beton, akan digunakan epoxy adhesive khusus komposit pelat baja. Bahan perekat ini menggunakan merek dagang Sikadur[®]-31 CF Normal dengan spesifikasi terlampir pada Lampiran L-1.

4.2.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ember dan Cetok. Ember digunakan sebagai wadah untuk menempatkan pasir dan semen untuk kemudian ditimbang sebelum pencampuran. Cetok digunakan sebagai alat untuk mengambil, mengaduk dan meratakan dalam proses pembuatan benda uji pada penelitian ini.
2. Roll dan Kuas. Roll dan kuas digunakan untuk melapisi balok beton dengan resin dan mempenetrasi bahan serat karbon.
3. Timbangan. Timbangan digunakan sebagai alat ukur berat semen, agregat serta untuk mengukur berat bersih benda uji yang telah dicetak.
4. Saringan. Saringan dengan ukuran 5 mm dan 2 mm, berfungsi untuk menyaring agregat halus dari gumpalan- gumpalan agar mendapatkan ukuran yang diinginkan.
5. Gelas Ukur. Gelas ukur yang digunakan pada penelitian ini memiliki ukuran 1 liter sebagai alat pengukur takaran air yang dibutuhkan pada campuran material benda uji.
6. Mesin Pengaduk Beton (*Mollen*). Mesin pengaduk digunakan sebagai alat pengaduk campuran seluruh bahan bahan pembuatan benda uji sebelum dimasukkan kedalam cetakan.
7. Cetakan Balok Beton (*Bekisting*). Cetakan balok beton terbuat dari papan kayu untuk mencetak benda uji berupa balok beton bertulang.
8. Blok Tumpuan. Dua buah blok tumpuan, satu buah blok beban (untuk pengujian dengan sistem satu beban), atau satu buah blok beban dengan dua titik beban yang berjarak tertentu (untuk pengujian dengan sistem dua beban) untuk menyalurkan beban terpusat dari mesin uji tekan. Dimana baik blok beban maupun blok tumpuan yang menempel pada benda uji harus merupakan setengah silinder yang sumbunya berimpit dengan sumbu batang putar blok tumpuan sendi atai blok beban, atau berimpit dengan sumbu putar bola blok tumpuan rol, dan dapat berputar minimal 45°. Ketidakrataan permukaan blok maksimal 0,05 mm.

9. Mesin uji tarik Baja. Mesin pengujian tarik baja berfungsi untuk mengetahui gaya atau tegangan tarik kepada material dengan maksud untuk mengetahui atau mendeteksi kekuatan dari suatu material. Mesin uji tarik yang digunakan adalah UTM Shimatsu dengan kapasitas 3000 kN.
10. Mesin uji tekan. Mesin pengujian tekan dilengkapi hidrolis yang dapat memberikan beban dengan kecepatan kontinu dalam satu kali gerakan, tanpa memberikan efek kejutan dan mempunyai ketelitian pembacaan beban maksimum 0,5 kN.

4.3 Pelaksanaan Penelitian

4.3.1 Pengujian Bahan

Pemeriksaan karakteristik agregat halus dan kasar masing - masing terdiri dari 3 macam pemeriksaan yang perlu dilakukan sebelum melakukan pembuatan benda uji karena bertujuan untuk mengetahui kondisi agregat secara fisik. Adapun pemeriksaan tersebut meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus, pengujian analisa saringan agregat halus dan pengujian berat volume padat atau gembur agregat halus.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

a. Deskripsi

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus bertujuan sebagai pegangan dalam pengujian untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu, dan angka penyerapan air dalam agregat halus (Teknologi Bahan Konstruksi, 2012).

b. Pelaksanaan

1) Peralatan Pengujian

- a) Timbangan kapasitas 2500 gr atau lebih dengan ketelitian 0,1 gr
- b) Piknometer kapasitas 500 ml
- c) Kerucut terpancung, diameter atas (40 ± 3) mm, diameter bawah (90 ± 3) mm dan tinggi (75 ± 3) mm, terbuat dari logam dengan tebal minimum 0,80 mm

- d) Batang penumbuk yang mempunyai bidang penumbuk rata, berat (340 ± 15) gram dan diameter permukaan penumbuk (25 ± 3) mm
 - e) Saringan No.4 (4,75 mm)
 - f) Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$
 - g) Pengukur suhu dengan ketelitian pembacaan 1°C
 - h) Talam
 - i) Bejana tempat air
 - j) Desikator
- 2) Benda Uji
- Benda uji adalah agregat yang lolos pada saringan no 4 dan digunakan sebanyak 1000 gram
- 3) Tata Cara Pengujian
- a) Mengeringkan benda uji didalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap. Dinginkan pada suhu ruang, kemudian rendam dalam air pada suhu ruang selama 24 jam
 - b) Membuang air perendaman dengan hati-hati jangan ada butiran yang terbang, tebarkan agregat kedalam talam, keringkan diudara panas dengan cara membalik-balikkan benda uji, sampai keadaan kering permukaan jenuh (SSD)
 - c) Memeriksa keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisikan benda uji kedalam kerucut terpancung, padatkan dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali dan ratakan permukaannya, keadaan kering permukaan jenuh tercapai bila kerucut terpancung diangkat, benda uji runtuh akan tetapi masih dalam keadaan tercetak
 - d) Apabila telah tercapai keadaan kering permukaan jenuh segera memasukkan benda uji sebanyak 500 gram ke dalam piknometer, lalu masukkan air suling sebanyak 90 % isi

piknometer, putar piknometer sambil di guncangkan sampai tidak terlihat gelembung udara didalamnya.

- e) Merendam piknometer dalam air dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan terhadap suhu air standar 25°C.
- f) Menambahkan air sampai mencapai tanda batas
- g) Menimbang piknometer yang berisi benda uji dan air sampai ketelitian 0,1 gr (Bt)
- h) Mengeluarkan benda uji dari piknometer, kemudian keringkan dalam oven dengan suhu (110±5)°C sampai berat tetap, lalu dinginkan benda uji dalam desikator
- i) Setelah benda uji dingin lalu ditimbang (Bk)
- j) Menimbang berat piknometer penuh berisi air (B) dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan terhadap suhu air standar 25°C.

c. Perhitungan

Berat jenis pasir dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Berat jenis pasir} = \frac{B_2}{B_3 + B_0 - B_1}$$

dengan:

B_0 = Berat pada kondisi jenuh kering muka

B_1 = Berat piknometer berisi agregat dan air

B_2 = Berat agregat setelah kering oven

B_3 = Berat piknometer berisi air

d. Hasil Pengujian

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus dapat dilihat pada table 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

	Contoh 1	Contoh 2	Rata-rata	Satuan
Berat Jenis Curah	2.7852	2.8410	2.8131	gr/cm ³
Berat Jenis Jenuh Kering Muka	2.8409	2.8902	2.8655	gr/cm ³
Berat Jenis Semu	2.9495	2.9878	2.9687	gr/cm ³
Penyerapan Air	1.9992	1.7294	1.8643	%

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus (Lolos Saringan No.50)

a. Deskripsi

Pemeriksaan ini bermaksud sebagai acuan dalam pengujian untuk menentukan persentase ukuran agregat yang akan digunakan dalam pembuatan balok beton.

b. Pelaksanaan

1) Peralatan Pengujian

- a) Timbangan kapasitas 2500 gr atau lebih dengan ketelitian 0,1 gr
- b) Saringan 0,30 mm (No 50)
- c) Tempat air untuk pencucian (kran) atau saluran air mengalir
- d) Cawan, sendok
- e) Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$
- f) Kain lap

2) Benda Uji

Benda uji adalah Agregat kering tungku yang lolos saringan No 4 (4,475) dengan ukuran benda uji:

- a) Maksimum 2,35 mm, berat contoh minimum = 100 gram.
- b) Maksimum 4,74 mm, berat contoh minimum = 500 gram.

3) Tata Cara Pengujian

- a) Mengeringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap dan timbang dengan ketelitian 0,1 gram.

- b) Meletakkan benda uji dalam saringan dan alirkan air di atasnya.
- c) Menggerakkan benda uji dalam saringan dengan aliran air yang cukup deras, secukupnya sehingga yang halus menembus saringan No 50 dan bagian yang kasar tertinggal di atasnya.
- d) Mengeringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ} \text{C}$ sampai berat tetap dan timbang dengan ketelitian 0,1 gram.

c. Perhitungan

Persentase pasir yang lolos saringan no. 50 dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Persentase pasir lolos saringan no. 50} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$

dengan:

W_1 = Berat pasir total

W_2 = Berat pasir yang tidak lolos saringan

d. Hasil Pengujian

Pasir ini termasuk dalam gradasi no. 2 yaitu jenis gradasi pasir sedang. Kemudian didapatkan MHB sebesar 1.9779.

3. Pengujian Berat Volume Padat atau Gembur agregat Halus

a. Deskripsi

Pemeriksaan ini bermaksud sebagai acuan dalam pengujian untuk menentukan berat volume padat/gembur agregat halus. Berat volume padat adalah nilai indeks dari massa agregat per-satuan volume dalam kondisi padat. Berat volume gembur adalah nilai indeks dari massa agregat persatuan volume dalam kondisi tidak padat/gembur.

b. Pelaksanaan

1) Peralatan Pengujian

- a) Timbangan kapasitas 2500 gr atau lebih dengan ketelitian 0,1 gr.
- b) Silinder kapasitas 5 liter
- c) Alat penumbuk dengan diameter 16 mm dan panjang 600 mm

- d) Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$
 - e) Talam dan sekop
- 2) Benda Uji
Benda uji adalah Agregat halus /pasir yang telah dikeringkan.
- 3) Tata Cara Pengujian
- a) Mengeringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ sampai berat tetap.
 - b) Mengeluarkan benda uji dari oven lantas dinginkan pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram.
 - c) Meletakkan silinder ukur pada tempat yang datar untuk pengujian berat volume padat masukkan benda uji masukkan benda uji per 1/3 bagian dan tipa bagian di tumbuk 25 kali merata, lalu diratakan, dikerjakan sampai volume penuh. Sedang untuk pengujian berat volume gembur benda uji dimasukkan dalam silinder ukur sampai penuh (tanpa pemadatan lalu diratakan.
 - d) Menimbang berat silinder benda uji dan mencatat berapa beratnya.
 - e) Menghitung volume silinder.

c. Perhitungan

Pemeriksaan ini dilakukan masing masing yaitu yaitu pemeriksaan berat volume gembur tanpa adanya pemadatan pada pasir dan pemeriksaan berat volume padat dengan adanya pemadatan pada pasir. Untuk masing masing pemeriksaan dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang sama. Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Berat volume pasir} = \frac{W_2 - W_1}{V}$$

dengan:

W_1 = Berat silinder

W_2 = Berat silinder berisi pasir

V = Volume silinder

d. Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitunga berat isi padat agregat halus sebesar $1,5369 \text{ gram/cm}^3$ dan berat isi gembur agregat halus sebesar $1,2616 \text{ gram/cm}^3$.

4. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

a. Deskripsi

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dimaksudkan sebagai pegangan dalam pengujian untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu dan angka penyerapan air dalam agregat halus/pasir (Teknologi Bahan Konstruksi, 2012).

b. Pelaksanaan

1) Peralatan Pengujian

- a) Timbangan kapasitas 20000 gram atau lebih, dengan ketelitian 0,1 gram dan dilengkapi dengan alat penggantung keranjang
- b) Keranjang kawat ukuran 3,35 mm (No.6) atau 2,36 mm (No. 8) dengan kapasitas ± 5000 gram
- c) Tempat air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai untuk pemeriksaan, tempat ini harus dilengkapi dengan pipa sehingga permukaan air tetap
- d) Alat pemisah contoh
- e) Saringan No. 4 (4,75 mm)
- f) Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$.
- g) Pengukur suhu dengan ketelitian pembacaan 1°C .
- h) Kain lap, sekop kecil, dan lain-lain

2) Benda Uji

Benda uji adalah agregat yang tertahan Saringan No. 4 (4,75 mm), diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat (quartering) sebanyak 5000 gram

3) Tata Cara Pengujian

- a) Mencuci benda uji untuk menghilangkan debu atau bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan
- b) Mengeringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap. Sebagai catatan, bila penyerapan dan harga berat jenis digunakan dalam pekerjaan beton, dimana agregat yang digunakan pada kadar air aslinya, maka tidak perlu dikeringkan dalam oven
- c) Mengeluarkan benda uji, lalu dinginkan pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram (Bk)
- d) Merendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama (24 ± 4) jam
- e) Mengeluarkan benda uji dari air, lap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang, untuk butiran yang besar harus satu persatu
- f) Menimbang benda uji kering permukaan jenuh (Bj)
- g) Meletakkan benda uji dalam keranjang, guncangkan batunya untuk mengeluarkan udara yang terperangkap dan tentukan beratnya didalam air (Ba), dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan untuk suhu standar 25°C
- h) Banyak jenis bahan campuran yang mempunyai bagian butir-butir yang berat dan ringan. Bahan semacam ini memberikan harga-harga berat jenis yang tidak tetap walaupun pemeriksaan dilakukan dengan teliti. Dalam hal ini beberapa pemeriksaan ulang diperlukan untuk mendapatkan harga rata-rata yang memuaskan.

c. Perhitungan

Berat Jenis Curah (*Bulk Specific Gravity*)

$$= \frac{Bk}{Bj - Ba}$$

Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD)

$$= \frac{Bj}{Bj - Ba}$$

Berat Jenis Semu (*Apparent Specific Gravity*)

$$= \frac{Bk}{Bk - Ba}$$

$$\text{Penyerapan } \%100 = \frac{Bj}{Bj - Ba}$$

dengan:

Bk = Berat benda uji kering oven (gram)

Bj = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)

Ba = Berat benda uji kering permukaan jenuh didalam air (gram)

d. Hasil Pengujian

Berdasarkan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar diperoleh hasil seperti pada table 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

	Contoh 1	Contoh 2	Rata-rata	Satuan
Berat Jenis Curah	3.5143	4.1217	3.8180	gr/cm ³
Berat Jenis Jenuh Kering Muka	3.5714	4.1667	3.8690	gr/cm ³
Berat Jenis Semu	3.7273	4.3159	4.0216	gr/cm ³
Penyerapan Air	1.6260	1.0918	1.3589	%

5. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

a. Deskripsi

Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pengujian untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat kasar dengan saringan. Sedangkan tujuan pengujian ini adalah agar mahasiswa dapat memahami tentang cara pengujian serta klasifikasi agregat kasar berdasarkan butirannya.

b. Pelaksanaan

1) Peralatan Pengujian

- a) Timbangan kapasitas 20000 gram atau lebih dengan ketelitian 0,2 % dari berat contoh
- b) Satu set saringan : 75 mm (3"), 63,5 mm (2½"), 50,8 mm (2"), 38,1 mm (1½"), 19 mm (¾"), 9,5 mm (3/8"), 4,75 mm (No. 4), 2,36 mm (No. 8), 1,18 mm (No. 16), 0,600 mm (No. 30), 0,300 mm (No. 50), 0,150 mm (No. 100), pan dan tutup saringan.
- c) Alat pemisah contoh
- d) Mesin pengguncang/penggetar saringan
- e) Oven yang dilengkapi pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$
- f) Talam, sikat kawat kuningan halus, kuas, dan lain-lain

2) Benda Uji

Benda uji adalah agregat kasar/kerikil/split dan sejenisnya yang butirannya kasar. Benda uji disiapkan berdasarkan standar yang berlaku.

3) Tata Cara Pengujian

- a) Mengeringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap. Sebaiknya untuk mendapatkan hasil dengan ketelitian tinggi, dilakukan minimal 2 kali pengujian
- b) Mengeluarkan benda uji, lalu dinginkan pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram
- c) Menyusun saring dari yang lubangnya paling besar dari atas kebawah (jangan terbalik), masukkan benda uji dan langsung di ayak. Bila tidak tersedia saringan dan mesin pengguncang

dengan kapasitas besar, maka pengayakan dilakukan dengan cara manual

- d) Mengeluarkan benda uji dari masing-masing saringan dan letakkan masing-masing pada talam (jangan sampai ada yang tercecer)
- e) Menimbang dan catat berat benda uji yang tertahan di masing-masing saringan. Dalam pembersihan saringan, gunakan sikat kawat untuk saringan dengan lubang besar, dan kuas untuk lubang yang halus.

c. Perhitungan

Persentase pasir yang lolos saringan no. 50 dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Persentase pasir lolos saringan no. 50} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$

dengan:

W_1 = Berat pasir total

W_2 = Berat pasir yang tidak lolos saringan

Menurut standar pembuatan bata beton pejal persentase lolos saringan no. 50 yaitu minimal harus lebih besar dari 95 %.

d. Hasil Pengujian

Kerikil ini termasuk dalam gradasi no.1 yaitu jenis gradasi kerikil kasar. Kemudian didapatkan MHB sebesar 7.8279

6. Pengujian Berat Volume Padat/Gembur Agregat Kasar

a. Deskripsi

Metode ini dimaksudkan sebagai acuan dalam pengujian untuk menentukan berat volume padat/gembur agregat kasar. Sedangkan tujuan pengujian ini adalah agar mahasiswa dapat memahami tentang cara pengujian serta klasifikasi agregat kasar berdasarkan berat volume.

b. Pelaksanaan

1) Peralatan Pengujian

- a) Timbangan kapasistas 20000 gram atau lebih dengan ketelitian 0,1 % dari berat contoh
 - b) Silinder/tabung kapasistas 10 liter
 - c) Alat penumbuk dengan diameter 16 mm dan panjang 600 mm
 - d) Oven yang dilengkapi pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$
 - e) Talam dan sekop
- 2) Benda Uji
- Benda uji adalah agregat kasar/kerikil/split dan sejenisnya yang telah dikeringkan.
- 3) Tata Cara Pengujian
- a) Mengeringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap
 - b) Mengeluarkan benda uji dari oven lantas dinginkan pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram
 - c) Meletakkan silinder ukur pada tempat yang datar. Untuk pengujian berat volume padat, masukkan benda uji per 1/3 bagian dan tiap bagian di tumbuk 25 kali merata, lalu diratakan, dikerjakan sampai volume penuh. Sedang untuk pengujian berat volume gembur, benda uji dimasukkan dalam silinder sampai penuh (tanpa pemadatan) lalu diratakan.
 - d) Menimbang berat silinder berisi benda uji dan dicatat beratnya
 - e) Menghitung volume silinder

c. Perhitungan

Pemeriksaan ini dilakukan masing masing yaitu yaitu pemeriksaan berat volume gembur tanpa adanya pemadatan pada pasir dan pemeriksaan berat volume padat dengan adanya pemadatan pada pasir. Untuk masing masing pemeriksaan dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang sama. Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Berat volume pasir} = \frac{W_2 - W_1}{V}$$

dengan:

W_1 = Berat silinder

W_2 = Berat silinder berisi pasir

V = Volume silinder

d. Hasil Pengujian

Hasil pengujian berat isi padat agregat kasar sebesar 1,3262 $gram/cm^3$ dan berat isi gembur agregat kasar sebesar 1,2648 $gram/cm^3$

4.3.2 Metode Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah balok beton bertulang yang memiliki ukuran cetakan 20 cm x 15 cm x 100 cm dan silinder untuk pengujian mutu beton. Volume balok beton berserat dapat dihitung sebagai berikut:

1. Volume cetakan beton bertulang

$$\begin{aligned} \text{a. Vol. Balok} &= P \times L \times T \\ &= (1,0 \times 0,15 \times 0,2) \text{ m} \\ &= 0,03 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Vol. Silinder} &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\ &= 0,25 \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3 \\ &= 0,0053 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

2. Volume total seluruh sampel beton

$$\begin{aligned} \text{Volume total} &= 4 \times V_{\text{balok}} + 4 \times V_{\text{silinder}} \\ &= 4 \times 0,03 + 4 \times 0,0053 \\ &= 0,1412 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Pembuatan benda uji akan dibuat di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia. Metode pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

1. Membuat bekisting berbentuk persegi panjang tanpa tutup. Bekisting akan digunakan sebagai cetakan campuran beton.

2. Merangkai tulangan yang akan digunakan pada balok beton bertulang sesuai desain yang telah ditentukan. Kemudian menempatkan tulangan pada bekisting sesuai posisi yang telah didesain sebelumnya.
3. Menentukan perhitungan mix desain berdasarkan standar SNI 03-2834-2000. Langkah ini menentukan jumlah material yang diperlukan untuk campuran beton.
4. Berikutnya yang dilakukan adalah dengan melakukan perhitungan dan penimbangan bahan susun balok beton yaitu semen, agregat halus, agregat kasar dan air.
5. Kemudian agregat kasar dan halus yang telah dikumpulkan digelar dan dianginkan.
6. Semen, agregat kasar, dan agregat halus yang telah siap dipakai disiapkan ke masing-masing ember agar siap dicampurkan ke mixer. Masukkan semua bahan campuran agregat ke dalam mixer kemudian nyalakan mixer.
7. Saat mixer mulai mengaduk, masukkan air secara perlahan-lahan dan merata menggunakan gayung. Tunggu 5 menit atau sampai tercampur merata campurannya.
8. Buka lubang pengeluaran hasil adukan.
9. Kemudian sebagian adukan campuran diangkat menggunakan sekop dan dituangkan kedalam pan untuk diuji slump.
10. Setelah pengujian slump memenuhi kriteria, seluruh campuran beton dituang ke dalam bekisting yang telah disiapkan. Tuang campuran sedikit demi sedikit untuk memampatkan beton di dalam bekisting dan untuk menghindari adanya rongga udara.
11. Sebagian campuran beton dituang ke dalam cetakan silinder untuk pengujian kuat tekan beton. Penuangan dilakukan berurutan setelah dituang ke dalam bekisting balok kemudian sisanya dituang ke cetakan silinder. Jumlah silinder total sama dengan jumlah benda uji.
12. Setelah semua campuran dimasukkan ke dalam bekisting kemudian dimampatkan dengan linggis dan dipukul – pukul sisinya menggunakan palu karet.

13. Setelah itu memindahkan balok beton yang telah dicetak ketempat yang aman agar tidak mengganggu proses pekerjaan pembuatan dan pencetakan benda uji variasi berikutnya.
14. Kemudian menjemur benda uji balok beton selama 1 hari dan tunggu hingga balok beton mengeras dengan sempurna pada umur 28 hari, balok beton siap diuji desak.
15. Untuk balok beton dengan perkuatan pelat baja stripplat akan dipasang pada umur beton 2 minggu setelah dilakukan pengujian. Pemasangan stripplat dilakukan dengan menggunakan langkah - langkah khusus seperti berikut:
 - a. Membersihkan dan menghaluskan permukaan beton yang akan dipasang serat karbon agar tidak ada kotoran yang menempel dan mengganggu proses pemasangan platsrip. Dalam penelitian ini yang akan dipasang serat platstip bagian penampang bawah balok.
 - b. Membuat campuran primer dengan mencampur bahan resin dua komponen sesuai komposisi pabrik. Bahan dicampur dan diaduk sampai homogen dengan paddle mixer selama 3 menit.
 - c. Melapisi permukaan balok dengan material primer epoxy adhesive Sikadur[®]-CF Normal menggunakan cetok secara merata pada bentang yang diinginkan rata-rata 0,4 kg/ m².
 - d. Setelah lapisan primer setengah kering (*tacky*) kurang lebih 5 - 10 menit, segera ditempelkan pelat baja stripplat sesuai arah perkuatan. Agar melekat sempurna, permukaan pelat baja dibuat kasar dan dipres dengan kawat.
16. Benda uji yang telah diperkuat kemudian disimpan dalam waktu kurang lebih satu minggu untuk mendapatkan daya rekat pelat baja dengan balok beton bertulang yang optimal.
17. Setelah semua benda uji siap kemudian diletakkan pada alat uji hidrolis untuk diuji tekan.
18. Hasil uji tekan masing- masing variasi dicatat, kemudian diolah sehingga menghasilkan besar kuat lentur untuk masing-masing variasi benda uji.
19. Melakukan analisis data.

4.3.3 Perawatan Benda Uji

Setelah Benda uji berupa balok beton bertulang mengeras dan dibuka dari cetaknya perlu dilakukan perawatan beton pada benda uji. Perawatan balok beton dilakukan agar mutu beton tidak berubah atau berkurang dan mencegah pengerasan beton secara mendadak akibat suhu panas matahari. Pengerasan beton secara mendadak dapat menimbulkan retak-retak pada permukaan beton. Hal ini dapat terjadi karena beton belum mengikat secara sempurna. Selain itu kelembaban pada permukaan benda uji juga dapat menambah ketahanan beton terhadap cuaca dan lebih cepat terhadap air.

Perawatan pada bata beton ringan berserat biasanya dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Menempatkan balok beton bertulang segar di dalam ruangan yang lembab.
2. Menempatkan balok beton bertulang segar didalam genangan air
3. Menyelimuti seluruh permukaan balok beton bertulang dengan karung goni basah.

Untuk perawatan balok beton bertulang yang telah diperkuat dengan serat karbon, dilakukan agar lapisan serat karbon dapat menempel dengan sempurna pada permukaan beton. Oleh karena itu, balok beton yang diperkuat dilindungi dari sinar matahari secara langsung karena mengakibatkan lapisan coating lebih lama mengeras dan kehilangan daya lekatnya.

