

TUGAS AKHIR

**PERILAKU RETAK DAN KERUNTUHAN GESER
PADA BALOK BERTULANG DENGAN MEMAKAI
RASIO SENGGKANG BERVARIASI**

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



Suliantoro Sulaiman

05 511 036

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2011

TUGAS AKHIR

**PERILAKU RETAK DAN KERUNTUHAN GESER
PADA BALOK BERTULANG
DENGAN VARIASI SENGGANG**

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



Suliantoro Sulaiman

05 511 036

Disahkan oleh :

Pembimbing:

Ketua Jurusan:

(Prof. Ir. H. Mochammad Teguh, MSCE, Ph.D)

(Ir. H. Suharyatmo, MT)

Tanggal :

Tanggal :

TUGAS AKHIR

**PERILAKU RETAK DAN KERUNTUHAN GESER
PADA BALOK BERTULANG
DENGAN VARIASI SENGGANG**

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



05 511 036

Disetujui oleh :

Pembimbing/Penguji:

(Prof. Ir. H. Mochammad Teguh, MSCE, Ph.D)

Penguji:

(Ir. H. A. Kadir Aboe, MS)

Penguji:

(Ir. Susastrawan, MS)



Sebuah kebangga yang terlambat...

Untuk yang membanggakan dan dibanggakan

Alm. Ayahanda Sulaiman Sukimin (22-Mei-1940 s/d 2-Juli-2011)

Ibunda Noer Seha Sulaiman

Kakak-kakak dan adikku tersayang

Seseorang yang dicinta

Teman, sahabat serta saudara seperjuangan

Terima kasih atas kesabaran, dukungan dan cintanya selama ini

MOTTO

﴿ سَيَقُولُ السُّفَهَاءُ مِنَ النَّاسِ مَا وَلَّيْتَهُمْ عَنِ قِبَلَتِهِمْ الَّتِي كَانُوا عَلَيْهَا قُلْ لِلَّهِ الْمَشْرِقُ
وَالْمَغْرِبُ يَهْدِي مَنْ يَشَاءُ إِلَى صِرَاطٍ مُسْتَقِيمٍ ﴾

Orang-orang yang kurang akalnya diantara manusia akan berkata: "Apakah yang memalingkan mereka dari kiblatnya yang dahulu mereka telah ber kiblat kepadanya?" Katakanlah: "Kepunyaan Allah-lah timur dan barat; Dia memberi petunjuk kepada siapa yang dikehendaki-Nya ke jalan yang lurus "

(Q.S. Al-Baqarah 142)

﴿ إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ﴿٦﴾ فَإِذَا فَرَغْتَ فَانصَبْ ﴿٧﴾ وَإِلَىٰ رَبِّكَ فَارْغَبْ ﴿٨﴾ ﴾

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh urusan yang lain, dan hanya kepada Tuhanlah hendaknya kamu berharap

(Q.S. Alam Nasyrah, 6-8)

"Keinginan untuk mencari tahu adalah suatu kewajiban bagi setiap umat muslim"

Muhammad SAW

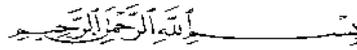
"Kaum muda, yang diperlukan adalah orang-orang yang mampu memimpin sesuatu yang tak pernah diimpikan siapapun"

John F Kennedy

"Tiada satupun langkah besar yang dapat dicapai tanpa adanya langkah-langkah kecil yang berawal dengan niat yang teguh serta ridha-Nya melalui orang-orang yang menyayangi kita"

Suliantoro Sulaiman

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah rabbi 'alamin. Puji dan syukur dihatirkan kehadirat Allah SWT atas karunia-Nya hingga dapat terselesaikannya laporan tugas akhir ini.

Sesuai dengan kurikulum dan persyaratan akademis, untuk menempuh derajat Sarjana Teknik Sipil program strata satu (S-1) di Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, maka setiap mahasiswa diwajibkan melaksanakan tugas akhir sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana strata satu (S-1).

Selama melaksanakan penelitian tugas akhir dan penyusunan laporan, telah banyak didapatkan bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu dalam kesempatan ini disampaikan terima kasih kepada :

1. Prof. Ir. H. Mochammad Teguh, MSCE, Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII Yogyakarta dan selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, terima kasih atas bimbingan, nasehat dan dukungan yang diberikan dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. Ir. Suharyatmo, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
3. Ir. Tri Fajar Budiono, MT, selaku Sekertaris Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Terima kasih atas saran, masukan dan nasihat yang membangun untuk kesempurnaan tugas akhir ini.
4. Ir. H. A. Kadir Aboe, MS, selaku Dosen Penguji. Terima kasih atas saran, masukan dan nasihat yang membangun untuk kesempurnaan tugas akhir ini.
5. Ir. H. Susastrawan, MS, selaku Dosen Penguji. Terima kasih atas saran, masukan dan nasihat yang membangun untuk kesempurnaan tugas akhir ini.
6. Segenap staf dan karyawan Laboratorium Mekanika Rekayasa dan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil FTSP UII.

Terutama Bpk. Warno, Bpk. Aris, Bpk. Darussalam dan Bpk. Hari, yang telah membantu selama penelitian berlangsung.

7. Segenap staf dan karyawan Administrasi Teknik Jurusan Teknik Sipil FTSP UII. Terutama Bpk. Santoro dan Bpk. Hari, yang telah membantu demi kelancaran dan kesuksesan penyelesaian tugas akhir.
8. Sahabat-sahabat seperjuangan *the 1st generation of Strain Gauge* (Alfan Septian, Akhmad Apip Setiawan, Dicky Edvant, KMS Azhari), sahabat-sahabat yang bantu di laboratorium (Deni, ai tigor, beta, agung apoe, jaka jack, ian cumi, ridz albarn, indra takur, topik, rangga, haris inyonk, kiki ailum, bentar, ian esek, ari ambon dan masih banyak lagi sahabat-sahabat yang belum disebutkan) terima kasih atas bantuannya selama proses penelitian berlangsung, berkat sahabat-sahabat juga lah penelitian tugas akhir ini selesai.
9. Semua pihak yang menunjang kesuksesan, kelancaran dan kesempurnaan tugas akhir yang belum disebutkan, terima kasih atas bantuannya selama ini.

Laporan tugas akhir ini masih banyak kekurangannya. Oleh karena itu, diharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun demi perbaikan laporan tugas akhir ini, semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membutuhkan.

Wassalaamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Juli 2011

Suliantoro Sulaiman

05 511 036

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
MOTTO	iv
PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	viii
ABTRACT	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR NOTASI	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Simulasi Keruntuhan Lentur Pada Balok Beton Bertulang Tanpa Menggunakan Sengkang	7
2.2 Simulasi Keruntuhan Lentur Pada Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan Sengkang	8
2.3 Keaslian Penelitian	9
BAB III LANDASAN TEORI	11
3.1 Beton	11
3.2 Bahan Penyusun Beton	11
3.2.1 Agregat	12

3.2.2	Semen	12
3.2.3	Air	13
3.2.4	Faktor yang mempengaruhi kuat tekan beton	13
3.2.5	Metode perancangan campuran beton	16
3.3	Baja Tulangan	26
3.3.1	Jenis baja tulangan	26
3.3.2	Perilaku baja tulangan	26
3.4	Kuat Geser Pada Balok Bertulang	28
3.5	Pola Kerusakan Balok	30
3.5.1	Balok tinggi	30
3.5.2	Balok pendek	31
3.5.3	Balok menengah	32
3.5.4	Balok panjang	32
3.6	Mekanisme Pembebanan	33
3.7	Jenis Retak	34
3.8	Mekanisme Perlawanan Geser	36
BAB IV METODE PENELITIAN		37
4.1	Metode Penelitian	37
4.2	Studi Pustaka	37
4.3	Bahan Dan Benda Uji	37
4.3.1	Bahan	37
4.3.2	Benda uji	38
4.4	Peralatan Penelitian	39
4.5	Pelaksanaan Penelitian	50
4.5.1	Pemasangan <i>strain gauge</i> pada baja tulangan	50
4.5.2	Persiapan bahan	51
4.5.3	Pengujian kuat tarik baja tulangan	52
4.5.4	Pengujian kuat desak silinder beton	52
4.5.5	Pembuatan sampel	53
4.5.6	Perawatan benda uji	57
4.5.7	Kodefikasi benda uji	57

4.5.8	Persiapan peralatan uji	58
4.5.9	Persiapan program “MGC Plus Assistant”	59
4.5.10	Pelaksanaan pengujian	60
4.5.11	Pencatatan data pengujian	60
4.5.12	Pengolahan data dan analisis	61
4.6	Bagan Alir Pengujian	62
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		65
5.1	Umum	66
5.2	Data Karakteristik Benda Uji	66
5.2.1	Data karakteristik beton	66
5.2.2	Data karakteristik baja tulangan	69
5.3	Pengujian Balok	70
5.4	Hubungan Beban-Lendutan (<i>Load Displacement Response</i>)	71
5.5	Hubungan Beban-Regangan	75
5.5.1	Hubungan beban-regangan beton	76
5.5.2	Hubungan beban-regangan tulangan baja	77
5.6	Hubungan Tegangan-Regangan	78
5.6.1	Hubungan tegangan-regangan beton	78
5.7	Pola Retak dan Keruntuhan Balok Uji	79
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		82
6.1	Kesimpulan	82
6.2	Saran	83
DAFTAR PUSTAKA		85
LAMPIRAN		86

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Unsur beton	11
Tabel 3.2	Faktor pengali untuk deviasi standar bila data hasil uji yang tersedia kurang dari 30 benda uji	17
Tabel 3.3	Batas gradasi pasir	17
Tabel 3.4	Perkiraan kuat tekan beton (MPa) dengan faktor air semen 0,05 dan jenis semen serta agregat yang biasa dipakai di Indonesia	19
Tabel 3.5	Persyaratan fas maksimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus	20
Tabel 3.6	Fas maksimum untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat	20
Tabel 3.7	Faktor air semen maksimum untuk beton bertulang dalam air	21
Tabel 3.8	Penetapan nilai <i>slump</i>	21
Tabel 3.9	Perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton (liter)	21
Tabel 3.10	Kebutuhan semen minimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus	22
Tabel 3.11	Kandungan semen minimum untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat	23
Tabel 3.12	Kebutuhan semen minimum untuk beton bertulang dalam air	23
Tabel 4.1	Data Material	53
Tabel 4.2	Perencanaan Campuran Beton	54
Tabel 4.3	Hasil Perencanaan Campuran Beton	55
Tabel 4.4	Kodefikasi benda uji	58
Tabel 4.5	Data pengujian balok uji	61
Tabel 5.1	Data kuat tekan sampel silinder beton tiap-tiap sampel balok pada umur 28 hari	68
Tabel 5.2	Data kuat tarik baja diameter baja tulangan 8 mm dan 16 mm	69

Tabel 5.3	<i>Property</i> balok beton bertulang dengan sengkang	69
Tabel 5.4	Perbedaan pembebanan teoritis dan riil	70
Tabel 5.5	Tabulasi defleksi maksimum dan beban yang menyebabkan terjadinya defleksi maksimum	72
Tabel 5.6	Selisih defleksi yang terjadi pada sisi timur dan barat balok uji	74
Tabel 5.7	Selisih beban maksimum riil dan beban maksimum teoritis tiap-tiap balok uji	75
Tabel 5.8	Perilaku keretakan pada balok uji selama pembebanan berlangsung	81



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Ilustrasi mekanisme pemberian beban pada balok	6
Gambar 3.1	Hubungan antara kuat tekan beton dengan faktor air semen	14
Gambar 3.2	Kuat tekan beton-fungsi umur beton	15
Gambar 3.3	Pengukuran nilai <i>slump</i>	16
Gambar 3.4	Hubungan faktor air semen dan kuat tekan (benda uji silinder \varnothing 150 mm dengan Tinggi 300 mm)	18
Gambar 3.5	Mencari nilai faktor air semen	19
Gambar 3.6	Persen pasir terhadap kadar total agregat yang dianjurkan untuk ukuran agregat maksimum 20 mm	24
Gambar 3.7	Hubungan kandungan air, berat jenis agregat campuran dan berat isi beton	25
Gambar 3.8	Kurva regangan-tegangan baja	28
Gambar 3.9	<i>Diagonal tension</i>	29
Gambar 3.10	Pola Kerusakan pada Balok Tinggi	30
Gambar 3.11	Shear Failure pada Balok Pendek	31
Gambar 3.12	Shear Failure pada Balok Menengah	32
Gambar 3.14	Shear Failure pada Balok Panjang	33
Gambar 3.15	Rencana Siklus Pembebanan Balok Uji	34
Gambar 3.16	Jenis-Jenis Retak Pada Balok	34
Gambar 4.1.a	Mesin uji desak	40
Gambar 4.1.b	Mesin uji tarik	40
Gambar 4.2	Mistar	41
Gambar 4.3	Kaliper	41
Gambar 4.4	Mesin pengaduk beton atau <i>mixer</i>	41
Gambar 4.5	Cetakan silinder beton atau <i>modal</i>	42
Gambar 4.6	Cetakan Balok (Bekisting)	42
Gambar 4.7	Gelas ukur	43
Gambar 4.8	Timbangan	43
Gambar 4.9	<i>Slump test set</i>	44
Gambar 4.10	<i>Loading frame</i>	45

Gambar 4.11	Dukungan sendi dan rol	45
Gambar 4.12	<i>Hydraulic pump</i>	46
Gambar 4.13	<i>Strain gauge</i>	47
Gambar 4.14	<i>Data logger</i>	48
Gambar 4.15	<i>Dial gauge</i>	48
Gambar 4.16	<i>Linear variable differential transformer</i>	49
Gambar 4.17	Komputer	50
Gambar 4.18	Perawatan benda uji	57
Gambar 4.19	Detail perletakkan benda uji dalam satuan mm	58
Gambar 4.20	Ilustrasi perletakkan benda uji	59
Gambar 4.21	Flowchart pelaksanaan pengujian	62
Gambar 4.22	Flowchart persiapan peralatan uji	63
Gambar 4.23	Flowchart persiapan pengujian benda uji	64
Gambar 5.1	Hubungan pembebanan-lendutan pada tengah balok uji	71
Gambar 5.2	<i>Load displacement response</i> pada balok BU-T2-75	73
Gambar 5.3	<i>Load displacement response</i> pada balok BU-T2-100	73
Gambar 5.4	Hubungan beban-regangan beton	76
Gambar 5.5	Hubungan beban-regangan tulangan baja	77
Gambar 5.6	Hubungan tegangan-regangan beton	78
Gambar 5.8	Pola retak dari balok BU-T2-75	79
Gambar 5.9	Pola retak dari balok BU-T2-100	80

DAFTAR NOTASI

- a : jarak antara tepi beton desak ke garis netral, mm
- A_s : luas tulangan tarik, mm²
- b : lebar penampang balok, mm
- C : gaya tekan, N
- C_c : gaya tekan beton, N
- C_s : gaya tekan baja, N
- d : tinggi efektif balok, mm
- f'_c : kuat desak beton, MPa
- f_y : kuat leleh baja, MPa
- f_r : tegangan tarik / tegangan retak, MPa
- f_{as} : faktor air semen
- f_s : regangan baja tarik, MPa
- h : tinggi penampang balok, mm
- I_y : inersia momen penampang, mm⁴
- J_d : jarak pusat total gaya tekan ke pusat tulangan tarik, mm
- k_d : jarak garis netral, mm
- L_n : jarak antara 2 garis perletakan/bentang bersih
- M : nilai margin
- \emptyset : diameter tulangan
- σ : tegangan, Mpa
- ε_c : regangan beton
- ε_s : regangan baja tarik
- p_b : selimut beton, mm
- T_s : gaya tarik tulangan, N

β_1 : konstanta dari fungsi kuat tekan beton

ρ : rasio tulangan tarik

μ : micron



ABSTRACT

Damages to the simple short beam due to concentrated loads are generally in bending and shear failures. Loading until reaching the maximum load will cause bending and or shear cracks along the span. Behavior of the damage which is caused by the shear strength is difficult to be predicted and the impact of damage is also fatal.

The study was conducted to determine the behavior of reinforced concrete beams with stirrups ratio varied and put on a simple pedestal. Beam are loaded by the load which is distributed into 2 (two) points of static loads that have been gradually rose. Data generated from this study are load displacement response, load strain response, stress strain response and pattern of cracks and failure of the beam. The loads are placed on one-third span of beam (one-third loading).

In this study, adequate test equipment attached to the test object. Test equipment, among others, LVDT (Linear Variable Differential Transformer as a sensor that indicate deflection), a strain gauge (as sensors that indicate strain), and the load cell (as a sensor that indicates the load) connected to a data logger (as a data processor) and assisted by a computer (to read and record data deflection, tension and load) for each test.

The result of this research indicates that the beams deflection which has been tested exceeded the theoretical capacity is 26 mm. The researches also showed that the beams were tested had a good bond. The pattern of cracks and failure that occurred in the beam is still dominated by the flexural failure, although the cracks indicate the transition from flexural to shear cracks. it is happened due to nominal shear strength of concrete is still able to withstand the shear forces that occur on the beam, and the shear crack that occur on the beam that did not reach the point of loading is an indication that the stirrups work well in resisting shear forces . Shear failure Transition is increasing along the stirrups ratio varied.

Keywords: Reinforced concrete beams, theoretical load, deflection, strain, cracking, failure, strain gauge, load cell, LVDT, data logger

ABSTRAK

Kerusakan yang terjadi pada balok pendek yang ditumpu sederhana akibat beban titik pada umumnya berupa kerusakan lentur dan atau geser. Pembebanan hingga mencapai beban maksimum akan menyebabkan retak lentur dan geser sepanjang bentangan. Perilaku kerusakan akibat gaya geser sulit diprediksi dan dampak dari kerusakannya juga fatal.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku balok beton bertulang dengan menggunakan rasio sengkang bervariasi dan tertumpu pada tumpuan sederhana. Balok tersebut dibebani oleh beban yang didistribusikan menjadi 2 (dua) beban titik statik yang ditingkatkan secara bertahap. Data yang dihasilkan dari penelitian ini adalah grafik hubungan beban-lendutan, grafik hubungan beban-regangan, grafik hubungan tegangan-regangan serta pola retak dan keruntuhan balok. Beban diletakkan pada jarak sepertiga bentangan (one-third loading).

Pada penelitian ini, peralatan uji yang memadai dipasangkan pada benda uji. Peralatan uji tersebut antara lain LVDT (Linear Variable Differential Transformer sebagai sensor yang menindikasikan lendutan), strain gauge (sebagai sensor yang mengidikasikan regangan), dan load cell (sebagai sensor yang mengindikasikan beban) yang dihubungkan ke data logger (sebagai pengolah data) dan dibantu satu set komputer (untuk membaca dan merekam data lendutan, regangan dan beban) selama pengujian berlangsung.

Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa balok yang diuji melebihi kapasitas teoritisnya mengalami lendutan sebesar 26 mm. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa balok yang diuji memiliki ikatan yang baik. Pola retak dan keruntuhan yang terjadi pada balok masih didominasi oleh gagal lentur (flexural failure), walaupun retak menunjukkan adanya transisi dari retak lentur ke retak geser. Hal ini terjadi karena kuat geser nominal beton masih mampu menahan gaya geser yang terjadi pada balok, dan retak geser yang tidak mencapai titik pembebanan merupakan indikasi bahwa sengkang menahan gaya geser dengan baik. Transisi gagal geser semakin besar dan terlihat seiring bertambah besarnya jarak sengkang.

Kata kunci : Balok beton bertulang, beban teoritis, lendutan, regangan, retak, keruntuhan, strain gauge, load cell, LVDT, data logger

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Beton merupakan material konstruksi yang mudah ditemukan dalam perkembangan dunia konstruksi. Berbagai keuntungan membuatnya menjadi pilihan utama dalam dunia konstruksi. Adapun alasan yang menyebabkan beton menjadi pilihan utama dalam dunia konstruksi adalah relatif mudah ditemukan, kemudahan dalam membentuk beton sesuai keinginan, analisis struktur yang cenderung lebih mudah daripada material lain, harga yang cenderung lebih murah, dan masih banyak pertimbangan-pertimbangan lain yang menyebabkan para konstruktor lebih memilih untuk menggunakan beton sebagai material yang lebih disukai. Seperti halnya gedung-gedung di beberapa kampus banyak yang menggunakan beton karena kemudahan mencari materialnya dan biaya yang lebih murah. Keuntungan lain untuk gedung-gedung *skyscrapers* (contoh : Bakrie Tower, Jakarta, Indonesia dan The Burj Khalifa Tower, Dubai, Uni Emirat Arab) menggunakan beton sebagai material strukturalnya karena tingkat daktilitasnya yang relatif lebih tinggi daripada material lain (Wikipedia, 2010).

Salah satu kelebihan beton adalah memiliki kuat desak (*compressive strength* (f_c)) yang relatif tinggi. Setiap kelebihan pasti mempunyai kekurangan. Kekurangan beton adalah lemah pada kuat tariknya. Oleh karena itu diperlukan adanya material tambahan (*reinforcement*) sebagai pelengkap atau penutup kekurangan beton tersebut dan tulangan baja adalah salah satu alternatif yang bisa dipilih menjadi penutup kekurangan beton. Alasan dipilihnya tulangan baja adalah baja mempunyai kuat tarik (*tensile strength* (f_y)) yang relatif tinggi, yang diharapkan mampu menutupi kekurangan kuat tarik beton yang lemah.

Balok merupakan salah satu komponen bangunan utama yang penting yang fungsinya untuk meneruskan beban-beban yang dipikulnya ke kolom. Adapun beban-beban yang akan dipikul balok berdasarkan arahnya dapat dikategorikan menjadi 2 kategori beban. Kategori beban yang pertama

adalah beban vertikal. Adapun macam beban vertikal adalah beban hidup (*life load*). Beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat pemakaian dan penghunian suatu gedung, termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah dan atau beban akibat air hujan pada atap (SNI 03-2847-2002 pasal 3.8). Salah satu contoh dari beban hidup adalah beban pelat. Beban mati (*dead load*) adalah berat semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk beban tambahan, *finishing*, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung tersebut (SNI 03-2847-2002 pasal 3.10). Kategori beban yang kedua adalah beban horizontal seperti beban angin dan beban gempa.

Gempa (*earthquake*) adalah salah satu beban yang paling diperhitungkan eksistensinya didalam analisa struktur gedung, mengingat Indonesia adalah wilayah yang rawan terhadap gempa bumi. Hal ini dapat terjadi dikarenakan oleh adanya aktifitas pelat tektonik dunia yang bertemu di Indonesia, yaitu Australia, Eurasia, *Philippines* dan *Pacific*. Gempa bumi ini merupakan salah satu gejala alam berupa getaran yang terpancar dari pusat gempa dan menyebar ke segala arah dalam badan bumi. Getaran kuat yang dapat terpancar dan menjalar sampai ke permukaan bumi tersebut dapat mengakibatkan kerusakan-kerusakan pada konstruksi bangunan.

Perilaku tiap-tiap material penyusun balok beton bertulang masih kurang banyak dibahas dan diteliti. Beberapa penelitian hanya menguji balok beton bertulang tertumpu sederhana berdasarkan *property* tertentu untuk mendapatkan kapasitasnya saja, tetapi jarang sekali meneliti perilaku materialnya. Perilaku beton sangat penting untuk diteliti. Tidak seperti lentur yang mana suatu elemen akan terlihat melengkung atau melentur, maka deformasi akibat gaya geser tidak begitu terlihat. Oleh karena itu rusak akibat gaya geser umumnya akan terjadi secara tiba-tiba tanpa adanya tanda-tanda atau peringatan dini sebagaimana rusak lentur. Mengingat sifatnya seperti itu, maka rusak geser menjadi jenis kerusakan elemen yang harus dihindari dan diwaspadai.

Kendala utama untuk mengetahui perilaku balok serta material penyusunnya adalah kesulitan untuk mengetahui perilakunya hanya dengan

kasat mata berdasarkan kejadian-kejadian tampak di permukaan balok saja. Untuk mempermudah penelitian perilaku dari material dan balok beton bertulang, maka didalam balok perlu dipasang beberapa sensor yang berfungsinya sebagai indikator untuk mengetahui perilaku material dan balok.

Beberapa kajian telah dilakukan pada penelitian sebelumnya, sehingga penelitian kali ini dimaksudkan untuk menyempurnakan dan melanjutkan penelitian sebelumnya. Tujuan utama penelitian ini adalah mengetahui perilaku (*behavior*) dari balok dengan material beton bertulang terhadap pembebanan serta pengaruhnya terhadap variasi jarak sengkang. Kerusakan yang terjadi pada balok dengan jarak sengkang yang bervariasi tentunya akan mengakibatkan penurunan kekuatan yang berbeda-beda. Adanya simulasi pembebanan balok merupakan satu cara untuk mengetahui perilaku yang tidak hanya berdasarkan analisisnya saja, sehingga pada akhir pengujian didapatkan data valid yang menunjukkan perilaku material pada balok di saat pembebanan berlangsung.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka perumusan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut ini:

1. Bagaimana perilaku dari balok beton bertulang yang mempunyai dukungan sendi-rol terhadap pembebanan?
2. Bagaimana pola retakan lentur dan geser pada saat diberikan beban maksimum?
3. Dapatkah diketahui hubungan tegangan regangan riil pada material beton dan baja ketika diberikan beban bertahap sampai ke beban maksimumnya?
4. Dapatkah dilakukan identifikasi berdasarkan hasil pengamatan nantinya terhadap kerusakan-kerusakan yang terjadi pada material-material penyusun balok?
5. Dapatkah diketahui perilaku balok keseluruhan terhadap variasi jarak antar sengkang?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut ini:

1. Mengetahui perilaku dari balok beton bertulang yang mempunyai dukungan sendi-rol terhadap pembebanan.
2. Mengetahui pola retakan lentur dan geser pada saat diberikan beban maksimum.
3. Mengetahui hubungan tegangan regangan riil pada material beton dan baja ketika diberikan beban bertahap sampai ke beban maksimumnya.
4. Mengidentifikasi kerusakan-kerusakan yang terjadi pada material-material penyusun balok.
5. Mengetahui perilaku balok keseluruhan terhadap variasi jarak antar sengkang.

1.4 MANFAAT PENELITIAN

Harapan yang dapat diambil dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut ini:

1. Memahami perilaku balok bermaterial beton bertulang khususnya terhadap perencanaan lentur dan geser akibat beban gempa.
2. Menambah pengetahuan berupa perilaku balok bermaterial beton bertulang dan pola retak lentur serta geser yang disebabkan pembebanan statik bertahap.
3. Mengetahui dampak kerusakan dari pembebanan bertahap terhadap tulangan lentur, sengkang, dan beton ketika pembebanan dilakukan sampai mencapai beban maksimumnya.
4. Memberikan gambaran tentang kontribusi variasi jarak antar sengkang dan perilaku beton terhadap pembebanan yang bertahap.

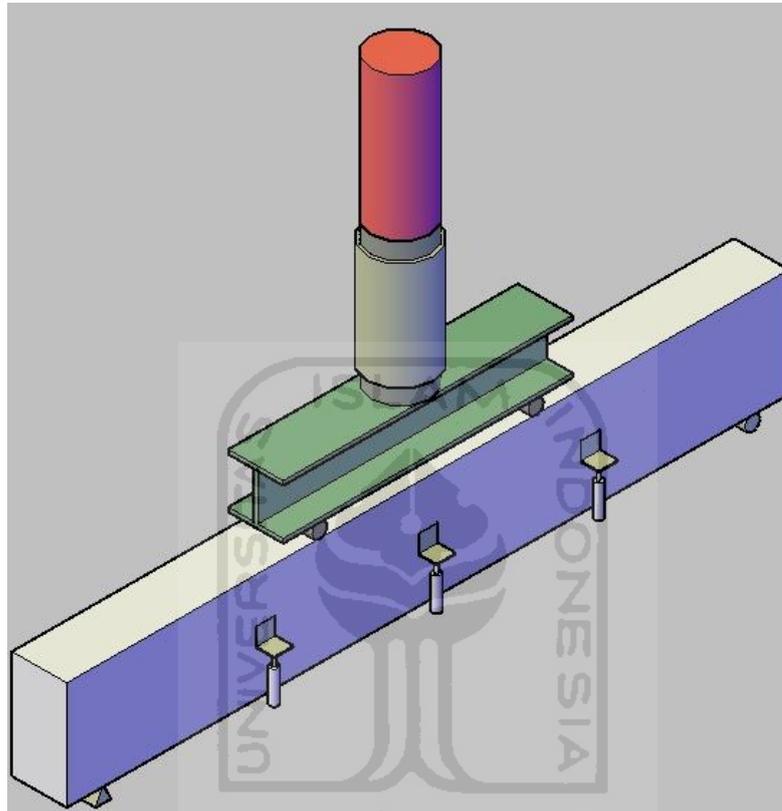
1.5 BATASAN MASALAH

Mengingat luasnya uraian permasalahan di atas, maka diperlukan adanya batasan-batasan masalah pada penelitian ini, sehingga pembahasan dari penelitian tugas akhir ini tidak menyimpang dan mengenai sasaran dari

maksud dan tujuan yang telah ditetapkan. Batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut ini:

1. Beton yang digunakan adalah beton normal dengan kuat desak ($f'c$) sebesar 25 MPa.
2. Baja yang digunakan dalam penelitian ini adalah:
 - a. Tulangan pokok sebelah atas : 8 mm
 - b. Tulangan pokok sebelah bawah : 16 mm
 - c. Tulangan sengkang : 6 mm
3. Profil dari penulangan pada balok adalah sebagai berikut :
 - a. Sampel 1
 1. Tulangan tarik : 2 Ø 16 mm
 2. Sengkang : Ø 6 – 75 mm
 - b. Sampel 2
 1. Tulangan tarik : 2 Ø 16 mm
 2. Sengkang : Ø 6 – 100 mm
4. Metode campuran (*mix design*) yang digunakan menggunakan standar *Department of Environment* (DoE).
5. Bahan ikat semen PCC merk Tiga Roda Tipe
6. Agregat yang digunakan berasal dari sungai Gendol, Yogyakarta, baik itu agregat halus maupun kasar dan air yang digunakan berasal dari laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
7. Pengujian kuat tekan dilakukan menggunakan sampel silinder \varnothing 15 cm dan tinggi 30 cm. Dimana tiap-tiap balok yang akan diuji mempunyai 3 balok silinder yang berumur 28 hari.
8. Pengujian kuat lentur dan geser dilakukan menggunakan sampel balok yang berumur 28 hari dan berdimensi sebagai berikut:
 - b = 150 mm
 - h = 300 mm
 - L = 2000 mm

9. Mekanisme pembebanan diberikan secara bertahap dengan menggunakan *hydraulic pump* sesuai besar pembebanan tiap benda uji.
10. Adapun mekanisme pemberian beban pada pengujian kuat lentur balok akan menjadi seperti gambar 1.1 berikut.



Gambar 1.1 Ilustrasi mekanisme pemberian beban pada balok

11. Untuk mengukur besarnya lendutan yang terjadi pada balok beton bertulang digunakan LVDT.
12. Pengujian regangan dilakukan pada tiga titik pengamatan yaitu pada tulangan sengkang, tulangan tarik dan daerah desak beton yang nantinya akan dipasang *strain gauge*.
13. Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Rekayasa dan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 SIMULASI KERUNTUHAN LENTUR PADA BALOK BETON BERTULANG TANPA MENGGUNAKAN SENGGANG

Dewobroto (2005), pengujian beban sampai struktur runtuh diperlukan untuk menguji keandalan struktur, yaitu dengan mengetahui beban maksimum yang dapat dipikul. Pengujian dilakukan di laboratorium dan relatif mahal. Saat ini perkembangan komputer rekayasa sangat pesat dan semakin terjangkau, termasuk perangkat lunak berbasis metode elemen hingga komersial yang dapat melakukan simulasi tes beban tersebut, salah satunya adalah ADINA (2003). Simulasi keruntuhan struktur beton bertulang merupakan analisa non-linier karena perilaku keruntuhan bersifat sangat kompleks. Agar simulasi mirip dengan kondisi nyata maka perlu pemahaman yang benar mengenai program komputer, input data maupun interpretasi hasilnya. Parameter material yang digunakan sebagai input data sebaiknya dari hasil pengukuran laboratorium, apabila tidak maka diperlakukan korelasi dengan data empiris yang standar. Selanjutnya untuk dipercaya, yang tidak lain adalah hasil tes beban eksperimental sesungguhnya. Hasil tes beban balok terbaru di Universitas Toronto (Vecchio-Shim,2004), akan dipakai dalam penelitian ini. Hasil studi menunjukkan bahwa beban runtuh balok tidak serta merta diperoleh, perlu dibuat kurva beban-lendutan untuk mengidentifikasi keruntuhan balok terlebih dahulu. Selain itu input data dari rumus empiris perlu dimodifikasi agar hasilnya sama dengan eksperimen. Secara umum dapat dibuktikan bahwa program ADINA dapat digunakan untuk simulasi keruntuhan balok beton bertulang secara baik.

Edvant (2010), balok yang dibebani berlebih, akan menimbulkan retak lentur di sepanjang bentangan. Apabila beban terus bertambah, balok akan mengalami keruntuhan, yaitu pada saat beban luarnya mencapai batas kekuatan balok.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku balok lentur beton bertulang yang diberi beban statik secara bertahap. Dari pengujian ini dapat diketahui hubungan beban-lendutan, hubungan tegangan-regangan material beton dan baja, hubungan tegangan-regangan, hubungan momen kelengkungan balok, pola retak dan tipologi keruntuhan balok. Beban lentur berupa 2 beban terpusat yang dipasang pada jarak sepertiga bentangan (*one-third loading*). Mekanisme pembebanan yang diberikan meliputi tiga tahapan, yaitu beban retak pertama, beban setengah kapasitas penampang, dan beban ultimit balok. Pada penelitian ini benda uji dipasang peralatan uji yang memadai, antara lain *Linear Variable Differential Transformer (LVDT)*, *Strain Gauge*, dan *Load Cell* yang dihubungkan ke *Data Logger* serta dibantu dengan satu set perangkat komputer untuk membaca dan merekam beban, lendutan, dan regangan selama pengujian berlangsung.

Hasil penelitian tersebut menunjukkan kapasitas benda uji yang diuji melebihi kapasitas benda uji teoritis dengan besar lendutan mencapai 25 mm dan kondisi baja tulangan yang telah leleh setelah pengujian, pola retak pada balok yang dibebani beban lentur dua titik pembebanan menunjukkan pola retak yang terjadi. Kemudian retak-retak mulai bertambah pada daerah transisi lentur-geser lalu terjadi retakan geser berarah diagonal menuju *point load* seiring dengan penambahan beban yang diberikan.

2.2 SIMULASI KERUNTUHAN LENTUR PADA BALOK BETON BERTULANG DENGAN MENGGUNAKAN SENGGANG

Basuki dan Hidayati (2006), beton bertulang membutuhkan penguat tekuk (*bending reinforcement*) dan gesernya (*shearing reinforcement*). Penguat tekuk (*bending reinforcement*) digunakan untuk menahan momen tekuk (*bending moment*) dan penguat geser (*shearing reinforcement*) digunakan untuk menahan gaya geser (*shearing load*). Penguat gaya geser horizontal tidak diperhitungkan dalam menahan gaya beban yang terjadi pada sebuah balok. Penguat gaya geser vertikal (*vertical shearing reinforcement*) mencegah sebuah balok terbelah oleh gaya geser.

Penelitian ini dilakukan untuk menemukan apakah penguat gaya geser horizontal (*alternative reinforcement*) dibutuhkan dalam suatu konstruksi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui gaya geser maksimum dan perbedaan antara *alternative reinforcement* dan *conventional reinforcement* pada balok beton bertulang. Pada umumnya, dapat dikatakan bahwa kuat geser yang dapat ditahan oleh *conventional reinforcement* dan *alternative reinforcement* relatif sama.

2.3 KEASLIAN PENELITIAN

Pada penelitian-penelitian di atas, 2 penelitian pertama hanya membahas gagal lentur yang terjadi pada balok. Kelebihan dari Edvant (2010) daripada Dewobroto (2005) adalah Edvant (2010) dilakukan pada benda uji balok beton bertulang tanpa sengkang yang riil. Balok-balok yang hendak diuji menggunakan *strain gauge* (sebagai perekam regangan), LVDT (sebagai perekam lendutan) dan *load cell* (sebagai perekam pembebanan). sementara Dewobroto (2005) melakukan pengujiannya pada program ADINA.

Sedangkan pada Basuki dan Hidayati (2006), sudah menggunakan tulangan sengkang sebagai *shear reinforcement*. Pada penelitian tersebut, kedua penulis hendak mengetahui apakah *alternative reinforcement* dan *conventional reinforcement* memiliki perbedaan yang relatif signifikan atau tidak. Tidak ada parameter regangan yang dicatat dan dianalisis pada penelitian tersebut. Hanya terpaku pada pembebanan yang dapat ditahan oleh kedua *type reinforcement*.

Pada penelitian ini, dilakukan terhadap balok benda uji yang riil, menggunakan *shear reinforcement* berupa sengkang 2-kaki. Penggunaan *strain gauge* pada penelitian ini membawa suatu penyempurnaan baru dari penelitian-penelitian sebelumnya.

Penelitian-penelitian sebelumnya tidak bisa meneliti perilaku retak dan keruntuhan geser pada balok. *Strain gauge* ditempatkan pada tulangan pokok, sengkang dan beton (sebagai sensor regangan yang terjadi pada tiap-tiap material penyusun balok), LVDT (sebagai sensor lendutan yang terjadi pada balok) dan *load cell* (sebagai alat yang berfungsi mengetahui besar pembebanan yang terjadi).

Pada penelitian ini menggunakan 2 balok yang memiliki jarak sengkang yang berbeda, dimana tiap-tiap balok memiliki 2 balok yang jarak sengkangnya sama, guna mendapatkan data yang lebih baik dengan cara membandingkan data yang diambil dari kedua balok yang memiliki jarak sengkang yang sama. Diharapkan pada penelitian ini, akan didapatkan perilaku dan pola retak geser pada balok yang hendak diuji dengan memakai *ratio* sengkang yang bervariasi.

Adapun data yang akan digunakan tersebut nantinya akan dianalisa tentang perilaku yang terjadi berdasarkan hubungan pembebanan-lendutan, pembebanan-regangan dan tegangan-regangan selama balok mengalami proses pembebanan. Tidak seperti penelitian-penelitian sebelumnya, diharapkan penelitian ini mampu memberikan informasi baru tentang perilaku-perilaku material penyusun balok beton bertulang.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 BETON

McCormac (2001), Salah satu material yang paling sering digunakan dalam dunia konstruksi adalah beton, beton adalah campuran yang terdiri dari pasir, kerikil, batu pecah, atau agregat-agregat lain yang dicampur menjadi satu dengan suatu pasta yang dibuat dari campuran semen dan air membentuk suatu massa mirip batuan.

Beton merupakan material primadona karena sifatnya yang *applicable*. Hal ini memberikan keleluasaan pada para konstruktor dunia untuk bisa lebih berkreasi karena beton bisa dicetak sesuai keinginan dan kebutuhan dari konstruktor itu sendiri.

Masih banyak keuntungan-keuntungan beton lain yang membuatnya menjadi pilihan utama dari material-material konstruksi lain. Tapi dibalik kelebihanannya itu, beton mempunyai beberapa kelemahan. Salah satunya yang paling *crucial* adalah daya tariknya yang kurang baik. Sehingga dibutuhkan *reinforcement* untuk menyokong daya tarik beton yang kurang baik.

3.2 BAHAN PENYUSUN BETON

Beton adalah suatu material yang terdiri dari air, semen, agregat halus dan agregat kasar yang kemudian dicampur, serta didalamnya terdapat rongga-rongga udara. Tabel 3.1 memberikan gambaran tentang proporsi tiap-tiap materi penyusun beton secara umum.

Tabel 3.1 Unsur beton

Agregat kasar + Agregat halus (60 % - 80 %)	
Semen : 7 % - 15 %	Air (14 % - 21 %)
Udara : 1 % - 8 %	

3.2.1 Agregat

Menurut Mulyono (2005), kandungan agregat dalam campuran beton biasanya sangat tinggi, mencapai 60%-70% dari berat beton. Walaupun fungsinya hanyalah berupa pengisi atau *filler*, agregat menjadi penting karena komposisinya yang cukup besar, karena itu perlu dipelajari karakteristik agregat yang akan menentukan sifat mortar atau beton yang akan dihasilkan.

Agregat yang biasa digunakan adalah agregat alam atau agregat buatan (*artificial aggregate*). Secara umum, agregat dibagi menjadi 2 berdasarkan ukurannya, yakni agregat halus dan agregat kasar. Menurut British Standard, batasan agregat halus dan agregat kasar dibatasi oleh saringan 4,80 mm. Sedangkan menurut ASTM, pembatasannya adalah saringan 4,75 mm.

Menurut Tjokrodimulyo (1992), semakin besar ukuran maksimum agregat yang dipakai akan berakibat semakin tinggi kekuatan betonnya. Hal ini karena pemakaian butir agregat besar menyebabkan pemakaian pasta yang lebih sedikit, berarti porinya sedikit pula. Namun karena butir-butirnya besar dapat menghalangi susutan pasta, dan hal ini berakibat retakan-retakan kecil pada pasta sekitar butirannya, hal ini dapat memperlemah kekuatan beton.

3.2.2 Semen

Semen atau biasa dikenal sebagai Portland Cement ditemukan oleh Joseph Aspadin di Pulau Portland, dekat pantai Dorset, Inggris. Dan kemudian mendapatkan hak patennya pada tahun 1824. Cikal bakal terciptanya Portland Cement adalah ketika Joseph membuat semen dengan mengambil sejumlah tanah liat dan batu kapur, dihancurkan, dibakar dalam tungku dapur untuk kemudian digiling abu tersebut hingga menjadi bubuk yang halus.

Portland Cement merupakan bahan bubuk halus yang mengandung kapur (CaO), silica (SiO₂), alumunia (Al₂O₃) dan oksida besi (Fe₂O₃). komponen terbesarnya adalah kapur (60-65%). Portland Cement dibuat

dengan membakar bahan dasar semen dengan suhu 1550°C dan menjadi klinker. Kemudian klinker tersebut digiling halus menjadi semen dan ditambahkan gypsum. Semen berfungsi untuk merekatkan butir-butir agregat menjadi suatu massa yang kompak/padat. Semen bila dicampur dengan air membentuk adukan pasta, dicampur dengan pasir dan air menjadi mortar semen (PUBI 1982).

3.2.3 Air

Menurut Murdock dan Brook (1981), air mempunyai 2 fungsi di dalam campuran beton. Yang pertama untuk memungkinkan terjadinya reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan. Dan yang kedua sebagai pelican campuran kerikil, pasir dan semen agar memudahkan pencetakan.

Menurut Tjokrodimulyo (1992), syarat dari air yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut:

- a. Kejernihan warna.
- b. Tidak mengandung klorida.
- c. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 0,5%.
- d. Tidak mengandung lumpur dan benda-benda terapung lainnya yang dapat terlihat secara visual.
- e. Tidak mengandung bahan perusak seperti fosfat, minyak, asam alkali dan bahan-bahan organis atau garam. Dan,
- f. Khusus untuk pembuatan beton, air untuk perawatan tingkat keasamannya tidak boleh lebih pHnya lebih dari 6 dan tidak boleh terlalu sedikit mengandung kapur.

3.2.4 Faktor Yang Mempengaruhi Kuat Tekan Beton

Faktor-faktor yang menyebabkan kuat tekan beton rencana menjadi berbeda dengan hasil pengecoran akan diuraikan pada sub bab berikut ini.

a. Faktor Air Semen (fas)

Faktor air semen adalah perbandingan antara berat air dengan berat semen. Semakin rendah perbandingan air dengan semen, semakin tinggi kuat tekan beton.

Adapun hubungan antara faktor air semen dan kuat tekan beton secara umum dapat ditulis dengan rumus yang diusulkan Duff Abrams pada tahun 1919 sebagai berikut.

$$f'c = \frac{A}{B^{1.5X}} \quad (3.1)$$

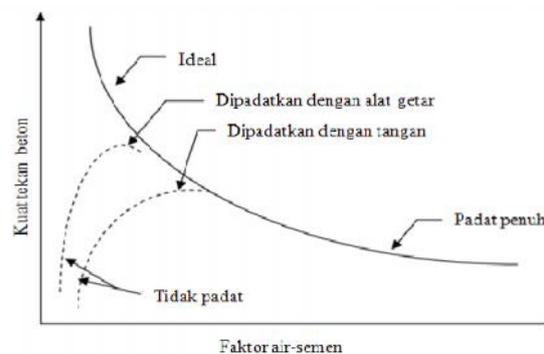
dengan,

$f'c$: Kuat tekan beton

X : fas (semula dalam proporsi volume)

A, B : Konstanta

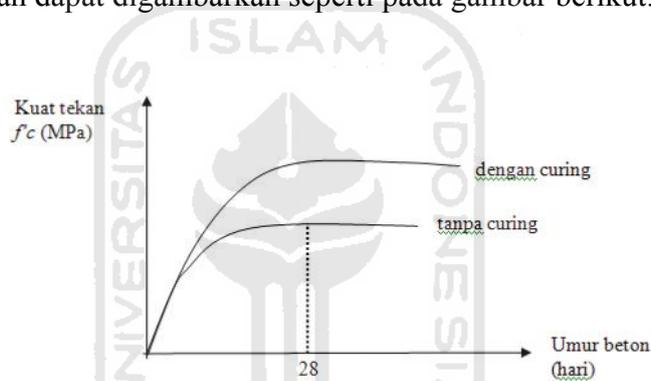
Dengan demikian, hubungan antara air-semen (fas) adalah semakin besar faktor air semennya maka akan semakin rendah kuat tekan betonnya. Jika dilihat dari persamaan di atas, semakin kecil faktor air semennya maka semakin tinggi kuat desak beton, tetapi nilai fas yang rendah akan menyulitkan dalam proses pemadatan, sehingga kekuatan beton akan rendah karena beton kurang padat (Tjokrodimulyo 1995). Hubungan kuat tekan beton dengan fas dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Hubungan Antara Kuat Tekan Beton Dengan Faktor Air Semen

b. Perawatan Beton (Curing).

Perawatan beton dilakukan pada beton yang baru 1 jam dituangkan ke dalam bekisting. Perawatan pun dilakukan dengan menggunakan karung goni basah dengan menyelimuti permukaan beton guna menjaga beton agar tetap lembab. Kelembaban ini sangat penting diperhatikan agar campuran beton tidak cepat menguap yang nantinya malah akan menurunkan kekuatan beton tekan maksimalnya. Hal ini dapat terjadi karena adanya proses susut yang relatif besar. Sehingga pengikatan material-material penyusun beton tidak terjadi dengan baik. Perbedaan kuat tekan beton yang dirawat dan tanpa perawatan dapat digambarkan seperti pada gambar berikut.



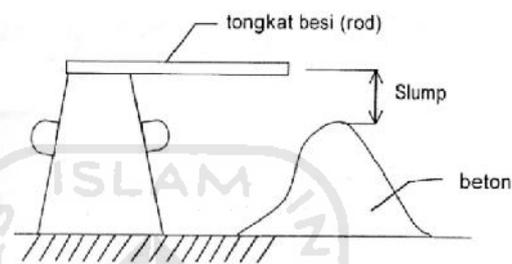
Gambar 3.2 Kuat Tekan Beton-Fungsi Umur Beton

c. Kemudahan Dalam Pengerjaan (Workability)

Pada saat pengecoran diperlukan tingkat kelecakan tertentu, sehingga beton tidak terlalu lembek atau terlalu liat atau kental. Apabila terlalu lembek (fas besar) beton mudah dicor, tetapi mutunya rendah. Jika terlalu kental, maka beton susah dicor dan membentuk rongga setelah beton mengeras. Meskipun kuat tekan beton lebih tinggi, diperlukan suatu metoda untuk menentukan kelecakan yang tepat. Salah satunya melalui uji *slump* menggunakan kerucut Abrams. Tahapan dalam pengujian *slump* diuraikan sebagai berikut ini:

- a. penuangan adukan beton segar kedalam kerucut abrams dalam tiga lapis. Masing–masing sepertiga dari tinggi kerucut.

- b. Setiap lapis adukan harus melalui proses pemaadatan dengan batang baja sebanyak 25 kali.
- c. Setelah lapis beton terakhir selesai dipadatkan, kemudian ditunggu selama 30 detik dan kerucut ditarik ke atas.
- d. Nilai *slump* adalah selisih tinggi antara kerucut abrams dengan permukaan atas adukan beton setelah kerucut ditarik, seperti tampak pada Gambar 3.3.
- e. Pengujian *slump* dilakukan sebanyak 2 kali untuk setiap pengadukan, kemudian hasilnya dirata-rata.



Gambar 3.3 Pengukuran Nilai *Slump*

3.2.5 Metode Perancangan Campuran Beton

Dalam penelitian ini digunakan perancangan campuran beton dengan metode DoE (*Department of Environment*) yang lebih dikenal dengan cara Inggris. Metode DoE ini digunakan sebagai standar perencanaan oleh Departemen Pekerjaan Umum di Indonesia dan dimuat dalam buku SK SNI T-15-1990-03.

Langkah-langkah perancangan adukan beton normal dengan metode DoE diuraikan sebagai berikut ini.:

1. Menetapkan kuat tekan beton yang akan di pakai pada umur 28 hari.
2. Menetapkan faktor pengali untuk deviasi standar (s) menggunakan Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Faktor pengali untuk deviasi standar bila data hasil uji yang tersedia kurang dari 30 benda uji

Jumlah Pengujian	Faktor Pengali Deviasi Standar
< 15	Lihat catatan di bawah
15	1,16
20	1,08
25	1,03
30	1,00
Catatan : Bila data uji lapangan tidak tersedia, maka kuat tekan rata-rata yang ditargetkan f'_{cr} harus diambil tidak kurang dari $(f'_c + 12)$ MPa	

3. Menghitung nilai tambah margin (m).

$$m = k \cdot s \quad (3.2)$$

dengan,

m : Nilai tambah/margin

k : 1,64

s : Standar deviasi

4. Menetapkan kuat tekan rata-rata yang direncanakan (f'_{cr}).

$$f'_{cr} = f'_c + m \quad (3.3)$$

dengan,

f'_{cr} : Kuat tekan rata-rata

f'_c : Kuat tekan rencana

m : Nilai tambah margin

5. Menetapkan jenis semen.

6. Menetapkan jenis agregat.

- a. Agregat halus menggunakan Tabel 3.3

Tabel 3.3 Batas gradasi pasir

Lubang Ayakan (mm)	Persen berat butir yang lewat ayakan			
	zona 1	zona 2	zona 3	zona 4
10	100	100	100	100
4,8	90 - 100	90 - 100	90 - 100	95 - 100
2,4	60 - 95	75 - 100	85 - 100	95 - 100
1,2	30 - 70	55 - 90	75 - 100	90 - 100
0,6	15 - 34	35 - 59	60 - 79	80 - 90
0,3	5 - 20	8 - 30	12 - 40	15 - 50
0,15	0 - 10	0 - 10	0 - 10	0 - 15

Keterangan :

zona 1 : Pasir kasar

zona 2 : Pasir agak kasar

zona 3 : Pasir agak halus

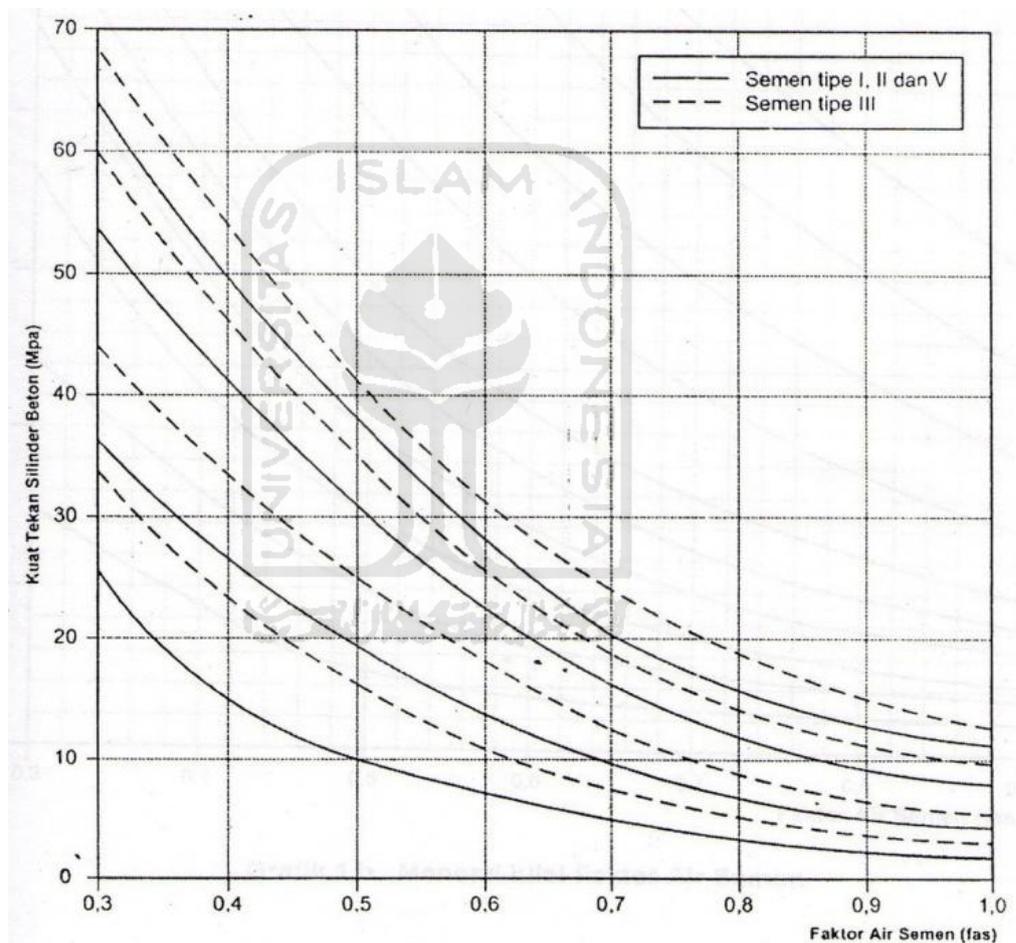
zona 4 : Pasir halus

b. Agregat kasar

7. Menetapkan faktor air semen.

Ada tiga cara mendapatkan nilai fas, yaitu :

a. Menggunakan grafik pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Hubungan Faktor Air Semen dan Kuat Tekan
(Benda Uji Silinder \varnothing 150 mm Dengan Tinggi 300 mm)

b. menggunakan grafik pada Gambar 3.5, grafik dibaca setelah menentukan nilai kuat tekan dari Tabel 3.4,

Tabel 3.4 Perkiraan kuat tekan beton (MPa) dengan faktor air semen 0,05 dan jenis semen serta agregat yang biasa dipakai di Indonesia

Jenis Semen	Jenis Agregat Kasar	Kuat tekan pada umur (hari)				Bentuk Benda Uji
		3	7	28	91	
Tipe I, II, V	Alami	17	23	33	40	Silinder
	Batu Pecah	19	27	37	45	
	Alami	20	28	40	48	Kubus
	Batu Pecah	23	32	45	54	
Tipe III	Alami	21	28	38	44	Silinder
	Batu Pecah	25	33	44	48	
	Alami	25	31	46	53	Kubus
	Batu Pecah	30	40	53	60	



Gambar 3.5 Mencari Nilai Faktor Air Semen

- c. nilai fas ditentukan menggunakan tabel persyaratan fas maksimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus. Tabel yang digunakan adalah Tabel 3.5, Tabel 3.6 dan Tabel 3.7.