4.4 Metode Pengujian dan Analisis Data

4.4.1 Pengujian Lentur Balok Beton Bertulang

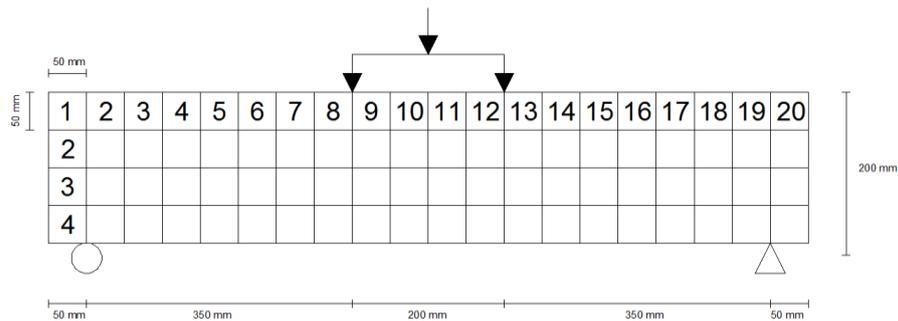
1. Deskripsi

Kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji yang diberikan padanya, sampai benda uji patah.

2. Pelaksanaan

- a. Peralatan Pengujian

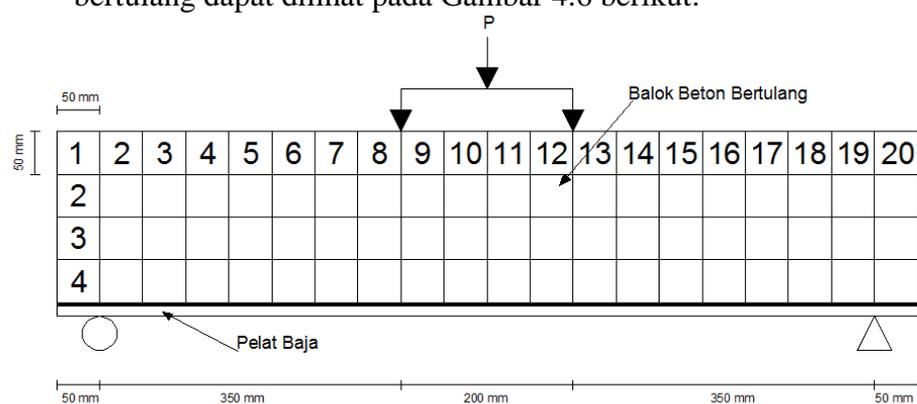
- 1) Mesin uji tekan yang dapat memberikan beban dengan kecepatan kontinu dalam satu kali gerakan, tanpa memberikan efek kejutan dan mempunyai ketelitian pembacaan beban maksimum 0,5 kN.
 - 2) Dua buah blok tumpuan, satu buah blok beban (untuk pengujian dengan sistem satu beban), atau satu buah blok beban dengan dua titik beban yang berjarak tertentu (untuk pengujian dengan sistem dua beban) untuk menyalurkan beban terpusat dari mesin uji tekan. Dimana baik blok beban maupun blok tumpuan yang menempel pada benda uji harus merupakan setengah silinder yang sumbunya berimpit dengan sumbu batang putar blok tumpuan sendi atau blok beban, atau berimpit dengan sumbu putar bola blok tumpuan rol, dan dapat berputar minimal 45°. Ketidakteraturan permukaan blok maksimal 0,05 mm.
 - 3) Alat ukur panjang dengan panjang 1000 mm dan ketelitian 1 mm, dan jangka sorong.
 - 4) Timbangan dengan kapasitas 35 kg dan ketelitian 10 gram.
 - 5) Gerinda
 - 6) Peralatan kaping.
- b. Benda Uji
- Benda uji adalah balok beton berulang yang memiliki ukuran 15 cm x 20 cm x 100 cm yang dibuat dan dimatangkan (*curing*) di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia dan umur benda uji 28 hari.
- c. Tata Cara Pengujian
- 1) Pengujian balok beton bertulang (Balok Kontrol).
 - (1) Mengukur dan mencatat dimensi penampang benda uji dengan jangka sorong, minimal di tiga tempat. Kemudian mengukur dan mencatat panjang benda uji pada keempat rusuknya.
 - (2) Menimbang dan mencatat berat benda uji.
 - (3) Membuat garis-garis grid dengan ukuran 50 mm x 50 mm pada balok untuk menandai titik tumpuan dan pembacaan arah keretakan pada balok seperti pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Pembuatan Grid

- (4) Meletakkan blok tumpuan dengan jarak antara kedua blok tumpuan tertentu sesuai dengan panjang benda uji.
 - (5) Menempatkan benda uji yang sudah ditimbang, diukur, dan diberi tanda diatas dua blok tumpuan/perletakan, sedemikian sehingga letak benda uji tepat pada pusat tumpuan, dengan kedudukan sisi benda uji pada waktu pengecoran berada dibagian samping.
 - (6) Meletakkan blok beban pada titik pembebanan pada benda uji, sesuai dengan jumlah beban.
 - (7) Menjalankan mesin tekan, atur titik beban uji dari mesin tekan sehingga tepat ditengah-tengah blok beban. Pembebanan harus diatur sedikian sehingga tidak menimbulkan beban kejut.
 - (8) Setelah benda uji patah, hentikan pembebanan dan catat beban maksimum yang menyebabkan benda uji patah.
- 2) Pengujian balok beton bertulang dengan penambahan pelat baja
- (1) Mengukur dan mencatat dimensi penampang benda uji dengan jangka sorong, minimal di tiga tempat. Kemudian mengukur dan mencatat panjang benda uji pada keempat rusuknya.
 - (2) Menimbang dan mencatat berat benda uji.
 - (3) Membuat garis-garis grid dengan ukuran 50 mm x 50 mm pada balok untuk menandai titik tumpuan dan pembacaan arah keretakan pada balok seperti pada Gambar 4.4

- (4) Meletakkan blok tumpuan dengan jarak antara kedua blok tumpuan tertentu sesuai dengan panjang benda uji.
- (5) Menempatkan benda uji yang sudah ditimbang, diukur, dan diberi tanda diatas dua blok tumpuan/perletakan, sedemikian sehingga letak benda uji tepat pada pusat tumpuan, dengan kedudukan sisi benda uji pada waktu pengecoran berada dibagian samping.
- (6) Meletakkan blok beban pada titik pembebanan pada benda uji, sesuai dengan jumlah beban.
- (7) Menjalankan mesin tekan, atur titik beban uji dari mesin tekan sehingga tepat ditengah-tengah blok beban. Pembebanan harus diatur sedemikian sehingga tidak menimbulkan beban kejut.
- (8) Kecepatan pembebanan harus kontinu. Pada pembebanan sampai $\pm 70\%$ dari beban maksimum yang didapat pada pengujian balok pertama, kecepatan pembebanan boleh lebih cepat dari 6 kN per-menit. Setelah itu sampai terjadi keruntuhan balok uji, kecepatan pembebanan harus diatur antara 4,3 kN s.d 6 kN per-menit.
- (9) Setelah benda diuji 70% dari beban maksimum kemudian diperbaiki menggunakan pelat baja “*stripplat*” dengan metode pemasangan menggunakan lem perekat Sikadur-31 CF Normal metode perkuatan dan tebal lem perekat dengan balok beton bertulang dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut:



Gambar 4.5. Metode Perkuatan Menggunakan *Stripplat*

- (10) Meletakkan blok tumpuan dengan jarak antara kedua blok tumpuan tertentu sesuai dengan panjang benda uji.
- (11) Menempatkan benda uji yang sudah ditimbang, diukur, dan diberi tanda diatas dua blok tumpuan/perletakan, sedemikian sehingga letak benda uji tepat pada pusat tumpuan, dengan kedudukan sisi benda uji pada waktu pengecoran berada dibagian samping.
- (12) Meletakkan blok beban pada titik pembebanan pada benda uji, sesuai dengan jumlah beban.
- (13) Menjalankan mesin tekan, atur titik beban uji dari mesin tekan sehingga tepat ditengah-tengah blok beban. Pembebanan harus diatur sedikian sehingga tidak menimbulkan beban kejut.
- (14) Setelah benda uji patah, hentikan pembebanan dan catat beban maksimum yang menyebabkan benda uji patah.

4.4.2 Analisis Rencana Anggaran Biaya Perkuatan

Berikut adalah metode dalam penetapan harga per meter persegi untuk perkuatan balok beton menurut metode penelitian yang dilakukan:

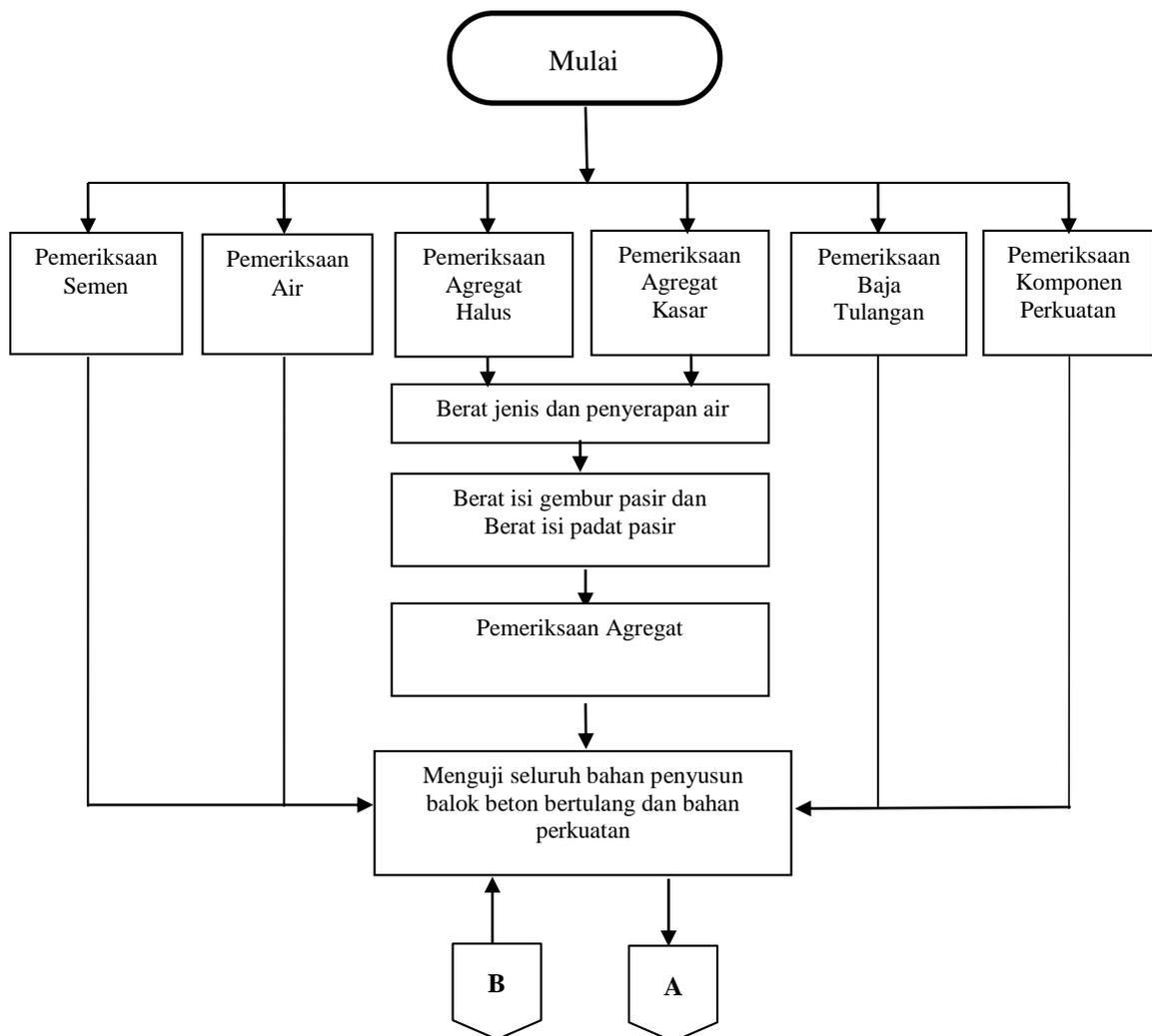
1. Mencatat harga pembelian material balok beton dan material perkuatan berupa pelat stripplat dan lem perekat.
2. Menakar material sesuai dengan kebutuhan sampel dan perkuatan pada luas penampang balok.
3. Menghitung harga satuan masing- masing komponen sampel dan material perkuatan pada balok.
4. Mengitung harga pelaksanaan meliputi, tenaga kerja, alat, dan lain-lain.
5. Mencatat harga satuan pelaksanaan per meter persegi.
6. Mencatat harga komponen penyusun perkuatan per meter persegi.

4.5 Tahap Kesimpulan Penelitian

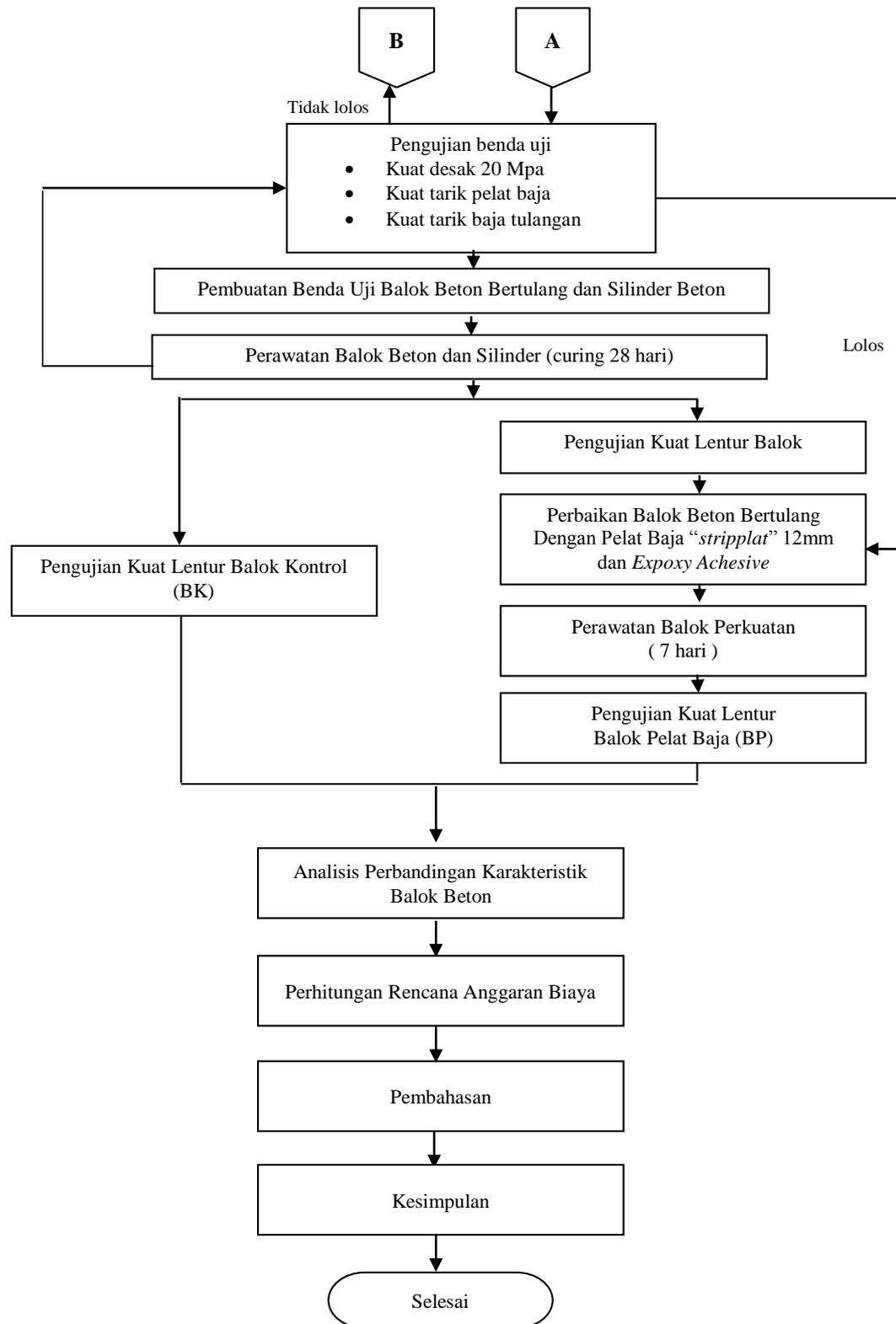
Pada tahap ini untuk menyusun kesimpulan yang berhubungan dengan tujuan penelitian diperoleh berdasarkan analisis data dan pembahasan pada tahap selanjutnya.

4.6 Prosedur Penelitian

Suatu penelitian ilmiah haruslah dilaksanakan dalam sistematika yang jelas dan teratur, sehingga dapat diperoleh hasil yang sesuai dengan tujuan yang dicapai serta dapat dipertanggungjawabkan. Dari uraian diatas dapat dibuat bagan alir (*flowchart*). Bagan alir (*flowchart*) pelaksanaan penelitian perkuatan balok beton bertulang menggunakan *Stripplat* dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Bagan Alur Penelitian



Gambar Lanjutan 4.6 Bagan Alur Penelitian

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

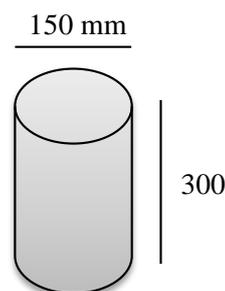
4.1 Umum

Metodologi penelitian merupakan langkah-langkah penelitian atas suatu masalah, kasus, gejala atau fenomena tertentu dengan jalan ilmiah untuk menghasilkan jawaban rasional. Penelitian dilakukan secara eksperimental. Lokasi penelitian di Laboraturium Bahan Kontruksi Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Objek penelitian adalah balok beton bertulang normal dan balok beton bertulang yang diperkuat dengan pelat baja. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan sifat antara balok beton konvensional dan balok beton yang diperkuat dengan pelat baja. Prosedur standar pemeriksaan dan pengujian mengacu pada Panduan Praktikum Bahan Konstruksi Teknik Laboraturium Bahan Konstruksi Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, 2012.

4.2 Persiapan Penelitian

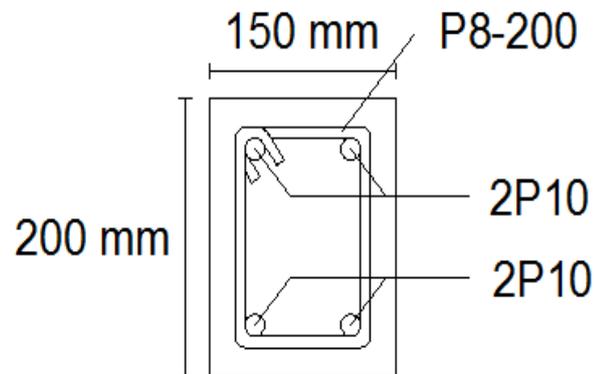
4.2.1 Desain Benda Uji dan Variabel Penelitian

Benda uji dibuat dalam mutu beton yang seragam yaitu $f'c = 20$ MPa dan perbandingan campuran beton yang digunakan didapat dari perhitungan mix desain. Benda uji terdiri dari benda uji terhadap kuat tekan beton berupa silinder dan benda uji kuat lentur balok. Silinder untuk kuat tekan beton dengan dimensi seperti pada Gambar 4.1 berikut:



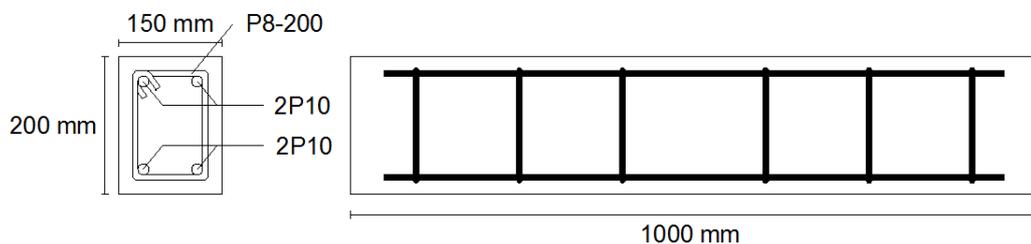
Gambar 4.1 Benda Uji Silinder

Dimensi pada benda uji balok beton bertulang direncanakan dengan dimensi balok pendek dan tinggi yaitu h balok 200 mm, b balok 150 mm dan panjang balok 1000 mm. Hal ini dilakukan agar benda uji mengalami runtuh lentur pada saat pengujian dilakukan.



Gambar 4.2 Dimensi Balok Uji

Selain dimensi benda uji balok, penggunaan tulangan lentur juga didesain sedemikian rupa agar mendukung terjadinya runtuh lentur. Tulangan sengkang yang digunakan menggunakan besi $\varnothing 8$ dengan jarak yang renggang yaitu 160 mm.



Gambar 4.3 Penampang Memanjang Balok Uji

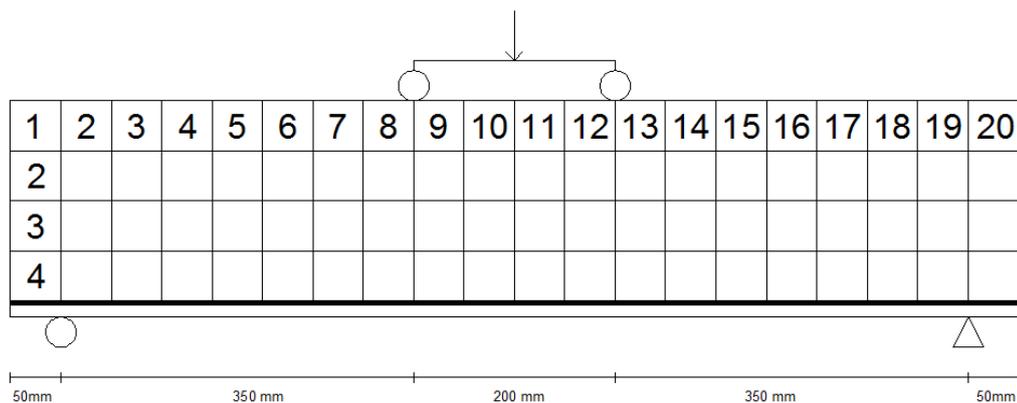
Semua balok kecuali balok kontrol diperkuat dengan pelat baja jenis striplat yang arah seratnya tegak lurus terhadap sumbu longitudinal balok. Metode perkuatan yang diteliti adalah metode perkuatan lentur. Batang pelat baja yang digunakan lebar 50 mm dengan tebal pelat 12 mm. Desain ini digunakan pada ketiga balok uji. Kemudian hasil dari ketiga sampel tersebut diambil perbandingan

dengan sampel balok kontrol sehingga data yang diperoleh lebih akurat. Penamaan dan parameter balok uji dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1. Penamaan dan Parameter Balok Uji

No	Kode Balok	Jumlah pelat stip	Lebar (mm)	Tebal (mm)
1.	BK 1 - Balok Kontrol	-	-	-
2.	BP 1 – Balok Pelat	3	50	12
3.	BP 2 – Balok Pelat	3	50	12
4.	BP 3 – Balok Pelat	3	50	12

Metode perkuatan dan tebal *epoxy adhesive* dengan balok beton bertulang dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut:



Gambar 4.4. Metode Perkuatan Menggunakan *Stipplat*

4.2.2 Bahan Penyusun Benda Uji

Benda uji yang akan diteliti pada penelitian ini memerlukan beberapa jenis bahan dalam pembuatannya. Bahan – bahan yang diperlukan diantaranya adalah:

1. Semen. Benda uji yang akan dibuat dalam penelitian ini menggunakan *Portland Cement (PC)* dengan merk Semen Gresik
2. Air. Air yang akan digunakan pada pembuatan benda uji pada penelitian ini menggunakan air yang berasal dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik.
3. Agregat Kasar. Untuk pembuatan benda uji pada penelitian ini akan menggunakan agregat yang berasal dari daerah Merapi.

4. Agregat Halus. Untuk pembuatan benda uji pada penelitian ini akan menggunakan pasir yang berasal dari daerah Merapi yang tidak dicuci dan ditumbuk halus. Pasir yang digunakan adalah pasir yang lolos saringan 5 mm.
5. Baja Tulangan. Tulangan longitudinal yang akan dipakai pada penelitian ini merupakan jenis tulangan polos dengan diameter tulangan pokok 10 mm dan tulangan sengkang 8 mm.
6. Pelat Baja. Pelat baja yang digunakan pada penelitian ini adalah lembaran berbentuk stripelat Baja. Bahan ini digunakan karena pemasangan mudah. Material pelat baja banyak ditemukan di toko baja.
7. Lem Perekat. Untuk merekatkan serat karbon ke balok beton, akan digunakan epoxy adhesive khusus komposit pelat baja. Bahan perekat ini menggunakan merek dagang Sikadur[®]-31 CF Normal dengan spesifikasi terlampir pada Lampiran L-1.

4.2.3 Peralatan Penelitian

Peralatan yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ember dan Cetok. Ember digunakan sebagai wadah untuk menempatkan pasir dan semen untuk kemudian ditimbang sebelum pencampuran. Cetok digunakan sebagai alat untuk mengambil, mengaduk dan meratakan dalam proses pembuatan benda uji pada penelitian ini.
2. Roll dan Kuas. Roll dan kuas digunakan untuk melapisi balok beton dengan resin dan menembus bahan serat karbon.
3. Timbangan. Timbangan digunakan sebagai alat ukur berat semen, agregat serta untuk mengukur berat bersih benda uji yang telah dicetak.
4. Saringan. Saringan dengan ukuran 5 mm dan 2 mm, berfungsi untuk menyaring agregat halus dari gumpalan- gumpalan agar mendapatkan ukuran yang diinginkan.
5. Gelas Ukur. Gelas ukur yang digunakan pada penelitian ini memiliki ukuran 1 liter sebagai alat pengukur takaran air yang dibutuhkan pada campuran material benda uji.