Tabel 3.5 Persyaratan fas maksimum untuk berbagai pembeconan dan lingkungan khusus

Jenis Pembeconan	fas maksimum
Beton di dalam ruang bangunan :	
a. keadaan keliling non korosif	0,60
b. keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosi	0,52
Beton di luar bangunan :	
a. tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,55
b. terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	0,60
Beton yang masuk ke dalam tanah :	
a. mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	0,55
b. mendapat pengaruh sulfat dan alkali tanah	Lihat tabel 3.4
Beton yang selalu berhubungan dengan air tawar/payau/laut	Lihat tabel 3.5

Tabel 3.6 Fas maksimum untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat

Konsentrasi Sulfat (SO ₃)			Jenis Semen	Fas maks.
Dalam Tanah		SO ₃ dalam air tanah (g/l)		
Total SO ₃ (%)	SO ₃ dalam campuran air : tanah = 2 : 1 (g/l)			
< 0,2	< 0,1	< 0,3	Tipe I, dengan atau tanpa pozolan (15% - 40%)	0,50
0,2 – 0,5	1,0 – 1,9	0,3 – 1,2	Tipe I tanpa pozolan	0,50
			Tipe I dengan pozolan (15% - 40%) atau semen portland pozolan (PPC)	0,55
			Tipe II atau V	0,55
0,5 – 1,0	1,9 – 3,1	1,2 – 2,5	Tipe I dengan pozolan (15% - 40%) atau portland pozolan (PPC)	0,45
			Tipe II atau V	0,45
1,0 – 2,0	3,1 – 5,6	2,5 – 5,0	Tipe II atau V	0,45
> 2,0	> 5,6	> 5,0	Tipe II atau V dan lapisan pelindung	0,45

Tabel 3.7 Faktor air semen maksimum untuk beton bertulang dalam air

Berhubungan dengan :	Tipe Semen	fas
Air tawar	Semua Tipe I- V	0,50
Air payau	Tipe I + Pozolan (15% - 40%) atau semen portland pozolan	0,45
	Tipe II atau V	0,50
Air laut	Tipe II atau V	0,45

Dari ketiga cara tersebut, nilai fas yang digunakan adalah nilai fas yang terendah.

8. Menetapkan nilai *slump* menggunakan Tabel 3.8

Tabel 3.8 Penetapan nilai *slump*

Pemakaian Beton	<i>Slump</i> (cm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, plat fondasi, dan fondasi telapak bertulang	12,5	5,0
Fondasi telapak tidak bertulang, aison, dan struktur di bawah tanah	9,0	2,5
Pelat, balok, kolom, dinding	15,0	7,5
Pengerasan jalan	7,5	5,0
Pembetonan missal	7,5	2,5

9. Menetapkan ukuran besar butir agregat
10. Menetapkan kebutuhan air menggunakan Tabel 3.9

Tabel 3.9 Perkiraan kebutuhan air per meter kubik beton (liter)

Besar ukuran maks. kerikil (mm)	Jenis batuan	<i>Slump</i> (mm)			
		0-10	10-30	30-60	60-180
10	Alami	150	180	205	225
	Batu Pecah	180	205	230	250
20	Alami	135	160	180	195
	Batu Pecah	170	190	210	225
40	Alami	115	140	160	175
	Batu pecah	155	175	190	205

Apabila agregat yang digunakan adalah agregat campuran (alami + batu pecah) maka kebutuhan air dihitung menurut rumus :

$$A = \frac{2}{3} W_h + \frac{1}{3} W_k \quad (3.4)$$

dengan,

A : Jumlah air (liter/m³)

W_h : Perkiraan jumlah air untuk agregat alami/halus

W_k : Perkiraan jumlah air untuk agregat kasar batu pecah

11. Menetapkan kebutuhan semen

Ada dua langkah dalam menentukan kebutuhan semen, yaitu:

a. Menggunakan rumus :

$$S = \frac{A}{fas} \quad (3.5)$$

dengan,

S : Kebutuhan semen

A : Jumlah air yang dibutuhkan (langkah 10)

fas : faktor air semen (langkah 7)

b. Menetapkan kebutuhan semen minimum menggunakan Tabel 3.10, Tabel 3.11, dan Tabel 3.12.

Tabel 3.10 Kebutuhan semen minimum untuk berbagai pembetonan dan lingkungan khusus

Jenis Pembetonan	Kebutuhan semen minimum (kg/m ³ beton)
Beton di dalam ruang bangunan :	
a. Keadaan keliling non korosif	275
b. Keadaan keliling korosif, disebabkan oleh kondensasi atau uap korosi	325
Beton di luar ruang bangunan	
a. Tidak terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	325
b. Terlindung dari hujan dan terik matahari langsung	275
Beton yang masuk ke dalam tanah	
a. Mengalami keadaan basah dan kering berganti-ganti	325
b. Mendapat pengaruh sulfat dan alkali dalam tanah	lihat Tabel 3.11
Beton yang selalu berhubungan dengan air tawar/payau/laut	lihat Tabel 3.12

Tabel 3.11 Kandungan semen minimum untuk beton yang berhubungan dengan air tanah yang mengandung sulfat

Konsentrasi Sulfat (SO ₃)			Jenis Semen	Kand. Semen Min. (kg/m ³)		
Dalam Tanah		SO ₃ dalam air tanah (g/l)		Ukuran Maks agregat (mm)		
Total SO ₃ %	SO ₃ dalam campuran air : tanah = 2 : 1 (g/l)			40	20	10
< 0,2	< 0,1	< 0,3	Tipe I, dengan atau tanpa pozolan (15% - 40%)	280	300	350
0,2 – 0,5	1,0 – 1,9	0,3 – 1,2	Tipe I tanpa pozolan	290	330	380
			Tipe I dengan pozolan (15% - 40%) atau semen portland pozolan (PPC)	270	310	360
0,5 – 1,0	1,9 – 3,1	1,2 – 2,5	Tipe II atau V	250	290	340
			Tipe I dengan pozolan (15% - 40%) atau portland pozolan (PPC)	340	380	430
1,0 – 2,0	3,1 – 5,6	2,5 – 5,0	Tipe II atau V	290	330	380
			Tipe II atau V	330	370	420
> 2,0	> 5,6	> 5,0	Tipe II atau V dan lapisan pelindung	340	370	420

Tabel 3.12 Kebutuhan semen minimum untuk beton bertulang dalam air

Berhubungan dengan	Tipe Semen	Kandungan Semen Minimum (kg/m ³)	
		Ukuran Maksimum Agregat (mm)	
		40	20
Air tawar	Semua Tipe I- V	280	300
Air payau	Tipe I + Pozolan (15% - 40%) Atau S.P. Pozolan	340	380
Air laut	Tipe II atau V	290	330
	Tipe II atau V	330	370

Dari ketiga langkah tersebut, kebutuhan semen diambil yang terbesar.

12. Penyesuaian jumlah air atau faktor air semen (fas).

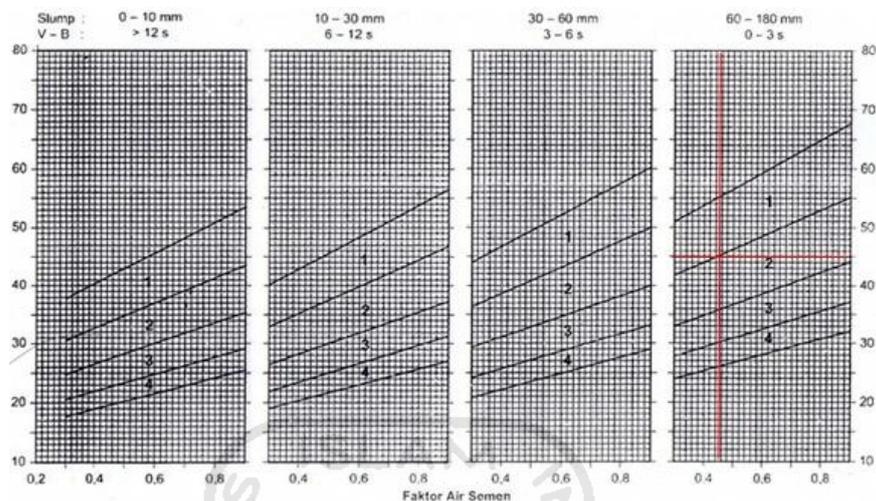
$$fas = \frac{A}{Y} \quad (3.6)$$

dengan,

A : jumlah air yang dibutuhkan

Y : kebutuhan semen

13. Menentukan prosentase pasir terhadap agregat campuran menggunakan grafik pada Gambar 3.6. Nilai prosentase ini dibaca menggunakan data nilai fas (langkah 7), nilai *slump* (langkah 8) dan golongan pasir (langkah 6a).



Gambar 3.6 Persen Pasir Terhadap Kadar Total Agregat Yang Dianjurkan Untuk Ukuran Agregat Maksimum 20 mm

14. Menentukan prosentase kerikil terhadap agregat campuran.

$$K = 100 \% - P \quad (3.7)$$

dengan,

K : kadar kerikil (%)

P : kadar pasir (%) (langkah 13)

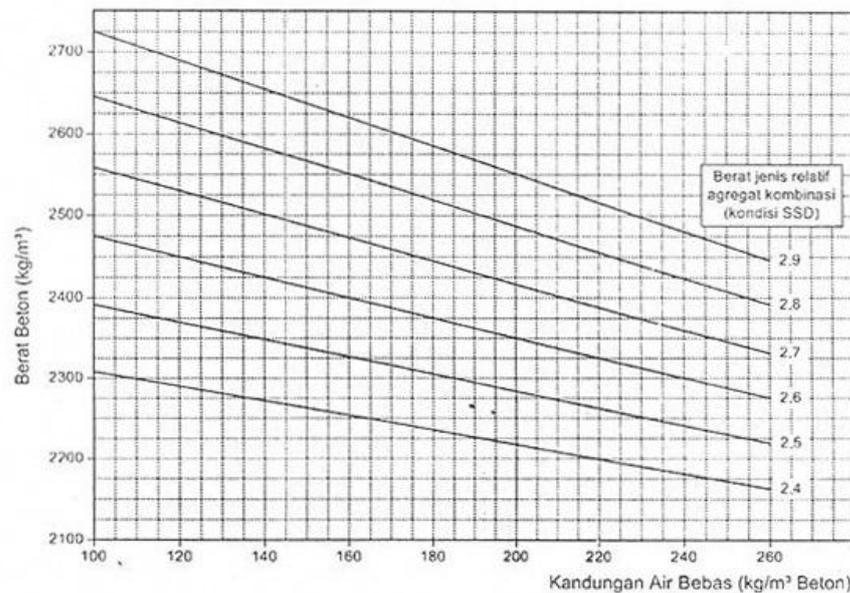
15. Menentukan berat jenis campuran pasir dan kerikil.

$$Bj_{campuran} = P.Bj_{pasir} + K.Bj_{kerikil} \quad (3.8)$$

16. Menentukan berat beton menggunakan grafik pada gambar 3.7.

Berat beton didapat dengan menggunakan data berikut ini :

- Berat jenis campuran (langkah 15)
- Kandungan air (langkah 10)



Gambar 3.7 Hubungan Kandungan Air, Berat Jenis Agregat Campuran Dan Berat Isi Beton

17. Menentukan kebutuhan pasir dan kerikil per meter kubik.

$$W_{ps} + W_{kr} = W_{btn} - A - S \quad (3.9)$$

dengan,

W_{ps} : berat pasir (kg)

W_{kr} : berat kerikil (kg)

W_{btn} : berat beton (kg) (langkah 16)

A : berat air (ltr) (langkah 10)

S : berat semen (kg) (langkah 11)

18. Menentukan kebutuhan pasir per meter kubik.

$$W_{ps} = P \cdot (W_{ps} + W_{kr}) \quad (3.10)$$

dengan,

P : prosentase pasir (%) (langkah 13)

19. Menentukan kebutuhan kerikil per meter kubik.

$$W_{kr} = (W_{ps} + W_{kr}) - W_{ps} \quad (3.11)$$

3.3 BAJA TULANGAN

Baja tulangan adalah baja berbentuk batang berpenampang bundar yang digunakan untuk penulangan beton, yang diproduksi dari bahan baku billet dengan cara canai panas (SNI 07-2052-2002).

3.3.1 Jenis Baja Tulangan

Jenis baja tulangan dibedakan menjadi dua, yaitu baja tulangan beton polos (BJTP) dan baja tulangan beton sirip atau ulir (BJTS). Baja tulangan beton polos adalah batang baja berpenampang bundar yang permukaan sisi luarnya rata tidak bersirip atau berulir, sedangkan baja tulangan beton sirip (deform) adalah baja tulangan beton dengan bentuk khusus yang permukaannya memiliki sirip melintang dan rusuk memanjang yang dimaksudkan untuk meningkatkan daya lekat dan guna menahan gerakan membujur dari batang secara relatif terhadap beton (SNI 07-2052-2002). Tulangan polos biasanya mempunyai tegangan leleh minimum sebesar 240 MPa, sedangkan tulangan ulir umumnya mempunyai tegangan leleh sebesar 400 MPa.

3.3.2 Perilaku Baja Tulangan

Perilaku material baja dinyatakan dalam kurva hubungan regangan terhadap tegangan. Hubungan regangan-tegangan menyatakan sifat-sifat material baja yang digunakan dalam analisis. Umumnya terdapat empat daerah pada kurva tegangan-regangan, yaitu:

1. Daerah Elastis

Dimulai dari titik 0 pada kurva regangan-tegangan, yang berarti pertambahan panjang adalah nol pada saat beban nol, dan dibatasi dengan batas proporsional. Pada daerah ini kurva linier sampai tingkat tegangan yang disebut tegangan batas proporsional (*proportional limit*), dengan pertambahan tegangan berbanding lurus dengan pertambahan tegangan. Material pada daerah ini mengikuti hukum Hooke sampai tegangan mencapai batas proporsional. Pada tingkat yang berikutnya, material mencapai kondisi leleh, yang untuk

sebagian besar jenis baja, batas proporsional sama dengan tegangan leleh (*yield stress*).

2. Daerah Plastis

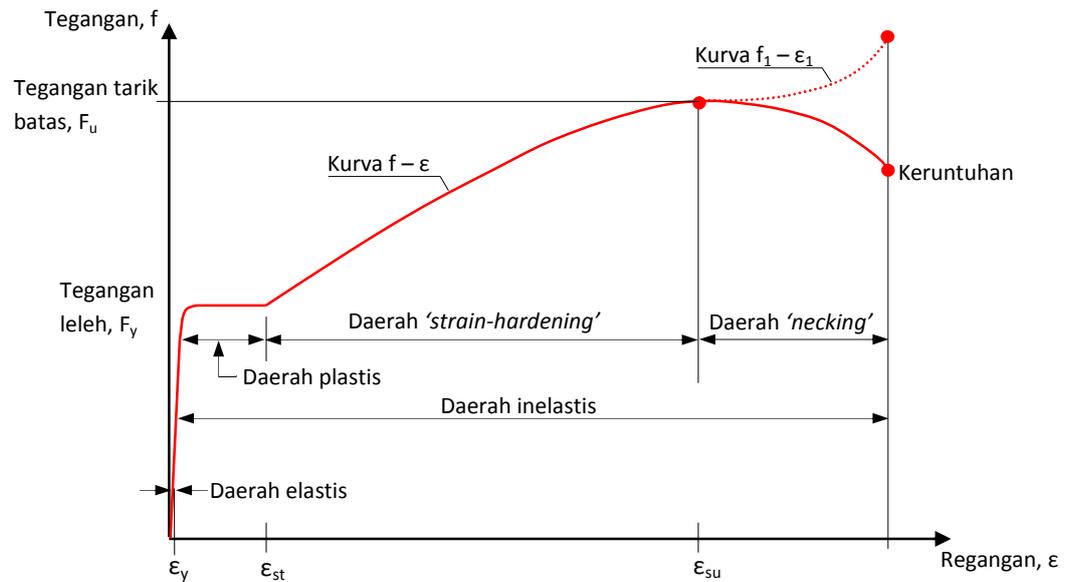
Daerah plastis merupakan daerah datar pada kurva tegangan-regangan, dimulai dari titik leleh, ditandai dengan adanya penambahan regangan tanpa adanya peningkatan tegangan yang berarti. Kelelahan terjadi karena adanya pergeseran internal pada material baja di tingkat atom.

3. Daerah *Strain Hardening*

Daerah *strain hardening* ditandai dengan adanya peningkatan tegangan pada kurva tegangan-regangan, yang berarti diperlukan adanya peningkatan tegangan untuk setiap penambahan regangan. Efek *strain hardening* berkurang dengan bertambahnya regangan, sampai kurva mencapai puncak, yang diakibatkan berkurangnya luas penampang spesimen pada suatu lokasi. Tegangan maksimum pada kurva disebut dengan tegangan tarik batas (*ultimate tensile stress*) atau kuat tarik (*tensile strength*) atau kuat batas (*ultimate strength*).

4. Daerah *Necking*

Daerah *necking* merupakan daerah dimana perpanjangan terjadi dengan beban yang berkurang, sampai akhirnya spesimen putus. Daerah penambahan panjang spesimen signifikan, beserta berkurangnya luas penampang pada lokasi tertentu di spesimen disebut dengan *necking*. Setelah putus, kedua bagian spesimen digabungkan kembali dan jarak antara kedua tanda diukur untuk menetapkan alur daerah tersebut.



Gambar 3.8 Kurva Regangan-Tegangan Baja

3.4 KUAT GESER PADA BALOK BERTULANG

Perencanaan geser diasumsikan pada anggapan-anggapan bahwa beton menahan sebagian geser dan kelebihan gaya gesernya ditahan oleh tulangan geser.

$$V_n = V_c + V_s \quad (3.12)$$

Dimana;

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \cdot b \cdot d \quad (3.13)$$

Dan

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \quad (3.14)$$

dengan,

V_c : kekuatan geser nominal sumbangan beton

V_s : kekuatan geser nominal sumbangan tulangan geser

$f'c$: mutu beton yang direncanakan (MPa)

b : lebar penampang (mm)

d : tinggi efektif penampang (mm)

A_v : luasan tulangan geser (mm^2)

f_y : mutu tulangan yang direncanakan (MPa)

s : jarak antarsengkang (mm)

Sementara ;

$$V_u \leq \phi V_n$$

Atau

$$V_u \leq \phi (V_c + V_s) \quad (3.15)$$

Dengan ;

V_u = gaya geser ultimate

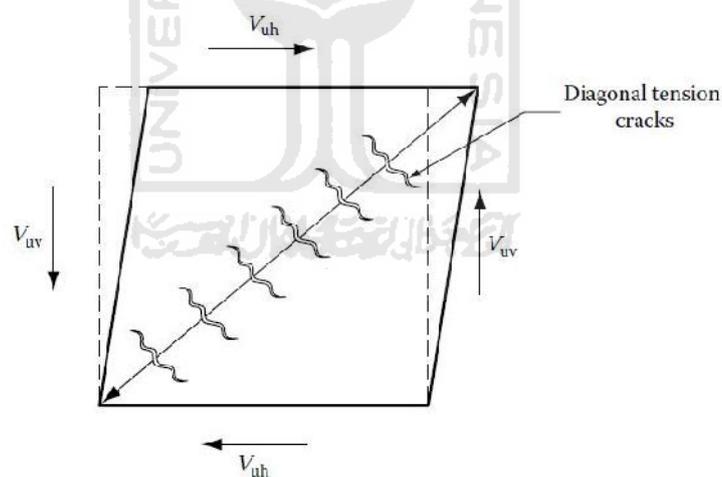
V_n = gaya geser nominal

V_c = gaya geser nominal yang ditahan oleh beton

V_s = gaya geser nominal yang ditahan oleh tulangan geser

ϕ = faktor reduksi

Menurut Bungale S. Taranath (2010), Gaya geser yang terjadi pada balok adalah pendamping yang paling besar dari gaya-gaya berat balok. Tegangan geser cenderung merusak permukaan vertikal dari balok. Pada balok beton, tegangan geser ini tidak menghasilkan *vertical crack* yang signifikan, tapi menyebabkan *diagonal tension crack*, karena beton lemah pada kuat tariknya.



Gambar 3.9 Diagonal Tension

Perilaku dari beton bertulang yang disebabkan oleh gaya geser luar sulit diprediksi. Oleh karena itu, penting untuk disadari bahwa analisis geser dan desain dari beton bertulang tersebut tidak hanya terpaku pada pengaruh tegangan gesernya saja. Hal yang paling berpengaruh adalah *diagonal tension*, yang nantinya menghasilkan kombinasi dari tegangan geser dan

tegangan lentur memanjang. Dikarenakan kapasitas tarik dari beton itu lemah, maka wajib diperhatikan dengan seksama tegangan tarik yang diakibatkan oleh *diagonal tension*.

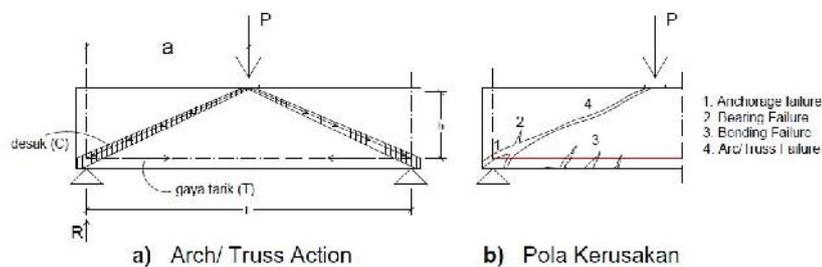
Kelebihan dari penelitian yang akan dikerjakan ini adalah penggunaan *strain gauge* sebagai alat bantu mengukur regangan yang terjadi pada saat balok menderita gaya geser. Harapan yang didapat dari penelitian ini nantinya mampu memperlihatkan perilaku balok terhadap gaya geser yang dialami.

3.5 POLA KERUSAKAN BALOK

Yang dimaksud dalam hal ini adalah pola/jenis kerusakan balok beton yang utamanya tidak diperkuat oleh tulangan. Apabila balok yang tidak mempunyai tulangan kemudian dibebani, maka akan terjadi pola-pola retakan yang sifatnya khusus/spesifik tergantung dimensi ukuran balok. Untuk membahas hal tersebut, maka kita akan mengelompokkan model-model balok menjadi sebagai berikut.

3.5.1 Balok Tinggi

Balok tinggi adalah balok yang rasio antara jarak dari beban terpusat P sampai ke dukungan atau *shear span (a) dan tinggi efektif balok (h) kecil sama dengan 1. Balok tinggi mempunyai pola kerusakan sebagai berikut tampak pada gambar berikut ini.*



Gambar 3.10 Pola Kerusakan pada Balok Tinggi.

Wang dan Salmon (1979) mengatakan bahwa pada kasus balok tinggi, tegangan geser menjadi dominan. Karena bentang L yang relatif lebih pendek terhadap h , maka momen momen lentur relatif kecil walaupun beban

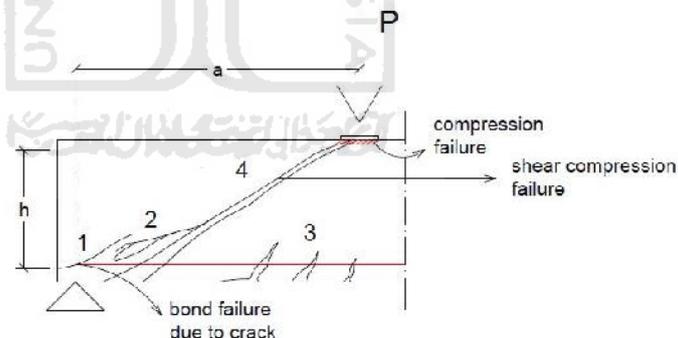
P cukup besar. Dengan beban P yang cukup besar maka gaya geser akan menjadi besar dan tegangan geser akan menjadi besar juga.

Tegangan geser yang besar selanjutnya akan mengakibatkan *crack* arah diagonal pada masing-masing ujung balok yang dekat dengan dukungan. Keseimbangan gaya antara gaya desak (C), gaya tarik (T) dan reaksi dukungan (R) membentuk *arc/truss action*. Urutan-urutan *failure* yang terjadi pada balok tinggi adalah sebagai berikut :

1. Lepasnya/slip baja tarik dengan beton di atas dukungan.
2. Rusaknya beton desak di daerah dukungan.
3. Terjadinya retak lentur (*bending failure*).
4. Retak atau rusaknya beton akibat *arc/truss action*.

3.5.2 Balok Pendek

Balok pendek adalah balok dengan rasio $1,0 < a/h < 2,5$. Menurut Wang dan Salmon (1979), balok pendek memiliki perilaku/pola kerusakan yang hampir mirip dengan balok tinggi. Manakala *ultimate shear capacity* sudah melampaui *shear stress* pada daerah diagonal dekat tulangan, maka *diagonal crack* tidak dapat dihindari.



Gambar 3.11 Shear Failure pada Balok Pendek.

Adapun urutan-urutan dari kerusakan yang terjadi pada balok pendek adalah sebagai berikut:

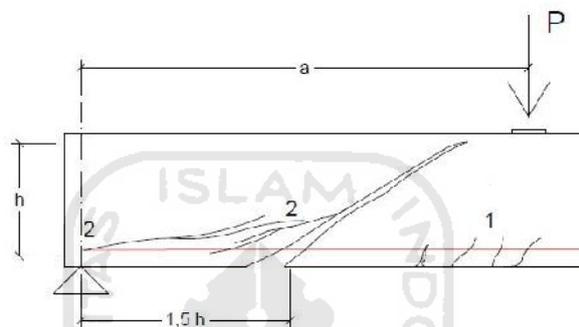
1. *Bond failure* atau rusaknya lekatan antara baja tulangan dengan beton di daerah dukungan.
2. Rusak desak pada daerah dukungan.
3. Terjadinya retak lentur.

4. Terjadinya rusak secara diagonal (*shear compression failure*).

Shear compression failure akan terjadi secara tiba-tiba apabila disertai dengan rusaknya baton desak di bawah beban P (*compression failure*).

3.5.3 Balok Menengah

Balok menengah adalah balok yang mempunyai rasio $2,5 < a/h < 6,0$. Menurut Wang dan Salmon, balok menengah mengalami retak lentur terlebih dahulu (*flexural crack*), kemudian diikuti dengan retak diagonal (*inclined flexural-shear crack*).

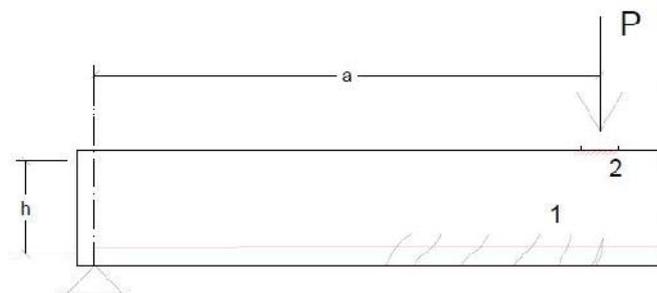


Gambar 3.12 Shear Failure pada Balok Menengah.

Dan menurut Nawi (1996) mengatakan bahwa kerusakan yang terjadi adalah *flexural crack*, kemudian diikuti dengan *bond failure* pada tulangan lentur di atas dukungan. Selanjutnya diikuti dengan *diagonal crack* yang kejadiannya relatif tiba-tiba.

3.5.4 Balok Panjang

Balok panjang adalah balok dengan rasio $a/b > 6,0$. Pada balok seperti ini kerusakan balik dimulai dengan lelehnya tulangan tarik dan rusaknya beton desak pada daerah momen maksimum. Pada balok tipe ini tegangan yang dominan adalah tegangan lentur, sedangkan tegangan geser relatif tidak dominan. Pada retak yang lebih lebar, regangan tarik baja akan bertambah. Kemudian balok mengalami lendutan yang besar. Hali ini sekaligus sebagai peringatan sebelum balok mengalami keruntuhan.



Gambar 3.14 Shear Failure pada Balok Panjang

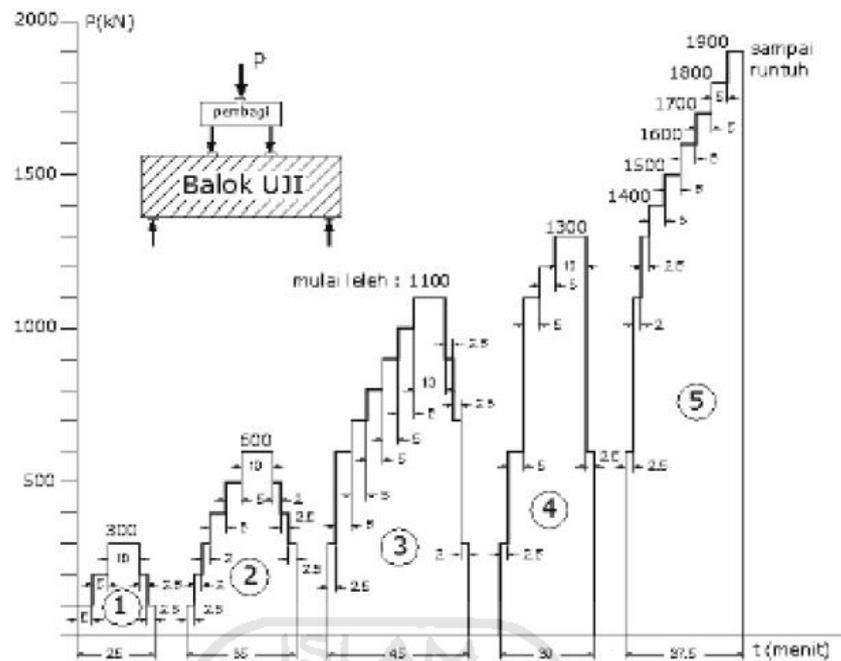
3.6 MEKANISME PEMBEBANAN

Pembebanan dilakukan bertahap dan berbeda-beda untuk tiap benda uji supaya diperoleh pengamatan dan hasil yang lebih teliti. Tahap-tahap pembebanan tersebut adalah :

1. Pembebanan hingga *first crack*.
2. Pembebanan hingga keruntuhan balok (beban ultimit).

Dalam penelitian Dewobroto (2005) dikatakan bahwa beban batas yang menyebabkan keruntuhan pada geser lebih kecil dibanding beban batas yang menyebabkan keruntuhan lentur. Dengan demikian dapat dianggap bahwa kekuatan geser lebih menentukan atau dengan kata lain bahwa keruntuhan geser lebih mendominasi perilaku balok. Keruntuhan balok beton tanpa sengkang adalah akibat *diagonal tension*, adanya tegangan tarik arah diagonal yang ditahan oleh sengkang, terpaksa dipikul beton itu sendiri sepenuhnya tergantung pada kuat tarik material beton.

Pada tahun 2005, Hardjasaputra, dkk melakukan suatu penelitian tentang struktur beton balok tinggi. Dalam melakukan penelitian ini, dengan harapan memperoleh pengamatan yang teliti, maka pembebanan pada balok diberikan secara bertahap dalam siklus tertentu. Adapun siklus pembebanan yang digunakan adalah sesuai dengan jadwal pembebanan pada Gambar 3.15 berikut.

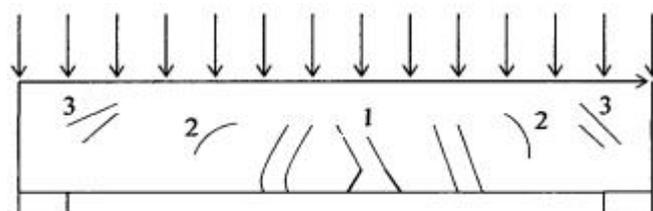


Gambar 3.15 Rencana Siklus Pembebanan Balok Uji

Dari Gambar 3.15 ada beberapa catatan yang perlu diperhatikan dalam penelitian ini yaitu total waktu yang diperlukan direncanakan tiap tahapan adalah ± 3 jam, dalam pelaksanaan setelah dievaluasi diperoleh bahwa tahapan 1 dan 2 masih dalam kondisi elastis, oleh karena itu tahapan 1 dan 2 dipersingkat. Setiap siklus harus diselesaikan tanpa jeda sesuai jadwal. Jeda natar siklus dapat digunakan untuk istirahat. Pada setiap tahapan beban harus dilakukan pencatatan deformasi dan beban. Beban aksi dan reaksi pada balok uji harus dapat diukur, untuk itu perlu dipasang alat ukur yang tepat.

3.7 JENIS RETAK

Menurut Gilbert, retak yang terjadi pada balok dapat dikategorikan menjadi tiga bagian, seperti tampak pada Gambar 3.16.



Keterangan,

1. Retak lentur
2. Retak geser lentur
3. Retak geser

Gambar 3.16 Jenis-Jenis Retak Pada Balok

1. Retak Lentur (*Flexural Crack*)

Retak lentur terjadi pada balok yang mendapat beban momen lentur lebih besar daripada gaya geser. Arah retak lentur hampir tegak lurus terhadap sumbu balok. Retak lentur terjadi setelah tegangan tarik normal pada serat bagian atas beton melampaui kekuatan tarik beton.

2. Retak Geser Lentur (*Flexural Shear Crack*)

Retak lentur terjadi pada balok yang mendapat beban momen lentur lebih besar daripada gaya geser. Arah retak lentur hampir tegak lurus terhadap sumbu balok. Retak lentur terjadi setelah tegangan tarik normal pada serat bagian atas beton melampaui kekuatan tarik beton.

3. Retak Geser Badan (*Web Shear Crack*)

Retak geser badan adalah retak miring yang terjadi pada bagian balok yang sebelumnya tidak mengalami lentur. Biasanya retak ini terjadi pada daerah garis netral penampang balok yang gaya gesernya lebih besar dibandingkan dengan momen.

3.8 MEKANISME PERLAWANAN GESER

Menurut Dipohusodo (1994), mekanisme perlawanan geser dalam komponen struktur beton bertulang adalah sebagai berikut :

1. Adanya perlawanan geser beton sebelum terjadi retak.
2. Adanya gaya ikatan antar agregat (perlimpahan geser antar permukaan butir) ke arah tangensial di sepanjang retakan, yang serupa dengan gaya gesek akibat saling ikat antar agregat yang tidak teratur di sepanjang permukaan batuan kasar.
3. Timbulnya aksi pasak tulangan memanjang sebagai perlawanan terhadap gaya transversal yang harus ditahan.
4. Terjadinya perilaku pelengkung pada balok yang relatif lebih tinggi, dimana segera setelah terjadi retak miring, beban yang dipikul susunan reaksi gaya tekan yang membentuk busur melengkung dengan pengikatnya (tali busur) adalah gaya tarik di sepanjang tulangan memanjang yang ternyata memberikan cadangan kapasitas cukup tinggi.
5. Adanya perlawanan penulangan geser yang berupa sengkang vertikal ataupun miring (untuk balok bertulangan geser).

Ada beberapa cara penulangan geser yang dapat dilakukan dengan memperhatikan pola retak yang terjadi, yaitu dengan cara pemasangan sengkang vertikal, pemasangan jaringan kawat baja las yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial, pemasangan sengkang miring atau diagonal, pemasangan batang tulangan miring diagonal yang dapat dilakukan dengan cara membengkokkan batang tulangan pokok balok di tempat-tempat yang diperlukan, atau pemasangan tulangan spiral (Dipohusodo, 1994).

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 METODE PENELITIAN

Metode penelitian adalah cara untuk mengambil, menganalisa dan mengidentifikasi variabel yang dilakukan untuk mencari pemecahan dari pokok permasalahannya yang akan diambil terhadap penelitian yang akan dikerjakan. Analisis yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah analisis kapasitas daya dukung balok bertulang dengan variasi rasio sengkang dan jenis pola retak yang terjadi pada balok pada tahapan-tahapan pembebanan.

4.2 STUDI PUSTAKA

Studi pustaka diperlukan sebagai acuan analisis setelah subjek dari penelitian ditentukan, yang menjadi landasan teori bagi analisis yang akan mengacu pada buku-buku, media teknologi informasi (internet), pendapat-pendapat dan teori-teori yang berhubungan dengan penelitian. Studi pustaka yang akan digunakan dalam analisis ini dijelaskan pada bab tersendiri.

4.3 BAHAN DAN BENDA UJI

4.3.1 Bahan

Bahan-bahan yang perlu dipersiapkan untuk nantinya digunakan dalam pembuatan benda uji penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Semen

Semen yang digunakan adalah Portland Cement (PC) merk Semen Tiga Roda, semen yang saat ini sudah umum digunakan dan tidak perlu persyaratan khusus.

2. Agregat Kasar dan Halus

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini merupakan batu pecah dengan agregat yang lolos saringan 20 mm yang berasal dari Kulon Progo.

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir yang berasal dari Sungai Krasak, Yogyakarta dan lolos saringan 4,8 mm dan juga dilakukan pencucian sebelum penggunaan yang bertujuan untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang terkandung dalam butiran-butiran pasir tersebut.

3. Baja Tulangan

Diameter baja tulangan polos yang akan digunakan sebagai reinforcement pada balok beton bertulang adalah 6 mm, 8 mm dan 16 mm. Pada umumnya, besar kuat tarik untuk baja tulangan polos yang ada di pasaran adalah 240 MPa.

Baja-baja tulangan tersebut dapat diperoleh dipasaran yang ada di Daerah Istimewa Yogyakarta.

4. Air

Air yang bisa digunakan harus memiliki kriteria secara visual tampak jernih, tidak berbau dan tidak berwarna. Airu yang digunakan pada penelitian ini diambil dari intalasi air di Laboratorium Bahan Konstruksi (BKT) Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

5. Kawat Ikat

Digunakan untuk mengikat tulangan-tulangan baja agar posisi tulangan setelah pengecoran tetap seperti saat sebelum pengecoran.

4.3.2 Benda Uji

Pembuatan beton dilakukan dengan metode DoE dengan mutu beton rencana sebesar 25 MPa dan dilakukan perawatan beton paling lama 3 minggu. Hal ini perlu dilaksanakan agar diperoleh hasil yang maksimal saat berlangsungnya hidrasi semen. Rawatan dilakukan dengan cara menutup balok beton bertulang dengan karung goni yang dibasahi (untuk menjaga suhu selama berlangsungnya hidrasi semen stabil).

Benda uji berupa 4 balok beton bertulang dengan sengkang berukuran 150 mm x 300 mm dengan panjang 2000 mm, $A_s = 402,1239 \text{ mm}^2$ dan $f_y = 240 \text{ MPa}$. Benda uji ini berbentuk balok dengan penampang persegi panjang.

Pada setiap benda uji, dibuat 3 buah sampel silinder beton dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, sehingga diperoleh 12 silinder beton yang digunakan untuk pengujian kuat desak beton, sedangkan untuk baja tulangan yang akan digunakan untuk pengujian kuat desak beton. Sedangkan untuk baja tulangan yang akan digunakan dilakukan uji tarik untuk mengetahui tegangan leleh dan tegangan maksimum riil dari tulangan tersebut.

4.4 PERALATAN PENELITIAN

Untuk menunjang kelancaran penelitian, diperlukan beberapa peralatan yang akan digunakan sebagai sarana agar tujuan penelitian tercapai. Peralatan-peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mesin uji desak dan Mesin Uji Tarik

Mesin uji desak yang dapat dilihat pada gambar 4.1.a, bertipe *ADR 3000* dengan kapasitas 3000 kN, digunakan untuk mengetahui kuat desak silinder beton yang telah dibuat.

Mesin uji tarik yang dapat dilihat pada gambar 4.1.b, digunakan untuk menguji kekuatan leleh baja tulangan dan kuat tarik maksimum dari tulangan yang akan digunakan. Dalam penelitian ini digunakan Universal Testing Machine (UTM) dengan merk Shimadzu Type UMH dengan kapasitas 30 ton.



Gambar 4.1.a Mesin Uji Desak



Gambar 4.1.b Mesin Uji Tarik

2. Mistar dan Kaliper

Mistar, dapat dilihat pada Gambar 4.2, digunakan untuk mengukur dimensi cetakan pada benda uji, sedangkan kaliper, dapat dilihat pada gambar 4.3, sebagai pengukur tulangan atau benda lain yang butuh ketelitian lebih tinggi.



Gambar 4.2 Mistar



Gambar 4.3 Kaliper

3. Mesin Pengaduk Campuran Beton

Mesin pengaduk campuran beton atau *mixer*, dapat dilihat pada Gambar 4.6, ini digunakan untuk mencampur material penyusun beton.

Gambar 4.4 Mesin Pengaduk Beton atau *Mixer*

4. Cetakan Silinder Beton

Cetakan silinder beton atau *modal*, dapat dilihat pada Gambar 4.7, digunakan untuk mencetak benda uji silinder beton dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.



Gambar 4.5 Cetakan silinder beton atau *Mold*

5. Cetakan Balok (Bekisting)

Cetakan Balok (Bekisting), dapat dilihat pada Gambar 4.6, adalah cetakan yang akan digunakan untuk mencetak balok agar balok memiliki dimensi yang tepat dan sesuai dengan perencanaan dan mendapat permukaan yang rata. Cetakan balok dibuat dari kayu dan *multiflex* yang dirangkai sedemikian rupa agar mampu menampung fresh concrete dan memiliki permukaan yang rata.

Gambar 4.6 Cetakan balok (Bekisting)

6. Gelas Ukur

Gelas ukur, dapat dilihat pada Gambar 4.9, digunakan untuk mengukur jumlah air yang diperlukan dalam pencampuran material beton. Kapasitas gelas ukur yang akan digunakan adalah 2000 ml.



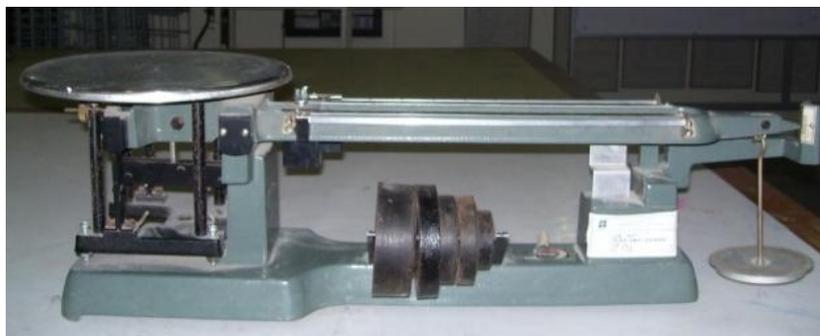
Gambar 4.7 Gelas Ukur

7. Timbangan

Timbangan, dapat dilihat pada gambar 4.10, yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Timbangan dengan merk "FAGANI" berkapasitas 100 kg.
- b. Timbangan dengan merk "OHAUS" berkapasitas 20 kg.

Timbangan ini digunakan untuk mengukur berat material penyusun beton.



Gambar 4.8 Timbangan

8. Cetok, Talam Baja, Ember dan Kerucut Abrams

Cetok digunakan untuk memasukkan benda uji ke dalam kerucut Abrams dan cetakan benda uji.

Talam baja digunakan sebagai alas pengujian *slump* dan menampung adukan beton dari mesin pengaduk atau *mixer*.

Ember digunakan sebagai wadah untuk menampung material ataupun hasil dari pencampuran beton.

Kerucut Abrams digunakan saat melakukan pengujian *slump*, benda ini memiliki 2 lubang dengan diameter 10 cm dan 20 cm di bagian atas dan bawahnya dengan tinggi 30 cm. Alat ini dilengkapi dengan tongkat pemadat yang terbuat dari baja dengan panjang 600 mm dan berdiameter 16 mm dengan ujung yang bulat.



Gambar 4.9 *Slump Test Set*

9. Saringan

Saringan digunakan untuk memisahkan material berdasarkan gradasinya. Adapun yang digunakan adalah saringan no 200 untuk pasir dan saringan 20 mm untuk kerikil.

10. *Loading Frame*

Loading frame, dapat dilihat pada Gambar 4.12, digunakan untuk menempatkan benda uji balok pada saat akan diuji.



Gambar 4.10 *Loading Frame*

11. Dukungan Sendi dan Rol

Dukungan sendi dan rol, dapat dilihat pada Gambar 4.13, merupakan perletakan benda uji selama pengujian berlangsung.



Gambar 4.11 Dukungan Sendi dan Rol

12. *Hydraulic pump*

Hydraulic pump, dapat dilihat pada Gambar 4.14, merupakan pompa hidrolik yang digunakan untuk memberikan beban pada pengujian benda uji balok. *Hydraulic pump* seperti pada Gambar 4.14 memiliki kapasitas maksimum sebesar 100 ton.



Gambar 4.12 *Hydraulic pump*

13. *Strain gauge*

Fungsi dari *strain gauge*, dapat dilihat pada gambar 4.15, adalah untuk mengetahui respon struktur pada saat dibebani. Dimana besar-besaran yang perlu diukur adalah sebagai berikut:

- a. Regangan (*strain*)
- b. Lendutan (*deflection*) ataupun perpindahan (*displacement*), dan
- c. Gaya (*force*) ataupun reaksi pada tumpuan.

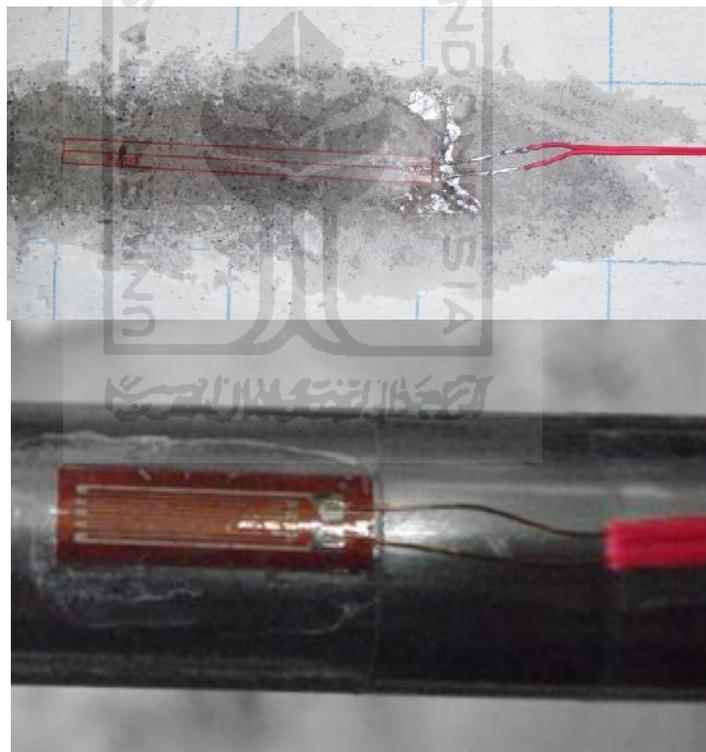
Dari hasil pengukuran regangan, dapat ditentukan besarnya tegangn pada titik-titik yang regangannya diamati. Dengan diukurnya lendutan atau perpindahan, maka dapat diperoleh kurva beban-lendutan, yang nantinya dipakai untuk memperkirakan batas perilaku *elastic* maupun kekuatan batas struktur tersebut (Bambang Suhendro, 2000)

Alat ukur regangan yang dipakai untuk pengujian ini adalah *electrical strain gauge*, alat ukur ini menggunakan prinsip-prinsip perubahan tahanan listrik pada bahan *gauge*-nya akibat regangan yang timbul pada struktur (Bambang Suhendro, 2000)

Adapun prinsip kerja dari *strain gauge* ini sendiri adalah sebagai berikut.

Perubahan panjang sejenis kawat mengakibatkan perubahan tahanan (*resistance*), R , kawat tersebut. Ada hubungan antara regangan (ϵ) dengan perubahan *resistance* (ΔL)

Bila sejenis kawat tersebut dilekatakan dengan sempurna pada suatu permukaan benda, maka regangan yang terjadi pada kawat tersebut sama dengan regangan yang terjadi pada permukaan benda yang ditempelnya (Bambang Suhendro, 2000)



Gambar 4.13 *Strain gauge*

14. *Data logger*

Data logger, dapat dilihat pada Gambar 4.16, adalah mesin pembaca yang sekaligus menampilkan data dari pengujian yang berlangsung.



Gambar 4.14 *Data logger*

15. *Dial Gauge*

Salah satu sensor mekanis yang mempunyai prinsip kerja berdasarkan perubahan mekanis yang terjadi dan menampilkannya dalam bentuk besaran sesuai dengan keadaan aktual tergantung dari tingkat ketelitian alat (jhonson,2000).



Gambar 4.15 *Dial Gauge*

16. *Linear Variable Differential Transformer*

LVDT, dapat dilihat pada Gambar 4.17, adalah sensor yang daya kerjanya mirip dengan *dial gauge*, namun sudah beroperasi lebih modern. Hasil yang diperoleh langsung terekam pada alat pembaca, alat yang bekerja dengan ketelitian tinggi, berfungsi dengan pergerakan *fluks magnetic* yang menghasilkan tegangan AC untuk kemudian dikirim pada alat pembaca tegangan (jhonson,2000)



Gambar 4.16 *Linear Variable Differential Transformer*

17. **Komputer**

Komputer, dapat dilihat pada Gambar 4.18, digunakan untuk mengolah data dan menyimpan data yang terbaca oleh *data logger*. Komputer yang digunakan harus memiliki spesifikasi yang baik demi kelancaran penelitian.



Gambar 4.17 Komputer

4.5 PELAKSANAAN PENELITIAN

4.5.1 Pemasangan *Strain gauge* Pada Baja Tulangan

Strain gauge baru akan bekerja secara optimal pada semua jenis permukaan benda yang akan diuji, atau dalam hal ini adalah baja tulangan, apabila syarat-syaratnya terpenuhi. Berikut adalah urutan langkah-langkah pemasangan *strain gauge*.

1. Perataan permukaan benda uji.

Apabila permukaan baja tulangan yang akan dipasang *strain gauge* sudah berkarat atau tidak rata, bersihkan dengan menggunakan amplas, pada permukaan yang akan diletakkan *strain gauge* nantinya, agar permukaannya rata dan halus. Hilangkan semua lapisan yang menyelimuti permukaan baja tulangan sehingga permukaannya benar-benar bersih.

2. Pembersihan permukaan benda uji yang telah diratakan.

Setelah permukaan baja tulangan halus dan rata, bersihkan permukaan baja tulangan dari debu atau material lain yang sekiranya mengganggu atau masih melekat pada permukaan baja tulangan agar tidak terjadi slip akibat permukaan yang tidak bersih. Dapat menggunakan lap bersih yang kering.

3. Persiapan *strain gauge*.
Siapkan salah satu *strain gauge* dan pastikan kabel yang menghubungkan antara *strain gauge* dengan *data logger* sudah terpasang. Dan pastikan juga, sebelum pemasangan, pemasangan permukaan *strain gauge* tidak terbalik, dimana posisi tembaga menghadap keluar.
4. Pelekatan *strain gauge* pada benda uji.
Oleskan perekat, berupa lem besi atau lem G, pada permukaan baja tulangan yang akan dipasangi *strain gauge*. Gunakan isolasi, yang membatasi kuningan kabel agar tidak bersinggungan dengan baja tulangan, sebagai bahan isolator untuk mencegah terjadinya hubungan pendek pada *strain gauge*.
Rekatkan dengan menggunakan selembar plastik, yang disiapkan dari pabrikan *strain gauge*, agar dapat melekat dengan rata. Gunakan ibu jari untuk menekannya selama 1 menit dan usahakan agar tidak ada gelembung udara pada saat pelekatan *strain gauge*.
5. Pelapisan *strain gauge* dengan silikon.
Setelah dipastikan *strain gauge* melekat dengan baik pada permukaan benda uji, lapisi *strain gauge* tadi dengan silikon agar tidak terjadi gesekan yang bisa mengakibatkan kerusakan *strain gauge* baik pada saat pengecoran ataupun pemadatan. Pastikan bahwa silikon dapat melindungi *strain gauge* dengan baik. Kemudian *strain gauge* dan baja tulangan siap untuk pengecoran.

4.5.2 Persiapan Bahan

Persiapan bahan meliputi uji sifat-sifat teknis bahan penyusun beton (agregat halus, agregat kasar dan semen) dan perencanaan adukan beton. Adapun pengujian bahan-bahan penyusun yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Uji agregat halus.
Pengujian ini dilakukan untuk memperoleh berat jenis agregat halus dalam keadaan SSD dan modulus halus butirnya.

2. Uji agregat kasar.
Pengujian ini dilakukan untuk memperoleh berat jenis agregat kasar dan berat volume dalam keadaan SSD.
3. Perencanaan adukan beton.
Perencanaan campuran adukan beton menggunakan tata cara perhitungan dengan sistem DoE.

4.5.3 Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan

Pengujian kuat tarik baja dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Data yang digunakan adalah beban luluh awal, beban patah dan beban maksimum dari pengujian baja tulangan. Tegangan tarik tulangan baja dapat diketahui dengan cara membagi batas luluh awal dengan luas rata-rata dari diameter tulangan baja.

4.5.4 Pengujian Kuat Desak Silinder Beton

Pengujian kuat desak silinder beton dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Kuat desak beton ($f'c$), yang nantinya akan dipakai sebagai kuat desak aktual, dapat diketahui dengan membagi beban ultimate yang mampu ditahan oleh luasan penampang silinder beton yang didesak.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (4.1)$$

Dimana ;

$f'c$ = kuat desak beton (MPa)

P = beban ultimate (N)

A = luas penampang benda uji (mm^2)

4.5.5 Pembuatan Sampel

Tahapan dalam perencanaan pembuatan campuran beton akan dijelaskan dengan tabel berikut.

Tabel 4.1 Data Material

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kategori jenis struktur	Balok	
2	<i>Slump</i> rencana	100	mm
3	Kuat desak beton rencana	25	MPa
4	Jenis semen	SP Tipe I	
5	Jenis pasir	Agak kasar	
6	Jenis kerikil	Batu pecah	
7	Ukuran maksimum kerikil	20	Mm
8	Berat jenis pasir	2.6	t/m ³



Tabel 4.2 Perencanaan Campuran Beton

No	Uraian	Keterangan	Nilai / satuan
1	Kuat desak beton rencana		25 MPa
2	Nilai tambah (M)		10 MPa
3	Kuat desak rata-rata (f'_{cr})	Langkah 1 + Langkah 2	35 MPa
4	Jenis semen		Tiga Roda tipe I
5	Jenis agregat		Batu pecah
6	Faktor air semen	Baca Tabel 3.4 -> Gambar 3.4, Gambar 3.5	0.46
7	Faktor air semen maks.	Tabel 3.5, Tabel 3.6, Tabel 3.7	0.6
8	Faktor air semen pakai	Ambil yang terkecil dari Langkah 6 dan Langkah 7	0.46
9	<i>Slump</i>	Table 3.8	100 mm
10	Ukuran maksimum kerikil		20 mm
11	Kebutuhan air	Tabel 3.9	205 liter
12	Kebutuhan semen	Langkah 11 / Langkah 8	445.65 kg
13	Kebutuhan semen minimum	Tabel 3.10, Tabel 3.11, Tabel 3.12	275 kg
14	Kebutuhan semen pakai	Ambil yang terbesar dari Langkah 12 dan Langkah 13	445.65 kg
15	Penyesuaian jumlah air atau fas	Langkah 11 / Langkah 14	0.46
16	Golongan pasir		Golongan II
17	Prosentase pasir terhadap agregat campuran	Gambar 3.6	36 %
18	Berat jenis campuran (gunakan 2,6 bila tak ada data)	Persamaan 3.8	2.679 t/m ³
19	Berat beton	Gambar 3.7	2395 kg/m ³
20	Kebutuhan campuran pasir dan kerikil	Langkah 19 - Langkah 11 - Langkah 14	1744.35 kg
21	Kebutuhan pasir	Langkah 17 x Langkah 20	627.97 kg
22	Kebutuhan kerikil	Langkah 20 - Langkah 21	1116.38 kg

Tabel 4.3 Hasil Perencanaan Campuran Beton

Kesimpulan	
Untuk 1 m ³ beton diperlukan	
air (liter)	205
semen (kg)	445.65
pasir (kg)	627.97
kerikil (kg)	1116.38
Kebutuhan untuk 1 balok	
air (liter)	18.45
semen (kg)	40.11
pasir (kg)	56.52
kerikil (kg)	100.47
Kebutuhan untuk 1 silinder	
air (liter)	1.09
semen (kg)	2.36
pasir (kg)	3.33
kerikil (kg)	5.92

Prosedur pembuatan sampel silinder beton adalah sebagai berikut :

1. Penimbangan material yang akan digunakan harus sesuai kebutuhan yang sudah ditentukan.
2. Pengadukan material penyusun beton harus secara bertahap ke dalam *mixer* yang sudah dinyalakan. Pada saat mencampur adukan beton, usahakan kemiringan posisi *mixer* sekitar 45° agar material tercampur dengan baik di dalam *mixer*.
3. Untuk mengetahui campuran beton sudah layak atau belum, campuran beton harus dilakukan pengujian slump menggunakan kerucut Abrams dan penumbuknya.
4. Jika besar slump sudah sesuai dengan rencana awal, campuran beton sudah bisa digunakan untuk pengecoran.
5. Persiapan cetakan silinder yang sebelumnya dilapisi oli terlebih dahulu.
6. Pada saat beton siap dimasukkan kedalam cetakan, usahakan agar campuran beton dituangkan dalam 3 tahapan dimana jeda tiap-tiap tahapan penuangan campuran beton, campuran beton dipadatkan dengan penumbuk sebanyak 25 kali pukulan disertai pukulan dari palu

karet agar beton benar-benar padat dan gelembung udara naik ke permukaan.