6. Mesin Pengaduk Beton (*Mollen*). Mesin pengaduk digunakan sebagai alat pengaduk campuran seluruh bahan bahan pembuatan benda uji sebelum dimasukkan kedalam cetakan.
7. Cetakan Balok Beton (*Bekisting*). Cetakan balok beton terbuat dari papan kayu untuk mencetak benda uji berupa balok beton bertulang.
8. Blok Tumpuan. Dua buah blok tumpuan, satu buah blok beban (untuk pengujian dengan sistem satu beban), atau satu buah blok beban dengan dua titik beban yang berjarak tertentu (untuk pengujian dengan sistem dua beban) untuk menyalurkan beban terpusat dari mesin uji tekan. Dimana baik blok beban maupun blok tumpuan yang menempel pada benda uji harus merupakan setengah silinder yang sumbunya berimpit dengan sumbu batang putar blok tumpuan sendi atau blok beban, atau berimpit dengan sumbu putar bola blok tumpuan rol, dan dapat berputar minimal 45° . Ketidakrataan permukaan blok maksimal 0,05 mm.
9. Mesin uji tarik Baja. Mesin pengujian tarik baja berfungsi untuk mengetahui gaya atau tegangan tarik kepada material dengan maksud untuk mengetahui atau mendeteksi kekuatan dari suatu material. Mesin uji tarik yang digunakan adalah UTM Shimatsu dengan kapasitas 3000 kN.
10. Mesin uji tekan. Mesin pengujian tekan dilengkapi hidrolis yang dapat memberikan beban dengan kecepatan kontinu dalam satu kali gerakan, tanpa memberikan efek kejutan dan mempunyai ketelitian pembacaan beban maksimum 0,5 kN.

4.3 Pelaksanaan Penelitian

4.3.1 Pengujian Bahan

Pemeriksaan karakteristik agregat halus dan kasar masing - masing terdiri dari 3 macam pemeriksaan yang perlu dilakukan sebelum melakukan pembuatan benda uji karena bertujuan untuk mengetahui kondisi agregat secara fisik. Adapun pemeriksaan tersebut meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus, pengujian analisa saringan agregat halus dan pengujian berat volume padat atau gembur agregat halus.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

a. Deskripsi

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat halus bertujuan sebagai pegangan dalam pengujian untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu, dan angka penyerapan air dalam agregat halus (Teknologi Bahan Konstruksi, 2012).

b. Pelaksanaan

1) Peralatan Pengujian

- a) Timbangan kapasitas 2500 gr atau lebih dengan ketelitian 0,1 gr
- b) Piknometer kapasitas 500 ml
- c) Kerucut terpancung, diameter atas (40 ± 3) mm, diameter bawah (90 ± 3) mm dan tinggi (75 ± 3) mm, terbuat dari logam dengan tebal minimum 0,80 mm
- d) Batang penumbuk yang mempunyai bidang penumbuk rata, berat (340 ± 15) gram dan diameter permukaan penumbuk (25 ± 3) mm
- e) Saringan No.4 (4,75 mm)
- f) Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$
- g) Pengukur suhu dengan ketelitian pembacaan 1°C
- h) Talam
- i) Bejana tempat air
- j) Desikator

2) Benda Uji

Benda uji adalah agregat yang lolos pada saringan no 4 dan digunakan sebanyak 1000 gram

3) Tata Cara Pengujian

- a) Mengeringkan benda uji didalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap. Dinginkan pada suhu ruang, kemudian rendam dalam air pada suhu ruang selama 24 jam

- b) Membuang air perendaman dengan hati-hati jangan ada butiran yang terbang, tebarkan agregat kedalam talam, keringkan diudara panas dengan cara membalik-balikkan benda uji, sampai keadaan kering permukaan jenuh (SSD)
 - c) Memeriksa keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisikan benda uji kedalam kerucut terpancung, padatkan dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali dan ratakan permukaannya, keadaan kering permukaan jenuh tercapai bila kerucut terpancung diangkat, benda uji runtuh akan tetapi masih dalam keadaan tercetak
 - d) Apabila telah tercapai keadaan kering permukaan jenuh segera memasukkan benda uji sebanyak 500 gram ke dalam piknometer, lalu masukkan air suling sebanyak 90 % isi piknometer, putar piknometer sambil di guncangkan sampai tidak terlihat gelembung udara didalamnya.
 - e) Merendam piknometer dalam air dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan terhadap suhu air standar 25°C.
 - f) Menambahkan air sampai mencapai tanda batas
 - g) Menimbang piknometer yang berisi benda uji dan air sampai ketelitian 0,1 gr (Bt)
 - h) Mengeluarkan benda uji dari piknometer, kemudian keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap, lalu dinginkan benda uji dalam desikator
 - i) Setelah benda uji dingin lalu ditimbang (Bk)
 - j) Menimbang berat piknometer penuh berisi air (B) dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan terhadap suhu air standar 25°C.
- c. Perhitungan
- Berat jenis pasir dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Berat jenis pasir} = \frac{B_2}{B_3 + B_0 - B_1}$$

dengan:

B_0 = Berat pada kondisi jenuh kering muka

B_1 = Berat piknometer berisi agregat dan air

B_2 = Berat agregat setelah kering oven

B_3 = Berat piknometer berisi air

d. Hasil Pengujian

Hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus dapat dilihat pada table 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

	Contoh 1	Contoh 2	Rata-rata	Satuan
Berat Jenis Curah	2.7852	2.8410	2.8131	gr/cm ³
Berat Jenis Jenuh Kering Muka	2.8409	2.8902	2.8655	gr/cm ³
Berat Jenis Semu	2.9495	2.9878	2.9687	gr/cm ³
Penyerapan Air	1.9992	1.7294	1.8643	%

2. Pengujian Analisa Saringan Agregat Halus (Lolos Saringan No.50)

a. Deskripsi

Pemeriksaan ini bermaksud sebagai acuan dalam pengujian untuk menentukan persentase ukuran agregat yang akan digunakan dalam pembuatan balok beton.

b. Pelaksanaan

1) Peralatan Pengujian

- a) Timbangan kapasitas 2500 gr atau lebih dengan ketelitian 0,1 gr
- b) Saringan 0,30 mm (No 50)
- c) Tempat air untuk pencucian (kran) atau saluran air mengalir

- d) Cawan, sendok
 - e) Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$
 - f) Kain lap
- 2) Benda Uji
- Benda uji adalah Agregat kering tungku yang lolos saringan No 4 (4,475) dengan ukuran benda uji:
- a) Maksimum 2,35 mm, berat contoh minimum = 100 gram.
 - b) Maksimum 4,74 mm, berat contoh minimum = 500 gram.
- 3) Tata Cara Pengujian
- a) Mengeringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap dan timbang dengan ketelitian 0,1 gram.
 - b) Meletakkan benda uji dalam saringan dan alirkan air diatasnya.
 - c) Menggerakkan benda uji dalam saringan dengan aliran air yang cukup deras, secukupnya sehingga yang halus menembus saringan No 50 dan bagian yang kasar tertinggal diatasnya.
 - d) Mengeringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap dan timbang dengan ketelitian 0,1 gram.

c. Perhitungan

Persentase pasir yang lolos saringan no. 50 dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Persentase pasir lolos saringan no. 50} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$

dengan:

W_1 = Berat pasir total

W_2 = Berat pasir yang tidak lolos saringan

d. Hasil Pengujian

Pasir ini termasuk dalam gradasi no. 2 yaitu jenis gradasi pasir sedang. Kemudian didapatkan MHB sebesar 1.9779.

3. Pengujian Berat Volume Padat atau Gembur agregat Halus

a. Deskripsi

Pemeriksaan ini bermaksud sebagai acuan dalam pengujian untuk menentukan berat volume padat/gembur agregat halus. Berat volume padat adalah nilai indeks dari massa agregat per-satuan volume dalam kondisi padat. Berat volume gembur adalah nilai indeks dari massa agregat persatuan volume dalam kondisi tidak padat/gembur.

b. Pelaksanaan

1) Peralatan Pengujian

- a) Timbangan kapasitas 2500 gr atau lebih dengan ketelitian 0,1 gr.
- b) Silinder kapasitas 5 liter
- c) Alat penumbuk dengan diameter 16 mm dan panjang 600 mm
- d) Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$
- e) Talam dan sekop

2) Benda Uji

Benda uji adalah Agregat halus /pasir yang telah dikeringkan.

3) Tata Cara Pengujian

- a) Mengeringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap.
- b) Mengeluarkan benda uji dari oven lantas dinginkan pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram.
- c) Meletakkan silinder ukur pada tempat yang datar untuk pengujian berat volume padat masukkan benda uji masukkan benda uji per 1/3 bagian dan tiap bagian di tumbuk 25 kali merata, lalu diratakan, dikerjakan sampai volume penuh. Sedang untuk pengujian berat volume gembur benda uji dimasukkan dalam silinder ukur sampai penuh (tanpa pemadatan lalu diratakan.

d) Menimbang berat silinder benda uji dan mencatat berapa beratnya.

e) Menghitung volume silinder.

c. Perhitungan

Pemeriksaan ini dilakukan masing masing yaitu yaitu pemeriksaan berat volume gembur tanpa adanya pemadatan pada pasir dan pemeriksaan berat volume padat dengan adanya pemadatan pada pasir. Untuk masing masing pemeriksaan dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang sama. Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Berat volume pasir} = \frac{W_2 - W_1}{V}$$

dengan:

W_1 = Berat silinder

W_2 = Berat silinder berisi pasir

V = Volume silinder

d. Hasil Perhitungan

Berdasarkan hasil perhitunga berat isi padat agregat halus sebesar 1,5369 *gram/cm³* dan berat isi gembur agregat halus sebesar 1,2616 *gram/cm³*.

4. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

a. Deskripsi

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dimaksudkan sebagai pegangan dalam pengujian untuk menentukan berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), berat jenis semu dan angka penyerapan air dalam agregat halus/pasir (Teknologi Bahan Konstruksi, 2012).

b. Pelaksanaan

1) Peralatan Pengujian

a) Timbangan kapasitas 20000 gram atau lebih, dengan ketelitian 0,1 gram dan dilengkapi dengan alat penggantung keranjang

- b) Keranjang kawat ukuran 3,35 mm (No.6) atau 2,36 mm (No. 8) dengan kapasitas ± 5000 gram
 - c) Tempat air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai untuk pemeriksaan, tempat ini harus dilengkapi dengan pipa sehingga permukaan air tetap
 - d) Alat pemisah contoh
 - e) Saringan No. 4 (4,75 mm)
 - f) Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$.
 - g) Pengukur suhu dengan ketelitian pembacaan 1°C .
 - h) Kain lap, sekop kecil, dan lain-lain
- 2) Benda Uji
- Benda uji adalah agregat yang tertahan Saringan No. 4 (4,75 mm), diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat (quartering) sebanyak 5000 gram
- 3) Tata Cara Pengujian
- a) Mencuci benda uji untuk menghilangkan debu atau bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan
 - b) Mengeringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap. Sebagai catatan, bila penyerapan dan harga berat jenis digunakan dalam pekerjaan beton, dimana agregat yang digunakan pada kadar air aslinya, maka tidak perlu dikeringkan dalam oven
 - c) Mengeluarkan benda uji, lalu dinginkan pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram (Bk)
 - d) Merendam benda uji dalam air pada suhu kamar selama (24 ± 4) jam
 - e) Mengeluarkan benda uji dari air, lap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang, untuk butiran yang besar harus satu persatu

- f) Menimbang benda uji kering permukaan jenuh (B_j)
- g) Meletakkan benda uji dalam keranjang, guncangkan batunya untuk mengeluarkan udara yang terperangkap dan tentukan beratnya didalam air (B_a), dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan untuk suhu standar 25°C
- h) Banyak jenis bahan campuran yang mempunyai bagian butir-butir yang berat dan ringan. Bahan semacam ini memberikan harga-harga berat jenis yang tidak tetap walaupun pemeriksaan dilakukan dengan teliti. Dalam hal ini beberapa pemeriksaan ulang diperlukan untuk mendapatkan harga rata-rata yang memuaskan.

c. Perhitungan

Berat Jenis Curah (*Bulk Specific Gravity*)

$$= \frac{B_k}{B_j - B_a}$$

Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (SSD)

$$= \frac{B_j}{B_j - B_a}$$

Berat Jenis Semu (*Apparent Specific Gravity*)

$$= \frac{B_k}{B_k - B_a}$$

$$\text{Penyerapan \% 100} = \frac{B_j}{B_j - B_a}$$

dengan:

B_k = Berat benda uji kering oven (gram)

B_j = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)

B_a = Berat benda uji kering permukaan jenuh didalam air (gram)

d. Hasil Pengujian

Berdasarkan pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar diperoleh hasil seperti pada table 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

	Contoh 1	Contoh 2	Rata-rata	Satuan
Berat Jenis Curah	3.5143	4.1217	3.8180	gr/cm ³
Berat Jenis Jenuh Kering Muka	3.5714	4.1667	3.8690	gr/cm ³
Berat Jenis Semu	3.7273	4.3159	4.0216	gr/cm ³
Penyerapan Air	1.6260	1.0918	1.3589	%

5. Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar

a. Deskripsi

Metode ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pengujian untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat kasar dengan saringan. Sedangkan tujuan pengujian ini adalah agar mahasiswa dapat memahami tentang cara pengujian serta klasifikasi agregat kasar berdasarkan butirannya.

b. Pelaksanaan

1) Peralatan Pengujian

- a) Timbangan kapasitas 20000 gram atau lebih dengan ketelitian 0,2 % dari berat contoh
- b) Satu set saringan : 75 mm (3"), 63,5 mm (2½"), 50,8 mm (2"), 38,1 mm (1½"), 19 mm (¾"), 9,5 mm (3/8"), 4,75 mm (No. 4), 2,36 mm (No. 8), 1,18 mm (No. 16), 0,600 mm (No. 30), 0,300 mm (No. 50), 0,150 mm (No. 100), pan dan tutup saringan.
- c) Alat pemisah contoh
- d) Mesin pengguncang/penggetar saringan
- e) Oven yang dilengkapi pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$
- f) Talam, sikat kawat kuning halus, kuas, dan lain-lain

2) Benda Uji

Benda uji adalah agregat kasar/kerikil/split dan sejenisnya yang butirannya kasar. Benda uji disiapkan berdasarkan standar yang berlaku.

3) Tata Cara Pengujian

- a) Mengeringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap. Sebaiknya untuk mendapatkan hasil dengan ketelitian tinggi, dilakukan minimal 2 kali pengujian
- b) Mengeluarkan benda uji, lalu dinginkan pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram
- c) Menyusun saring dari yang lubangnya paling besar dari atas kebawah (jangan terbalik), masukkan benda uji dan langsung di ayak. Bila tidak tersedia saringan dan mesin pengguncang dengan kapasitas besar, maka pengayakan dilakukan dengan cara manual
- d) Mengeluarkan benda uji dari masing-masing saringan dan letakkan masing-masing pada talam (jangan sampai ada yang tercecer)
- e) Menimbang dan catat berat benda uji yang tertahan di masing-masing saringan. Dalam pembersihan saringan, gunakan sikat kawat untuk saringan dengan lubang besar, dan kuas untuk lubang yang halus.

c. Perhitungan

Persentase pasir yang lolos saringan no. 50 dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Persentase pasir lolos saringan no. 50} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$

dengan:

W_1 = Berat pasir total

W_2 = Berat pasir yang tidak lolos saringan

Menurut standar pembuatan bata beton pejal persentase lolos saringan no. 50 yaitu minimal harus lebih besar dari 95 %.

d. Hasil Pengujian

Kerikil ini termasuk dalam gradasi no.1 yaitu jenis gradasi kerikil kasar. Kemudian didapatkan MHB sebesar 7.8279

6. Pengujian Berat Volume Padat/Gembur Agregat Kasar

a. Deskripsi

Metode ini dimaksudkan sebagai acuan dalam pengujian untuk menentukan berat volume padat/gembur agregat kasar. Sedangkan tujuan pengujian ini adalah agar mahasiswa dapat memahami tentang cara pengujian serta klasifikasi agregat kasar berdasarkan berat volume.

b. Pelaksanaan

1) Peralatan Pengujian

- a) Timbangan kapasistas 20000 gram atau lebih dengan ketelitian 0,1 % dari berat contoh
- b) Silinder/tabung kapasistas 10 liter
- c) Alat penumbuk dengan diameter 16 mm dan panjang 600 mm
- d) Oven yang dilengkapi pengatur suhu untuk memanasi benda uji sampai suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$
- e) Talam dan sekop

2) Benda Uji

Benda uji adalah agregat kasar/kerikil/split dan sejenisnya yang telah dikeringkan.

3) Tata Cara Pengujian

- a) Mengeringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap
- b) Mengeluarkan benda uji dari oven lantas dinginkan pada suhu kamar selama 1-3 jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram
- c) Meletakkan silinder ukur pada tempat yang datar. Untuk pengujian berat volume padat, masukkan benda uji per 1/3

bagian dan tiap bagian di tumbuk 25 kali merata, lalu diratakan, dikerjakan sampai volume penuh. Sedang untuk pengujian berat volume gembur, benda uji dimasukkan dalam silinder sampai penuh (tanpa pemadatan) lalu diratakan.

- d) Menimbang berat silinder berisi benda uji dan dicatat beratnya
- e) Menghitung volume silinder

c. Perhitungan

Pemeriksaan ini dilakukan masing masing yaitu yaitu pemeriksaan berat volume gembur tanpa adanya pemadatan pada pasir dan pemeriksaan berat volume padat dengan adanya pemadatan pada pasir. Untuk masing masing pemeriksaan dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang sama. Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Berat volume pasir} = \frac{W_2 - W_1}{V}$$

dengan:

W_1 = Berat silinder

W_2 = Berat silinder berisi pasir

V = Volume silinder

d. Hasil Pengujian

Hasil pengujian berat isi padat agregat kasar sebesar 1,3262 $gram/cm^3$ dan berat isi gembur agregat kasar sebesar 1,2648 $gram/cm^3$

4.3.2 Metode Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah balok beton bertulang yang memiliki ukuran cetakan 20 cm x 15 cm x 100 cm dan silinder untuk pengujian mutu beton. Volume balok beton berserat dapat dihitung sebagai berikut:

1. Volume cetakan beton bertulang

- a. Vol. Balok = $P \times L \times T$
 $= (1,0 \times 0,15 \times 0,2) \text{ m}$

$$= 0,03 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{b. Vol. Silinder} &= \frac{1}{4} \pi d^2 t \\ &= 0,25 \times \pi \times 0,15^2 \times 0,3 \\ &= 0,0053 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

2. Volume total seluruh sampel beton

$$\begin{aligned} \text{Volume total} &= 4 \times V_{\text{balok}} + 4 \times V_{\text{silinder}} \\ &= 4 \times 0,03 + 4 \times 0,0053 \\ &= 0,1412 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Pembuatan benda uji akan dibuat di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Universitas Islam Indonesia. Metode pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

1. Membuat bekisting berbentuk persegi panjang tanpa tutup. Bekisting akan digunakan sebagai cetakan campuran beton.
2. Merangkai tulangan yang akan digunakan pada balok beton bertulang sesuai desain yang telah ditentukan. Kemudian menempatkan tulangan pada bekisting sesuai posisi yang telah didesain sebelumnya.
3. Menentukan perhitungan mix desain berdasarkan standar SNI 03-2834-2000. Langkah ini menentukan jumlah material yang diperlukan untuk campuran beton.
4. Berikutnya yang dilakukan adalah dengan melakukan perhitungan dan penimbangan bahan susun balok beton yaitu semen, agregat halus, agregat kasar dan air.
5. Kemudian agregat kasar dan halus yang telah dikumpulkan digelar dan di angkinkan.
6. Semen, agregat kasar, dan agregat halus yang telah siap dipakai disiapkan ke masing-masing ember agar siap dicampurkan ke mixer. Masukkan semua bahan campuran agregat ke dalam mixer kemudian nyalakan mixer.
7. Saat mixer mulai mengaduk, masukkan air secara perlahan-lahan dan merata menggunakan gayung. Tunggu 5 menit atau sampai tercampur merata campurannya.
8. Buka lubang pengeluaran hasil adukan.

9. Kemudian sebagian adukan campuran diangkat menggunakan sekop dan dituangkan kedalam pan untuk diuji slump.
10. Setelah pengujian slump memenuhi kriteria, seluruh campuran beton dituang ke dalam bekisting yang telah disiapkan. Tuang campuran sedikit demi sedikit untuk memampatkan beton di dalam bekisting dan untuk menghindari adanya rongga udara.
11. Sebagian campuran beton dituang ke dalam cetakan silinder untuk pengujian kuat tekan beton. Penuangan dilakukan berurutan setelah dituang ke dalam bekisting balok kemudian sisanya dituang ke cetakan silinder. Jumlah silinder total sama dengan jumlah benda uji.
12. Setelah semua campuran dimasukkan ke dalam bekisting kemudian dimampatkan dengan linggis dan dipukul – pukul sisinya menggunakan palu karet.
13. Setelah itu memindahkan balok beton yang telah dicetak ketempat yang aman agar tidak mengganggu proses pekerjaan pembuatan dan pencetakan benda uji variasi berikutnya.
14. Kemudian menjemur benda uji balok beton selama 1 hari dan tunggu hingga balok beton mengeras dengan sempurna pada umur 28 hari, balok beton siap diuji desak.
15. Untuk balok beton dengan perkuatan pelat baja stripplat akan dipasang pada umur beton 2 minggu setelah dilakukan pengujian. Pemasangan stripplat dilakukan dengan menggunakan langkah - langkah khusus seperti berikut:
 - a. Membersihkan dan menghaluskan permukaan beton yang akan dipasang serat karbon agar tidak ada kotoran yang menempel dan mengganggu proses pemasangan platsrip. Dalam penelitian ini yang akan dipasang serat platstip bagian penampang bawah balok.
 - b. Membuat campuran primer dengan mencampur bahan resin dua komponen sesuai komposisi pabrik. Bahan dicampur dan diaduk sampai homogen dengan paddle mixer selama 3 menit.

- c. Melapisi permukaan balok dengan material primer epoxy adhesive Sikadur[®]-CF Normal menggunakan cetok secara merata pada bentang yang diinginkan rata-rata 0,4 kg/ m².
 - d. Setelah lapisan primer setengah kering (*tacky*) kurang lebih 5 - 10 menit, segera ditempelkan pelat baja stripplat sesuai arah perkuatan. Agar melekat sempurna, permukaan pelat baja dibuat kasar dan dipres dengan kawat.
16. Benda uji yang telah diperkuat kemudian disimpan dalam waktu kurang lebih satu minggu untuk mendapatkan daya rekat pelat baja dengan balok beton bertulang yang optimal.
 17. Setelah semua benda uji siap kemudian diletakkan pada alat uji hidrolis untuk diuji tekan.
 18. Hasi uji tekan masing- masing variasi dicatat, kemudian diolah sehingga menghasilkan besar kuat lentur untuk masing-masing variasi benda uji.
 19. Melakukan analisis data.

4.3.3 Perawatan Benda Uji

Setelah Benda uji berupa balok beton bertulang mengeras dan dibuka dari cetakannya perlu dilakukan perawatan beton pada benda uji. Perawatan balok beton dilakukan agar mutu beton tidak berubah atau berkurang dan mencegah pengerasan beton secara mendadak akibat suhu panas matahari. Pengerasan beton secara mendadak dapat menimbulkan retak-retak pada permukaan beton. Hal ini dapat terjadi karena beton belum mengikat secara sempurna. Selain itu kelembaban pada permukaan benda uji juga dapat menambah ketahanan beton terhadap cuaca dan lebih kedap terhadap air.

Perawatan pada bata beton ringan berserat biasanya dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Menempatkan balok beton bertulang segar di dalam ruangan yang lembab.
2. Menempatkan balok beton bertulang segar didalam genangan air
3. Menyelimuti seluruh permukaan balok beton bertulang dengan karung goni basah.

Untuk perawatan balok beton bertulang yang telah diperkuat dengan serat karbon, dilakukan agar lapisan serat karbon dapat menempel dengan sempurna pada permukaan beton. Oleh karena itu, balok beton yang diperkuat dilindungi dari sinar matahari secara langsung karena mengakibatkan lapisan coating lebih lama mengeras dan kehilangan daya lekatnya.

4.4 Metode Pengujian dan Analisis Data

4.4.1 Pengujian Lentur Balok Beton Bertulang

1. Deskripsi

Kuat lentur beton adalah kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji yang diberikan padanya, sampai benda uji patah.