7. Adukan yang telah dicetak kemudian diletakkan di tempat yang terlindung dari sinar matahari langsung dan hujan, diamkan selama 24 jam.
8. Cetakan dapat dibuka setelah 24 jam untuk kemudian diberi kode pada setiap sampelnya.

Adapun prosedur yang harus dilakukan untuk membuat benda uji balok adalah sebagai berikut.

1. Persiapan cetakan balok, yang sudah dilapisi dengan plastik terlebih dahulu, agar saat pengecoran berlangsung pasta semen tidak keluar dan memiliki permukaan yang relatif lebih rata.
2. Posisi baja tulangan yang sudah dirangkai ke dalam cetakan balok yang benar akan sangat membantu dalam memperoleh data yang akurat.
3. Persiapan material penyusun beton dengan menimbanginya sesuai kebutuhan rencana adukan beton. Material yang digunakan harus bersih dari kotoran dan dalam keadaan SSD/ jenuh kering permukaan.
4. Persiapan *mixer* untuk nantinya pengadukan material penyusun beton secara bertahap ke dalam *mixer*. Hal ini dilakukan agar material dapat tercampur dengan baik.
5. Penuangan campuran beton, yang sudah diuji slump terlebih dahulu dan sesuai dengan kriteria slump-nya, ke dalam cetakan balok sedikit demi sedikit dan dipadatkan dengan vibrator atau menggunakan batang penumbuk. Pengetukan pada sisi luar bekisting perlu dilakukan untuk mengeluarkan gelembung udara yang ada dalam campuran beton.
6. Cetakan balok baru dapat dibuka setelah beton mengeras.

4.5.6 Perawatan Benda Uji

Untuk menjaga agar permukaan beton tidak retak maka sewaktu beton mengeras perlu diadakan usaha-usaha perawatan. Tindakan ini dilakukan sehari setelah penuangan campuran beton ke dalam bekisting, agar mendapat situasi pengerasan yang optimal sehingga menghasilkan mutu beton yang diharapkan. Adapun tujuan dari perawatan ini adalah sebagai berikut.

1. Menghindari kehilangan zat cari yang banyak selama mengerasnya beton.
2. Menghindari kebanyakan penguapan air dari beton pada pengerasan pada suhu tinggi.
3. Menghindari perbedaan temperatur dalam beton yang mengakibatkan retakan pada beton.

Pada penelitian kali ini tindakan yang dilakukan untuk menanggulangi hal-hal diatas adalah dengan menutupi permukaan balok beton bertulang dengan menggunakan karung goni yang sebelumnya dibasahi terlebih dahulu. Perawatan dapat dilihat seperti pada Gambar 4.19.



Gambar 4.18 Perawatan Benda Uji

4.5.7 Kodefikasi Benda Uji

Dalam penelitian ini, kodefikasi diperlukan untuk mempermudah kita untuk pengelompokkan data hasil pengujian. Adapun sistem pemberian kode pada balok uji adalah sebagai berikut.

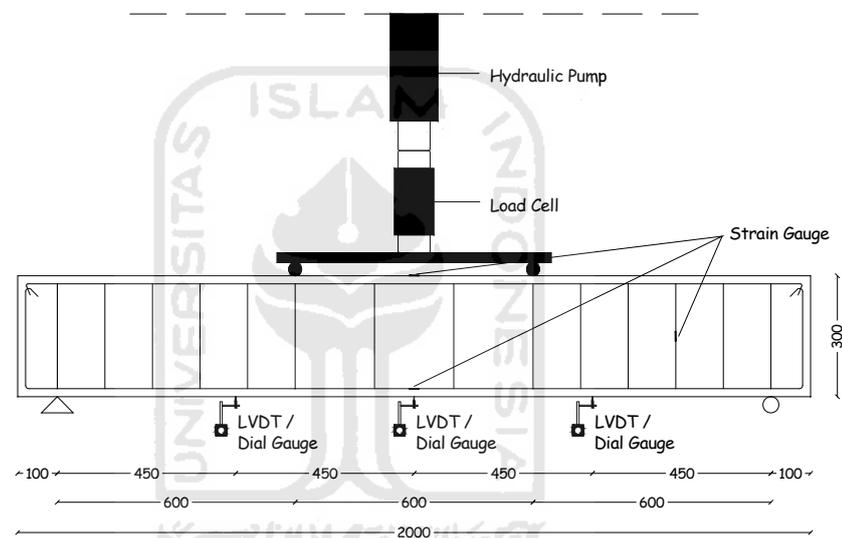
Tabel 4.4 Kodefikasi benda uji

Benda Uji	f_c (MPa)	Dimensi (cm)			Diameter (mm)			Jumlah tulangan lentur	Jarak sengkang (mm)
		b	H	L	tulangan lentur	tulangan tarik	sengkang		
BU-T1-75	25	15	30	200	16	8	6	2	75
BU-T2-75	25	15	30	200	16	8	6	2	75
BU-T1-100	25	15	30	200	16	8	6	2	100
BU-T2-100	25	15	30	200	16	8	6	2	100

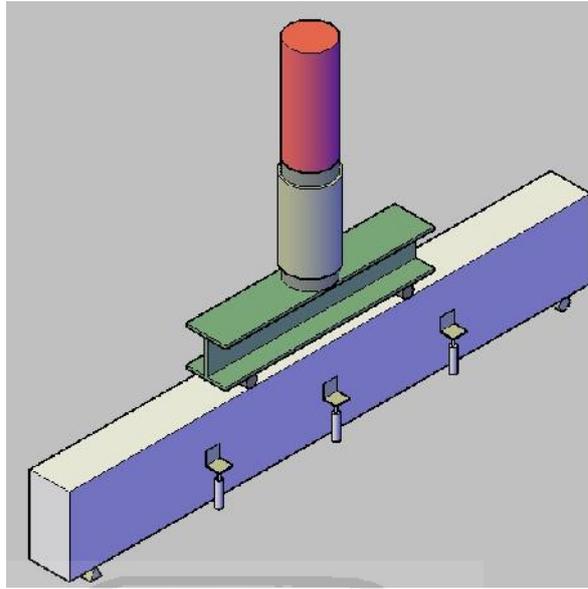
4.5.8 Persiapan Peralatan Uji

Persiapan perlatan uji yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut.

1. Perletakkan benda uji harus sesuai rencana.



Gambar 4.19 Detail Perletakkan Benda Uji Dalam Satuan mm



Gambar 4.20 Ilustrasi Perletakkan Benda Uji

2. Posisi benda uji adalah sejajar sama tinggi dan dipastikan kedudukannya horizontal dengan *waterpass*.
3. Ketelitian jarak harus diperhatikan.
4. Pemasangan LVDT pada jarak yang sesuai dengan rencana penelitian.
5. Instalasi dan kalibrasi sensor-sensor yang digunakan pada *data logger*.
6. Letakkan balok penerus beban pada posisi yang tepat.
7. Letakkan *load cell* dan *hydraulic pump* pada posisinya.

4.5.9 Persiapan Program “MGC Plus Assistant”

Persiapan program “MGC Plus Assistant” ini harus didampingi oleh tenaga ahli dan pembimbing penelitian. Adapun langkah-langkah yang harus dikerjakan adalah sebagai berikut.

1. Menjalankan program “MGC Plus Assistant” dengan bantuan satu set komputer yang memiliki spesifikasi yang baik. Program ini dapat berjalan di OS Windows.
2. Konektifitas *data logger*, yang nantinya akan dihubungkan ke PC, menggunakan USB port yang tersedia di PC.
3. Mulai menjalankan program “MGC Plus Assistant”, sensor yang aktif pada *data logger* secara otomatis akan terdeteksi oleh program.

4. Instalasi dan kalibrasi sensor dalam program “MGC Plus Assistant” lebih mudah karena mengadopsi sistem dari *data logger* yang sudah dilaksanakan sebelum koneksi dilakukan.
5. Kalibrasi dapat dilakukan pada program “MGC Plus Assistant” dengan merubah besaran dalam kolom *calibration sheet*.
6. Mengatur banyaknya data output yang akan dibaca dengan cara klik tombol “I/O device” pada toolbar.
7. Mengatur interval pembacaan, misal 1/100 detik.
8. Setelah kalibrasi selesai, tekan tombol “play” untuk memulai.

4.5.10 Pelaksanaan Pengujian

Berikut adalah tahapan-tahapan pengujian.

1. *Hydraulic pump* mulai dipompa secara bertahap bersamaan dengan dijalkannya program “MGC Plus Assistant”.
2. Benda uji diberi beban sesuai rencana.
3. Setelah pengujian benda uji selesai, data dari program “MGC Plus Assistant” dapat disimpan untuk kemudian diolah dan dianalisis untuk kepentingan pengujian.

4.5.11 Pencatatan Data Pengujian

Hasil dari pengujian ini merupakan data hasil dari pencatatan lendutan secara manual, gambar pola retak secara manual, hasil rekaman pengujian yang direkam dalam program “MGC Plus Assistant” yang nantinya diolah dalam format file MS Excel, grafik tegangan-regangan (dari baja tulangan tarik, beton desak, dan sengkang).

Data yang diperoleh berupa deretan angka dalam beberapa kolom yang berdasarkan dari jumlah sensor yang terpasang pada *data logger*, perubahan nilai dalam file tersebut adalah hasil dari perubahan yang terjadi pada benda uji akibat dari pembebanan yang diberikan. Pada penelitian ini, terdapat 3 buah LVDT, 3 buah *dial gauge*, dan sebuah *load cell*. Pencatatan *dial gauge* dilakukan secara manual dengan mengamati angka-angka yang ditunjukkan pada alat tersebut. Sedangkan LVDT,

strain gauge dan *load cell* sudah terhubung langsung dengan *data logger* yang secara otomatis akan merekam hasil lendutan, regangan, tegangan serta beban yang terjadi saat pengujian berlangsung.

Tabel 4.5 Data pengujian balok uji

No	Sensor	Data	Satuan
MGC Plus Assistant			
1	Time	Waktu	detik
2	<i>Load cell</i>	Beban	kN
3	LVDT	Lendutan	Mm
4	<i>Strain gauge</i>	Regangan	$\mu\text{m/m}$
Manual			
5	Dial gauge	Lendutan	0,01 mm
6	Manusia	Pola dan panjang retak	kN, mm

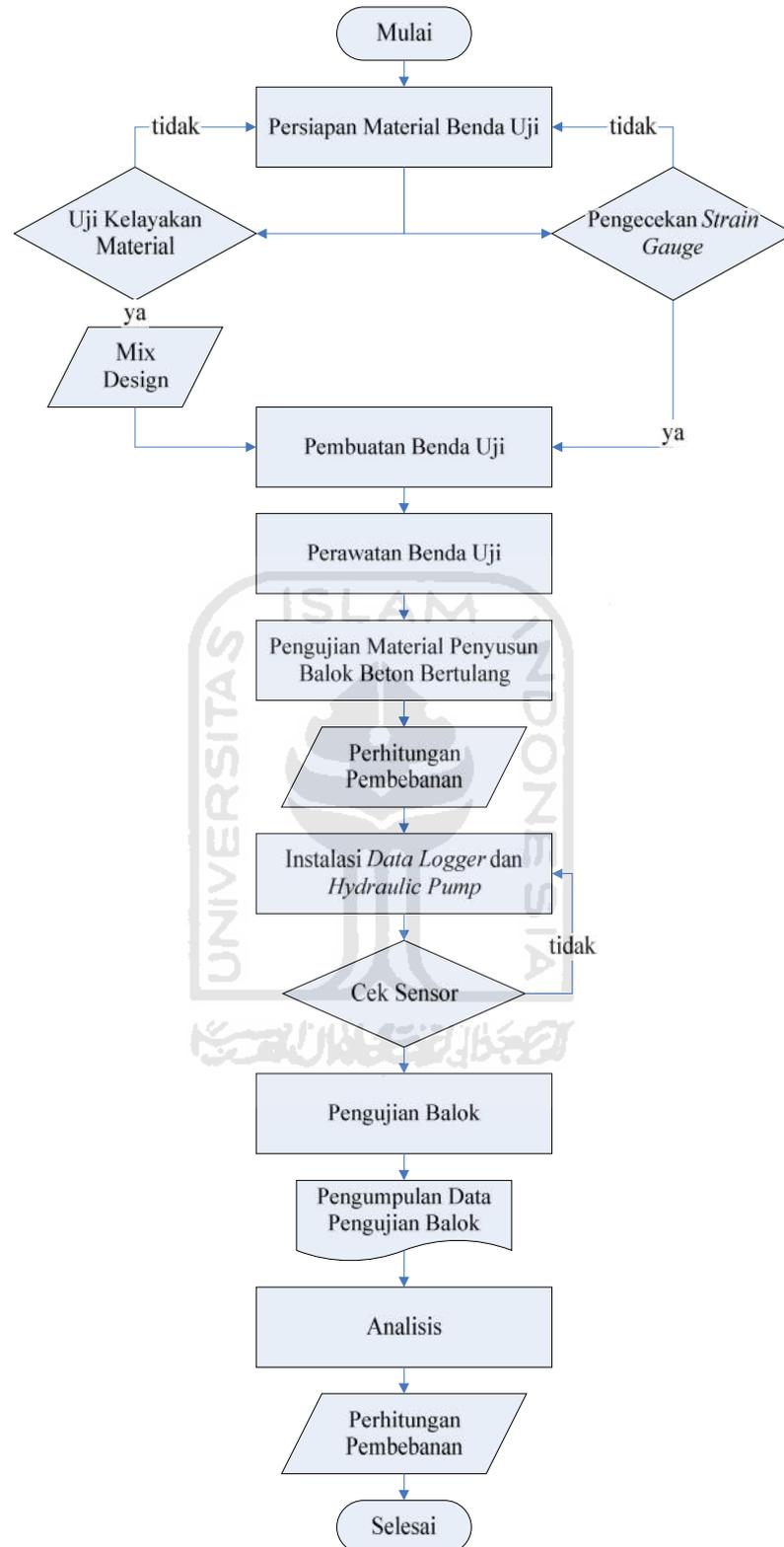
4.5.12 Pengolahan Data dan Analisis

Data yang dihasilkan dari pengujian balok beton bertulang diolah menggunakan program MS Excel. Data ini diolah dan dianalisa untuk mendapatkan hasil akhir penelitian. Pengolahan data ini meliputi:

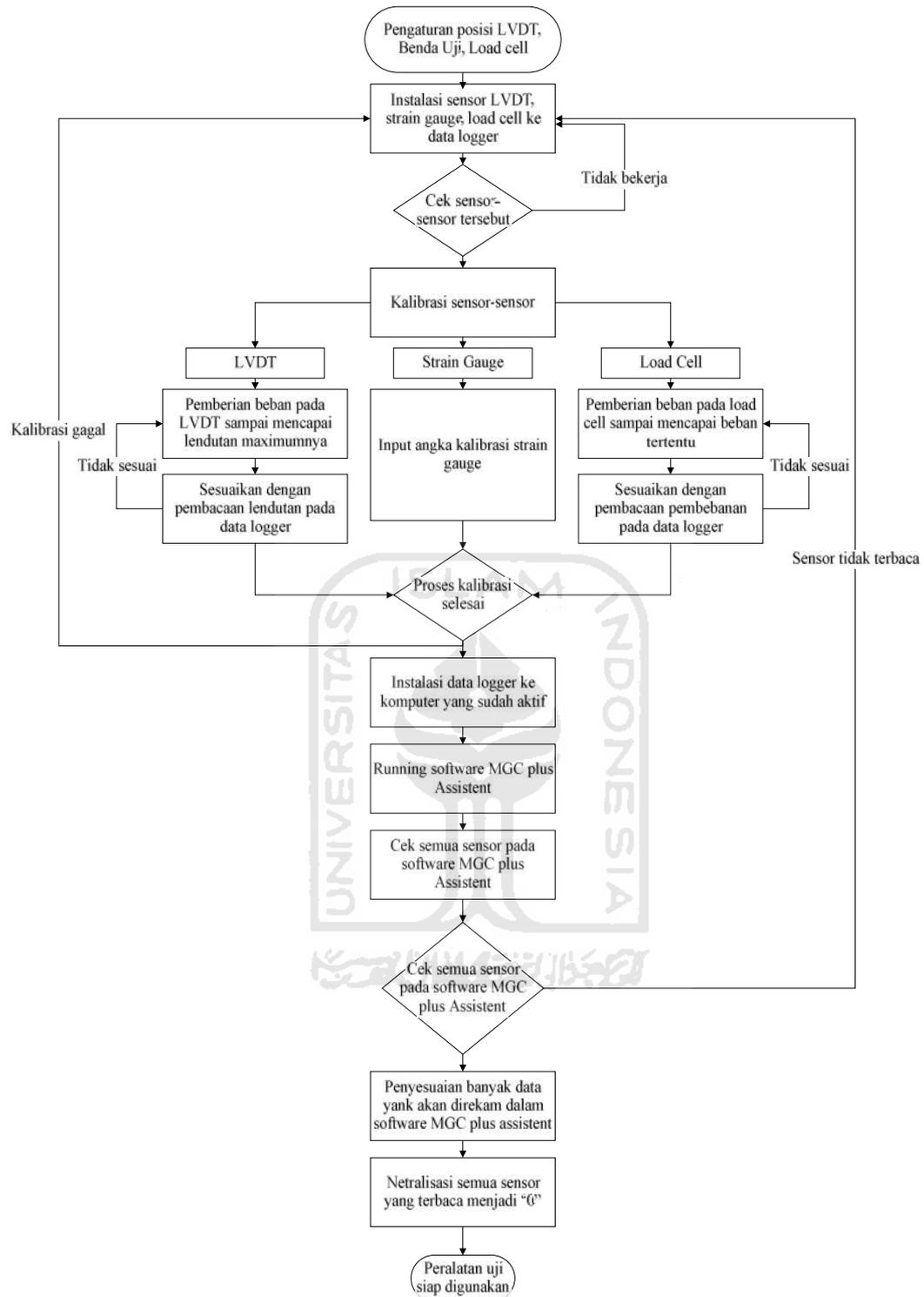
1. Hubungan tegangan dan regangan beton desak.
2. Hubungan *load displacement response*.
3. Pola retak lentur, retak geser dan keruntuhan yang terjadi pada balok.
4. Identifikasi baja tulangan telah leleh, selip atau putus.

Dari hasil pengolahan data ini dapat dilakukan analisis pengujian dan memberikan kesimpulan dari penelitian.

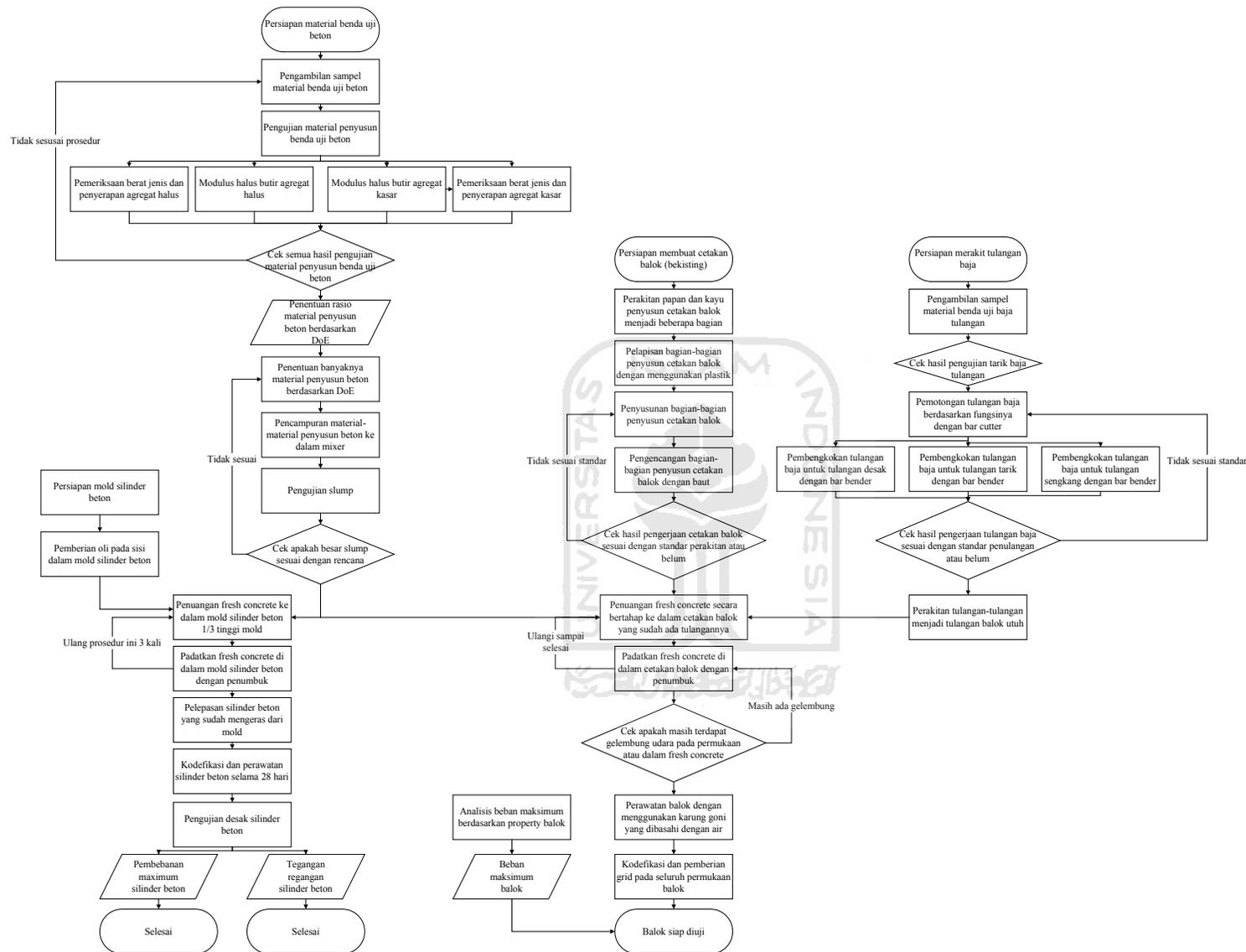
4.6 BAGAN ALIR PENGUJIAN



Gambar 4.21 Flowchart Pelaksanaan Pengujian



Gambar 4.22 Flowchart persiapan peralatan uji



Gambar 4.23 Flowchart persiapan pengujian benda uji





BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 METODE PENELITIAN

Metode penelitian adalah cara untuk mengambil, menganalisa dan mengidentifikasi variabel yang dilakukan untuk mencari pemecahan dari pokok permasalahannya yang akan diambil terhadap penelitian yang akan dikerjakan. Analisis yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah analisis kapasitas daya dukung balok bertulang dengan variasi rasio sengkang dan jenis pola retak yang terjadi pada balok pada tahapan-tahapan pembebanan.

4.2 STUDI PUSTAKA

Studi pustaka diperlukan sebagai acuan analisis setelah subjek dari penelitian ditentukan, yang menjadi landasan teori bagi analisis yang akan mengacu pada buku-buku, media teknologi informasi (internet), pendapat-pendapat dan teori-teori yang berhubungan dengan penelitian. Studi pustaka yang akan digunakan dalam analisis ini dijelaskan pada bab tersendiri.

4.3 BAHAN DAN BENDA UJI

4.3.1 Bahan

Bahan-bahan yang perlu dipersiapkan untuk nantinya digunakan dalam pembuatan benda uji penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Semen

Semen yang digunakan adalah Portland Cement (PC) merk Semen Tiga Roda, semen yang saat ini sudah umum digunakan dan tidak perlu persyaratan khusus.

2. Agregat Kasar dan Halus

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini merupakan batu pecah dengan agregat yang lolos saringan 20 mm yang berasal dari Kulon Progo.

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini adalah pasir yang berasal dari Sungai Krasak, Yogyakarta dan lolos saringan 4,8 mm dan juga dilakukan pencucian sebelum penggunaan yang bertujuan untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang terkandung dalam butiran-butiran pasir tersebut.

3. Baja Tulangan

Diameter baja tulangan polos yang akan digunakan sebagai reinforcement pada balok beton bertulang adalah 6 mm, 8 mm dan 16 mm. Pada umumnya, besar kuat tarik untuk baja tulangan polos yang ada di pasaran adalah 240 MPa.

Baja-baja tulangan tersebut dapat diperoleh dipasaran yang ada di Daerah Istimewa Yogyakarta.

4. Air

Air yang bisa digunakan harus memiliki kriteria secara visual tampak jernih, tidak berbau dan tidak berwarna. Airu yang digunakan pada penelitian ini diambil dari intalasi air di Laboratorium Bahan Konstruksi (BKT) Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

5. Kawat Ikat

Digunakan untuk mengikat tulangan-tulangan baja agar posisi tulangan setelah pengecoran tetap seperti saat sebelum pengecoran.

4.3.2 Benda Uji

Pembuatan beton dilakukan dengan metode DoE dengan mutu beton rencana sebesar 25 MPa dan dilakukan perawatan beton paling lama 3 minggu. Hal ini perlu dilaksanakan agar diperoleh hasil yang maksimal saat berlangsungnya hidrasi semen. Rawatan dilakukan dengan cara menutup balok beton bertulang dengan karung goni yang dibasahi (untuk menjaga suhu selama berlangsungnya hidrasi semen stabil).

Benda uji berupa 4 balok beton bertulang dengan sengkang berukuran 150 mm x 300 mm dengan panjang 2000 mm, $A_s = 402,1239 \text{ mm}^2$ dan $f_y = 240 \text{ MPa}$. Benda uji ini berbentuk balok dengan penampang persegi panjang.

Pada setiap benda uji, dibuat 3 buah sampel silinder beton dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm, sehingga diperoleh 12 silinder beton yang digunakan untuk pengujian kuat desak beton, sedangkan untuk baja tulangan yang akan digunakan untuk pengujian kuat desak beton. Sedangkan untuk baja tulangan yang akan digunakan dilakukan uji tarik untuk mengetahui tegangan leleh dan tegangan maksimum riil dari tulangan tersebut.

4.4 PERALATAN PENELITIAN

Untuk menunjang kelancaran penelitian, diperlukan beberapa peralatan yang akan digunakan sebagai sarana agar tujuan penelitian tercapai. Peralatan-peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mesin uji desak dan Mesin Uji Tarik

Mesin uji desak yang dapat dilihat pada gambar 4.1.a, bertipe *ADR 3000* dengan kapasitas 3000 kN, digunakan untuk mengetahui kuat desak silinder beton yang telah dibuat.

Mesin uji tarik yang dapat dilihat pada gambar 4.1.b, digunakan untuk menguji kekuatan leleh baja tulangan dan kuat tarik maksimum dari tulangan yang akan digunakan. Dalam penelitian ini digunakan Universal Testing Machine (UTM) dengan merk Shimadzu Type UMH dengan kapasitas 30 ton.



Gambar 4.1.a Mesin Uji Desak



Gambar 4.1.b Mesin Uji Tarik

2. Mistar dan Kaliper

Mistar, dapat dilihat pada Gambar 4.2, digunakan untuk mengukur dimensi cetakan pada benda uji, sedangkan kaliper, dapat dilihat pada gambar 4.3, sebagai pengukur tulangan atau benda lain yang butuh ketelitian lebih tinggi.



Gambar 4.2 Mistar



Gambar 4.3 Kaliper

3. Mesin Pengaduk Campuran Beton

Mesin pengaduk campuran beton atau *mixer*, dapat dilihat pada Gambar 4.6, ini digunakan untuk mencampur material penyusun beton.

Gambar 4.4 Mesin Pengaduk Beton atau *Mixer*

4. Cetakan Silinder Beton

Cetakan silinder beton atau *modal*, dapat dilihat pada Gambar 4.7, digunakan untuk mencetak benda uji silinder beton dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm.



Gambar 4.5 Cetakan silinder beton atau *Mold*

5. Cetakan Balok (Bekisting)

Cetakan Balok (Bekisting), dapat dilihat pada Gambar 4.6, adalah cetakan yang akan digunakan untuk mencetak balok agar balok memiliki dimensi yang tepat dan sesuai dengan perencanaan dan mendapat permukaan yang rata. Cetakan balok dibuat dari kayu dan *multiflex* yang dirangkai sedemikian rupa agar mampu menampung fresh concrete dan memiliki permukaan yang rata.

Gambar 4.6 Cetakan balok (Bekisting)

6. Gelas Ukur

Gelas ukur, dapat dilihat pada Gambar 4.9, digunakan untuk mengukur jumlah air yang diperlukan dalam pencampuran material beton. Kapasitas gelas ukur yang akan digunakan adalah 2000 ml.



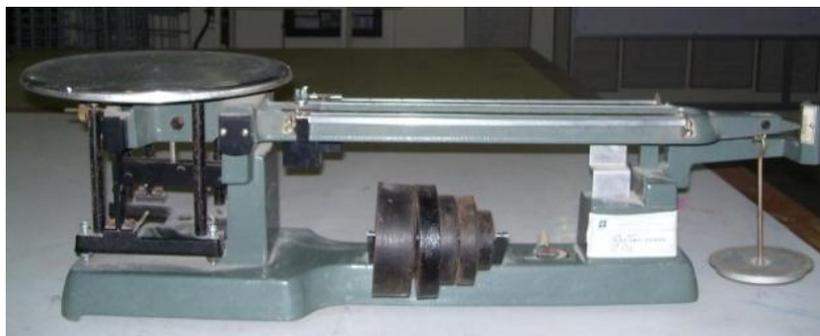
Gambar 4.7 Gelas Ukur

7. Timbangan

Timbangan, dapat dilihat pada gambar 4.10, yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Timbangan dengan merk "FAGANI" berkapasitas 100 kg.
- b. Timbangan dengan merk "OHAUS" berkapasitas 20 kg.

Timbangan ini digunakan untuk mengukur berat material penyusun beton.



Gambar 4.8 Timbangan

8. Cetok, Talam Baja, Ember dan Kerucut Abrams

Cetok digunakan untuk memasukkan benda uji ke dalam kerucut Abrams dan cetakan benda uji.

Talam baja digunakan sebagai alas pengujian *slump* dan menampung adukan beton dari mesin pengaduk atau *mixer*.

Ember digunakan sebagai wadah untuk menampung material ataupun hasil dari pencampuran beton.

Kerucut Abrams digunakan saat melakukan pengujian *slump*, benda ini memiliki 2 lubang dengan diameter 10 cm dan 20 cm di bagian atas dan bawahnya dengan tinggi 30 cm. Alat ini dilengkapi dengan tongkat pemadat yang terbuat dari baja dengan panjang 600 mm dan berdiameter 16 mm dengan ujung yang bulat.



Gambar 4.9 *Slump Test Set*

9. Saringan

Saringan digunakan untuk memisahkan material berdasarkan gradasinya. Adapun yang digunakan adalah saringan no 200 untuk pasir dan saringan 20 mm untuk kerikil.

10. *Loading Frame*

Loading frame, dapat dilihat pada Gambar 4.12, digunakan untuk menempatkan benda uji balok pada saat akan diuji.



Gambar 4.10 *Loading Frame*

11. Dukungan Sendi dan Rol

Dukungan sendi dan rol, dapat dilihat pada Gambar 4.13, merupakan perletakan benda uji selama pengujian berlangsung.



Gambar 4.11 Dukungan Sendi dan Rol

12. *Hydraulic pump*

Hydraulic pump, dapat dilihat pada Gambar 4.14, merupakan pompa hidrolik yang digunakan untuk memberikan beban pada pengujian benda uji balok. *Hydraulic pump* seperti pada Gambar 4.14 memiliki kapasitas maksimum sebesar 100 ton.



Gambar 4.12 *Hydraulic pump*

13. *Strain gauge*

Fungsi dari *strain gauge*, dapat dilihat pada gambar 4.15, adalah untuk mengetahui respon struktur pada saat dibebani. Dimana besar-besaran yang perlu diukur adalah sebagai berikut:

- a. Regangan (*strain*)
- b. Lendutan (*deflection*) ataupun perpindahan (*displacement*), dan
- c. Gaya (*force*) ataupun reaksi pada tumpuan.

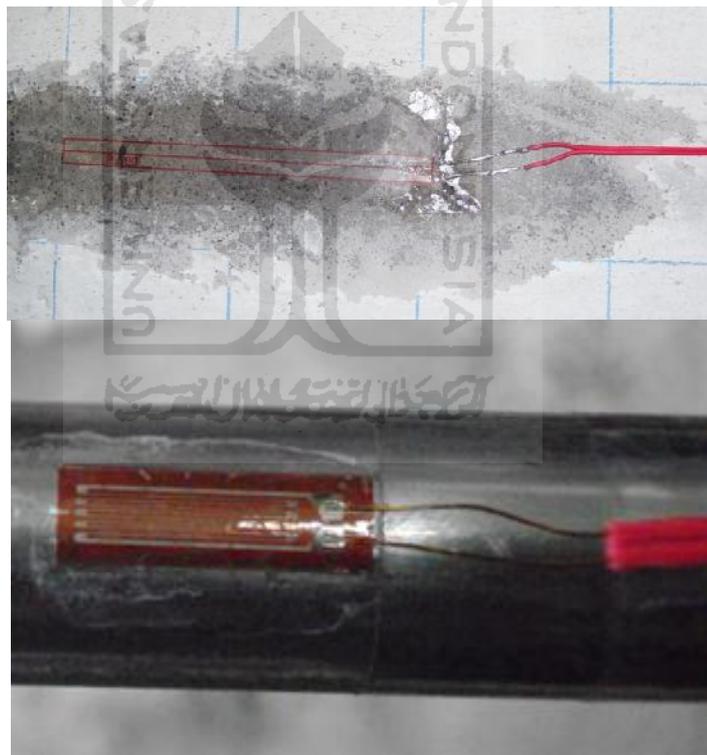
Dari hasil pengukuran regangan, dapat ditentukan besarnya tegangn pada titik-titik yang regangannya diamati. Dengan diukurnya lendutan atau perpindahan, maka dapat diperoleh kurva beban-lendutan, yang nantinya dipakai untuk memperkirakan batas perilaku *elastic* maupun kekuatan batas struktur tersebut (Bambang Suhendro, 2000)

Alat ukur regangan yang dipakai untuk pengujian ini adalah *electrical strain gauge*, alat ukur ini menggunakan prinsip-prinsip perubahan tahanan listrik pada bahan *gauge*-nya akibat regangan yang timbul pada struktur (Bambang Suhendro, 2000)

Adapun prinsip kerja dari *strain gauge* ini sendiri adalah sebagai berikut.

Perubahan panjang sejenis kawat mengakibatkan perubahan tahanan (*resistance*), R , kawat tersebut. Ada hubungan antara regangan (ϵ) dengan perubahan *resistance* (ΔL)

Bila sejenis kawat tersebut dilekatakan dengan sempurna pada suatu permukaan benda, maka regangan yang terjadi pada kawat tersebut sama dengan regangan yang terjadi pada permukaan benda yang ditempelnya (Bambang Suhendro, 2000)



Gambar 4.13 *Strain gauge*

14. *Data logger*

Data logger, dapat dilihat pada Gambar 4.16, adalah mesin pembaca yang sekaligus menampilkan data dari pengujian yang berlangsung.



Gambar 4.14 *Data logger*

15. *Dial Gauge*

Salah satu sensor mekanis yang mempunyai prinsip kerja berdasarkan perubahan mekanis yang terjadi dan menampilkannya dalam bentuk besaran sesuai dengan keadaan aktual tergantung dari tingkat ketelitian alat (jhonson,2000).



Gambar 4.15 *Dial Gauge*

16. *Linear Variable Differential Transformer*

LVDT, dapat dilihat pada Gambar 4.17, adalah sensor yang daya kerjanya mirip dengan *dial gauge*, namun sudah beroperasi lebih modern. Hasil yang diperoleh langsung terekam pada alat pembaca, alat yang bekerja dengan ketelitian tinggi, berfungsi dengan pergerakan *fluks magnetic* yang menghasilkan tegangan AC untuk kemudian dikirim pada alat pembaca tegangan (jhonson,2000)



Gambar 4.16 *Linear Variable Differential Transformer*

17. **Komputer**

Komputer, dapat dilihat pada Gambar 4.18, digunakan untuk mengolah data dan menyimpan data yang terbaca oleh *data logger*. Komputer yang digunakan harus memiliki spesifikasi yang baik demi kelancaran penelitian.



Gambar 4.17 Komputer

4.5 PELAKSANAAN PENELITIAN

4.5.1 Pemasangan *Strain gauge* Pada Baja Tulangan

Strain gauge baru akan bekerja secara optimal pada semua jenis permukaan benda yang akan diuji, atau dalam hal ini adalah baja tulangan, apabila syarat-syaratnya terpenuhi. Berikut adalah urutan langkah-langkah pemasangan *strain gauge*.

1. Perataan permukaan benda uji.

Apabila permukaan baja tulangan yang akan dipasang *strain gauge* sudah berkarat atau tidak rata, bersihkan dengan menggunakan amplas, pada permukaan yang akan diletakkan *strain gauge* nantinya, agar permukaannya rata dan halus. Hilangkan semua lapisan yang menyelimuti permukaan baja tulangan sehingga permukaannya benar-benar bersih.

2. Pembersihan permukaan benda uji yang telah diratakan.

Setelah permukaan baja tulangan halus dan rata, bersihkan permukaan baja tulangan dari debu atau material lain yang sekiranya mengganggu atau masih melekat pada permukaan baja tulangan agar tidak terjadi slip akibat permukaan yang tidak bersih. Dapat menggunakan lap bersih yang kering.

3. Persiapan *strain gauge*.
Siapkan salah satu *strain gauge* dan pastikan kabel yang menghubungkan antara *strain gauge* dengan *data logger* sudah terpasang. Dan pastikan juga, sebelum pemasangan, pemasangan permukaan *strain gauge* tidak terbalik, dimana posisi tembaga menghadap keluar.
4. Pelekatan *strain gauge* pada benda uji.
Oleskan perekat, berupa lem besi atau lem G, pada permukaan baja tulangan yang akan dipasangi *strain gauge*. Gunakan isolasi, yang membatasi kuningan kabel agar tidak bersinggungan dengan baja tulangan, sebagai bahan isolator untuk mencegah terjadinya hubungan pendek pada *strain gauge*.
Rekatkan dengan menggunakan selembar plastik, yang disiapkan dari pabrikan *strain gauge*, agar dapat melekat dengan rata. Gunakan ibu jari untuk menekannya selama 1 menit dan usahakan agar tidak ada gelembung udara pada saat pelekatan *strain gauge*.
5. Pelapisan *strain gauge* dengan silikon.
Setelah dipastikan *strain gauge* melekat dengan baik pada permukaan benda uji, lapisi *strain gauge* tadi dengan silikon agar tidak terjadi gesekan yang bisa mengakibatkan kerusakan *strain gauge* baik pada saat pengecoran ataupun pemadatan. Pastikan bahwa silikon dapat melindungi *strain gauge* dengan baik. Kemudian *strain gauge* dan baja tulangan siap untuk pengecoran.

4.5.2 Persiapan Bahan

Persiapan bahan meliputi uji sifat-sifat teknis bahan penyusun beton (agregat halus, agregat kasar dan semen) dan perencanaan adukan beton. Adapun pengujian bahan-bahan penyusun yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Uji agregat halus.
Pengujian ini dilakukan untuk memperoleh berat jenis agregat halus dalam keadaan SSD dan modulus halus butirnya.

2. Uji agregat kasar.
Pengujian ini dilakukan untuk memperoleh berat jenis agregat kasar dan berat volume dalam keadaan SSD.
3. Perencanaan adukan beton.
Perencanaan campuran adukan beton menggunakan tata cara perhitungan dengan sistem DoE.

4.5.3 Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan

Pengujian kuat tarik baja dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Data yang digunakan adalah beban luluh awal, beban patah dan beban maksimum dari pengujian baja tulangan. Tegangan tarik tulangan baja dapat diketahui dengan cara membagi batas luluh awal dengan luas rata-rata dari diameter tulangan baja.

4.5.4 Pengujian Kuat Desak Silinder Beton

Pengujian kuat desak silinder beton dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik (BKT), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Kuat desak beton ($f'c$), yang nantinya akan dipakai sebagai kuat desak aktual, dapat diketahui dengan membagi beban ultimate yang mampu ditahan oleh luasan penampang silinder beton yang didesak.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (4.1)$$

Dimana ;

$f'c$ = kuat desak beton (MPa)

P = beban ultimate (N)

A = luas penampang benda uji (mm^2)

4.5.5 Pembuatan Sampel

Tahapan dalam perencanaan pembuatan campuran beton akan dijelaskan dengan tabel berikut.

Tabel 4.1 Data Material

No	Uraian	Nilai	Satuan
1	Kategori jenis struktur	Balok	
2	<i>Slump</i> rencana	100	mm
3	Kuat desak beton rencana	25	MPa
4	Jenis semen	SP Tipe I	
5	Jenis pasir	Agak kasar	
6	Jenis kerikil	Batu pecah	
7	Ukuran maksimum kerikil	20	Mm
8	Berat jenis pasir	2.6	t/m ³



Tabel 4.2 Perencanaan Campuran Beton

No	Uraian	Keterangan	Nilai / satuan
1	Kuat desak beton rencana		25 MPa
2	Nilai tambah (M)		10 MPa
3	Kuat desak rata-rata (f'_{cr})	Langkah 1 + Langkah 2	35 MPa
4	Jenis semen		Tiga Roda tipe I
5	Jenis agregat		Batu pecah
6	Faktor air semen	Baca Tabel 3.4 -> Gambar 3.4, Gambar 3.5	0.46
7	Faktor air semen maks.	Tabel 3.5, Tabel 3.6, Tabel 3.7	0.6
8	Faktor air semen pakai	Ambil yang terkecil dari Langkah 6 dan Langkah 7	0.46
9	<i>Slump</i>	Table 3.8	100 mm
10	Ukuran maksimum kerikil		20 mm
11	Kebutuhan air	Tabel 3.9	205 liter
12	Kebutuhan semen	Langkah 11 / Langkah 8	445.65 kg
13	Kebutuhan semen minimum	Tabel 3.10, Tabel 3.11, Tabel 3.12	275 kg
14	Kebutuhan semen pakai	Ambil yang terbesar dari Langkah 12 dan Langkah 13	445.65 kg
15	Penyesuaian jumlah air atau fas	Langkah 11 / Langkah 14	0.46
16	Golongan pasir		Golongan II
17	Prosentase pasir terhadap agregat campuran	Gambar 3.6	36 %
18	Berat jenis campuran(gunakan 2,6 bila tak ada data)	Persamaan 3.8	2.679 t/m ³
19	Berat beton	Gambar 3.7	2395 kg/m ³
20	Kebutuhan campuran pasir dan kerikil	Langkah 19 - Langkah 11 - Langkah 14	1744.35 kg
21	Kebutuhan pasir	Langkah 17 x Langkah 20	627.97 kg
22	Kebutuhan kerikil	Langkah 20 – Langkah 21	1116.38 kg

Tabel 4.3 Hasil Perencanaan Campuran Beton

Kesimpulan	
Untuk 1 m ³ beton diperlukan	
air (liter)	205
semen (kg)	445.65
pasir (kg)	627.97
kerikil (kg)	1116.38
Kebutuhan untuk 1 balok	
air (liter)	18.45
semen (kg)	40.11
pasir (kg)	56.52
kerikil (kg)	100.47
Kebutuhan untuk 1 silinder	
air (liter)	1.09
semen (kg)	2.36
pasir (kg)	3.33
kerikil (kg)	5.92

Prosedur pembuatan sampel silinder beton adalah sebagai berikut :

1. Penimbangan material yang akan digunakan harus sesuai kebutuhan yang sudah ditentukan.
2. Pengadukan material penyusun beton harus secara bertahap ke dalam *mixer* yang sudah dinyalakan. Pada saat mencampur adukan beton, usahakan kemiringan posisi *mixer* sekitar 45° agar material tercampur dengan baik di dalam *mixer*.
3. Untuk mengetahui campuran beton sudah layak atau belum, campuran beton harus dilakukan pengujian slump menggunakan kerucut Abrams dan penumbuknya.
4. Jika besar slump sudah sesuai dengan rencana awal, campuran beton sudah bisa digunakan untuk pengecoran.
5. Persiapan cetakan silinder yang sebelumnya dilapisi oli terlebih dahulu.
6. Pada saat beton siap dimasukkan kedalam cetakan, usahakan agar campuran beton dituangkan dalam 3 tahapan dimana jeda tiap-tiap tahapan penuangan campuran beton, campuran beton dipadatkan dengan penumbuk sebanyak 25 kali pukulan disertai pukulan dari palu

karet agar beton benar-benar padat dan gelembung udara naik ke permukaan.

7. Adukan yang telah dicetak kemudian diletakkan di tempat yang terlindung dari sinar matahari langsung dan hujan, diamkan selama 24 jam.
8. Cetakan dapat dibuka setelah 24 jam untuk kemudian diberi kode pada setiap sampelnya.

Adapun prosedur yang harus dilakukan untuk membuat benda uji balok adalah sebagai berikut.

1. Persiapan cetakan balok, yang sudah dilapisi dengan plastik terlebih dahulu, agar saat pengecoran berlangsung pasta semen tidak keluar dan memiliki permukaan yang relatif lebih rata.
2. Posisi baja tulangan yang sudah dirangkai ke dalam cetakan balok yang benar akan sangat membantu dalam memperoleh data yang akurat.
3. Persiapan material penyusun beton dengan menimbanginya sesuai kebutuhan rencana adukan beton. Material yang digunakan harus bersih dari kotoran dan dalam keadaan SSD/ jenuh kering permukaan.
4. Persiapan *mixer* untuk nantinya pengadukan material penyusun beton secara bertahap ke dalam *mixer*. Hal ini dilakukan agar material dapat tercampur dengan baik.
5. Penuangan campuran beton, yang sudah diuji slump terlebih dahulu dan sesuai dengan kriteria slump-nya, ke dalam cetakan balok sedikit demi sedikit dan dipadatkan dengan vibrator atau menggunakan batang penumbuk. Pengetukan pada sisi luar bekisting perlu dilakukan untuk mengeluarkan gelembung udara yang ada dalam campuran beton.
6. Cetakan balok baru dapat dibuka setelah beton mengeras.

4.5.6 Perawatan Benda Uji

Untuk menjaga agar permukaan beton tidak retak maka sewaktu beton mengeras perlu diadakan usaha-usaha perawatan. Tindakan ini dilakukan sehari setelah penuangan campuran beton ke dalam bekisting, agar mendapat situasi pengerasan yang optimal sehingga menghasilkan mutu beton yang diharapkan. Adapun tujuan dari perawatan ini adalah sebagai berikut.

1. Menghindari kehilangan zat cari yang banyak selama mengerasnya beton.
2. Menghindari kebanyakan penguapan air dari beton pada pengerasan pada suhu tinggi.
3. Menghindari perbedaan temperatur dalam beton yang mengakibatkan retakan pada beton.

Pada penelitian kali ini tindakan yang dilakukan untuk menanggulangi hal-hal diatas adalah dengan menutupi permukaan balok beton bertulang dengan menggunakan karung goni yang sebelumnya dibasahi terlebih dahulu. Perawatan dapat dilihat seperti pada Gambar 4.19.



Gambar 4.18 Perawatan Benda Uji

4.5.7 Kodefikasi Benda Uji

Dalam penelitian ini, kodefikasi diperlukan untuk mempermudah kita untuk pengelompokkan data hasil pengujian. Adapun sistem pemberian kode pada balok uji adalah sebagai berikut.

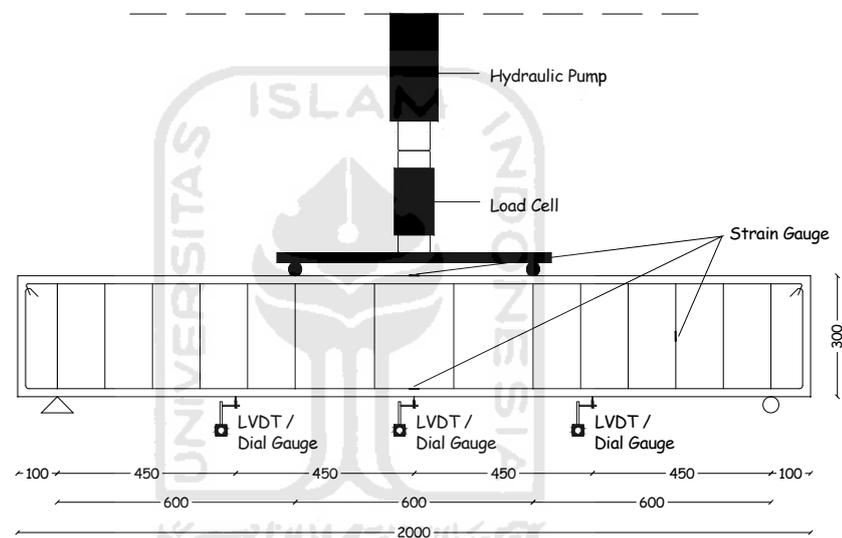
Tabel 4.4 Kodefikasi benda uji

Benda Uji	f_c (MPa)	Dimensi (cm)			Diameter (mm)			Jumlah tulangan lentur	Jarak sengkang (mm)
		b	H	L	tulangan lentur	tulangan tarik	sengkang		
BU-T1-75	25	15	30	200	16	8	6	2	75
BU-T2-75	25	15	30	200	16	8	6	2	75
BU-T1-100	25	15	30	200	16	8	6	2	100
BU-T2-100	25	15	30	200	16	8	6	2	100

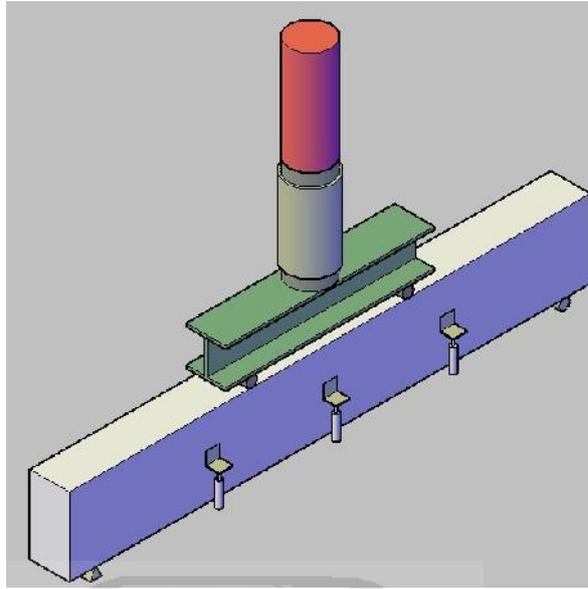
4.5.8 Persiapan Peralatan Uji

Persiapan perlatan uji yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut.

1. Perletakkan benda uji harus sesuai rencana.



Gambar 4.19 Detail Perletakkan Benda Uji Dalam Satuan mm



Gambar 4.20 Ilustrasi Perletakkan Benda Uji

2. Posisi benda uji adalah sejajar sama tinggi dan dipastikan kedudukannya horizontal dengan *waterpass*.
3. Ketelitian jarak harus diperhatikan.
4. Pemasangan LVDT pada jarak yang sesuai dengan rencana penelitian.
5. Instalasi dan kalibrasi sensor-sensor yang digunakan pada *data logger*.
6. Letakkan balok penerus beban pada posisi yang tepat.
7. Letakkan *load cell* dan *hydraulic pump* pada posisinya.

4.5.9 Persiapan Program “MGC Plus Assistant”

Persiapan program “MGC Plus Assistant” ini harus didampingi oleh tenaga ahli dan pembimbing penelitian. Adapun langkah-langkah yang harus dikerjakan adalah sebagai berikut.

1. Menjalankan program “MGC Plus Assistant” dengan bantuan satu set komputer yang memiliki spesifikasi yang baik. Program ini dapat berjalan di OS Windows.
2. Konektifitas *data logger*, yang nantinya akan dihubungkan ke PC, menggunakan USB port yang tersedia di PC.
3. Mulai menjalankan program “MGC Plus Assistant”, sensor yang aktif pada *data logger* secara otomatis akan terdeteksi oleh program.

4. Instalasi dan kalibrasi sensor dalam program “MGC Plus Assistant” lebih mudah karena mengadopsi sistem dari *data logger* yang sudah dilaksanakan sebelum koneksi dilakukan.
5. Kalibrasi dapat dilakukan pada program “MGC Plus Assistant” dengan merubah besaran dalam kolom *calibration sheet*.
6. Mengatur banyaknya data output yang akan dibaca dengan cara klik tombol “I/O device” pada toolbar.
7. Mengatur interval pembacaan, misal 1/100 detik.
8. Setelah kalibrasi selesai, tekan tombol “play” untuk memulai.

4.5.10 Pelaksanaan Pengujian

Berikut adalah tahapan-tahapan pengujian.

1. *Hydraulic pump* mulai dipompa secara bertahap bersamaan dengan dijalkannya program “MGC Plus Assistant”.
2. Benda uji diberi beban sesuai rencana.
3. Setelah pengujian benda uji selesai, data dari program “MGC Plus Assistant” dapat disimpan untuk kemudian diolah dan dianalisis untuk kepentingan pengujian.

4.5.11 Pencatatan Data Pengujian

Hasil dari pengujian ini merupakan data hasil dari pencatatan lendutan secara manual, gambar pola retak secara manual, hasil rekaman pengujian yang direkam dalam program “MGC Plus Assistant” yang nantinya diolah dalam format file MS Excel, grafik tegangan-regangan (dari baja tulangan tarik, beton desak, dan sengkang).

Data yang diperoleh berupa deretan angka dalam beberapa kolom yang berdasarkan dari jumlah sensor yang terpasang pada *data logger*, perubahan nilai dalam file tersebut adalah hasil dari perubahan yang terjadi pada benda uji akibat dari pembebanan yang diberikan. Pada penelitian ini, terdapat 3 buah LVDT, 3 buah *dial gauge*, dan sebuah *load cell*. Pencatatan *dial gauge* dilakukan secara manual dengan mengamati angka-angka yang ditunjukkan pada alat tersebut. Sedangkan LVDT,

strain gauge dan *load cell* sudah terhubung langsung dengan *data logger* yang secara otomatis akan merekam hasil lendutan, regangan, tegangan serta beban yang terjadi saat pengujian berlangsung.