2. Pelaksanaan

a. Peralatan Pengujian

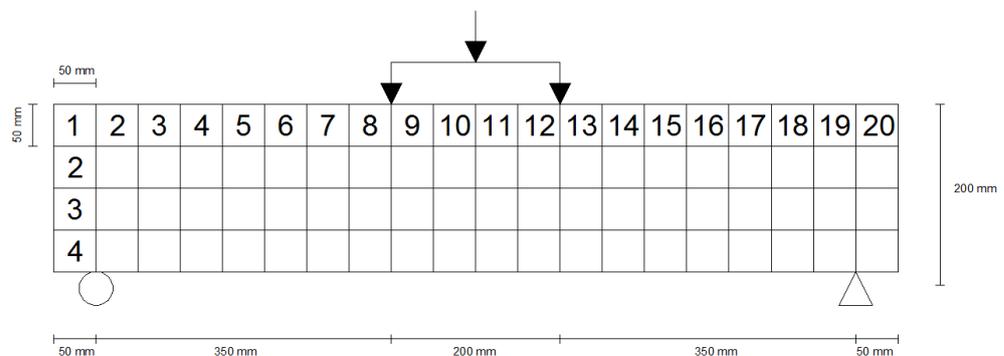
- 1) Mesin uji tekan yang dapat memberikan beban dengan kecepatan kontinu dalam satu kali gerakan, tanpa memberikan efek kejutan dan mempunyai ketelitian pembacaan beban maksimum 0,5 kN.
- 2) Dua buah blok tumpuan, satu buah blok beban (untuk pengujian dengan sistem satu beban), atau satu buah blok beban dengan dua titik beban yang berjarak tertentu (untuk pengujian dengan sistem dua beban) untuk menyalurkan beban terpusat dari mesin uji tekan. Dimana baik blok beban maupun blok tumpuan yang menempel pada benda uji harus merupakan setengah silinder yang sumbunya berimpit dengan sumbu batang putar blok tumpuan sendi atau blok beban, atau berimpit dengan sumbu putar bola blok tumpuan rol, dan dapat berputar minimal 45°. Ketidak rataan permukaan blok maksimal 0,05 mm.
- 3) Alat ukur panjang dengan panjang 1000 mm dan ketelitian 1 mm, dan jangka sorong.
- 4) Timbangan dengan kapasitas 35 kg dan ketelitian 10 gram.
- 5) Gerinda
- 6) Peralatan kaping.

b. Benda Uji

Benda uji adalah balok beton berulang yang memiliki ukuran 15 cm x 20 cm x 100 cm yang dibuat dan dimatangkan (*curing*) di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia dan umur benda uji 28 hari.

c. Tata Cara Pengujian

- 1) Mengukur dan mencatat dimensi penampang benda uji dengan jangka sorong, minimal di tiga tempat. Kemudian mengukur dan mencatat panjang benda uji pada keempat rusuknya.
- 2) Menimbang dan mencatat berat benda uji.
- 3) Membuat garis-garis grid dengan ukuran 50 mm x 50 mm pada balok untuk menandai titik tumpuan dan pembacaan arah keretakan pada balok seperti pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Pembuatan Grid

- 4) Meletakkan blok tumpuan dengan jarak antara kedua blok tumpuan tertentu sesuai dengan panjang benda uji.
- 5) Menempatkan benda uji yang sudah ditimbang, diukur, dan diberi tanda diatas dua blok tumpuan/perletakan, sedemikian sehingga letak benda uji tepat pada pusat tumpuan, dengan kedudukan sisi benda uji pada waktu pengecoran berada dibagian samping.
- 6) Meletakkan blok beban pada titik pembebanan pada benda uji, sesuai dengan jumlah beban.

- 7) Menjalankan mesin tekan, atur titik beban uji dari mesin tekan sehingga tepat ditengah-tengah blok beban. Pembebanan harus diatur sedikian sehingga tidak menimbulkan beban kejut.
- 8) Kecepatan pembebanan harus kontinu. Pada pembebanan sampai \pm 50% dari beban maksimum yang diperkirakan, kecepatan pembebanan boleh lebih cepat dari 6 kN per-menit. Setelah itu sampai terjadi keruntuhan balok uji, kecepatan pembebanan harus diatur antara 4,3 kN s.d 6 kN per-menit.
- 9) Setelah benda uji patah, hentikan pembebanan dan catat beban maksimum yang menyebabkan benda uji patah.

4.4.2 Analisis Rencana Anggaran Biaya Perkuatan

Berikut adalah metode dalam penetapan harga per meter persegi untuk perkuatan balok beton menurut metode penelitian yang dilakukan:

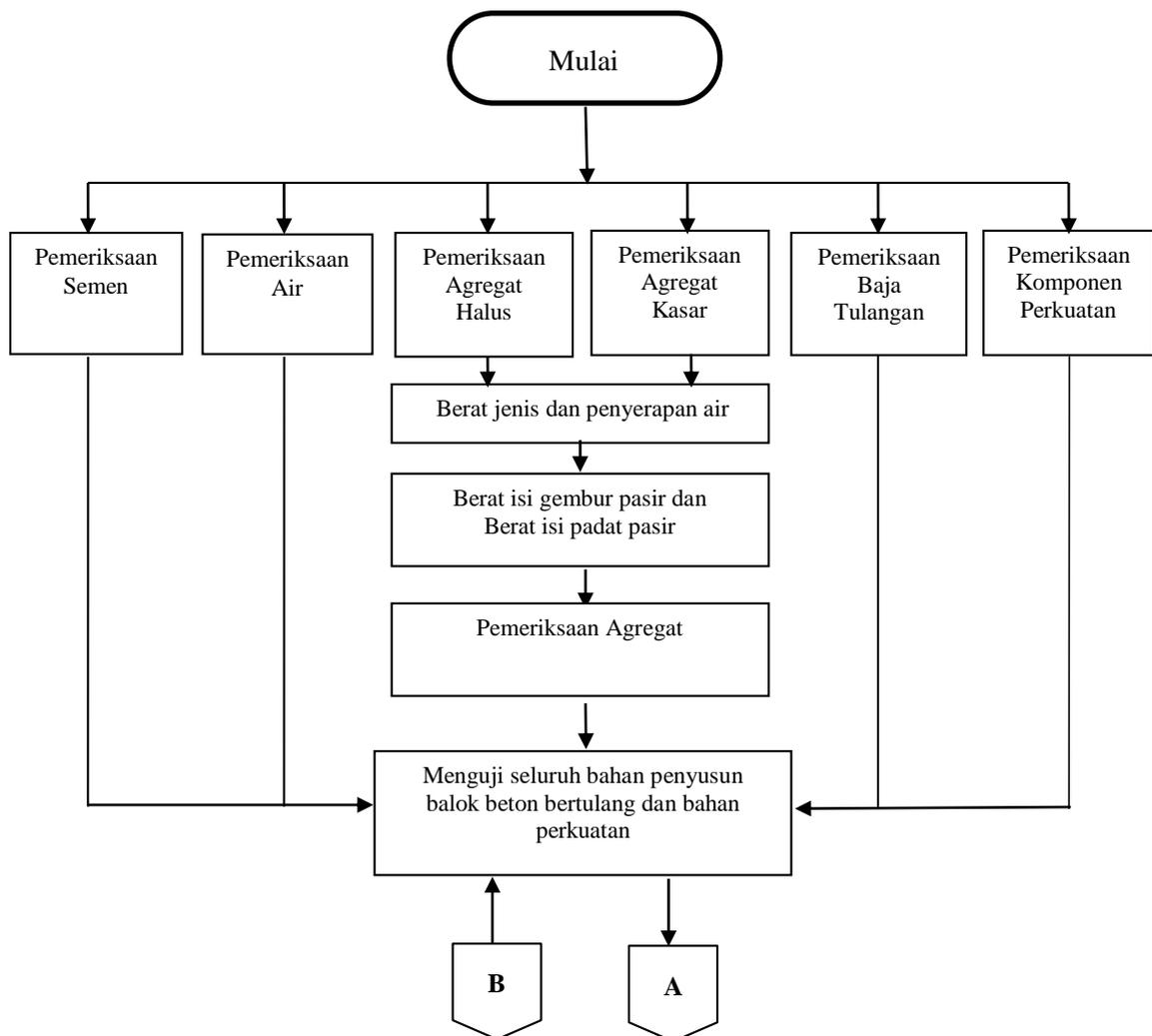
1. Mencatat harga pembelian material balok beton dan material perkuatan berupa pelat stripplat dan lem perekat.
2. Menakar material sesuai dengan kebutuhan sampel dan perkuatan pada luas penampang balok.
3. Menghitung harga satuan masing- masing komponen sampel dan material perkuatan pada balok.
4. Mengitung harga pelaksanaan meliputi, tenaga kerja, alat, dan lain-lain.
5. Mencatat harga satuan pelaksanaan per meter persegi.
6. Mencatat harga komponen penyusun perkuatan per meter persegi.

4.5 Tahap Kesimpulan Penelitian

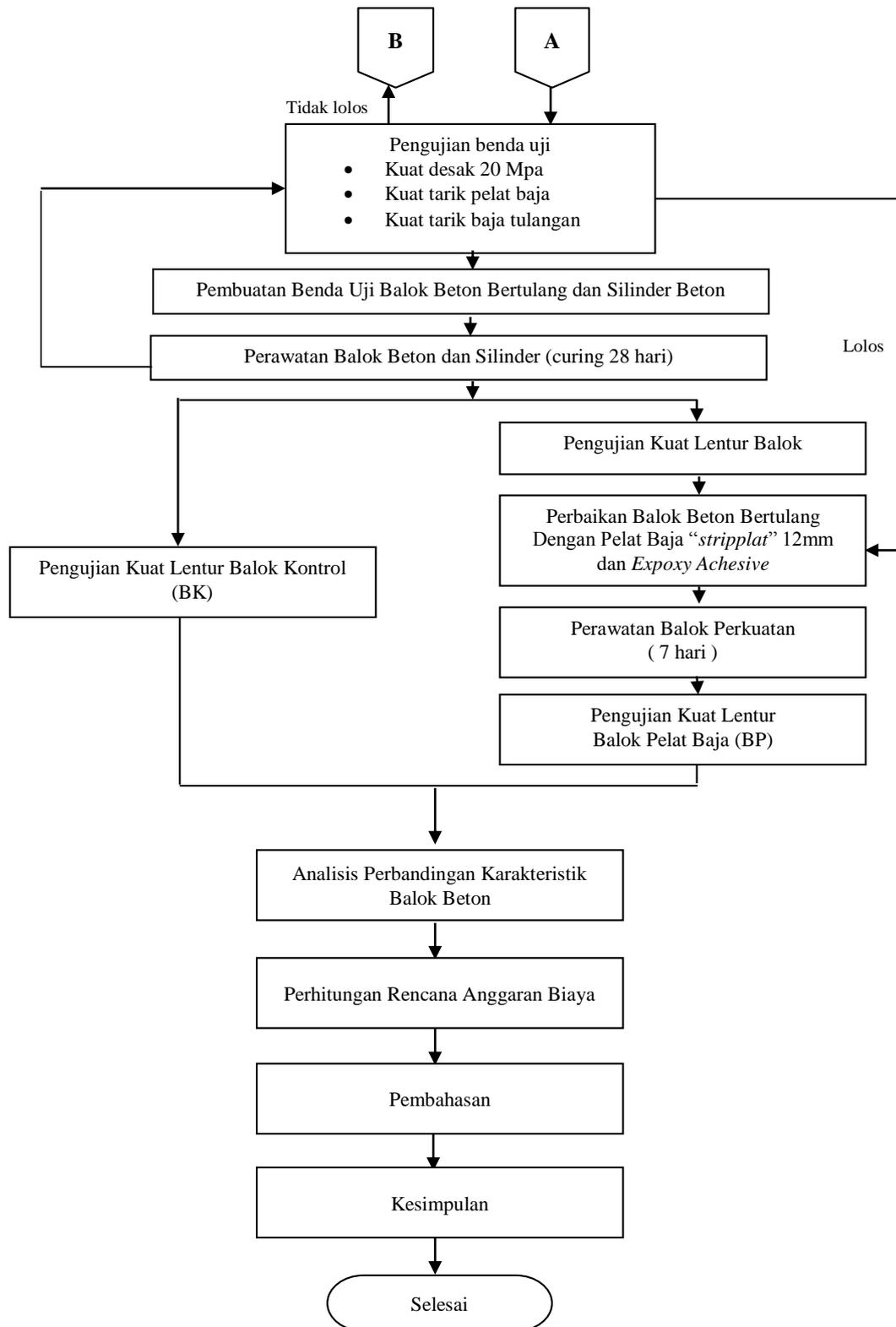
Pada tahap ini untuk menyusun kesimpulan yang berhubungan dengan tujuan penelitian diperoleh berdasarkan analisis data dan pembahasan pada tahap selanjutnya.

4.6 Prosedur Penelitian

Suatu penelitian ilmiah haruslah dilaksanakan dalam sistematika yang jelas dan teratur, sehingga dapat diperoleh hasil yang sesuai dengan tujuan yang dicapai serta dapat dipertanggungjawabkan. Dari uraian diatas dapat dibuat bagan alir (*flowchart*). Bagan alir (*flowchart*) pelaksanaan penelitian perkuatan balok beton bertulang menggunakan *Stripplat* dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Bagan Alur Penelitian



Gambar Lanjutan 4.6 Bagan Alur Penelitian

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Pada bab ini akan dibahas mengenai perencanaan teoritis dalam memprediksi kekuatan total balok beton setelah diperkuat dengan pelat baja stripplat. Kemudian akan dibandingkan dengan analisis kekuatan hasil pengamatan sampel balok beton yang telah diuji di laboratorium. Dalam menghitung kekuatan lentur total balok beton harus melalui beberapa tahap hitungan. Untuk prediksi kekuatan balok kontrol dihitung berdasarkan kuat lentur nominal yang disumbangkan oleh beton dan momen nominal dari besi tulangan. Sedangkan prediksi kekuatan balok yang diperkuat dengan pelat baja yaitu jumlah kuat lentur nominal balok kontrol ditambah dengan kuat lentur nominal yang disumbangkan oleh pelat baja.

5.2 Kekuatan Tekan Silinder Beton

Umumnya kekuatan tekan beton diukur pada umur 28 hari. Kuat tekan adalah sifat kemampuan menahan atau memikul suatu beban tekan pada daerah luas penampang. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan tekan beton antara lain kualitas semen, kualitas air, kualitas agregat, ukuran maksimum agregat, faktor air semen (FAS), kekuatan pengikatan agregat dan pasta semen, penggunaan bahan tambahan lain serta proses perawatan benda uji.

Dari data hasil pengujian kuat tekan beton kubus pada umur 28 hari diperoleh rata-rata kuat tekan beton dari 4 buah benda uji sebesar 356,7 kg/cm² seperti yang terlihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Pengujian Kuat Tekan Silinder

Benda Uji	Berat (kg)	Beban Tekan P (kN)	Luas A (cm ²)	Kuat Tekan (MPa)
1	14,4	539,4	183,37	30,59
2	13	596,4	178,60	33,74
3	13,7	616,4	180,98	34,88
4	12,8	596,8	174,37	33,77
Kuat Tekan Rata-rata				33,254

Dari Tabel 5.1 terlihat penambahan kuat tekan menjadi 33,3 MPa dari kuat tekan silinder yang direncanakan 20 MPa. Dan untuk perhitungan selanjutnya digunakan kuat tekan beton rencana sebesar:

$$f'c = 33,3 \text{ MPa}$$

5.3 Kuat Tarik Baja

Pengujian kuat tarik baja dilakukan dengan maksud untuk mengetahui kualitas dari baja tulangan dan perkuatan yang akan digunakan untuk balok. Baja tulangan yang digunakan adalah diameter P10 untuk tulangan pokok dan P8 untuk tulangan begel untuk pelat baja yang digunakan adalah jenis pelat baja “*stripplat*” yang memiliki ketebalan 12 mm dan lebar 50 mm. Dari hasil pengujian dan perhitungan didapatkan mutu baja sebesar:

Baja Tulangan

$$\text{P10} = 321 \text{ Mpa}$$

$$\text{P8} = 251 \text{ Mpa}$$

Pelat Baja *stripplat*

$$\text{Pelat Baja 12 mm} = 290 \text{ Mpa}$$

5.4 Perhitungan Kuat Lentur Rencana

5.4.1 Prediksi Kuat Lentur Balok Kontrol

Adapun perhitungan – perhitungan untuk mencari kuat lentur nominal khususnya pada balok kontrol adalah sebagai berikut :

Analisis teknik pembebanan meliputi :

Dimensi Benda Uji :

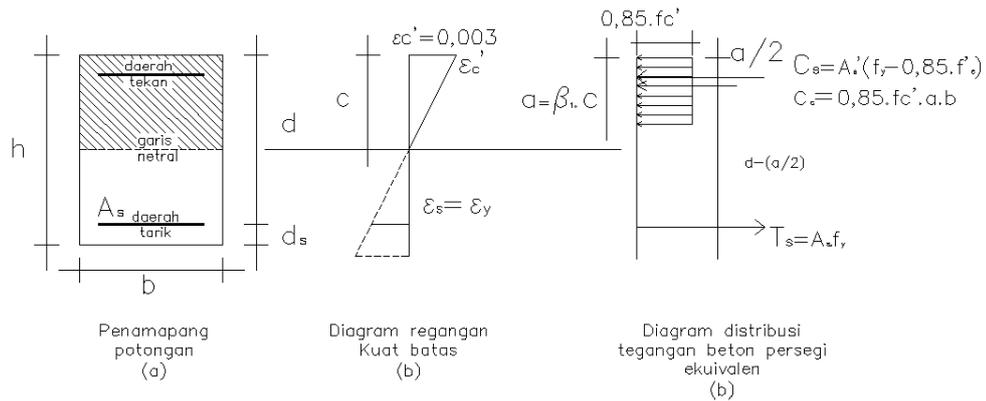
$$\begin{aligned}
 \text{Panjang} &= 1000 \text{ mm} = 1,0 \text{ m} \\
 \text{Tinggi} &= 200 \text{ mm} = 0,15 \text{ m} \\
 \text{Lebar} &= 150 \text{ mm} = 0,1 \text{ m} \\
 \text{Berat Jenis Beton} &= 2400 \text{ (kg/m}^3\text{)} \\
 \text{Berat Balok Uji} &= \text{Volume benda uji x berat jenis beton} \\
 &= (1 \times 0,15 \times 0,1) \times 2400 \\
 &= 36 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Sifat material benda uji :

$$\begin{aligned}
 f'c &= 33,3 \text{ MPa} \\
 f_y &= 321,00 \text{ MPa} \\
 E_s &= 200.000 \text{ MPa} \\
 H &= 200 \text{ mm} \\
 B &= 150 \text{ mm} \\
 d_s &= 28 \text{ mm} \\
 d &= H - (\rho + \text{Øtul.senggang} + \frac{1}{2} \text{Øtul.utama}) = 200 - (10 + 8 + \frac{1}{2} \cdot 10) \\
 &= 177 \text{ mm} \\
 \beta_1 &= 0,83 \text{ (faktor pembentuk tegangan beton tekan persegi ekuivalen,} \\
 &\text{ yang bergantung pada mutu beton (f'c) sebagai berikut (Pasal} \\
 &\text{ 12.2.7.3 SNI 032847-2002) untuk } f'c > 30 \text{ MPa, maka } \beta_1 = \\
 &0,85 - \frac{0,05 \times (f'c - 30)}{7} \text{)}
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan :

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah Tulangan Tekan (As')} &= 2D10 = 157,08 \text{ mm}^2 \\
 \text{Jumlah Tulangan Tarik (As)} &= 2D10 = 157,08 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$



Gambar 5.1 Distribusi Regangan dan Tegangan pada Balok Tulangan Rangkap

a. Keadaan Balanced

$$\frac{C_b}{\varepsilon_c} = \frac{d}{\varepsilon_c + [f_y/\varepsilon_s]}$$

$$\frac{C_b}{0,003} = \frac{d}{0,003 + [321/200.000]}$$

$$C_b = \frac{600d}{600 + f_y} = \frac{600(167)}{600 + 321} = 108,7947 \text{ mm}$$

$$a = 0,85C_b = 0,85(108,7947) = 92,4755 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{(108,794 - 29)}{108,794} \times (0,003) = 0,0022 > \varepsilon_y = \frac{321}{200.000} = 0,0016$$

Karena : $\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$, kriteria untuk melelehnya baja tulangan tekan telah terpenuhi

b. Keadaan Sebenarnya

- Anggap baja tulangan leleh, maka $f_y = f_s$.

$$C_c = 0,85 \times f'c \times a \times B = 0,85 \times 33,3 \times a \times 150 = 4245,75 a$$

$$C_s = A_s'(f_{kap} - 0,85f'c) = 157,08(321 - 0,85 \times 33,3)$$

$$= 45976,423 \text{ N}$$

$$T_s = A_s \times f_{kap} = 157,08 \times 321 = 50422,5621 \text{ N}$$

$$T_s = C_c + C_s$$

$$50422,5621 = 4245,75 a + 45976,423$$

$$4245,75 a = 50422,5621 - 45976,423$$

$$a = \frac{4446,1391}{4245,75}$$

Maka didapat nilai $a = 1,047 \text{ mm}$

$$C_u = \frac{a}{\beta} = \frac{1,047}{0,83} = 1,267 \text{ mm}$$

Cek baja tulangan :

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$$

$$\varepsilon_s = \frac{C_u - d'}{C_u} \varepsilon_c = \frac{1,267 - 23}{1,267} (0,003) = -0,0515 < \varepsilon_y = 0,0016$$

Ternyata anggapan baja tulangan tekan meleleh tidak terpenuhi. Anggaplah letak garis netral sebagai bilangan x . Dengan menyamakan $(CC + CS)$ dengan T , menjadi suatu persamaan kuadrat.

Di mana :

$$\varepsilon_s' = \frac{a - d'}{a} \varepsilon_c$$

$$f_s' = \varepsilon_s' \times E_s$$

$$C_s = (f_s' - 0,85 f_c') A_s'$$

Sehingga :

$$0,85 f_c' \times a \times B + (f_s' - 0,85 f_c') A_s' = f_y \times A_s$$

$$0,85 f_c' \times a \times B + (\varepsilon_s' \times E_s - 0,85 f_c') A_s' = f_y \times A_s$$

$$0,85 f_c' \times a \times B + \left[\frac{a - d'}{a} (0,003 \times 200.000) - 0,85 f_c' \right] A_s' = f_y \times A_s$$

$$0,85 \times 33,3 \times a \times 150 + \left[\frac{a - 29}{a} (600) - 0,85 \times 33,3 \right] 157,0 = 321 \times 157,08$$

Maka didapat nilai

$$a = 21,155 \text{ mm}$$

$$C_u = \frac{a}{\beta} = \frac{21,155}{0,83} = 24,888 \text{ N}$$

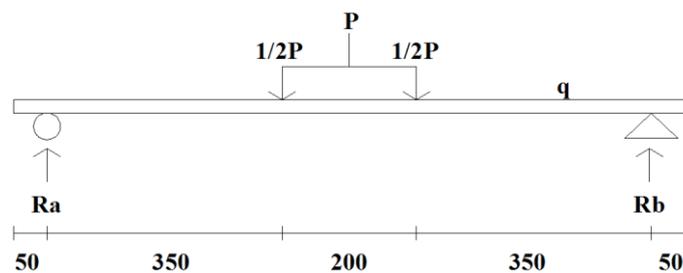
$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \times f'c \times a \times B = 0,85 \times 33,3 \times 24,888 \times 150 \\ &= 89818,9114 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= (f's - 0,85f'c)A'_s = \left(\frac{21,155-29}{21,155} (600) - 0,85 \times 33,3 \right) 157,08 \\ &= -39396,34926 \text{ N} \end{aligned}$$

Momen Nominal (Mkap) :

$$\begin{aligned} M_{kap} &= \left(C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \right) \times \phi \\ &= \left(89818,9114 \left(177 - \frac{21,155}{2} \right) + (-39396,3493 \times (167 - 29)) \right) \times 1,25 \\ &= 11060674,58 \text{ Nmm} = 11,0607 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Menghitung Reaksi :



Gambar 5.2 Reaksi momen

$$R_a l - \frac{1}{2} P 0,55 - \frac{1}{2} P 350 - \frac{1}{8} q l^2 = 0$$

$$R_a 0,9 = P 0,275 - P 0,175 - 0,0729$$

$$R_a 0,9 = 0,45 P - 0,729$$

$$R_a = \frac{0,45 P - 0,729}{0,9}$$

$$Ra = 0,5 P - 0,81$$

$$\begin{aligned} M_{kap} &= Ra \frac{1}{2} l - \frac{1}{8} q l^2 - \frac{1}{2} P 0,1 \\ &= (0,5 P - 0,81) \times \frac{1}{2} 0,9 - \frac{1}{8} 0,72 0,9^2 - \frac{1}{2} P 0,1 \\ &= 0,225 P - 0,3645 - 0,0729 - 0,05 P \end{aligned}$$

$$M_{kap} = 0,175 P - 0,4374$$

$$P = \frac{M_{kap} + 0,437}{0,388} = \frac{11,0607 + 0,437}{0,175}$$

$$= 65,7034 \text{ KNm}$$

5.4.2 Prediksi Kuat Lentur Balok Menggunakan Pelat Baja

Perhitungan untuk mencari besarnya kontribusi Pelat Baja “*Stripplat*” terhadap Lentur berdasarkan formula yang diperoleh dari hasil penelitian sejenis oleh beberapa ahli terdahulu (sesuai dengan literatur yang telah dipaparkan).