Tabel 4.5 Data pengujian balok uji

No	Sensor	Data	Satuan
MGC Plus Assistant			
1	Time	Waktu	detik
2	<i>Load cell</i>	Beban	kN
3	LVDT	Lendutan	Mm
4	<i>Strain gauge</i>	Regangan	$\mu\text{m/m}$
Manual			
5	Dial gauge	Lendutan	0,01 mm
6	Manusia	Pola dan panjang retak	kN, mm

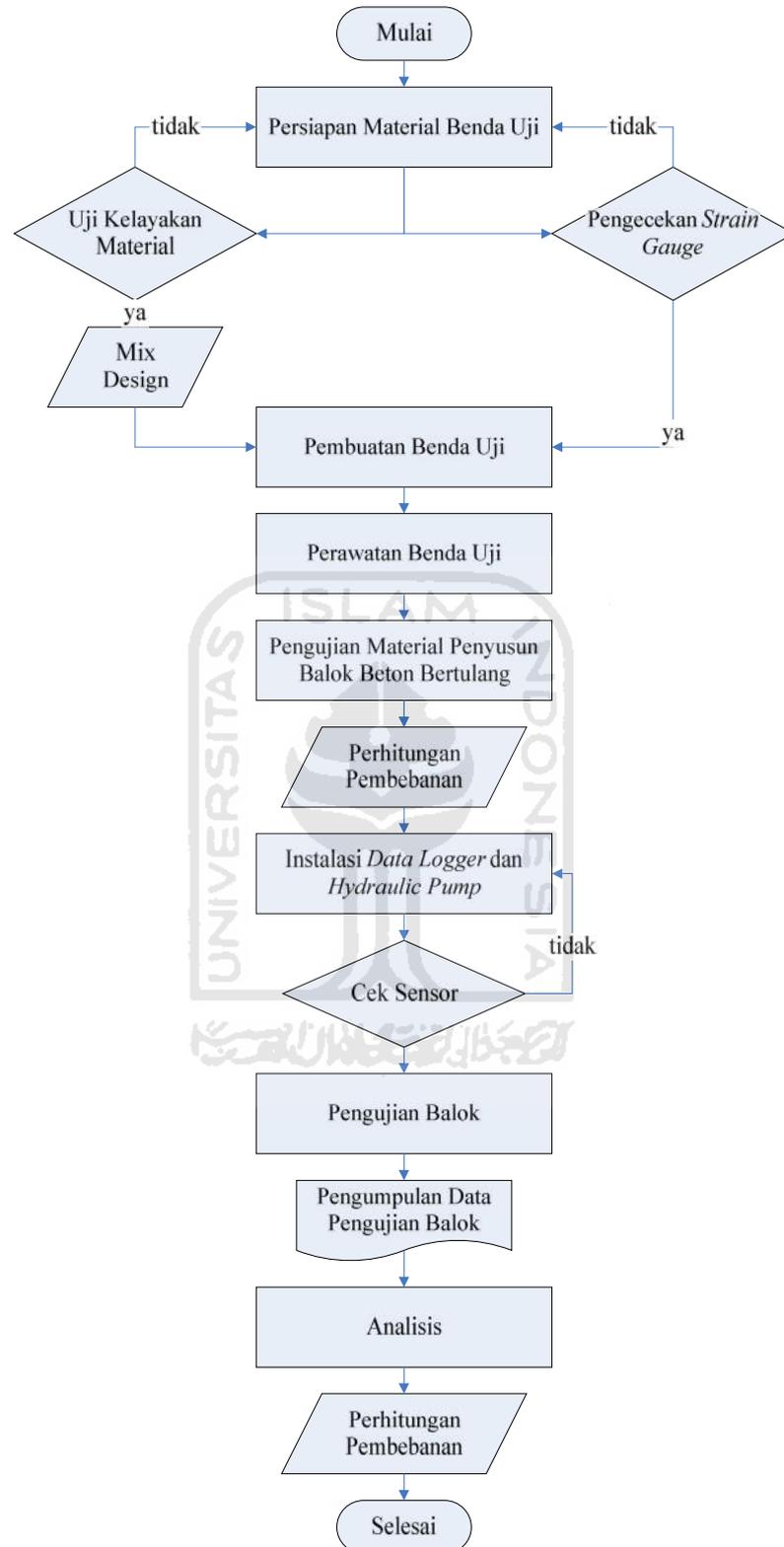
4.5.12 Pengolahan Data dan Analisis

Data yang dihasilkan dari pengujian balok beton bertulang diolah menggunakan program MS Excel. Data ini diolah dan dianalisa untuk mendapatkan hasil akhir penelitian. Pengolahan data ini meliputi:

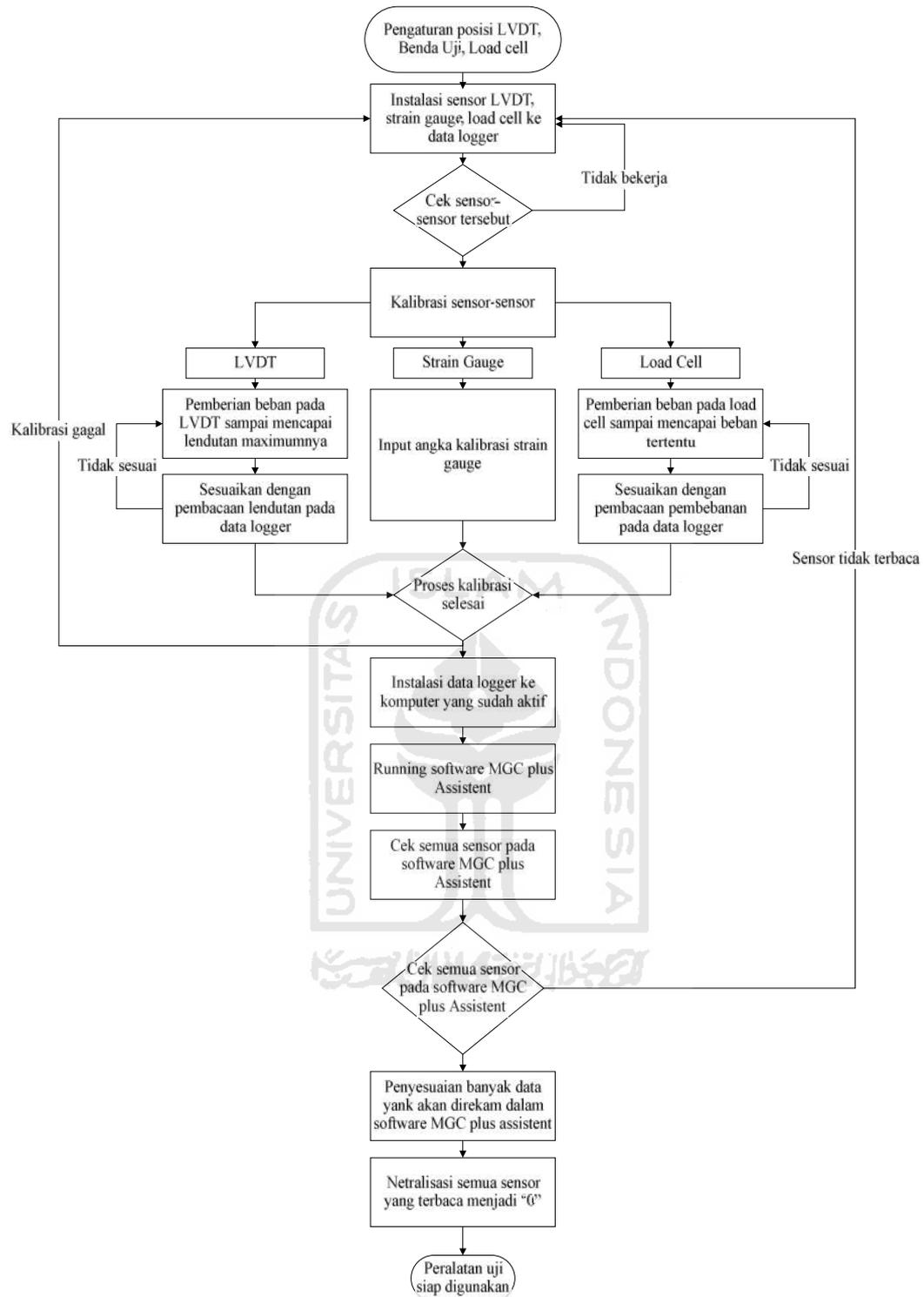
1. Hubungan tegangan dan regangan beton desak.
2. Hubungan *load displacement response*.
3. Pola retak lentur, retak geser dan keruntuhan yang terjadi pada balok.
4. Identifikasi baja tulangan telah leleh, selip atau putus.

Dari hasil pengolahan data ini dapat dilakukan analisis pengujian dan memberikan kesimpulan dari penelitian.

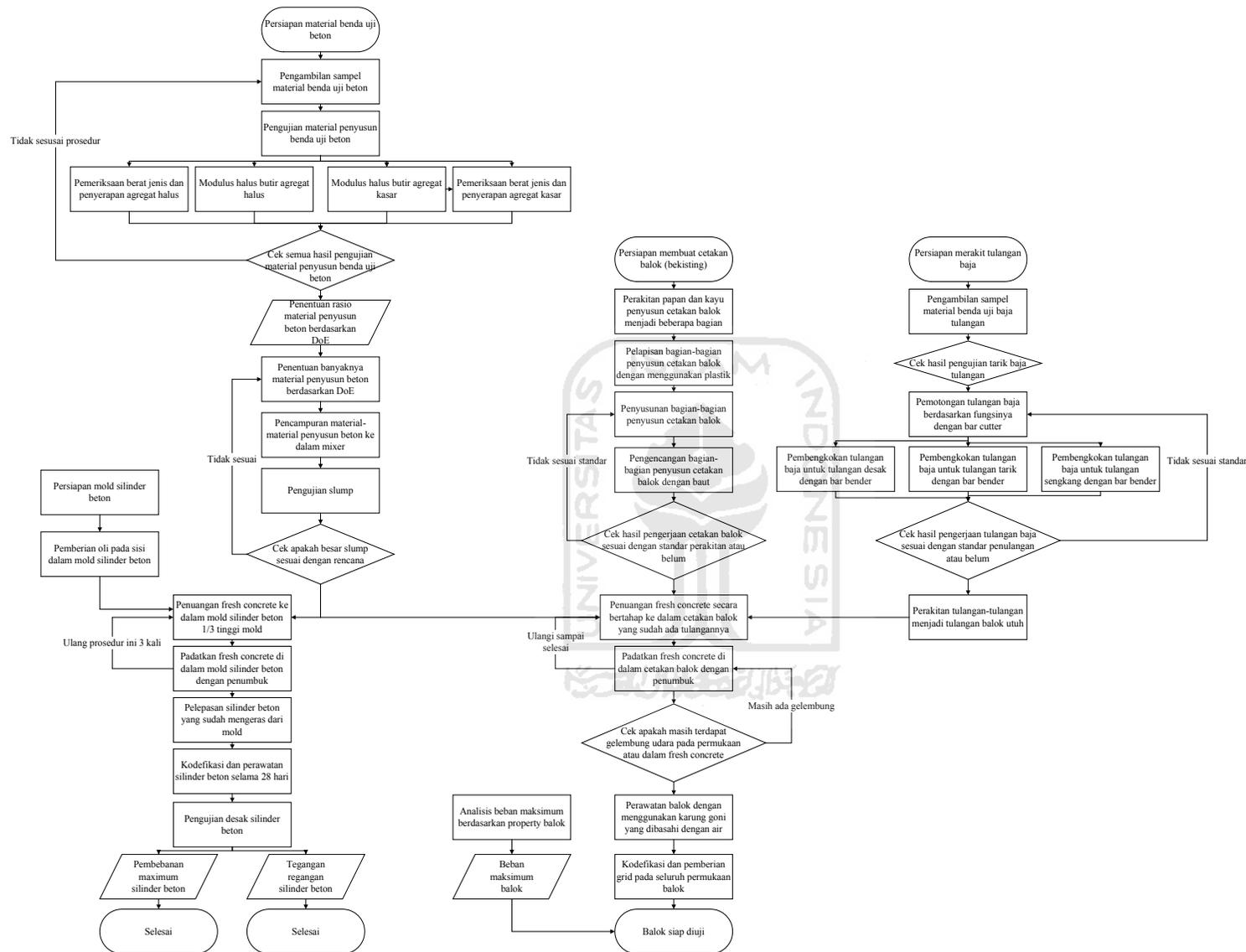
4.6 BAGAN ALIR PENGUJIAN



Gambar 4.21 Flowchart Pelaksanaan Pengujian



Gambar 4.22 Flowchart persiapan peralatan uji



Gambar 4.23 Flowchart persiapan pengujian benda uji





BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 UMUM

Pada bab ini, akan ditampilkan hasil-hasil dari penelitian dan pengujian. Hasil dari penelitian ini akan ditampilkan dalam bentuk tabel-tabel ataupun grafik-grafik yang akan memberikan kemudahan dalam mencapai tujuan-tujuan penelitian ini. Hasil penelitian menampilkan data-data bahan yang dimulai dengan pengujian kuat desak beton dan tarik tulangan baja.

Pada bab ini juga akan dijelaskan mengenai prosedur analisis pengujian 4 buah balok beton bertulang yang menggunakan sengkang dengan pembebanan terdistribusi menjadi 2 titik pembebanan, dimana tiap-tiap benda uji akan dibebani dengan beban yang berbeda berdasarkan kapasitas pembebanannya masing-masing. Data yang dibutuhkan dalam menganalisa antara lain adalah sebagai berikut ini:

1. Data kuat tekan beton riil (kuat tekan yang didapat dari hasil pengujian silinder, bukan kuat tekan rencana).
2. Data kuat tarik tulangan baja riil.
3. Data regangan desak beton dan tarik tulangan baja yang didapat dari pengujian.
4. Data lendutan dari balok beton bertulang dengan sengkang saat dibebani.
5. Gambar pola retakan yang terjadi pada balok beton bertulang dengan sengkang.

Diharapkan dengan adanya data di atas, maka akan diperoleh grafik berupa hubungan antara:

- a. Beban-lendutan.
- b. Beban-regangan.
- c. Tegangan-regangan.

5.2 DATA KARAKTERISTIK BENDA UJI

5.2.1 Data Karakteristik Beton

Pada awal perencanaan penghitungan kapasitas balok menggunakan kuat tekan beton asumsi dengan besar 25 MPa. Namun, pada kenyataan kuat tekan beton berbeda setelah dilakukan pengujian pada benda uji silinder beton yang diuji desak. Kuat tekan beton saat umur 28 hari dapat diketahui dengan melakukan uji desak beton yang nantinya akan digunakan dalam pengolahan data.

Pada Tabel 5.1 ditampilkan data pengujian sampel silinder beton yang telah diuji. Pada Tabel 5.1 disebutkan bahwa kuat desak beton yang diuji desak memiliki kuat desak yang relatif lebih tinggi daripada kuat desak rencana yaitu 25 MPa. Hal ini bisa terjadi karena beberapa faktor, diantaranya adalah sebagai berikut ini:

1. Kualitas bahan material yang digunakan baik.
2. Proses pemadatan beton saat dicetak.
3. Proses perawatan beton yang sudah dicetak.
4. Umur beton yang melebihi 28 hari.

Kualitas mutu material penyusun beton juga merupakan satu parameter yang harus diperhatikan untuk mendapatkan kuat desak beton yang baik. Proses pemilihan sampai pencampuran material penyusun beton harus sesuai prosedur, agar sesuai dengan dengan kuat desak beton yang direncanakan.

Pada saat pemilihan kerikil, gradasi atau ukuran maksimum kerikil harus sesuai dengan rencana penggunaannya. Pada saat pengayakan yang dilakukan untuk memisahkan antara agregat yang diperlukan dengan agregat yang lebih besar gradasinya, agregat yang berupa tanah yang mengeras harus disisihkan, karena tingkat keausannya yang berbeda dengan agregat batu pecah dapat mengurangi kuat desak beton.

Penyimpanan semen juga menjadi perhatian utama agar kuat desak beton menjadi baik. Semen tidak boleh diletakkan pada ruangan yang relatif lembab, karena beton sangat mudah terhidrasi dan menggumpal jika diletakkan pada daerah lembab. Semen yang sudah menggumpal karena

terhidrasi oleh lembab dapat menyebabkan ikatan antara beton dan tulangan baja tidak baik. Dampak terfatal dari buruknya ikatan antara beton dan tulangan baja adalah penyebab gagal bukan akibat dari pembebanan maksimum, tetapi selipnya beton dan tulangan baja.

Beton yang dipadatkan dengan baik akan menyebabkan rongga-rongga yang terisi oleh udara akan naik kepermukaan dan rongga-rongga yang tadinya berisi udara terisi oleh air semen sehingga beton relatif lebih padat karena rongga udara yang sedikit. Pemadatan yang dilakukan secara mekanik, misalnya dalam kasus ini adalah pemadatan menggunakan vibrator yang akan menghasilkan kepadatan lebih baik daripada pemadatan yang dilakukan secara manual (dengan memukul-mukul cetakan dengan palu).

Proses perawatan menjadi hal yang sangat perlu diperhatikan karena beton yang dirawat dengan baik memiliki tingkat kepadatan yang lebih tinggi sehingga pada saat dilakukan pengujian kuat desak dapat menghasilkan kuat desak yang tinggi. Perawatan dilakukan agar suhu pada saat beton mengalami hidrasi menjadi stabil. Sehingga tidak terjadi retakan-retakan yang disebabkan perubahan suhu yang ekstrim. Retakan-retakan yang terjadi pada beton dapat menyebabkan penurunan kuat desak.

Umur beton yang melebihi umur 28 hari menyebabkan beton menjadi lebih keras daripada beton yang berumur 28 hari. Hal ini dipertegas oleh Wikipedia (2011) yang menuliskan bahwa "...pasta semen mengeras seiring berjalannya waktu, mulai mengeras dari keadaannya yang lemah, dan memperoleh kekuataannya beberapa minggu berikutnya. Sekitar 3 minggu, lebih dari 90% kekuatan desak puncak dapat dicapai, walaupun proses mengerasnya dapat terus berlanjut hingga puluhan tahun.". Dalam kasus ini, terdapat silinder yang besar kuat desaknya hampir mencapai 2 kali lipat dari kuat desak rencana. Hal ini dapat terjadi karena diliburkannya seluruh kegiatan kampus UII Yogyakarta terkait meletusnya Gunung Merapi. Sehingga penelitian ini ditunda sampai kurun waktu 2 minggu. Ini mengakibatkan silinder yang siap uji menjadi tertunda pengujiannya selama kurang lebih 1 minggu.

Tabel 5.1 Data kuat tekan sampel silinder beton tiap-tiap sampel balok pada umur 28 hari

Jarak sengkang balok	75 mm							100 mm						
Sampel balok	BU-T1-75				BU-T2-75			BU-T1-100			BU-T2-100			
Sampel silinder	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4
d silinder (cm)	15	15	15	15	15,1	15,05	15,15	15	15	15	15,16	15,205	14,92	15,15
A (cm ²)	176,71	176,71	176,71	176,71	179,08	177,89	180,27	176,71	176,71	176,71	180,50	181,58	174,83	180,27
h (cm)	30	30,10	30	30	29,90	30,20	30,10	30,05	30,10	29,95	30,21	30,30	30,05	30,14
P max (kN)	496,6	624,4	517,1	532,5	469,7	549,6	473,9	730,7	879,9	816,5	556,2	417,1	478,7	550,4
f'c (MPa)	28,10	35,45	29,26	30,13	26,23	30,89	26,29	41,35	49,79	46,20	30,81	22,97	27,38	30,53
f'c pakai (MPa)	30,74				27,81			45,79			27,93			

5.2.2 Data Karakteristik Baja Tulangan

Pada Tabel 5.2 menampilkan data kuat tarik baja dari diameter baja tulangan ukuran 8 mm dan 16 mm. Data ini dibutuhkan untuk mengetahui besarnya f_y riil yang akan dipakai.

Tabel 5.2 Data kuat tarik baja diameter baja tulangan 8 mm dan 16 mm

Diameter (mm)	8	16
A (mm ²)	50,27	203,58
P leleh (kg)	800	7800
f_y (kg/mm ²)	15,92	38,31
f_y (MPa)	155,98	375,48

Adapun *property* balok beton bertulang dengan sengkang yang akan diuji adalah sebagai berikut ini:

Tabel 5.3 *Property* balok beton bertulang dengan sengkang

	BU-T2-75	BU-T2-100
b (mm)	150	150
h (mm)	300	300
L (mm)	2000	2000
n tulangan tarik (buah)	2	2
ϕ tulangan tarik (mm)	16	16
s tulangan tarik (mm)	82	82
ϕ tulangan sengkang (mm)	6	6
s tulangan sengkang (mm)	75	100

Penyimpanan baja juga tidak bisa ditempatkan pada daerah lembab, karena akan menyebabkan korosi. Baja harus dihaluskan dengan amplas sebelum digunakan untuk menghilangkan karat yang melapisi permukaan baja. Hal ini dilakukan agar ikatan yang terjadi antara beton dan tulangan baja menjadi lebih baik dan terhindar dari gagal selip karena buruknya ikatan antara beton dan tulangan baja.

Pada saat baja akan digunakan untuk perakitan tulangan, hindari bagian baja yang sudah ditebuk, hal ini dilakukan karena bagian baja yang sudah ditebuk mengalami kehilangan daya tariknya (f_y).

5.3 PENGUJIAN BALOK

Pembebanan yang diberikan pada balok uji adalah berupa beban titik yang didistribusikan menjadi 2 (dua) beban terpusat. Pada tiap balok uji mengalami pembebanan yang berbeda berdasarkan *property* balok tersebut. Beda besar pembebanan yang akan dibebankan pada balok ditentukan berdasarkan parameter sebagai berikut ini:

1. Kuat desak betonnya ($f'c$).
2. Kuat tarik bajanya (f_y).
3. Banyaknya dan besarnya tulangan desak dan tarik baja.

Pada tabel 5.4 dapat dilihat data pembebanan teoritis berupa hasil analisis dan pembebanan riil yang dilakukan pada balok uji.

Tabel 5.4 Perbedaan pembebanan teoritis dan riil

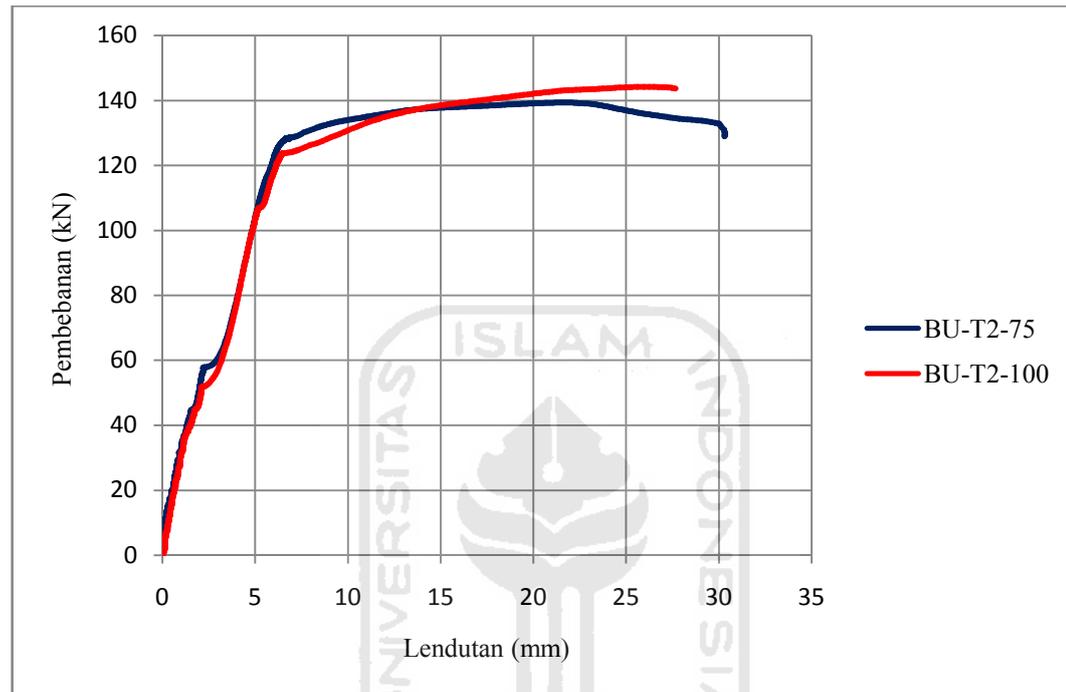
Benda uji	Tahapan pembebanan	Pembebanan	
		P teoritis (kN)	P riil (kN)
BU-T1-75	Maximum	123,2097	141,2635
BU-T2-75	Maximum	122,6350	139,3208
BU-T1-100	Maximum	125,0020	130,6893
BU-T2-100	Maximum	122,6610	144,1333

Dapat dilihat berdasarkan tabel 5.4, terjadi perbedaan antara pembebanan teoritis dan pembebanan riil. Pembebanan yang riil lebih besar dari teoritisnya agar balok mengalami gagal total. Dapat dilihat pada benda uji BU-T1-75, pembebanan teoritis yang harusnya dilakukan pada balok uji adalah 123,2097 kN, tetapi pada pelaksanaannya balok tersebut dibebani sebesar 141,2635 kN. Balok ditambahkan bebannya $\pm 11,73$ % dari pembebanan teoritisnya.

Perbedaan yang terjadi ini juga dipengaruhi oleh cara pematatannya. Pematatan yang dilakukan pada balok uji berbeda dengan yang dilakukan pada silinder beton, sehingga kuat desak beton ($f'c$) pada balok dan silinder beton berbeda.

5.4 HUBUNGAN BEBAN-LENDUTAN (LOAD DISPLACEMENT RESPONSE)

Load displacement response merupakan refleksi atau bisa dijadikan ukuran seberapa besar balok mengalami defleksi dan seberapa baik tingkat fleksibilitas balok tersebut. Adapun defleksi yang terjadi pada balok-balok uji dapat dilihat pada gambar 5.1.



Gambar 5.1 Hubungan pembebanan-lendutan pada tengah balok uji

Proses pengambilan data-data dari hubungan pembebanan-lendutan pada balok uji tersebut dilakukan untuk mendapatkan data defleksi yang terjadi pada titik-titik tertentu sebagai titik-titik yang mewakili dari defleksi yang terjadi pada balok selama balok dibebani.

Tabel 5.5 Tabulasi defleksi maksimum dan beban yang menyebabkan terjadinya defleksi maksimum

Benda Uji	Kuat Desak (MPa)	Beban Yang Menyebabkan Terjadi Defleksi Maksimum (kN)	Defleksi Maksimum (mm)
BU-T2-75	27,81	139,3208	21,7782
BU-T2-100	27,93	144,1333	26,2540

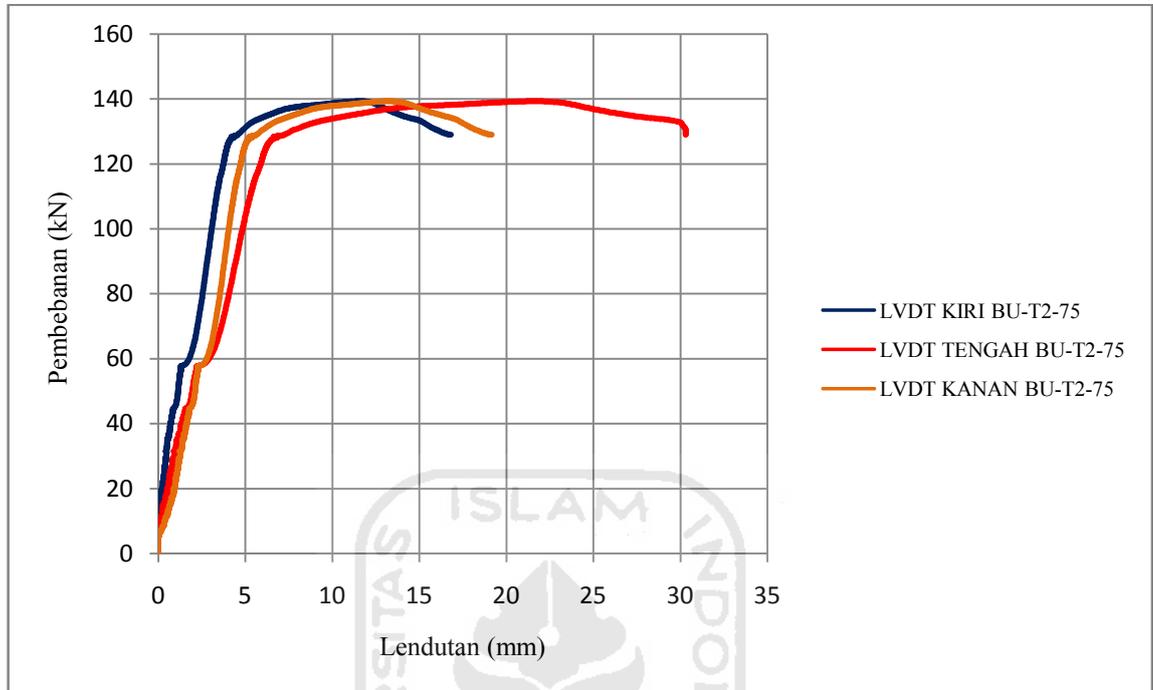
Defleksi maksimum yang terjadi antara balok BU-T2-75 relatif kecil daripada balok BU-T2-100. Besar defleksi maksimum balok BU-T2-75 adalah 21,7782 mm, sedangkan balok BU-T2-100 adalah 26,2540 mm. Lendutan maksimum pada balok BU-T2-75 terjadi pada pembebanan yang lebih kecil daripada pembebanan yang menyebabkan balok BU-T2-100 melendut maksimum. Besar beban yang menyebabkan balok BU-T2-75 mengalami defleksi maksimum adalah 139,3208 kN, sedangkan balok BU-T2-100 adalah 144,1333 kN. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain adalah sebagai berikut ini:

1. Balok uji yang tidak mungkin sama kriteria kekuatannya dikarenakan dibedakannya *property* dari tiap-tiap balok, agar dapat dibandingkan dan ditemukan perbedaan dari tiap-tiap perilaku balok pada saat dibebani.
2. Penempatan beban yang kurang presisi. Apakah prosedur pembebanannya sudah dilakukan dengan benar, apakah load cell telah ditempatkan pada tempat yang presisi, dll.
3. Bedanya mutu beton tiap-tiap balok, sehingga ketika balok didesak, kemampuan balok menahan beban tersebut menjadi berbeda.