Diketahui:

Lebar balok = 150 mm

Lebar *Strippelat* = 50 mm

Panjang *Strippelat* = 1000 mm

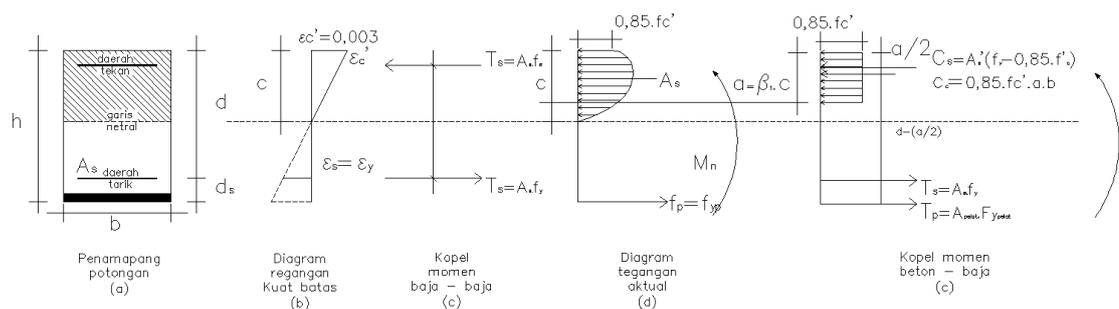
Tebal *Strippelat* = 12 mm

Kuat tarik *Strippelat* = 290 Mpa

A_{pelat} = n x Lebar *Strippelat* x Tebal *Strippelat*

$$= 3 \times 50 \times 12$$

$$= 1800 \text{ mm}^2$$



Gambar 5.3 Distribusi Regangan dan Tegangan pada Balok Perkuatan

a. Keadaan Balanced

$$\frac{C_b}{\varepsilon_c} = \frac{d}{\varepsilon_c + [f_y/\varepsilon_s]}$$

$$\frac{C_b}{0,003} = \frac{d}{0,003 + [240/200.000]}$$

$$C_b = \frac{600d}{600 + f_y} = \frac{600(179)}{600 + 321} = 116,6123 \text{ mm}$$

$$a = 0,85C_b = 0,85(116,6123) = 99,1205 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{(116,612 - 29)}{116,613} \times (0,003) = 0,0023 > \varepsilon_y = \frac{321}{200.000} = 0,0016$$

Karena : $\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$, kriteria untuk melelehnya baja tulangan tekan telah terpenuhi

b. Keadaan Sebenarnya

- Anggap baja tulangan leleh, maka $f_y = f_s$.

$$C_c = 0,85 \times f'_c \times a \times B = 0,85 \times 33,3 \times a \times 100 = 4245,75 a$$

$$C_s = A_s'(f_y - 0,85f'_c) = 157,08(321 - 0,85 \times 33,3) = 45976,423 N$$

$$T_s = (A_s \times f_{kap}) + (A_p \times f_{kap \text{ plat}})$$

$$= (157,08 \times 321) + (1800 \times 290) = 572422,5621 N$$

$$T_s = C_c + C_s$$

$$572422,5621 = 4245,75 a + 45976,423 N$$

$$4245,75 a = 572422,5621 - 45976,423 N$$

$$a = \frac{526446,1391}{4245,75}$$

Maka didapat nilai $a = 123,9937 \text{ mm}$

$$C_u = \frac{a}{\beta} = \frac{123,9937}{0,83} = 145,8749 \text{ mm}$$

Cek baja tulangan :

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$$

$$\varepsilon_s = \frac{C_u - d'}{C_u} \varepsilon_c = \frac{145,8749 - 29}{145,8749} (0,003) = 0,0024 > \varepsilon_y = 0,0016$$

Karena : $\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$,kriteria untuk melelehnya baja tulangan tekan telah terpenuhi

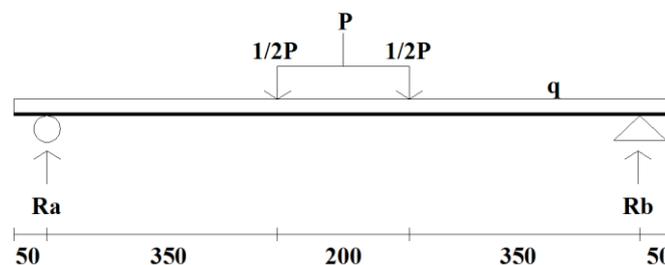
$$\begin{aligned} C_c &= 0,85 \times f'c \times a \times B = 0,85 \times 33,3 \times 123,9937 \times 150 \\ &= 526446,139 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s &= (f's - 0,85f'c)A'_s = \left(\frac{123,9937 - 29}{123,9937} (600) - 0,85 \times 33,3 \right) 157,08 \\ &= 67758,69653 \text{ N} \end{aligned}$$

Momen Kapasitas (Mkap) :

$$\begin{aligned} M_{kap} &= \left(C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \right) \times \phi \\ &= \left(526446,139 \left(177 - \frac{123,9937}{2} \right) + (67758,69653 \times (189 - 23)) \right) \times 1,25 \\ &= 89699585,05 \text{ Nmm} = 89,6995 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Menghitung Reaksi :



Gambar 5.4 Reaksi momen

$$Ra \ l - \frac{1}{2} P \ 0,55 - \frac{1}{2} P \ 350 - \frac{1}{8} q \ l^2$$

$$\begin{aligned}
Ra_{0,9} &= P_{0,275} - P_{0,175} - 0,086 \\
Ra_{0,9} &= 0,45 P - 0,086 \\
Ra &= \frac{0,45 P - 0,086}{0,9} \\
Ra &= 0,5 P - 0,096 \\
M_{kap} &= Ra \frac{1}{2} l - \frac{1}{8} q l^2 - \frac{1}{2} P_{0,1} \\
&= (0,5 P - 0,081) \times \frac{1}{2} 0,9 - \frac{1}{8} 0,85 0,9^2 - \frac{1}{2} P_{0,1} \\
&= 0,225 P - 0,3645 - 0,0861 - 0,05 P \\
M_{kap} &= 0,175 P - 0,4506 \\
P &= \frac{M_{kap} + 0,4506}{0,175} = \frac{89,6995 + 0,4506}{0,175} \\
&= 515,1434 \text{ KNm}
\end{aligned}$$

Nilai prediksi kuat lentur balok kontrol yang didapat $P_{BK} = 65,7034$ KN. Sedangkan berdasarkan Perhitungan kuat lentur balok menggunakan pelat baja didapat $P_{BP} = 515,1434$ KN. Dari kedua nilai kuat lentur nominal tersebut dapat dilihat besar kontribusi pelat baja “*stripplat*” di atas.

$$\begin{aligned}
\text{Peningkatan kapasitas lentur} &= \frac{P_{perkuatan} - P_{normal}}{P_{normal}} \times 100\% \\
&= \frac{515,1434 - 65,7034}{65,7034} \times 100\% \\
&= 684,0437 \%
\end{aligned}$$

Dari hasil analisa kapasitas lentur dengan perkuatan pelat baja “*stripplat*”, terjadi peningkatan kapasitas lentur sebesar 684,0437 %

5.5 Pengujian Balok Kontrol dan Balok Uji

Pembebanan yang berangsur-angsur bertambah akan menyebabkan beton uji mengalami retakan. Berkembangnya retak dimulai dari bagian bawah / daerah tarik dan makin ke atas seiring dengan peningkatan beban pikul. Selain itu, beton uji juga mengalami lendutan dan regangan.

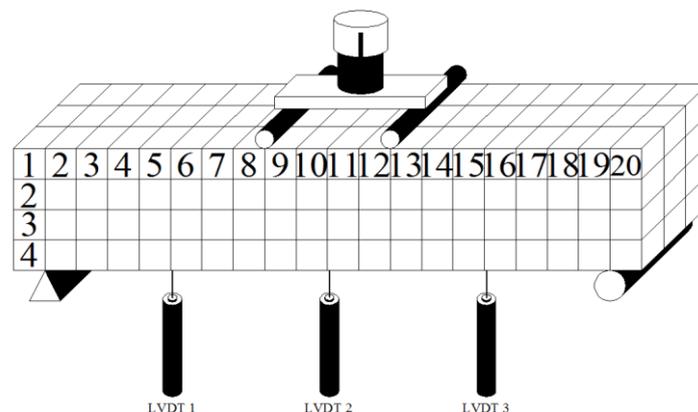
Ada dua tipe balok yang diuji pada penelitian ini yaitu balok kontrol dengan kode BK dan balok uji dengan perkuatan pelat baja stripplat dengan kode

BP-1, BP-2 dan BP-3. Kedua tipe balok memiliki karakter yang berbeda, untuk balok uji direncanakan kekuatan lenturnya dapat melampaui kekuatan lentur dari balok kontrol.

Pada balok kontrol BK kuat lentur yang didapat setelah pengujian lebih besar daripada hasil perhitungan. Kemudian pada balok uji BP-1 BP-2 dan BP-3 terjadi peningkatan kuat lentur, namun untuk balok BP-3 hasil kuat lentur kurang dari rata-rata balok uji lainnya. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor eksternal diantaranya :

1. Terjadi kesalahan pada saat pengecoran sehingga kuat tekan beton kurang dari batas minimum.
2. Kurangnya pemadatan saat proses pengecoran, sehingga masih ada rongga udara di dalam beton.
3. Dimensi balok tidak sempurna, dan terjadi penggembungan di salah satu sisi balok. Hal ini dapat disebabkan oleh bekisting yang kurang kaku.
4. Perawatan balok selama umur 28 hari kurang baik, sehingga kualitas balok beton berbeda dengan sampel lain.
5. Terjadi dislokasi titik beban pada proses pengujian sehingga distribusi beban tidak merata ke seluruh penampang balok.

Adapun sketsa perletakan LVDT pengujian pembebanan terhadap balok-balok kode BK (Balok Kontrol) maupun balok kode BP (Balok Pelat) dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut:



Gambar 5.5 Peletakan LVDT Pengujian Pembebanan

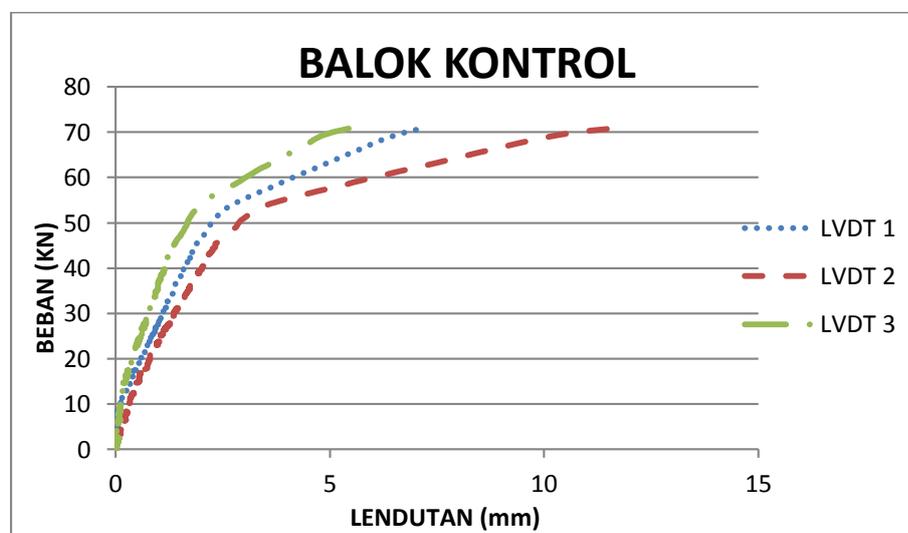
5.5.1. Balok Kontrol

Adapun data-data hasil pengujian pembebanan terhadap balok-balok kode BK (Balok Kontrol) dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut:

Tabel 5.2 Balok Kontrol (BK)

Beban P (KN)	Lendutan			Keretakan
	LVDT1	LVDT2	LVDT3	
0	0	0	0	
10	0.1283	0.3371	0.1363	
20	0.6277	0.817	0.3942	
25.3	0.8684	1.0893	0,653	<i>First Crack</i>
30	1.5833	2.0264	1.148	Retak Rambut
40	3.5916	2.0808	2.6932	Retak Rambut
50	3.138	4.2575	2.2596	Retak Rambut Menjalar
60	4.1642	6.8772	3.3635	Retak Rambut Melebar
70	6.8072	10.8495	5.097	Runtuh Balok
70,926	71,415	116,191	54,935	<i>Maximum Load</i>

Dari hasil pengujian yang disajikan pada tabel diatas, dapat dibuat grafik yang mewakili hubungan antara beban dan lendutan balok seperti pada Gambar 5.6 berikut.



Gambar 5.6 Kurva Beban – Lendutan untuk Balok Kontrol

Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan pada balok kontrol bentuk keruntuhan yang terjadi hampir sama, yaitu di bagian tengah bentang dari balok. Dari kedua tabel diatas dapat dilihat BK pada beban 70,926 kN terjadi lendutan tengah maksimum sebesar 11,6424 mm sedangkan. Hal ini menunjukkan bahwa balok kontrol mempunyai kekuatan yang homogen dan bisa digunakan untuk perbandingan dengan balok uji BP-1, BP-2, BP-3.

Dari grafik juga menunjukkan bahwa nilai lendutan pada LVDT 2 pada semua benda uji balok mempunyai nilai lendutan yang lebih besar dibandingkan dengan nilai LVDT 1 dan LVDT 3 kemudian runtuh balok terjadi pada bagian tengah balok, hal ini dikarenakan balok mengalami kerusakan yang tidak merata disepanjang bentang tersebut. Kerusakan yang tidak merata dapat disebabkan oleh tidak meratanya kuat tekan yang dimiliki oleh balok.

5.5.2. Balok Uji

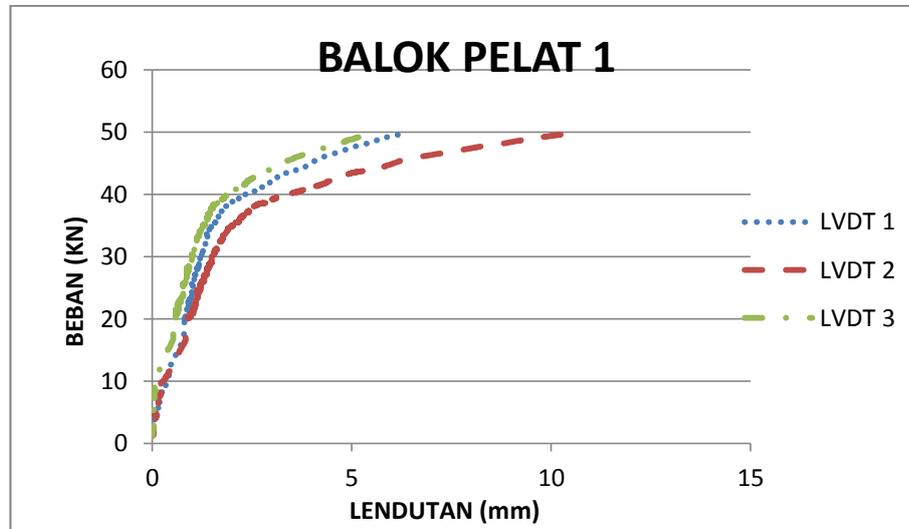
1. Balok Uji-1 (BP -1)
 - a. Tanpa Perkuatan

Adapun data-data hasil pengujian pembebanan terhadap balok-balok kode BP-1 (Balok Pelat) dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut:

Tabel 5.3 Balok Uji 1 (Kode BU-1)

Beban P (KN)	Lendutan (mm)			Keretakan
	LVDT1	LVDT2	LVDT3	
0	0	0	0	
10	0.43283	0.39396	0.18408	
20	0,8059	0,8993	0,5883	
20,3	0,8215	0,9303	0,5883	<i>First Crack</i>
30	1.27238	1.58333	1.05472	Retak Rambut
40	2.70273	3.91542	2.14303	Retak Rambut Menjalar
49	6.2786	10.53078	5.62562	Mencapain 70% Beban Maximal

Dari hasil pengujian yang disajikan pada tabel diatas, dapat dibuat grafik yang mewakili hubungan antara beban dan lendutan balok seperti pada Gambar 5.7 berikut.



Gambar 5.7 Kurva Beban Lendutan untuk BP-1 dibebani 70% beban max

b. Perkuatan

Adapun data-data hasil pengujian pembebanan terhadap balok-balok kode BP-1 (Balok Pelat) dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut:

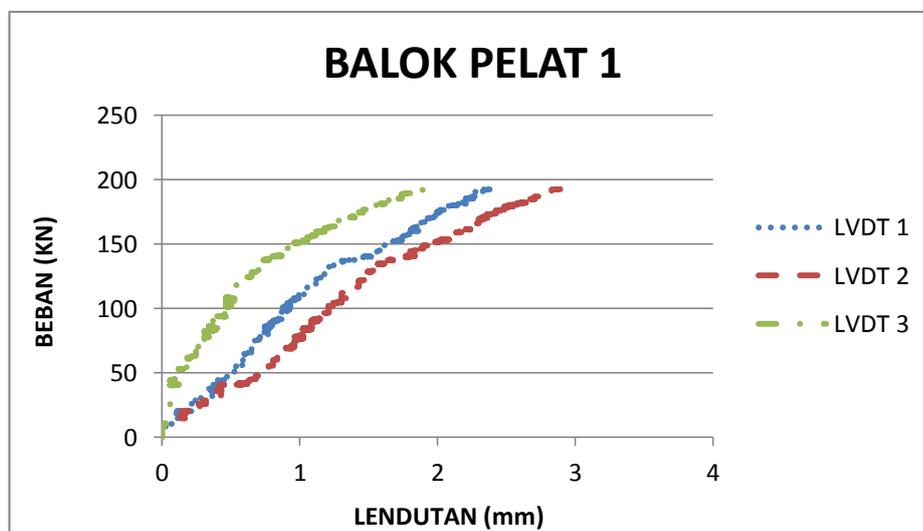
Tabel 5.4 Balok Uji 1 (Kode BP-1)

Beban P (KN)	Lendutan (mm)			Keretakan
	LVDT1	LVDT2	LVDT3	
0	0	0	0	
10	0.33955	0.49502	0.032765	
20	0.37064	0.53389	0.0597	
30	0.37842	0.55721	0.0597	
40	0.40174	0.5883	0.09079	
50	0.52611	0.74378	0.12189	
60	0.5883	0.83706	0.18408	
70	0.65049	0.96144	0.30845	
80	0.74378	1.02363	0.33177	
90	0.83706	1.08582	0.37064	

Lanjutan Tabel 5.4 Balok Uji 1 (Kode BP-1)

Beban P (KN)	Lendutan (mm)			Keretakan
	LVDT1	LVDT2	LVDT3	
100	0.93034	1.2102	0.46393	
110	1.05472	1.30348	0.52611	
120	1.11691	1.42786	0.5883	
130	1.2102	1.55224	0.71268	
135	1.30348	1.61442	0.71268	<i>first crack</i>
140	1.52114	1.80876	0.85261	Retak Rambut
150	1.67661	1.95646	0.99253	Retak Rambut Menjalar
160	1.80099	2.20522	1.1791	Retak Rambut Menjalar
170	1.96424	2.36069	1.39676	Retak Melebar,
180	2.14303	2.57835	1.58333	Menjalar ke Atas
190	2.3296	2.78824	1.83209	Delaminasi Pelat baja
192	2.45398	3.0059	2.26741	<i>Maximum Load</i>

Dari hasil pengujian yang disajikan pada tabel diatas, dapat dibuat grafik yang mewakili hubungan antara beban dan lendutan balok seperti pada Gambar 5.8 berikut:



Gambar 5.8 Kurva Beban – Lendutan untuk Balok Pelat 1

2. Balok Uji 2 (BU-2)

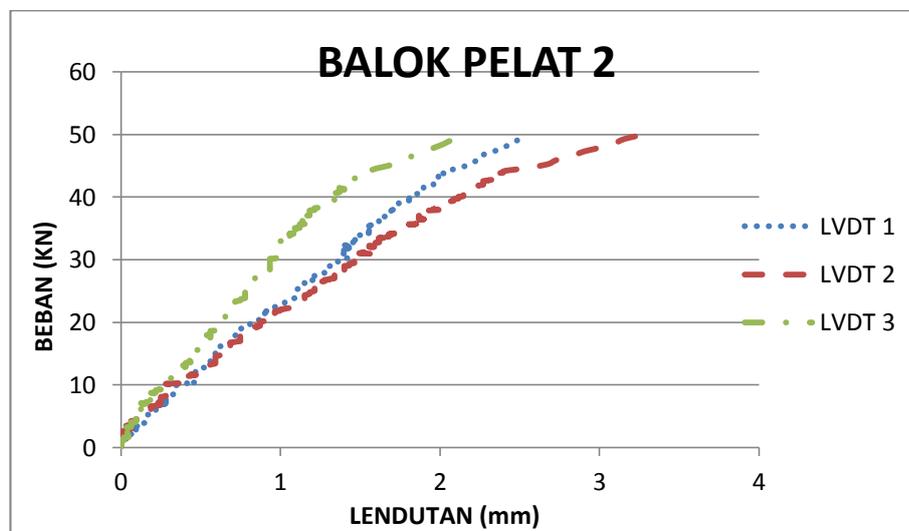
a. Tanpa Perkuatan

Adapun data-data hasil pengujian pembebanan terhadap balok-balok kode BU-1 (Balok Uji) dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut:

Tabel 5.5 Balok Uji 2 (Kode BU-2)

Beban P (KN)	Lendutan			Keretakan
	LVDT1	LVDT2	LVDT3	
0	0	0	0	
10	0.46641	0.40423	0.31095	
20	0.87064	0.93284	0.65299	
24	1.0883	1.19714	0.77737	First Crack
30	1.39925	1.53918	0.96393	Retak Rambut
40	1.86567	2.17662	1.36816	Retak Rambut Menjalar
49	2.54197	3.22606	2.13775	Mencapai 70% Beban Maximal

Dari hasil pengujian yang disajikan pada tabel diatas, dapat dibuat grafik yang mewakili hubungan antara beban dan lendutan balok seperti pada Gambar 5.9 berikut:



Gambar 5.9 Kurva Beban Lendutan untuk BP-2 dibebani 70% beban max

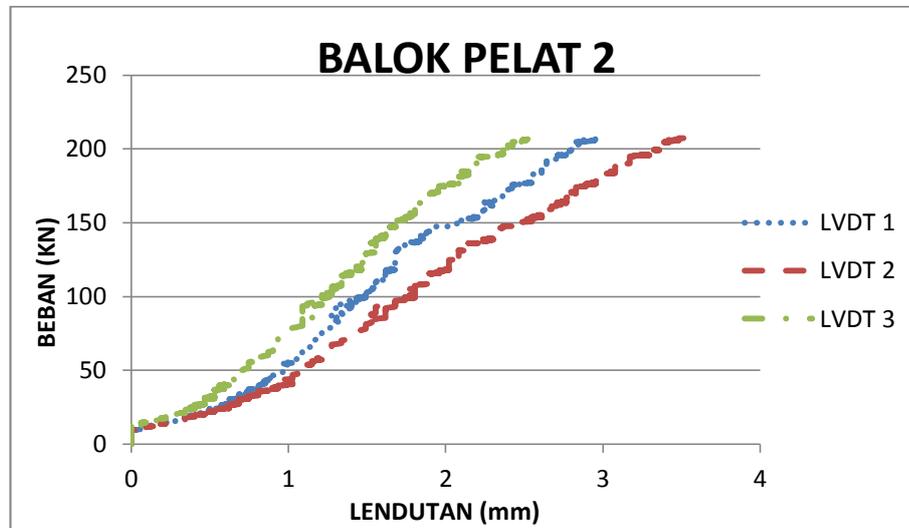
b. Perkuatan

Adapun data-data hasil pengujian pembebanan terhadap balok-balok kode BU-1 (Balok Uji) dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut:

Tabel 5.6 Balok Uji 2 (Kode BP-2)

Beban P (KN)	Lendutan			Keretakan
	LVDT1	LVDT2	LVDT3	
0	0	0	0	
10	0.06218	0.06219	0	
20	0.43532	0.46642	0.34204	
30	0.43532	0.46642	0.34204	
40	0.68407	0.71517	0.49751	
50	0.80597	0.96144	0.49502	
60	0.93034	1.08582	0.65049	
70	1.02363	1.24129	0.71268	
80	1.11691	1.36567	0.86815	
90	1.2102	1.49005	0.93034	
100	1.33457	1.67661	0.99253	
110	1.42786	1.7699	1.11691	
120	1.52114	1.89427	1.24129	
130	1.52114	1.95646	1.3268	
131	1.52114	1.98756	1.33457	first crack
140	1.67661	2.17413	1.39676	Retak Rambut
150	1.92537	2.42288	1.45895	Retak Rambut
160	2.14303	2.54726	1.58333	Retak Rambut Menjalar
170	2.20522	2.67164	1.7388	Retak Rambut Menjalar
180	2.39179	2.8893	1.89427	Retak Melebar,
190	2.51617	3.04477	1.98756	Menjalar ke Atas
200	2.67164	3.23134	2.17413	Delaminasi Pelat baja
207	3.02145	3.50342	2.35292	Maximum Load

Dari hasil pengujian yang disajikan pada tabel diatas, dapat dibuat grafik yang mewakili hubungan antara beban dan lendutan balok seperti pada Gambar 5.5 berikut.



Gambar 5.10 Kurva Beban – Lendutan untuk Balok Pelat 2

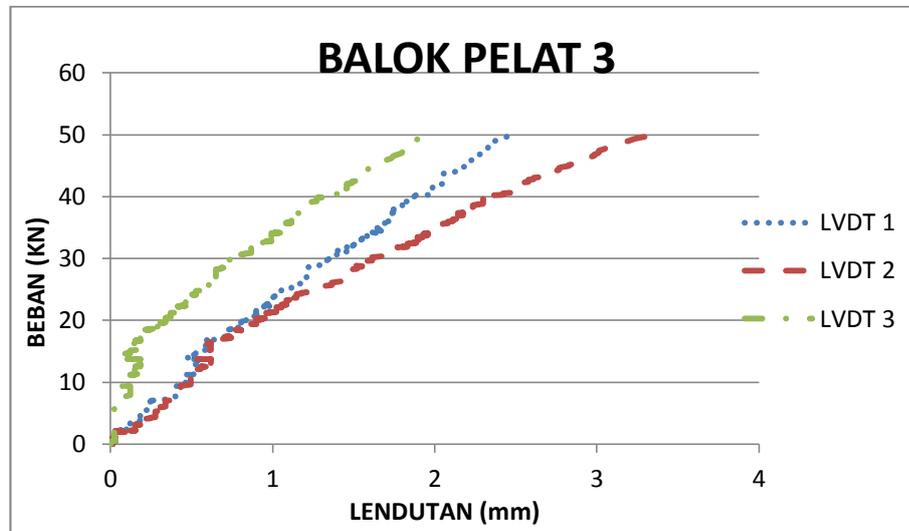
3. Balok Uji-3 (BU-3)
 - a. Tanpa Perkuatan

Adapun data-data hasil pengujian pembebanan terhadap balok-balok kode BU-1 (Balok Uji) dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut:

Tabel 5.7 Balok Uji 3 (Kode BU-3)

Beban P (KN)	Lendutan			Keretakan
	LVDT1	LVDT2	LVDT3	
0	0	0	0	
10	0.46393	0.49502	0.12189	
20	0.89925	0.96144	0.37064	
22	0.99253	1.08582	0.46393	First Crack
30	1.42786	1.70771	0.86815	Retak Rambut
40	1.98756	2.48507	1.42786	Retak Rambut Menjalar
49	2.45398	3.35572	1.96424	Mencapai 70% Beban Maximal

Dari hasil pengujian yang disajikan pada tabel diatas, dapat dibuat grafik yang mewakili hubungan antara beban dan lendutan balok seperti pada Gambar 5.11 berikut:



Gambar 5.11. Kurva Beban Lendutan untuk BP 3 dibebani 70% beban max

b. Perkuatan

Adapun data-data hasil pengujian pembebanan terhadap balok-balok kode BU-1 (Balok Uji) dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut:

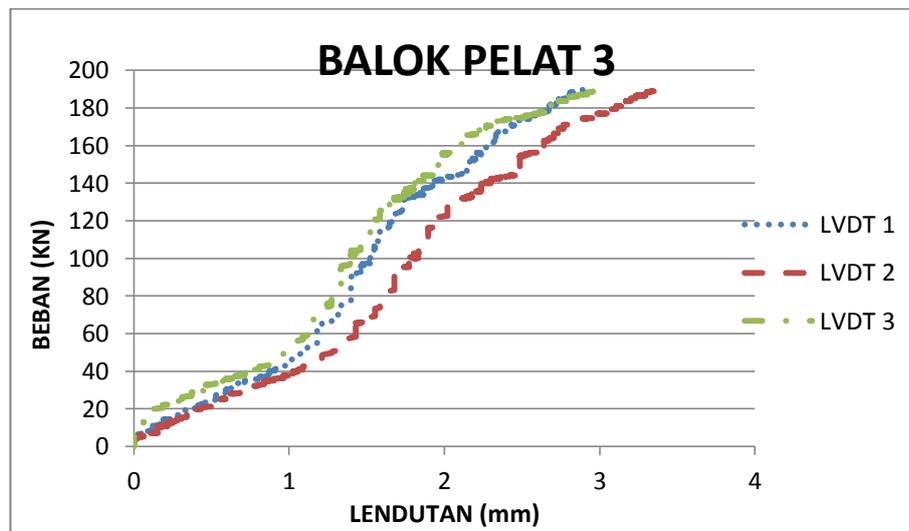
Tabel 5.8. Balok Uji 2 (Kode BP-2)

Beban P (KN)	Lendutan			Keretakan
	LVDT1	LVDT2	LVDT3	
0	0	0	0	
10	0.18408	0.21517	0.00249	
20	0.40174	0.46393	0.18408	
30	0.65049	0.74378	0.46393	
40	0.89925	1.08582	0.80597	
50	1.11691	1.30348	0.99253	
60	1.1791	1.42786	1.11691	
70	1.33457	1.55224	1.1791	
80	1.39676	1.58333	1.27238	
90	1.43563	1.67661	1.30348	

Lanjutan Tabel 5.8. Balok Uji 2 (Kode BP-2)

Beban P (KN)	Lendutan			Keretakan
	LVDT1	LVDT2	LVDT3	
100	1.52114	1.80099	1.39676	
110	1.58333	1.89427	1.52114	
120	1.67661	1.95646	1.58333	
130	1.7388	2.04975	1.67661	
140	1.92537	2.2985	1.86318	
144	2.11194	2.45398	1.92537	first crack
150	2.14303	2.48507	1.98756	Retak Rambut
160	2.26741	2.64054	2.11194	Retak Rambut Menjalar
170	2.40733	2.76492	2.2985	Retak Melebar, Menjalar ke Atas
180	2.67164	3.10696	2.67164	Delaminasi Pelat baja
189	3.02145	3.63557	3.38681	Maximum Load

Dari hasil pengujian yang disajikan pada tabel diatas, dapat dibuat grafik yang mewakili hubungan antara beban dan lendutan balok seperti pada Gambar 5.12 berikut.

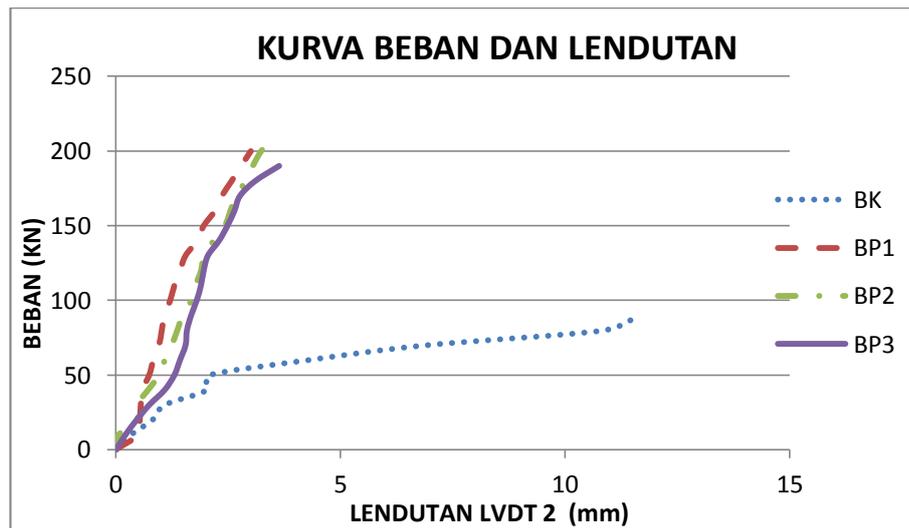


Gambar 5.12 Kurva Beban – Lendutan untuk Balok Pelat 3

Secara mekanik besarnya lendutan tergantung dari besarnya beban yang diberikan pada balok. Semakin besar beban yang diberikan, maka semakin besar

lendutan yang terjadi. Dari ketiga tabel diatas dapat dilihat BP-1 pada beban 192 kN terjadi lendutan sebesar 3.0059 mm sedangkan BP-2 pada beban 207 kN terjadi lendutan sebesar 3.5034 mm. BP-3 pada beban 189 kN terjadi lendutan sebesar 3,6356 mm. Hal ini menunjukkan bahwa balok yang diperkuat dengan pelat baja dapat menerima beban yang lebih besar dengan lendutan yang terjadi lebih kecil meskipun tidak terlalu signifikan.

Dari grafik juga menunjukkan bahwa nilai lendutan pada LVDT 2 pada semua benda uji balok mempunyai nilai lendutan yang lebih besar dibandingkan dengan nilai LVDT 1 dan LVDT 3 hal ini dikarenakan lendutan terbesar terjadi pada tengah balok. Kemudian runtuhnya balok terjadi pada satu sisi saja, hal tersebut dikarenakan balok mengalami kerusakan yang tidak merata disepanjang bentang tersebut. Kerusakan yang tidak merata dapat disebabkan oleh tidak meratanya kuat tekan yang dimiliki oleh balok. Grafik perbandingan lendutan tengah dari empat balok uji dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut.



Gambar 5.13 Kurva Beban – Lendutan Tengah untuk seluruh balok

5.6 Rekapitulasi Hasil Pengujian Balok

Setelah dilakukan pengujian pada BK dan Bp terdapat perbedaan antara perhitungan teoritis dengan hasil pengujian di laboratorium yaitu beban lentur

yang dapat ditahan oleh kedua jenis balok tersebut yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut:

Tabel 5.9 Perbandingan Hasil Kuat Lentur Teoritis - Eksperimen

Teoritis		Eksperimen			
BK (KN)	BU (KN)	BK-1 (KN)	BP-1 (KN)	BP-2 (KN)	BP-3 (KN)
69,64	463,839	70,93	192,67	207,321	189,704

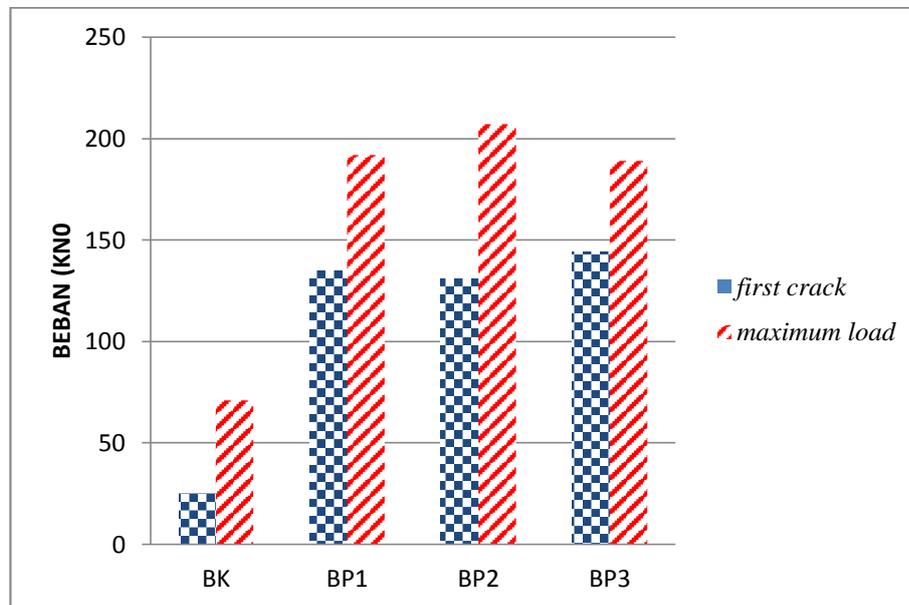
Beban lentur yang dapat ditahan oleh balok kode BP rata-rata mengalami peningkatan kuat lentur dibandingkan dengan balok kode BK. Namun balok dengan kode BK-3 mengalami penurunan kekuatan yang diakibatkan oleh perbedaan mutu beton dan pemasangan perkuatan. Hasil perbandingan kekuatan balok tersebut dapat dilihat pada tabel 5.10 berikut ini:

Tabel 5.10 Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Lentur

Kode Balok	Vmaks (KN)	Peningkatan Lentur (%)	Lendutan Tengah Bentang (mm)	Rata-Rata Vmaks (KN)	Rata-Rata Peningkatan Lentur (%)
BK	70,93	-	11,6191	70,93	-
BP-1	192,67	171.64889	3,0059	196,565	171,1253
BP-2	207,321	192,3056	3.5034		
BP-3	189,704	167,4676	3,63557		

Berdasarkan Tabel 5.10 dapat dilihat terjadi peningkatan kapasitas beban yang dapat ditahan oleh balok namun cukup signifikan. BK-1 sebagai acuan kekuatan setelah dilakukan pengujian didapatkan nilai 71,5 kN. Balok uji dengan perkuatan pelat baja “*striplap*” BP-1 meningkat sebesar 171.64889 %, balok BP-2 mengalami peningkatan kuat lentur sebesar 192,3056 %, balok BP-3 meningkat 167,4676 % sehingga jika dibuat rata-rata beban yang dapat dipikul oleh balok dengan kode BP didapat nilai 196, 565 KN serta mengalami peningkatan lentur sebesar 171,1253%. Dari hasil rekapitulasi yang disajikan pada tabel diatas, dapat

dibuat diagram yang mewakili perbandingan kuat lentur antara balok kontrol dan balok uji seperti pada Gambar 5.14 berikut:



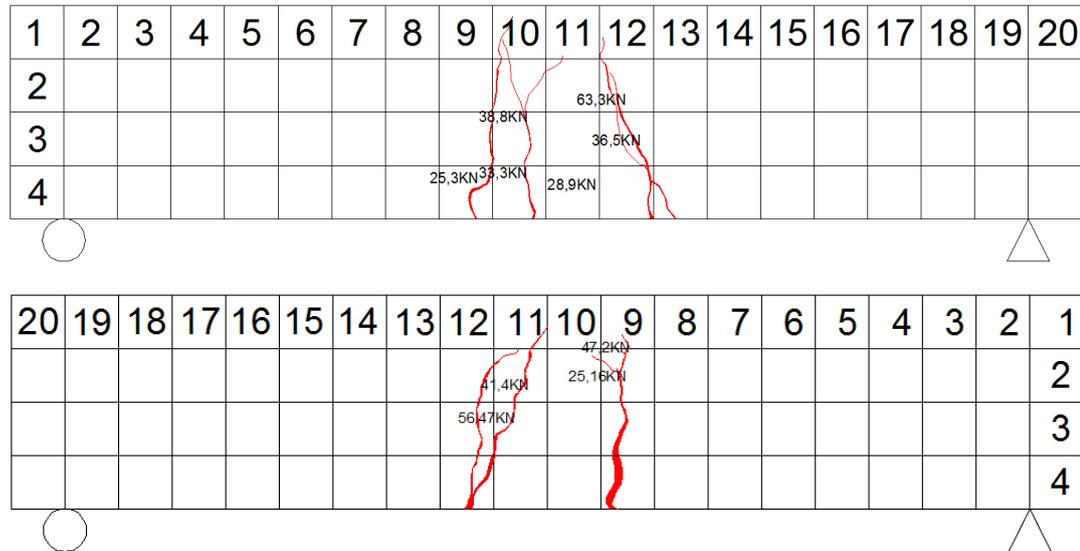
Gambar 5.14 Diagram Batang Perbandingan *First Crack* - *Max Load* Balok

5.7 Pola Keretakan Balok

Pola retak yang terjadi pada balok adalah berupa retak lentur. Keretakan tersebut menyebabkan keruntuhan lentur tekan (*shear compression failure*), yaitu keruntuhan yang terjadi setelah retak lentur terjadi, kemudian retak merambat ke belakang sepanjang tulangan lentur. Pada balok kontrol keretakan terjadi sepanjang garis diagonal pada daerah tekan balok. Keretakan ini melepaskan lekatan tulangan memanjang dan pelepasan mortar yang diakhiri dengan hancurnya beton tekan disisi atas balok.

Pada balok dengan perkuatan pelat baja pola keretakan berbeda dengan balok kontrol yaitu berupa retak lentur murni, namun pada awalnya keretakan lentur terjadi pada daerah lapangan balok dan menjalar keatas. Semakin bertambahnya beban, ternyata pelat baja "*stripplat*" mulai kehilangan daya lekat pada balok yang kemudian menyebabkan lepasnya pelat baja sehingga terjadinya retak lentur.

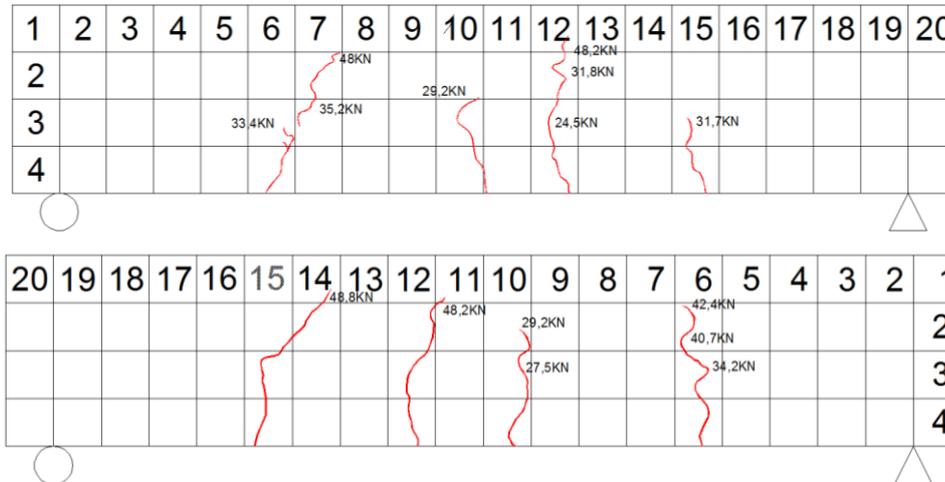
Berdasarkan Gambar 5.15 menunjukkan bahwa keretakan yang terjadi pada BK adalah keretakan lentur dengan panjang retakan $\pm 20\text{cm}$ dan lebar retakan sebesar $\pm 8\text{mm}$. Pada BK keruntuhan terjadi pada tengah balok dengan adanya pelepasan mortar.



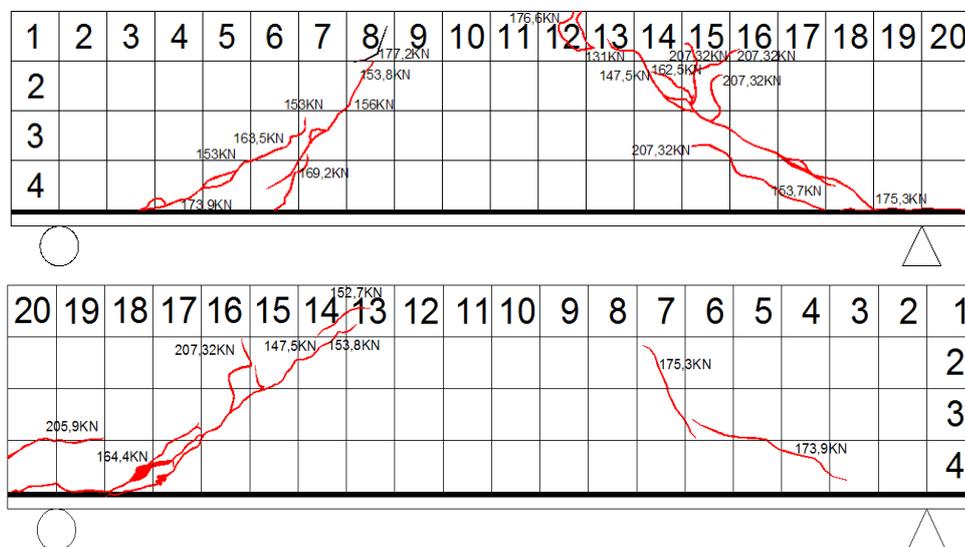
Gambar 5.15 Pola Keretakan Balok BK

Untuk pola retak yang terjadi pada BP-1 tanpa perkuatan dan sesudah di perkuatan dapat dilihat pada Gambar 5.16 dan Gambar 5.17. Pada balok uji BP-1 tanpa perkuatan kerusakan yang banyak terjadi adalah kerusakan lentur dengan panjang retakan $\pm 20\text{cm}$ dengan lebar retakan $\pm 10\text{mm}$ dan terdapat pelapasan mortar pada sisi kanan bawah keruntuhan balok dan balok uji BP-1 dengan perkuatan berdasar Gambar 5.15 menunjukkan bahwa yang terjadi pada BP-1 dengan perkuatan terjadinya keretakan dengan panjang retakan $\pm 25\text{cm}$ dan lebar retakan sebesar $\pm 18\text{mm}$. Pada BP-1 dengan perkuatan keruntuhan terjadi pada sisi kiri balok dengan adanya pelepasan mortar.

lebar retakan sebesar ±18mm dengan adanya pelepasan mortar pada sisi sisi kiri balok uji dan diikuti pada bagian tumpuan balok pelat baja mengalami delaminasi.

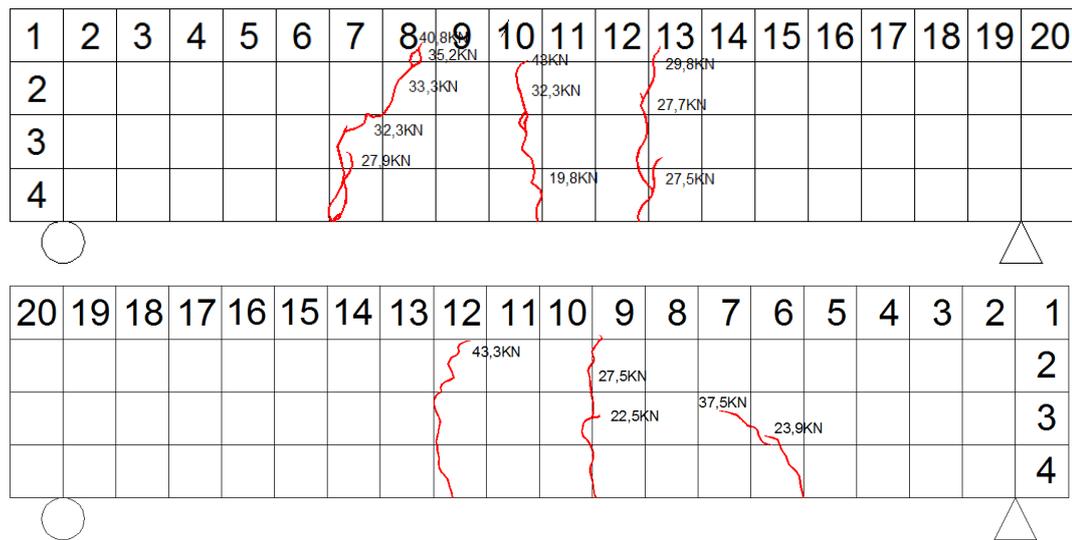


Gambar 5.18 Pola Keretakan Balok BP-2 Tanpa Perkuatan

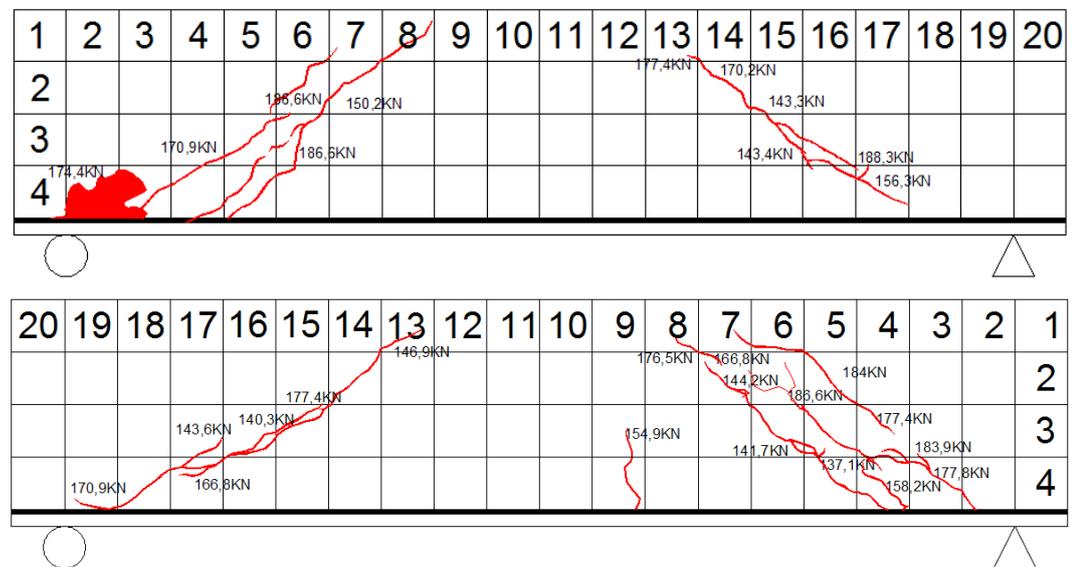


Gambar 5.19 Pola Keretakan Balok BP-2 Dengan Perkuatan

Untuk pola retak yang terjadi pada BP-3 tanpa perkuatan dapat dilihat pada Gambar 5.20 muncul retakan lentur didaerah tumpuan dengan lebar retakan ±8mm. dan panjang retakan ±20mm untuk pola retak pada balok uji BP-3 dengan perkuatan dapat dilihat pada Gambar 5.21 pada gambar tersebut menunjukkan bahwa keretakan yang terjadi pada BP-3 dengan perkuatan mengalami bentuk retak yang berbeda dengan BP-3 tanpa perkuatan dengan panjang retakan ±25cm dan lebar retakan sebesar ±18mm Pelepasan mortar terjadi pada bagian tumpuan disertai dengan lepasnya lapisan pelat baja.



Gambar 5.20 Pola Keretakan Balok BP-3 Tanpa Perkuatan



Gambar 5.21 Pola Keretakan Balok BP-3 Dengan Perkuatan

5.8 Pola Keruntuhan Balok

Pola keruntuhan yang terjadi pada balok uji BU-1, BU-2, BU-3 adalah *debonding failure* yaitu lepasnya ikatan (delaminasi) antara permukaan balok beton dengan permukaan pelat baja sebelum pelat baja bekerja optimal. *Debonding* diawali dengan munculnya retak-retak pada bidang kosong antara perkuatan pelat baja kemudian retakan menjalar ke daerah tekan balok. *Debonding* pada pelat baja bersifat getas dibandingkan dengan *debonding* pada

tulangan yang berlangsung sedikit demi sedikit. *Debonding* terjadi karena beberapa faktor sebagai berikut:

1. Kelemahan *epoxy adhesive*

Peranan *bond* (lekatan) sangat penting dalam membentuk aksi komposit antara beton dan pelat baja “*striplap*”. Lekatan antara beton dan pelat baja “*striplap*” dipengaruhi oleh *epoxy adhesive* yang digunakan, sehingga tanpa adanya *epoxy adhesive* yang kuat maka struktur komposit yang diharapkan tidak terjadi. *Epoxoy adhesive* yang kurang kuat dapat diketahui dari modulus elastisitas *epoxy* yang dipakai sebesar $E = 12000 \text{ Mpa}$ yang lebih kecil dari E beton yaitu sebesar 20000 Mpa , sehingga terlihat bahwa *epoxy* lebih lemah dari beton.

2. Permukaan pelat baja licin.

Permukaan pelat baja yang licin mengakibatkan lekatan antara beton dan pelat baja yang dibentuk oleh friksi akibat kekasaran permukaan menjadi lemah, sehingga akibatnya terjadi slip pada pelat baja yang memicu terjadinya *debonding*.

5.9 Analisis Biaya Perkuatan Menggunakan Pelat Baja

Analisis biaya yang dihitung pada penelitian ini adalah biaya pembuatan balok uji dan biaya perkuatan menggunakan pelat baja. Perhitungan ini akan dijabarkan dalam harga satuan kebutuhan material dan harga satuan komponen.