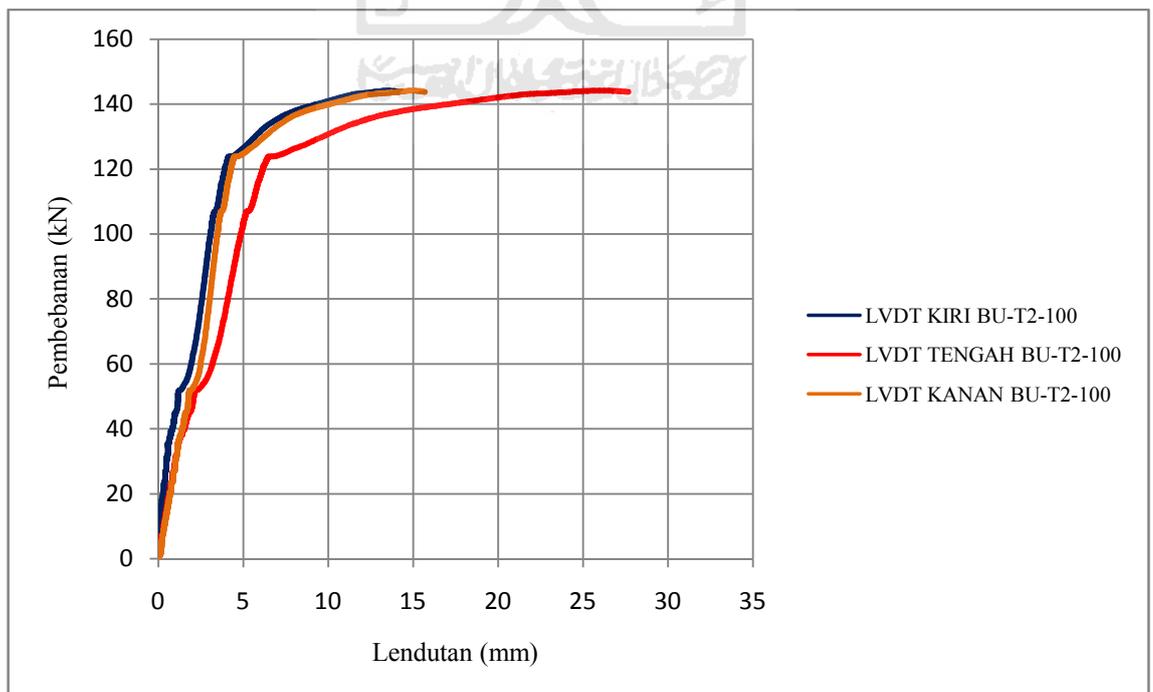
Balok mengalami perbedaan besar pembebanan yang menyebabkan balok mengalami kegagalan lentur antara beban maksimum teoritisnya dan beban maksimum riilnya. Penelitian ini menemukan bahwa beban riil lebih besar daripada beban teoritisnya. Sebagai contoh, besar beban yang menyebabkan balok BU-T2-75 mengalami defleksi maksimum adalah 139,3208 kN, sementara 122,635 kN. Hal ini dapat terjadi karena beberapa faktor, antara lain adalah sebagai berikut ini:

1. Bedanya mutu beton tiap-tiap balok, sehingga ketika balok didesak, kemampuan balok menahan beban tersebut menjadi berbeda.
2. Terjadinya aksi pasak tulangan memanjang sebagai perlawanan terhadap gaya transversal yang harus ditahan oleh balok.

Lendutan yang terjadi pada kiri dan kanan balok mengalami perbedaan yang relatif tidak signifikan. Untuk memperjelas pernyataan tersebut, dapat diperhatikan pada gambar dan tabel berikut ini :



Gambar 5.2 *Load displacement response* pada balok BU-T2-75



Gambar 5.3 *Load displacement response* pada balok BU-T2-100

Tabel 5.6 Selisih defleksi yang terjadi pada sisi timur dan barat balok uji

Benda uji	Beban Yang Menyebabkan Terjadi Defleksi Maksimum (kN)	Defleksi Maksimum Sisi Timur Balok (mm)	Defleksi Maksimum Sisi Barat Balok (mm)	Selisih (mm)
BU-T2-75	139,3208	11,6463	13,2973	1,6510
BU-T2-100	144,1333	13,5269	15,0384	1,5115

Seperti yang telah dipaparkan pada gambar 5.2, gambar 5.3 dan tabel 5.6, dapat dipastikan bahwa pada kedua benda uji mengalami selisih defleksi yang tidak begitu signifikan. Selisih defleksi yang terjadi kurang dari 2 mm, sehingga jika diamati dengan mata tanpa alat bantuan maka defleksi sulit diamati. Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya selisih defleksi tersebut adalah sebagai berikut ini:

1. Karakteristik balok yang berbeda. Baik kuat desak dan parameter lainnya.
2. Prosedur pengujian balok yang kurang sesuai.
3. Tidak ratanya kuat desak yang dimiliki balok uji. Besar kuat desak sisi timur balok sama dengan sisi barat balok.
4. Tumpuan-tumpuan (sendi dan rol) yang kurang kokoh dan kurang presisi.
5. Tidak ratanya tinggi tumpuan, sehingga terjadi kemiringan yang menyebabkan tidak sentrisnya pusat berat balok.
6. Pelat yang dipakai untuk menekan LVDT yang kurang presisi, sehingga kurang akurat data lendutan yang diambil.
7. Alat pembaca dan pencatat lendutan yang terkalibrasi dengan kurang baik.

Pada gambar 5.2 dan gambar 5.3 dapat dilihat bahwa terjadi selisih yang signifikan antara LVDT tepi dan tengah. Ini merupakan indikasi bahwa balok tersebut mampu menahan beban yang akan menyebabkan gagal lentur dengan baik. Indikasi balok yang gagal geser adalah terjadi lendutan yang relatif sama besar antara daerah tepi dan tengah balok.

Berdasarkan gambar 5.2 dan gambar 5.3 dapat ditarik kesimpulan bahwa kedua balok tersebut bersifat daktail. Hal tersebut ditunjukkan

dengan tetap bertambah besarnya lendutan setelah pembebanan bertambah walaupun secara tidak signifikan.

5.5 HUBUNGAN BEBAN-REGANGAN

Hubungan beban-regangan dibagi menjadi 2 kelompok yaitu, hubungan beban-regangan beton dan tulangan baja. Alasan dibagi menjadi 2 kelompok adalah agar dapat diketahui perilaku tiap-tiap material pada saat balok uji dibebani secara bertahap sampai balok dinyatakan *failure*.

Pemaparan grafik hubungan beban regangan dilakukan untuk mengetahui beban yang menyebabkan material mengalami regangan maksimum. Regangan maksimum merupakan indikator bahwa material yang diamati mengalami *failure*.

Strain gauge dipasangkan pada material penyusun balok beton bertulang agar dapat diamati regangannya. *Strain gauge* dibedakan berdasarkan material yang akan diamati regangannya. Strain gauge untuk beton relatif lebih panjang daripada strain gauge baja. Panjang atau pendeknya strain gauge mempengaruhi pembacaan regangannya, semakin pendek strain gauge semakin sensitif perubahan regangannya.

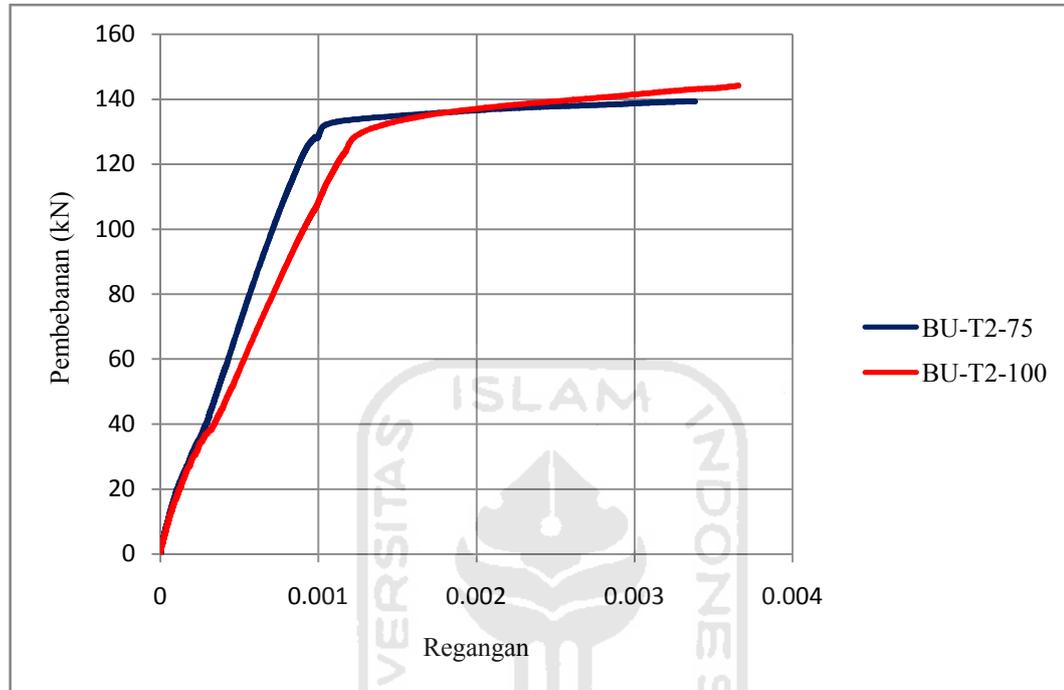
Terjadi deviasi besar beban maksimum antara beban maksimum teoritis dan beban maksimum riilnya. Pada kasus pembebanan balok BU-T2-75, beban maksimum teoritis besarnya adalah 122,635 kN. Namun pada saat pengujian, pembebanan dilakukan sampai 139,3208 kN. Benda uji diuji sampai keadaannya *totally failed*, ini bertujuan untuk dapat mengetahui perilaku regangan material penyusun balok pada saat balok dibebani sampai hancur.

Tabel 5.7 Selisih beban maksimum riil dan beban maksimum teoritis tiap-tiap balok uji

Benda Uji	Beban Maksimum Teoritis (kN)	Beban Maksimum Riil (kN)	Selisih (kN)
BU-T1-75	123,210	141,2635	18,0535
BU-T2-75	122,635	139,3208	16,6858
BU-T1-100	125,002	130,6893	5,6873
BU-T2-100	122,661	144,1333	21,4723

5.5.1 Hubungan Beban-Regangan Beton

Berikut akan ditampilkan gambar yang menunjukkan hubungan beban-regangan beton yang diamati dengan bantuan *strain gauge* yang dipasang pada permukaan beton didaerah desak yang diperkirakan akan mengalami regangan desak maksimum.

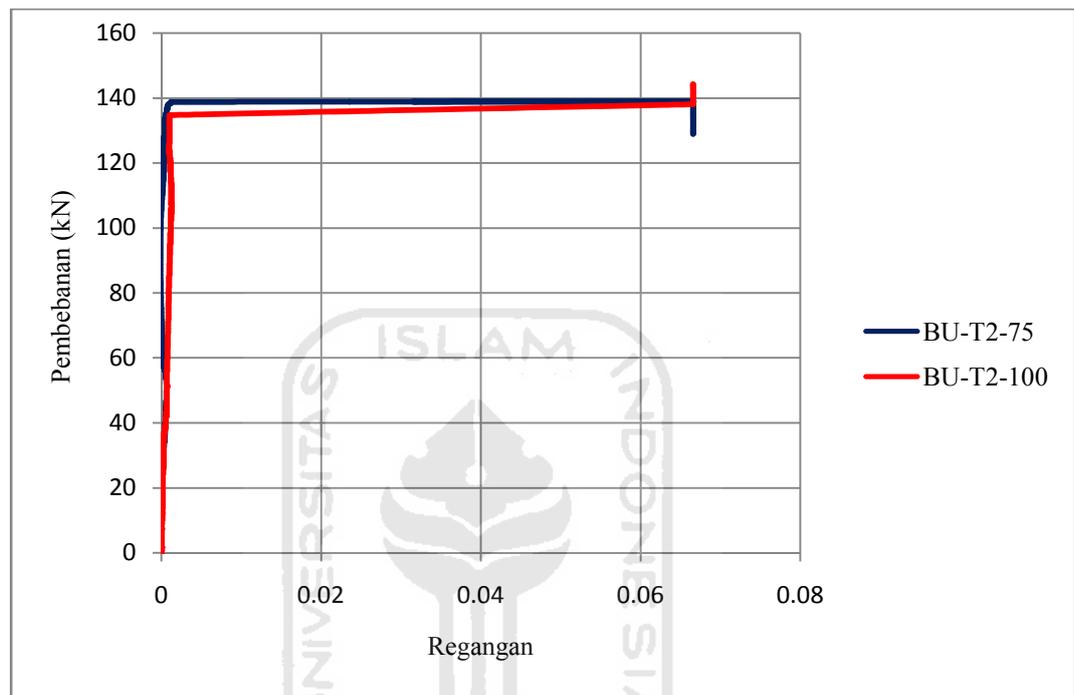


Gambar 5.4 Hubungan beban-regangan beton

Berdasarkan gambar 5.4, balok mengalami *failure* pada saat beton dari balok BU-T2-75 melebihi $\epsilon_c = 0,0033841$ dengan beban 139,2125 kN dan balok BU-T2-100 melebihi $\epsilon_c = 0,003658044$ dengan beban 144,125 kN. Regangan *ultimate* beton antara balok BU-T2-75 dan BU-T2-100 tidak begitu besar selisihnya. Hal ini dapat terjadi karena kuat desak (f'_c) dari kedua balok tidak begitu besar selisihnya. Pada saat balok meregang melebihi ϵ_c -nya, balok mengalami *failure*-nya. Regangan bertambah secara signifikan, sementara beban bertambah tetapi tidak signifikan sebelum balok mengalami *failure*.

5.5.2 Hubungan Beban-Regangan Tulangan Baja

Berikut akan ditampilkan sebuah gambar yang menunjukkan hubungan beban-regangan tulangan baja yang diamati dengan bantuan *strain gauge* yang dipasang pada permukaan tulangan baja didaerah tarik yang diperkirakan akan mengalami regangan tarik maksimum.



Gambar 5.5 Hubungan beban-regangan tulangan baja

Berdasarkan analisa lentur balok, diketahui bahwa ϵ_y dari BU-T2-75 dan BU-T2-100 adalah 0,0019 pada pembebanan ke 122,6350 kN untuk BU-T2-75 dan 122,6610 kN untuk BU-T2-100. Seperti terlihat pada gambar 5.5, tulangan baja pada BU-T2-75 mengalami pertambahan panjang yang sangat signifikan setelah beban melebihi 138,7990 kN dan regangan pada beban tersebut tercatat sebesar 0,00125, dimana beban sebesar 138,8354 kN regangan menjadi 0,02359. Hal yang serupa terjadi pada BU-T2-100.

Perbedaan ini dapat terjadi karena balok memiliki ikatan (*bond*) yang baik antara tulangan dan betonnya. Beton memberikan kontribusi yang baik pada kuat tarik balok. Ikatan antara tulangan dan beton mempengaruhi kinerja balok. Ikatan yang baik antara tulangan dan beton akan

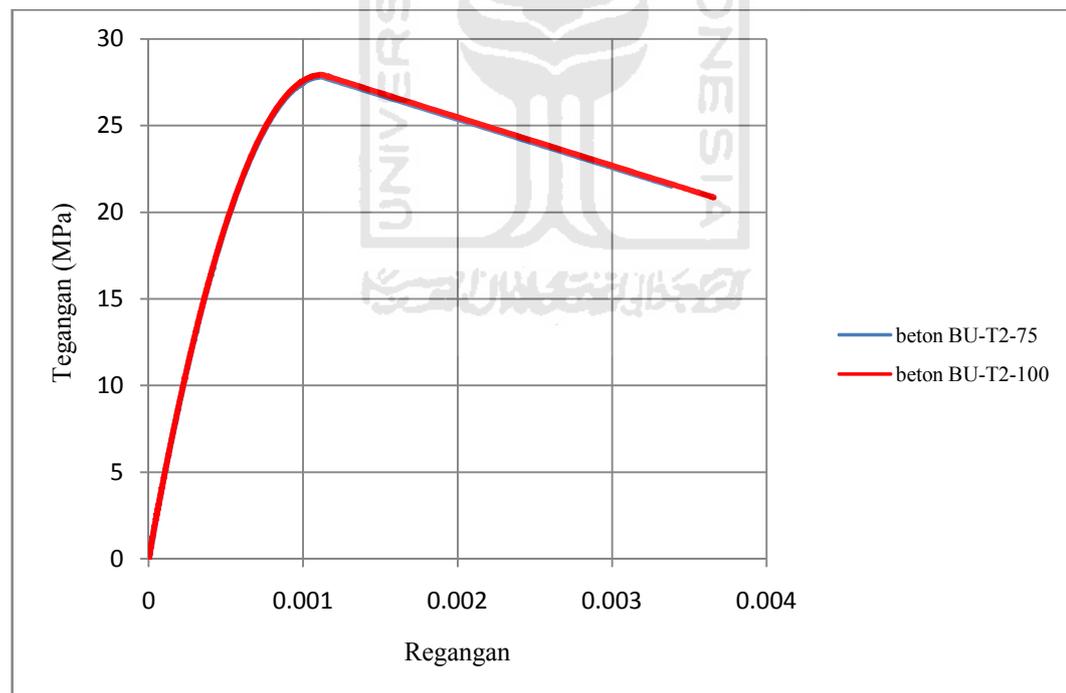
meningkatkan kinerja balok, dan sebaliknya. Ikatan yang buruk antara tulangan dan beton dapat menyebabkan slip pada permukaannya, sehingga balok tidak dapat memenuhi beban yang harus dipikulnya.

Karakteristik kedua tulangan baja pada kedua balok relatif sama. Hal ini dipengaruhi oleh f_y yang sama. Sedangkan pada tulangan baja, besar kuat tarik sama besarnya di tiap posisi yang akan ditinjau, kecuali pada tulangan yang dibengkokkan, karena kuat tarik baja menurun pada daerah yang dibengkokkan.

5.6 HUBUNGAN TEGANGAN-REGANGAN

5.6.1 Hubungan Tegangan-Regangan Beton

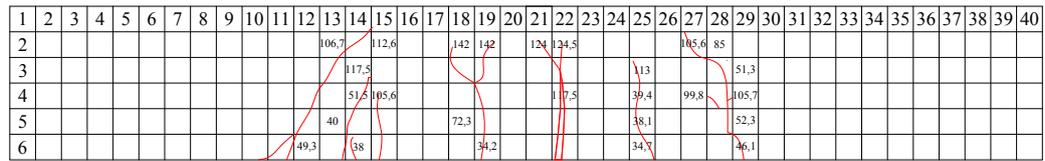
Berikut akan ditampilkan sebuah gambar yang menunjukkan hubungan tegangan-regangan beton yang diamati dengan bantuan *strain gauge* yang dipasangkan pada permukaan beton didaerah desak yang diperkirakan akan mengalami regangan desak maksimum.



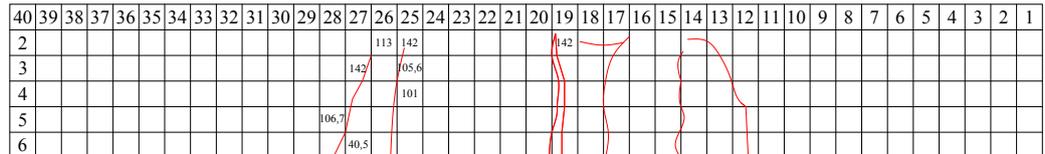
Gambar 5.6 Hubungan tegangan-regangan beton

Pada gambar 5.6 ditampilkan grafik hubungan tegangan-regangan beton. Selisih kedua grafik tidak signifikan bedanya. Hal ini dapat terjadi

A



B



Gambar 5.8 Pola retak dari balok BU-T2-100

Pada gambar 5.7 dan gambar 5.8, retak yang mendominasi keruntuhan balok adalah retak lentur atau retak yang terjadi tegak lurus terhadap tulangan lenturnya. Pada gambar 5.7 banyak ditemukan retak lentur, dan sedikit retak yang mengindikasikan adanya retak-retak geser. Sedangkan pada gambar 5.8, kedua jenis retakan relatif sama banyaknya, baik retak lentur maupun indikasi dari retak geser. Hal ini terjadi karena jarak sengkang pada balok BU-T2-75 lebih rapat ketimbang balok BU-T2-100. Sehingga kemampuan balok BU-T2-75 menahan geser dan *diagonal tension* yang terjadi pada saat pembebanan lebih baik daripada balok BU-T2-100.

Tabel 5.8 akan memaparkan rangkaian kejadian keretakan balok selama balok dibebani sampai *failure*.

Tabel 5.8 Perilaku keretakan pada balok uji selama pembebanan berlangsung

Benda Uji	Beban (kN)	Jenis Retak	Arah Retak	Panjang Retak (cm)	Lebar retak (mm)
BU-T2-75	$30 < p \leq 90$	Lentur Murni	Vertikal	$\pm 15 - 30$	< 1
	$90 < p \leq 135$	Transisi Lentur dan Geser	Diagonal	$\pm 10 - 15$	< 1
BU-T2-100	$30 < p \leq 75$	Lentur Murni	Vertikal	$\pm 15 - 30$	< 1
	$75 < p \leq 145$	Transisi Lentur dan Geser	Diagonal	$\pm 10 - 15$	< 1

Dari benda-benda uji tersebut didapatkan perilaku keretakan balok bertulang dengan menggunakan sengkang. Balok mengalami keretakan awal (*first crack*) pada saat beban mencapai ± 30 kN. Balok mengalami retak lentur yang semakin panjang seiring bertambahnya beban. Sampai pada saat pembebanan mencapai ± 90 kN, balok mengalami transisi keretakan dari retak lentur ke retak geser. Indikasi mulainya retak geser adalah adanya retak yang mengarah ke titik pembebanan. Retak geser adalah retak yang terjadi pada balok yang dimulai dari daerah tumpuan ke daerah pembebanan secara diagonal. Apabila pembebanan diteruskan, balok BU-T2-75 dan BU-T2-100 hanya akan mengalami gagal lentur. Tapi apabila jarak antar sengkang diperbesar, balok akan mengalami gagal geser.





BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah diutarakan pada bab sebelumnya, maka dapat diambil beberapa kesimpulan. Diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian yang dilakukan dengan sumber daya manusia ahli dan penggunaan alat penunjang yang baik, dalam hal ini *strain gauge*, LVDT, *load cell*, *data logger*, *hydraulic pump* dan seperangkat komputer dengan spesifikasi yang baik, akan menunjang keakuratan data penelitian.
2. Adapun *dial gauge* dipakai hanya sebagai *comparing data*, jika sewaktu-waktu terjadi kesalahan pada LVDT.
3. Pada penelitian ini, fungsi *dial gauge* kurang berperan karena data yang dikumpulkan melalui *dial gauge* kurang mewakili dari lendutan yang terjadi. Hal ini bisa terjadi karena *human error*, pembaca *dial gauge* tidak memperhatikannya dengan seksama, pembebanan yang bertambah secara tiba-tiba dan drastis, ataupun *dial gauge* itu sendiri kurang terkalibrasi dengan baik.
4. Dengan menggunakan alat bantu seperti *strain gauge* yang dihubungkan ke *data logger* dan diolah datanya di komputer, dapat mengetahui perilaku yang terjadi pada tiap-tiap material penyusun balok pada saat dibebani.
5. Pembebanan yang telah dianalisis memiliki besar yang tidak sama dengan pembebanan yang dilakukan pada saat pengujian. Pada balok BU-T2-75, beban maksimum teoritis besarnya 122,635 kN. Namun pada saat pengujian, pembebanan dilakukan sampai 139,3208 kN. Hal ini dilakukan karena pada saat beban mencapai beban maksimum teoritis, balok belum hancur total. Benda uji diuji sampai keadaannya

totally failed, agar dapat diketahui perilaku material-material penyusun balok pada saat balok dibebani sampai hancur.

6. Hal tersebut dapat terjadi karena pemadatan yang kurang baik, tingkat kepadatan yang kurang merata, masalah pada kalibrasi alat penunjang pengujian dan lain-lain.
7. Dari pembacaan grafik hubungan pembebanan-lendutan balok, diketahui bahwa kedua balok adalah tipe balok daktail.
8. Dari pembacaan grafik hubungan pembebanan regangan balok dan membandingkannya dengan grafik hubungan pembebanan-regangan tulangan baja, maka dapat disimpulkan bahwa balok memiliki ikatan yang baik.
9. Dari pembacaan grafik hubungan tegangan-regangan beton, diketahui bahwa balok mengalami fase elastis pada saat balok BU-T2-75 melebihi $\epsilon_c = 0,001122025$ dan balok BU-T2-100 melebihi $\epsilon_c = 0.001124443$.
10. Dari pola retak dan keruntuhan balok, diketahui bahwa kedua balok masih didominasi oleh retak lentur, walaupun ada indikasi bahwa balok juga mengalami transisi dari retak lentur ke retak geser.

6.2 SARAN

Dalam proses penyusunan penelitian ini masih banyak kekurangan, sehingga diperlukan saran-saran yang nantinya bisa menjadi acuan dan masukan untuk penelitian selanjutnya agar penelitian ini menjadi lebih baik. Diantaranya adalah sebagai berikut ini:

1. Perlu adanya pelatihan penggunaan alat-alat laboratorium terbaru yang berhubungan dengan penelitian ini. Agar peneliti mampu dan sangat faham dalam menggunakan alat-alat tersebut.
2. Penggunaan *automatic hydraulic pump* yang baik, perlu orang yang mengerti karakteristik mesin tersebut. Agar selama pembebanan berlangsung tidak terjadi lonjakan beban yang drastis sehingga pembacaan lendutan dan regangan tidak realistis.

3. Persiapan-persiapan alat-alat yang akan digunakan dipersiapkan dengan baik. Jangan sampai ada alat yang kurang tersedia dengan cukup.
4. Kalibrasi alat yang tepat menunjang ketelitian dan akurasi pengambilan data.
5. Penggunaan jenis dan banyaknya *strain gauge* yang efektif dapat menunjang ketelitian dan kelengkapan data.
6. Pembuatan benda uji yang baik dan sesuai dengan prosedurnya (mulai dari proses *mix design*, pengujian material-material penyusun, uji desak silinder beton, pengecoran balok dan perawatannya sampai dengan balok siap diuji) akan menghasilkan data yang lebih akurat.



DAFTAR PUSTAKA

- Aboe, Kadir. (2000). "Struktur Beton I". *Jurnal Teknik Sipil*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Anonim. (2009). *Buku Pedoman Praktikum Teknologi Bahan Konstruksi*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Anonim. (2010). *Pedoman Tugas Akhir*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Basuki dan Hidayati, Nurul. (2006). "Tinjauan Kuat Geser Sengkang Alternatif Dan Sengkang Konvensional Pada Balok Beton Bertulang". *Jurnal Teknik Sipil*. Surakarta.
- Deskarta, Putu. (2009). "Perkuatan Geser Balok Beton Bertulang Menggunakan Glass Fiber Reinforced Polymer (GBRP)". *Jurnal Teknik Sipil*. Denpasar.
- Edvant, dicky. (2010). "Perilaku Pola Retak dan Keruntuhan Lentur Pada Balok Beton Bertulang". *Tugas Akhir*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Hardjasaputra, Harianto dan Dewobroto, Wiryanto. *Eksprimen Struktur Beton Balok Tinggi Untuk Pengembangan Strut-and-Tie Model*. No: 40/UPH-LPPM02/VII/2004. Program Magister Teknik Sipil FDTP – UPH. Bandung.
- Purwono, dkk. (2007). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002) Dilengkapi Penjelasan (S-2002)*. ITS Press. Surabaya.
- Taranath, Bungale S. (2010). *Reinforced Concrete Design of Tall Building*. CRC press Taylor & Francis Group. United States of America.
- Teguh, Mochammad. (2007). "Seismic Performance of Prestressed Concrete Pile-to-Pile Cap Connections". *PhD Thesis*. The University of Melbourne. Victoria. Australia.
- Widodo. (2000). "Struktur Beton I". *Jurnal Teknik Sipil*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.