5.9.1. Daftar Harga Pekerja Dan Bahan Bangunan Tahun 2015 Di Wilayah Yogyakarta

Dalam menghitung rencana anggaran biaya (RAB) terutama dalam pekerjaan perkuatan menggunakan pelat baja tentu terdapat perbedaan harga yang dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti jumlah material yang digunakan, jumlah pekerja yang digunakan dan dalam proses pelaksanaannya. Oleh karena itu dalam pembahasan kali ini akan menggunakan daftar harga pada Daerah Istimewa

Yogyakarta. Daftar harga pekerja dapat dilihat pada tabel 5.11, dan harga satuan material dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan 5.13.

Tabel 5.11 Daftar Satuan Harga Pekerja

No	Pekerja	Satuan	Harga Upah (Rp)
1	Mandor	Hari	65.000,00
2	Tukang Kayu	Hari	63.000,00
3	Tukang Batu	Hari	58.000,00
4	Tukang Besi	Hari	61.000,00
5	Pekerja	Hari	52.000,00

Sumber: Peraturan Walikota Yogyakarta Nomor 50 Tahun 2015 Tentang Standarisasi Harga dan Jasa Pada Pemerintahan Kota Yogyakarta

Tabel 5.12 Daftar Satuan Harga Bahan Bangunan

No	Jenis Bahan Bangunan	Satuan	Harga Satuan (Rp)
1	Pasir Beton	Kg	150,00
2	Semen Portland 40 kg	Kg	1.100,00
3	Kerikil Beton	kg	125,00
4	Besi Beton Polos	Kg	15.000,00
7	Kawat Beton	kg	20.000,00
8	<i>Plywood</i> 9mm	lbr	128.800,00
9	Paku 5cm / 12 cm	kg	16.000,00
10	Kayu Kelas II Balok	m ³	17.000,00
11	Dolken Kayu (8-10) cm, Panjang 4m	m ³	15.000,00
12	Minyak Begisting	Litter	40.500,00

Sumber : Peraturan Walikota Yogyakarta Nomor 50 Tahun 2015 Tentang Standarisasi Harga dan Jasa Pada Pemerintahan Kota Yogyakarta

Tabel 5.13 Daftar Satuan Harga Material Perkuatan

No	Jenis Bahan Bangunan	Satuan	Harga Satuan (Rp)
1	Pelat Baja "stripplat"	m ²	43.333,00
2	Expoxy adhesive Sikadur-31 CF Normal	kg	62.500,00

Sumber : PT Sika Indonesia

5.9.2. Analisis Perhitungan Harga Satuan Bahan

1. Perhitungan Beton

Adapun perhitungan harga satuan beton dengan mutu 20 MPa dapat dilihat pada tabel 5.14 berikut:

Tabel 5.14 Pekerjaan 1m³ Beton f[']c = 20 Mpa (K255)

No	Uraian	Kode	Satuan	Indeks	Harga satuan (Rp)	Jumlah harga (Rp)
A.	TENAGA					
	Pekerjaan	L.01	OH	1,650	52.100,00	85.965,00
	Tukang Batu	L.02	OH	0,275	58.000,00	15.950,00
	Kepala Tukang	L.03	OH	0,028	63.000,00	1.764,00
	Mandor	L.04	OH	0,083	65.000,00	5.395,00
	JUMLAH TENAGA KERJA					109.074,00
B.	BAHAN					
	Semen Portland		Kg	346,000	1.100,00	380.600,00
	Pasir Beton		Kg	692,000	150,00	103.800,00
	Kerikil (Maks 30mm)		kg	1039,000	125,00	129.875,00
	Air		Liter	215	5,00	1.075,00
	JUMLAH HARGA BAHAN					615.350,00
C.	Peralatan		Jam	1,000	25.000,00	25.000,00
	JUMLAH HARGA ALAT					25.000,00
D.	Jumlah (A+B+C)					749.424,00
E.	Overhead & Profil			15% x D		112.734,00
F.	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					861.837,00

Harga satuan pekerjaan beton K250 per- m ³	= Rp 861.837,00
Volume balok	= 0,03 m ³
Harga Balok Beton / m ³	= Rp 25.855,11
	= Rp 26.000,00

2. Perhitungan Pembesian

Adapun perhitungan harga satuan pembesian dapat dilihat pada Tabel 5.15 berikut:

Tabel 5.15 Pembesian 10 Kg Besi Poloa Atau Besi Ulir

No	Uraian	Kode	Satuan	Indeks	Harga satuan (Rp)	Jumlah harga (Rp)
A.	TENAGA					
	Pekerjaan	L.01	OH	0,070	52.100,00	3.647,00
	Tukang Besi	L.02	OH	0,070	61.000,00	4.270,00
	Kepala Tukang	L.03	OH	0,007	63.000,00	441,00
	Mandor	L.04	OH	0,004	65.000,00	260,00
	JUMLAH TENAGA KERJA					8.618,00
B.	BAHAN					
	Besi Beton		Kg	10,500	15.000,00	157.500,00
	Kawat Beton		Kg	0,150	20.000,00	3.000,00
	JUMLAH HARGA BAHAN					160.500,00
C.	Peralatan		Jam	0,800	700,00	560,00
	JUMLAH HARGA ALAT					560,00
D.	Jumlah (A+B+C)					169.678,000
E.	Overhead & Profil				15% D	25.451,70
F.	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					195.129,700

Harga satuan pekerjaan pembesian per-m³ = Rp 195.129,700

Tulangan pokok = 0,6 kg/m

Volume tulangan = 0,0628 m

Berat total tulangan = 9,549 kg

= 0,9549 kg/10kg

Harga tulangan / 10 kg = Rp 186.488,88

= Rp 187.000,00

3. Perhitungan Bekisting

Adapun perhitungan harga satuan bekisting dapat dilihat pada Tabel 5.16 berikut:

Tabel 5.16 Pemasangan 1m² Bekisting Untuk Balok

No	Uraian	Kode	Satuan	Indeks	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)	
A.	TENAGA						
	Pekerjaan	L.01	OH	0,520	52.100,00	27.092,00	
	Tukang Kayu	L.02	OH	0,260	63.000,00	16.380,00	
	Kepala Tukang	L.03	OH	0,026	63.000,00	1.638,00	
	Mandor	L.04	OH	0,026	65.000,00	1.690,00	
	JUMLAH TENAGA KERJA						46.800,00
B.	BAHAN						
	Kayu Begesting Papan		m3	0,040	151.100,00	6.044,00	
	Paku 5cm s/d 12cm		Kg	0,400	16.000,00	6.400,00	
	Minyak Begisting		Liter	0,200	40.500,00	8.100,00	
	Balok Kayu Kelas II		m3	0,018	17.000,00	306,00	
	Plywood tebal 9 mm		Lbr	0,350	128.800,00	45.080,00	
	Dolken kayu Galam		m3	2,000	15.000,00	30.000,00	
	JUMLAH HARGA BAHAN						95.930,00
C.	Peralatan		Jam	1,000	1.000,00	1.000,00	
	JUMLAH HARGA ALAT						1.000,00
D.	Jumlah (A+B+C)						143.730,00
E.	Overhead & Profil				15% D	21.559,50	
F.	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)						165.289,50

Harga satuan pekerjaan bekisting = Rp 165.289,50
 Volume bekisting balok = 0,55 m³
 Harga bekisting beton / m² = Rp 98.846,77
 = Rp 100.000,00

4. Perhitungan perkuatan menggunakan Pelat Baja “stripplat”

Adapun perhitungan harga satuan perkuatan balok dapat dilihat pada tabel 5.17 berikut

Tabel 5.17 Daftar Satuan Harga Material dan Upah Perkuatan Balok

No	Uraian	Kode	Satuan	Indeks	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
A.	TENAGA					
	Pekerjaan	L.01	OH	0,660	52.100,00	34.386,00
	Tukang Besi	L.02	OH	0,070	63.000,00	4.410,00
	Kepala Tukang	L.03	OH	0,033	80.000,00	2.079,00
	Mandor	L.04	OH	0,033	85.000,00	2.145,00
	JUMLAH TENAGA KERJA					
B.	BAHAN					
	Besi Strip		m	3,000	43.333,00	129.999,00
	Lem perekat		kg	1,900	62.500,00	118.750,00
	JUMLAH HARGA BAHAN					
C.	Peralatan		Jam	0,800	700,00	560,00
	JUMLAH HARGA ALAT					
D.	Jumlah (A+B+C)					251.454,00
E.	Overhead & Profil				15% D	37.817,10
F.	Harga Satuan Pekerjaan (D+E)					289.172,10

Harga satuan perkuatan balok beton = Rp 289.931,10
 = Rp 290.000,00

5.9.3. Rekapitulasi Perhitungan Biaya Balok Dan Balok Perkuatan

1. Perhitungan Kebutuhan Biaya Balok

Harga satuan pekerjaan beton f'c 20 = Rp 26.000,00

Harga satuan pekerjaan pembesian = Rp. 190.000,00

Harga satuan pekerjaan bekisting = Rp 100.000,00

Harga Balok Beton

Rp 26.000,00 + Rp. 190.000,00 + Rp 100.000,00

= Rp 316.000,00 / balok m³

2. Perhitungan Kebutuhan Biaya Balok Perkuatan

$$\begin{aligned}
 &\text{Harga satuan pekerjaan beton f'c 20} &&= \text{Rp } 26.000,00 \\
 &\text{Harga satuan pekerjaan pembesian} &&= \text{Rp. } 190.000,00 \\
 &\text{Harga satuan pekerjaan bekisting} &&= \text{Rp } 100.000,00 \\
 &\text{Harga Balok Beton Perkuatan} &&= \text{Rp } 290.000,00 \\
 &\text{Rp } 26.000,00 + \text{Rp. } 190.000,00 + \text{Rp } 100.000,00 + \text{Rp } 290.000,00 \\
 &= \text{Rp } 606.000,00 / \text{balok m}^3
 \end{aligned}$$

Dengan perhitungan anggaran biaya diatas, maka dapat diketahui keseluruhan biaya yang diperlukan dalam penelitian ini. Baik itu harga satuan, maupun harga komponen. Agar lebih jelas maka rekapitulasi biaya dapat dilihat pada Tabel 5.17 berikut

Tabel 5.17 Rekapitulasi Total Biaya Pembuatan Sampel dan Perkuatan Menggunakan pelat baja

Pekerjaan	Kebutuhan Biaya			
	Harga satuan/ m ³	Harga satuan/ 1 balok	Jumlah sampel	Total
Balok	Rp1.284.919,00	Rp 316.000,00	4	Rp 1.264.000,00
Perkuatan pelat baja	Rp1.574.091,00	Rp 606.000,00	3	Rp 1.818.000,00
		Subtotal		Rp 3.082.000,00
		Dibulatkan		Rp 3.100.000,00

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan akhir untuk menjawab rumusan masalah dari penelitian ini, yaitu sebagai berikut ini.

1. Berdasarkan pengamatan pengaruh penambahan Pelat Baja “*striplap*” pada balok beton betulang dapat disimpulkan bahwa :
 - a. Dari hasil penelitian diketahui bahwa balok yang diperkuat dengan Pelat Baja “*striplap*” dapat menahan beban yang lebih besar dengan lendutan yang lebih kecil. BK sebagai acuan kekuatan didapatkan nilai 70,9 kN. Balok uji dengan perkuatan Pelat Baja “*striplap*” dengan penamaan BP-1 mendapatkan nilai dari hasil pengujian sebesar 192,67 KN dan meningkat sebesar 171,6488 % terhadap nilai kuat lentur balok kontrol, balok BP-2 mendapatkan nilai dari hasil pengujian sebesar 207,321 KN dan mengalami kuat lentur sebesar 192,3056 %, dan balok BP-3 mendapatkan nilai dari hasil pengujian sebesar 189,704 KN mengalami peningkatan kuat lentur sebesar 167,4676% lebih rendah dibandingkan dengan balok uji lainnya.
 - b. Dengan data lendutan dapat dibuat perhitungan kelengkungan balok dengan hasil keseluruhan balok uji baik BP-1, BP-2, BP-3 menunjukkan kelengkungan yang lebih kecil dari pada balok kontrol BK. Hal ini disebabkan oleh berfungsinya Pelat Baja “*striplap*” dalam mencegah defleksi balok yang besar.
2. Setelah perkuatan Pelat Baja “*striplap*” dipasang pada balok, perilaku balok dalam menerima beban dapat diamati dan ditarik kesimpulan yaitu :
 - a. Pola keruntuhan yang terjadi pada balok uji adalah terjadinya *debonding failure* yaitu lepasnya ikatan antara beton dengan Pelat Baja “*striplap*”,

sehingga dapat dikatakan bahwa material komposit tersebut belum bisa bekerja secara optimal. Hal tersebut dapat terjadi karena beberapa kemungkinan antara lain diakibatkan karena pelat baja yang ”*stripplat*” yang terlalu tebal, proses pengerjaan perkuatan yang belum maksimal dan pembuatan balok beton bertulang yang tidak sesuai perencanaan .

- b. Penggunaan Pelat Baja ”*stripplat*” sebagai bahan perkuatan lentur dibagian lapangan balok, pelat baja juga dapat menghambat munculnya retakan pada bagian tumpuan. Akan tetapi karena pelat baja hanya meningkatkan kuat lentur balok pada bagian lapangan, bagian tumpuan balok menjadi lemah. Pada balok yang diberi perkuatan lentur menggunakan pelat baja banyak bermunculan retak pada bagian tumpuan, retakan semakin panjang seiring dengan penambahan beban pikul. Hal tersebut berakibat terjadinya *debonding failure* yaitu lepasnya ikatan antara beton dengan Pelat Baja ”*stripplat*”. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa material komposit tersebut belum bisa bekerja secara optimal dalam memikul beban dan mempertahankan balok tersebut.
3. Menurut perhitungan anggaran biaya, penelitian ini menghabiskan total Rp3.100.000,00 untuk membuat sampel balok dan perkuatannya. Sedangkan harga 1 buah balok adalah Rp316.000,00 dan harga perkuatan Pelat Baja ”*stripplat*” per balok adalah Rp606.000,00.

6.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka disarankan beberapa hal sebagai berikut ini.

1. Untuk penelitian selanjutnya, peneliti harus memperhitungkan kekuatan lentur balok dan pola keruntuhan balok, sehingga perletakan perkuatan dan ketebalan pelat baja bisa lebih efektif.
2. Berdasarkan hasil pengamatan pola keruntuhan balok pada penelitian ini, perlu dilakukan penelitian lebih mendalam mengenai kuat lekatan Pelat Baja ”*stripplat*” pada permukaan balok. Jenis epoxy yang berbeda-beda dapat memengaruhi efektifitas Pelat Baja ”*stripplat*” dalam perkuatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arwin Amaruddin, Arwin, 2014, Studi Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Metode Retrofit Menggunakan Wiremesh Dan Scc, *Tugas Akhir*, Universitas Hasannudin, Makasar.
- Asroni, Ali, 2010, *Balok dan Pelat Beton Bertulang*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 1991, *Metode Pengujian Kuat tarik Baja Beton*, SNI 07-2529-1991.
- Badan Standarisasi Nasional, 1993, *Metode Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium*, SNI 03-2493-1993.
- Badan Standarisasi Nasional, 1993, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, SNI 03-2834-1993.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, SNI 03-2847-2002.
- Dewobroto, Wiryanto, 2005, *Aplikasi Rekayasa Konstruksi*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Dipohusodo, Istimawan, 1994, *Struktur Beton Bertulang*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Fauzan, 2009, Analisis Metode Pelaksanaan *Retrofitting* pada Bangunan Sederhana, *Jurnal Rekayasa Sipil Universitas Andalas*, Vol. 8 No. 1 Hlm. 11-20 Padang.
- FTSP UII, 2012, *Buku Panduan Praktikum Bahan Konstruksi Teknik Laboratorium Bahan Kontruksi Teknik*, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Helmi, Masdar, 2009, Perbaikan Balok Beton Bertulang Yang Telah Mengalami Beban Puncak Dengan Baja Siku, *Jurnal Ilmiah. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung*, Bandar Lampung.
- Miswar, Khairul, 2010, Perbaikan Dan Perkuatan Balok Beton Bertulang Dengan Cara Penambahan Profil Baja Kanal, *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe*, NAD.
- Nawy, Edward G., 1998, *Beton Bertulang: Suatu Pendekatan Dasar*, PT. Eresco, Bandung.

Sitepu, Nomi, 2014, Perilaku Balok Beton Bertulang Dengan Perkuatan Pelat Baja Dalam Memikul Lentur, *Tugas Akhir*, Universitas Sumatera Utara, Medan.

Triwiyono, A., 2004, *Perbaikan dan Perkuatan Struktur Beton*, Topik Bahan Ajar, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta

LAMPIRAN



Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta, Telp. (0274) 895042

Lampiran 1. Tabel Hasil Uji Laboratorium

Tabel 1. Lokasi pengambilan material

Material	Lokasi Pengambilan
Agregat Halus	Merapi
Agregat Kasar	Merapi



Pengujian Modulus Halus Butir (MHB) / Analisis Agregat Halus

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40.00	0	0	0	100
20.00	0	0	0	100
10.00	0	0	0	100
4.80	55	2.756	2.756	97.244
2.80	99	4.960	7.715	92.285
1.20	222	11.122	18.838	81.162
0.60	747	37.425	56.263	43.737
0.30	655	32.816	89.078	10.922
0.15	174	8.717	97.796	2.204
Sisa	44	2.204	100.000	0.000
Jumlah	1996	100	-	-

Gradasi Pasir

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat Yang Lolos Ayakan							
	Daerah I		Daerah II		Daerah III		Daerah IV	
10.00	100		100		100		100	
4.80	90	100	90	100	90	100	95	100
2.80	60	95	75	100	85	100	95	100
1.20	30	70	55	90	75	100	90	100
0.60	15	34	35	59	60	79	80	100
0.30	5	20	8	30	12	40	15	50
0.15	0	10	0	10	0	10	0	15

Keterangan:

Daerah I : Pasir Kasar

Daerah III : Pasir Agak Halus

Daerah II : Pasir Agak Kasar

Daerah IV : Pasir Halus



Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
 Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
 Universitas Islam Indonesia
 Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta, Telp. (0274) 895042

Pengujian Modulus Halus Butir (MHB) / Analisis Agregat Kasar

Lubang Ayakan (mm)	Berat Tertinggal (gram)	Berat Tertinggal (%)	Berat Tertinggal Kumulatif (%)	Persen Lolos Kumulatif (%)
40.00	0	0	0	100
20.00	1856	37.202	37.202	62.798
10.00	2216	44.418	81.620	18.380
4.80	389	7.797	89.417	10.583
2.80	113	2.265	91.682	8.318
1.20	197	3.949	95.630	4.370
0.60	0	0.000	95.630	4.370
0.30	0	0.000	95.630	4.370
0.15	0	0.000	95.630	4.370
Sisa	218	4.370	100.000	0.000
Jumlah	4989			

Gradasi Kerikil

Lubang Ayakan (mm)	Persen Butir Agregat yang Lolos Ayakan / Besar Butiran Maksimum	
	40 mm	20 mm
40.00	95 - 100	100
20.00	30 - 70	95 - 100
10.00	10 - 35	25 - 55
4.80	0 - 5	0 - 10



Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia
Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta, Telp. (0274) 895042

Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus

Uraian	Jumlah	Satuan
Berat pasir kering mutlak (Bk)	490.85	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD)	500	gram
Berat piknometer berisi pasir dan air (Bt)	1005	gram
Berat piknometer berisi air (B)	679.5	gram
Berat Jenis Curah $Bk/(B+500-Bt)$(1)	2.813	-
Berat Jenis henuh kering muka $500/(B+500-Bt)$(2)	2.865	-
Berat Jenis semu $Bk/(B+Bk-Bt)$(3)	2.968	-
Penyerapan Air $(500-Bk)/Bk \times 100\%$(4)	1.864	-

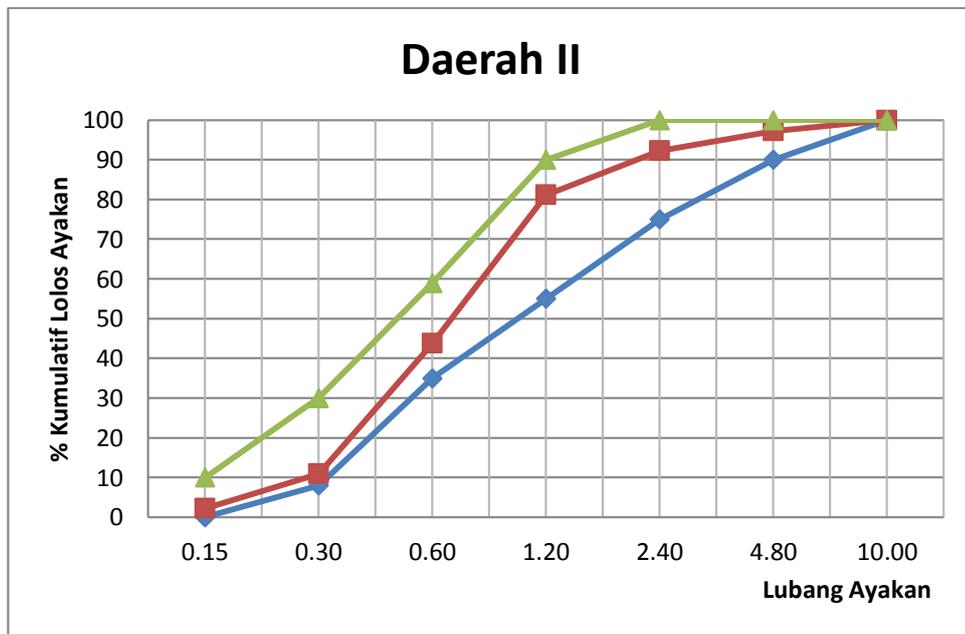
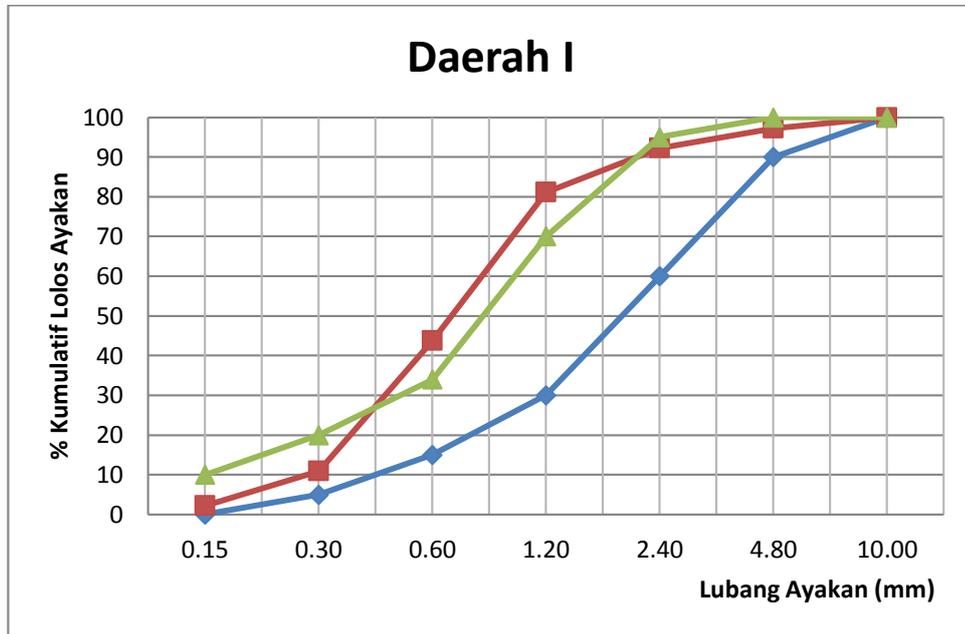


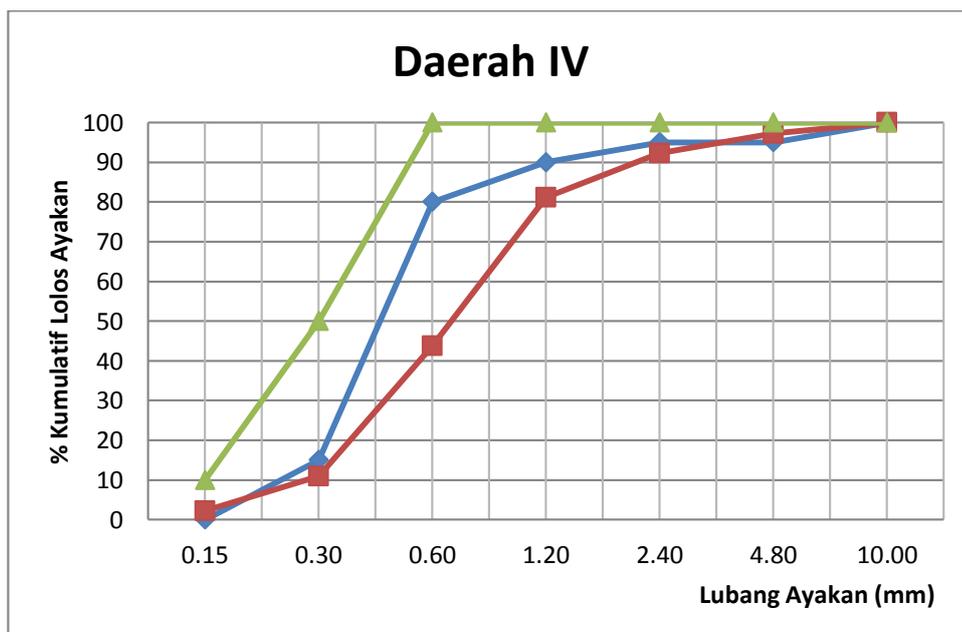
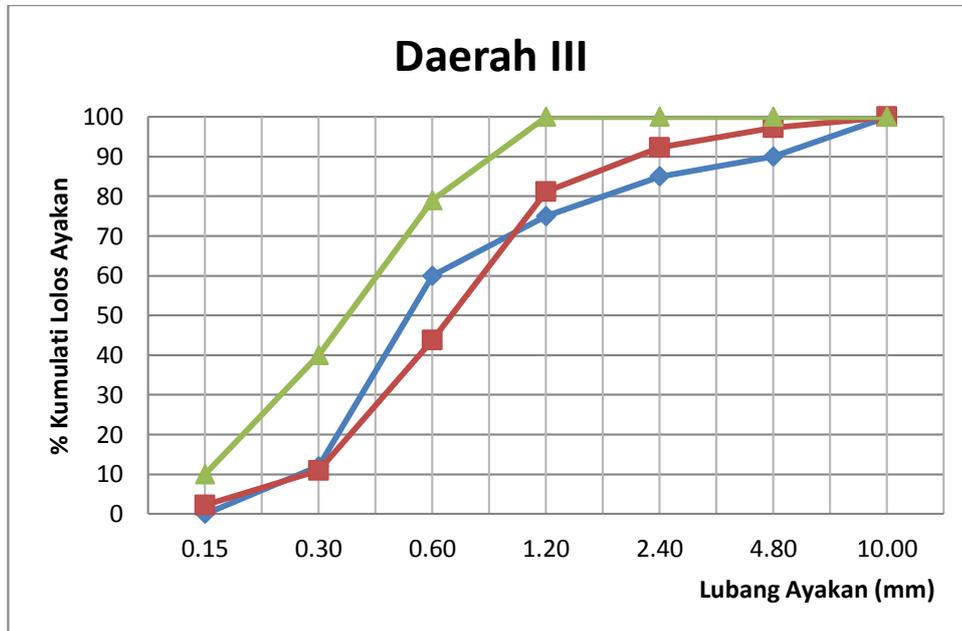
Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
 Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
 Universitas Islam Indonesia
 Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta, Telp. (0274) 895042

Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Uraian	Jumlah	Satuan
Berat pasir kering mutlak (Bk)	4920	gram
Berat pasir kondisi jenuh kering muka (SSD)	5000	gram
Berat piknometer berisi air (Ba)	3270	gram
Berat Jenis Curah $Bk/(B+500-Bt)$(1)	2.843	-
Berat Jenis henuh kering muka $500/(B+500-Bt)$(2)	2.890	-
Berat Jenis semu $Bk/(B+Bk-Bt)$(3)	2.981	-
Penyerapan Air $(500-Bk)/Bk \times 100\%$(4)	1.626	-

Grafik Grading Pengujian Agregat Halus







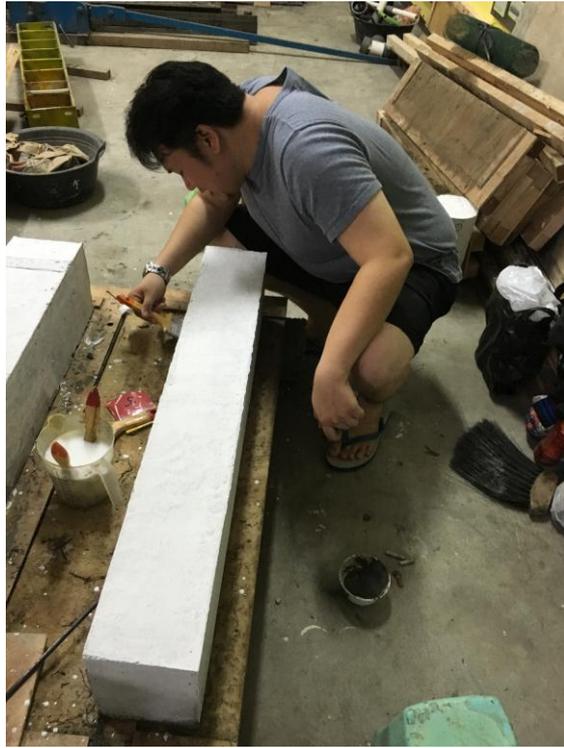
MIX DESIGN SNI 03-2834-2000			
Jenis semen	=	Type 1	
Jenis pasir	=	Alami	
Jenis kerikil	=	Batu Pecah	
Berat jenis pasir	=	2.866	
Berat jenis kerikil	=	2.982	
Ukuran agregat maks	=	40	mm
Gradasi pasir	=	Daerah 2	
F'c	=	20	Mpa
Deviasi standar	=	7	Mpa
M	=	11,48	Mpa
M (dibulatkan)	=	12	Mpa
F'cr	=	32	Mpa
Nilai fas			
Fas (tabel 2)	=	0,6	
Fas (grafik 1)	=	0,541	
Fas pakai	=	0,6	
Slump rencana	=	60-180	Mm
Kadar air bebas		185	kg/m ³
Kadar semen	=	341.9593	kg/m ³
Kadar semen maks	=	341.9593	kg/m ³
Kadar semen min	=	275	kg/m ³
Kadar semen pakai		342	kg/m ³
% Agregat halus	=	37,5	%
Berat jenis gabungan	=	2.938	Kg
Berat isi beton (grafik)	=	2310	Kg
Kadar agregat gabungan	=	1783	Kg
Kadar agregat halus	=	668,625	Kg
Kadar agregat kasar	=	1114	kg



Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik
 Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
 Universitas Islam Indonesia
 Jalan Kaliurang Km 14,4 Yogyakarta, Telp. (0274) 895042

Kebutuhan setiap m ³			
Air	=	185	kg
Semen	=	342	kg
Pasir	=	668,6	kg
Kerikil	=	1114	kg
Benda uji			
5 Balok	=	$5*(0,1*0,2*1)$	m ³
	=	0,100	m ³
Penyusutan	=	115%	
Vol penyusutan	=	0,1242	
Setiap campuran benda uji			
Air	=	19	kg
Semen	=	45,6	kg
Pasir	=	95,3	kg
Kerikil	=	148,1	kg

Lampiran 2. Dokumentasi



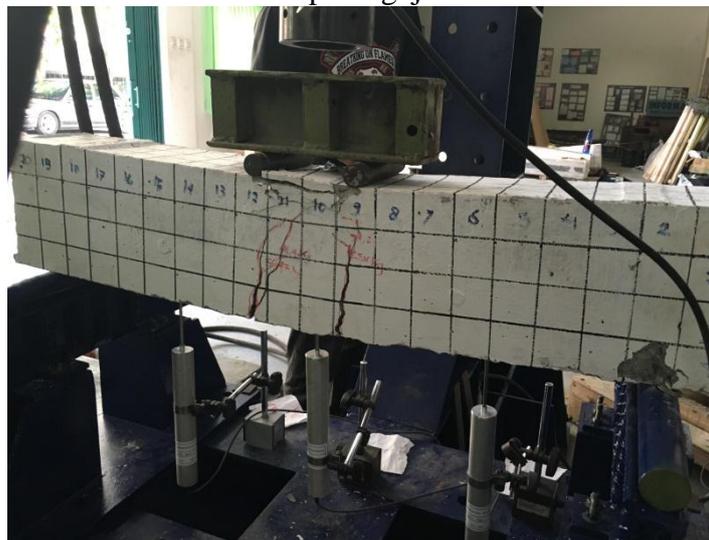
1. Perawatan Balok



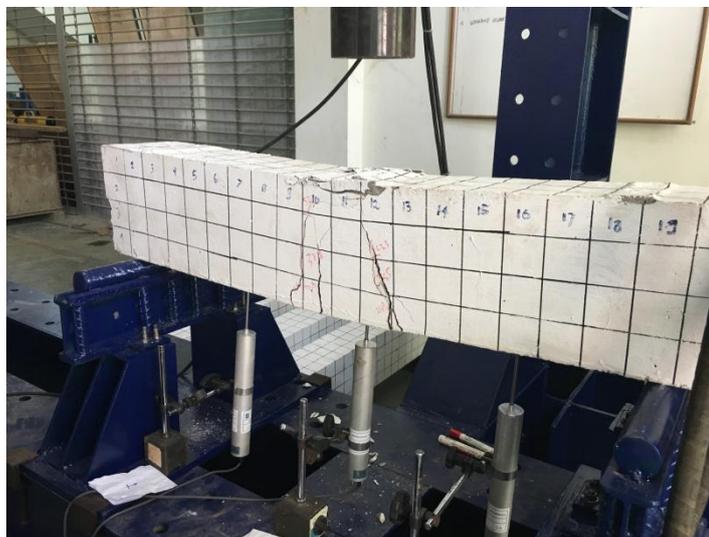
2. Pemasangan Perkuatan



3.Set Up Pengujian Balok



4.Pola Keretakan BK-1 (A)



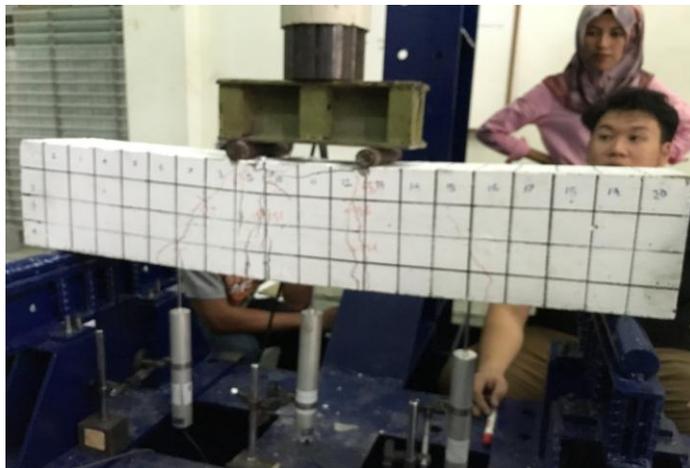
5.Pola Keretakan BK-1 (B)



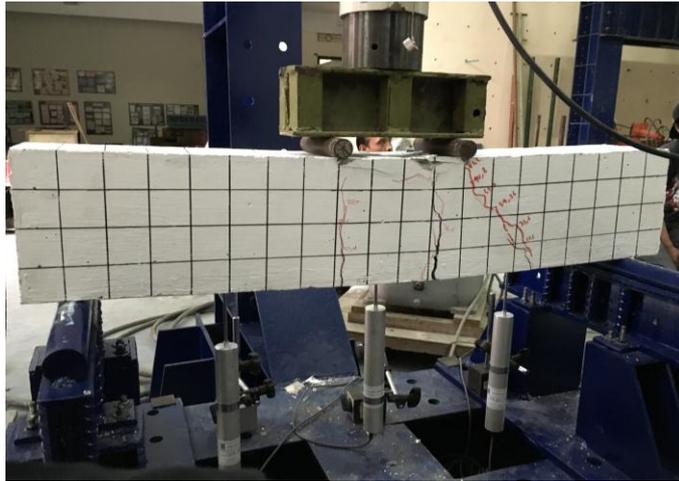
6.Pola Keretakan BP-1 Tanpa Perkuatan (A)



7.Pola Keretakan BP-1 Tanpa Perkuatan (B)



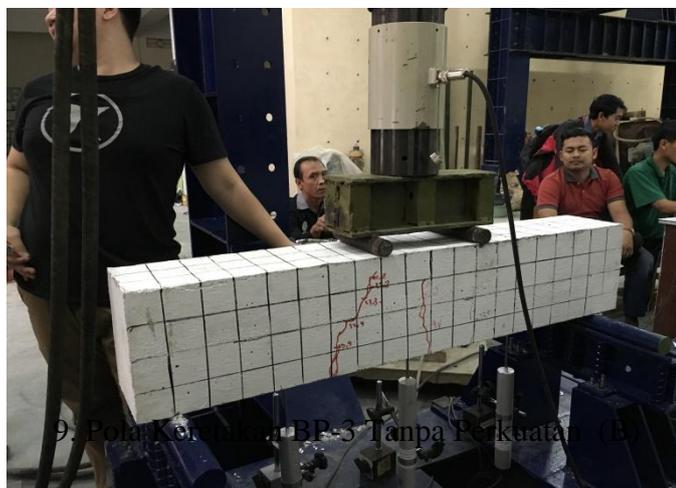
8.Pola Keretakan BP-2 Tanpa Perkuatan (A)



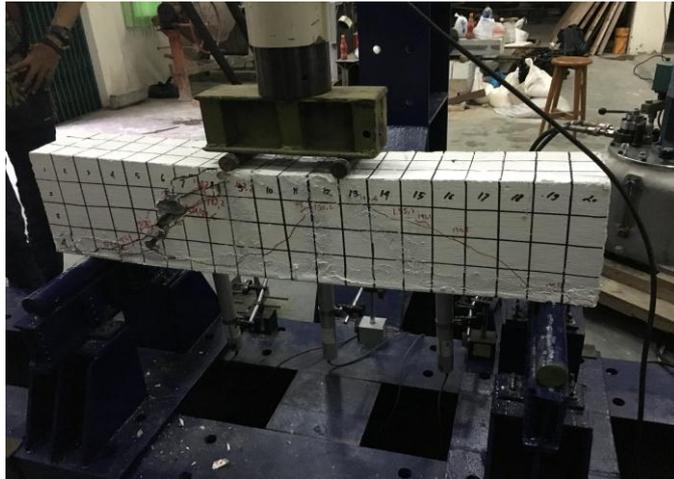
10.Pola Keretakan BP-3 Tanpa Perkuatan (A)



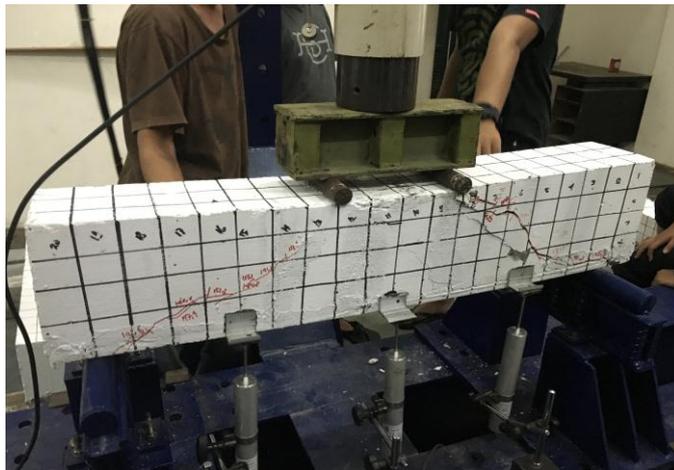
10.Pola Keretakan BP-3 Tanpa Perkuatan (A)



11. Pola Keretakan BP-3 Tanpa Perkuatan (A)



12. Pola Keretakan BP-1 Dengan Perkuatan (A)



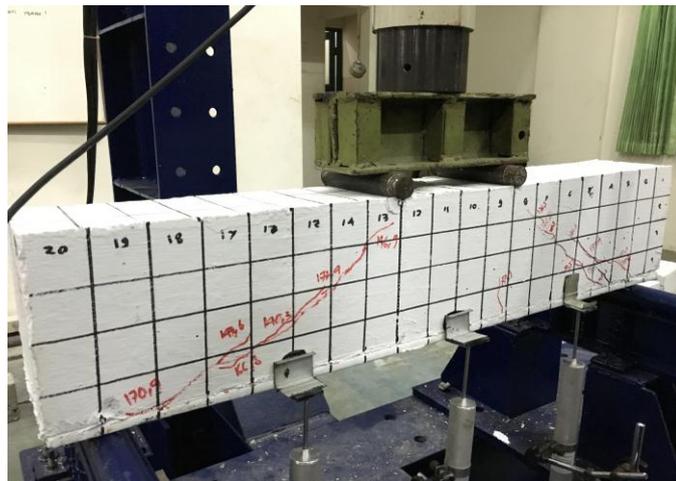
13. Pola Keretakan BP-1 Dengan Perkuatan (B)



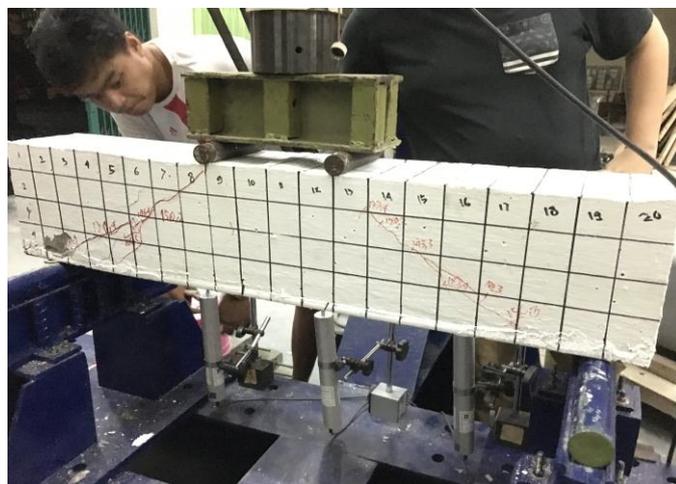
14. Pola Keretakan BP-2 Dengan Perkuatan (A)



15. Pola Keretakan BP-2 Dengan Perkuatan (B)



16. Pola Keretakan BP-3 Dengan Perkuatan (A)



17. Pola Keretakan BP-3 Dengan Perkuatan (B)

Sikadur®-31 CF Normal

2-part thixotropic epoxy adhesive

Product Description

Sikadur®-31 CF Normal is a moisture tolerant, thixotropic, structural two part adhesive and repair mortar, based on a combination of epoxy resins and special fillers, designed for use at temperatures between +10°C and +30°C.

Uses

As a structural adhesive and mortar for:

- Concrete elements
- Hard natural stone
- Ceramics, fiber cement
- Mortar, Bricks, Masonry
- Steel, Iron, Aluminium
- Wood
- Polyester, Epoxy
- Glass

As a repair mortar and adhesive:

- Corners and edges
- Holes and void filling
- Vertical and overhead use

Joint filling and crack sealing:

- Joint and crack arris / edge repair

Characteristics / Advantages

Sikadur®-31 CF Normal has the following advantages:

- Easy to mix and apply
- Very good adhesion to most construction materials
- High strength adhesive
- Thixotropic: non-sag in vertical and overhead applications
- Hardens without shrinkage
- Different coloured components (for mixing control)
- No primer needed
- High initial and ultimate mechanical strength
- Good abrasion resistance
- Impermeable to liquids and water vapour
- Good chemical resistance

Construction



Tests

Approval / Standards Testing according to EN 1504-4.

Product Data

Form

Colours Part A: white
 Part B: dark grey
 Parts A+B mixed: concrete grey

Packaging 6 kg (A+B) Pre-batched unit, pallets of 480 kg (80 x 6 kg).
 1.2 kg (A+B) Pre-batched unit, box of 6 x 1.2 kg.

Storage

Storage Conditions / Shelf Life 24 months from date of production if stored properly in original unopened, sealed and undamaged packaging, in dry conditions at temperatures between +5°C and +30°C. Protect from direct sunshine.

Technical Data

Chemical Base Epoxy resin.

Density 1.90 ± 0.1 kg/l (part A+B mixed) (at +23°C) (evacuated)

Sag Flow On vertical surfaces it is non-sag up to 15 mm thickness. (According to EN 1799)

Layer Thickness 30 mm max.
 When using multiple units, one after the other. Do not mix the following unit until the previous one has been used in order to avoid a reduction in handling time.

Change of Volume Shrinkage:
 Hardens without shrinkage.

Thermal Expansion Coefficient Coefficient W:
 5.9 x 10⁻⁵ per °C (Temp. range +23°C - +60°C) (According EN 1770)

Thermal Stability Heat Deflection Temperature (HDT):
 HDT = +49°C (7 days / +23°C) (According to ISO 75)
 (thickness 10 mm)

Mechanical / Physical Properties

Compressive Strength

(According to DIN EN 196)

Curing time	Curing temperature		
	+10°C	+23°C	+30°C
1 day	25 - 35 N/mm ²	45 - 55 N/mm ²	50 - 60 N/mm ²
3 days	40 - 50 N/mm ²	55 - 65 N/mm ²	60 - 70 N/mm ²
7 days	50 - 60 N/mm ²	60 - 70 N/mm ²	60 - 70 N/mm ²

Flexural Strength

(According to DIN EN 196)

Curing time	Curing temperature		
	+10°C	+23°C	+30°C
1 day	11 - 17 N/mm ²	20 - 30 N/mm ²	20 - 30 N/mm ²
3 days	20 - 30 N/mm ²	25 - 35 N/mm ²	25 - 35 N/mm ²
7 days	25 - 35 N/mm ²	30 - 40 N/mm ²	30 - 40 N/mm ²

Tensile Strength

(According to ISO 527)

Curing time	Curing temperature		
	+10°C	+23°C	+30°C
1 day	2 - 6 N/mm ²	6 - 10 N/mm ²	9 - 15 N/mm ²
3 days	9 - 15 N/mm ²	17 - 23 N/mm ²	17 - 23 N/mm ²
7 days	14 - 20 N/mm ²	18 - 24 N/mm ²	19 - 25 N/mm ²

Bond Strength

(According to EN ISO 4624, EN 1542 and EN 12188)

Time	Temperature	Substrate	Bond strength
1 day	+10°C	Concrete dry	> 4 N/mm ² *
1 day	+10°C	Concrete moist	> 4 N/mm ² *
1 day	+10°C	Steel	6 - 10 N/mm ²
3 days	+10°C	Steel	10 - 14 N/mm ²
3 days	+23°C	Steel	11 - 15 N/mm ²
3 days	+30°C	Steel	13 - 17 N/mm ²

*100% concrete failure.

E-Modulus

Tensile:

~ 5'000 N/mm² (14 days at +23°C)

(According to ISO 527)

Compressive:

~ 4'600 N/mm² (14 days at +23°C)

(According to ASTM D695)

Elongation at Break

0.4 ± 0.1% (7days at +23°C)

(According to ISO 527)

System Information

Application Details

Consumption / Dosage	The consumption of Sikadur®-31 CF Normal is ~ 1.9 kg/m ² per mm of thickness.
Substrate Quality	Mortar and concrete must be older than 28 days (depends on minimal requirement of strengths). Verify the substrate strength (concrete, masonry, natural stone). The substrate surface (all types) must be clean, dry or mat damp (no standing water) and free from contaminants such as dirt, oil, grease, existing surface treatments and coatings etc.. Steel substrates must be de-rusted similar to Sa 2.5. The substrate must be sound and all loose particles must be removed.
Substrate Preparation	Concrete, mortar, stone, bricks: Substrates must be sound, dry or mat damp (no standing water), clean and free from laitance, ice, standing water, grease, oils, old surface treatments or coatings and all loose or friable particles must be removed to achieve a laitance and contaminant free, open textured surface. Steel: Must be cleaned and prepared thoroughly to an acceptable quality i.e. by blastcleaning and vacuum. Avoid dew point conditions.

Application Conditions / Limitations

Substrate Temperature	+10°C min. / +30°C max.
Ambient Temperature	+10°C min. / +30°C max.
Material Temperature	Sikadur®-31 CF Normal must be applied at temperatures between +10°C and +30°C
Substrate Moisture Content	Substrate must be dry or mat damp (no standing water) Brush the adhesive well into the substrate
Dew Point	Beware of condensation! Substrate temperature during application must be at least 3°C above dew point.

Application Instructions

Mixing	Part A : part B = 2 : 1 by weight or volume
Mixing Time	 Pre-batched units: Mix parts A+B together for at least 3 minutes with a mixing spindle attached to a slow speed electric drill (max. 300 rpm) until the material becomes smooth in consistency and a uniform grey colour. Avoid aeration while mixing. Then, pour the whole mix into a clean container and stir again for approx. 1 more minute at low speed to keep air entrapment at a minimum. Mix only that quantity which can be used within its potlife.
Application Method / Tools	When using a thin layer adhesive, apply the mixed adhesive to the prepared surface with a spatula, trowel, notched trowel, (or with hands protected by gloves). When applying as a repair mortar use some formwork. When using for bonding metal profiles onto vertical surfaces ,support and press uniformly using props for at least 12 hours, depending on the thickness applied (not more than 5 mm) and the room temperature. Once hardened check the adhesion by tapping with a hammer.

Cleaning of Tools	Clean all tools and application equipment with Sika® Thinner C immediately after use. Hardened / cured material can only be mechanically removed.						
Potlife	Potlife (200 g) (According to EN ISO 9514)						
	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>+10°C</td> <td>+23°C</td> <td>+30°C</td> </tr> <tr> <td>~ 145 minutes</td> <td>~ 55 minutes</td> <td>~ 35 minutes</td> </tr> </table>	+10°C	+23°C	+30°C	~ 145 minutes	~ 55 minutes	~ 35 minutes
	+10°C	+23°C	+30°C				
~ 145 minutes	~ 55 minutes	~ 35 minutes					
The potlife begins when the resin and hardener are mixed. It is shorter at high temperatures and longer at low temperatures. The greater the quantity mixed, the shorter the potlife. To obtain longer workability at high temperatures, the mixed adhesive may be divided into portions. Another method is to chill parts A+B before mixing them (not below +5°C).							
Notes on Application / Limitations	Sikadur® resins are formulated to have low creep under permanent loading. However due to the creep behaviour of all polymer materials under load, the long term structural design load must account for creep. Generally the long term structural design load must be lower than 20-25% of the failure load. Please consult a structural engineer for load calculations for your specific application.						
Value Base	All technical data stated in this Product Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.						
Local Restrictions	Please note that as a result of specific local regulations the performance of this product may vary from country to country. Please consult the local Product Data Sheet for the exact description of the application fields.						
Health and Safety Information	For information and advice on the safe handling, storage and disposal of chemical products, users shall refer to the most recent Material Safety Data Sheet containing physical, ecological, toxicological and other safety-related data.						
Legal Notes	The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its products. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.						



SIKA LIMITED
 Head Office · Watchmead · Welwyn Garden City ·
 Hertfordshire · AL7 1BQ · United Kingdom
 Phone: +44 1 707 394444 · Fax: +44 1 707 329129 · www.sika.co.uk